

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Нейросетевое управление манипулятором

УДК 007.52:004.032.26:004.451

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т82	Чжан Юйчэнь		07.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доцент		07.06.2022

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Былкова Т.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Авдеева И.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

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)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
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 использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности.
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе

Код компетенции	Наименование компетенции
ОПК(У)-5	анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования.
ПК(У)-2	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий.
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств.
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования.
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа.
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления

Код компетенции	Наименование компетенции
	процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем.
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством.
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления.
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления.
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования.
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством.
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами.
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований

Код компетенции	Наименование компетенции
	и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций.
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством.
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения.

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 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Громаков Е.И.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
158Т82	Чжан Юйчэнь

Тема работы:

Нейросетевое управление манипулятором	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 45-49/с от 14.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022 г.
--	---------------

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>Объект исследования: роботизированная рука, управляемая нейронной сетью Цель работы: разработка нейросетевого регулятора для двухзвенного робота-манипулятора. Режим работы: непрерывный.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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,</i></p>	<p>Выполнить выбор нейронной сети для выполнения регулирования объектом/ Разработать математическую модель и имитационную схему моделирования объекта в приложении Simulink программы MatLab. Выполнить исследование модели</p>

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схемы моделирования в приложении Simulink программы MatLab

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Т.В.
Социальная ответственность	Авдеева И.И.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

нет

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.02.2022 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т82	Чжан Юйчэнь		08.06.2022

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 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Уровень образования – Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – Весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2022 г.	Основная часть ВКР	60
30.05.2022 г.	Раздел «Социальная ответственность»	20
30.05.2022 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Т.Е.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е.И.	к.т.н., доцент		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
158T82		Чжан Юйчэнь	
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Нейросетевое управление манипулятором

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение	<p>Объект исследования - Роботизированная рука на основе управления нейронной сетью RBF Область применения - поле работа Рабочая зона: <u>офис</u> Размеры помещения 20*30 м. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: Рабочий стол и ПК Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне Использование программного обеспечения для моделирования Matlab для исследования и проектирования роботизированной руки на основе управления нейронной сетью.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p>ГОСТ 12.2.032-78. Охрана труда для операторов и пользователей ПК. ГОСТ 12.2.049–80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования; ГОСТ 22269–76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. ГОСТ 21889–76. Система «человек-машина». Кресло-человека-оператора. Общие эргономические требования. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда.</p>
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p>Вредные факторы в лаборатории: недостаточное освещение рабочей зоны, повышенный уровень шума, вибрации, микроклимат, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение Опасные факторы: опасность поражения электрическим током, короткое замыкание, статическое электричество. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: беруши, наушники.</p>

<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: отсутствует. Воздействие на литосферу: в виде отходов, возникших при поломке персонального компьютера, люминесцентных ламп и других электроприборов. Также стоит учесть отходы макулатуры. Воздействие на гидросферу: продукты жизнедеятельности персонала. Воздействие на атмосферу: отсутствует.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: Повреждения зданий, вызванные пожарами, взрывами, выбросами в атмосферу и агрометеорологическими катастрофами. Наиболее типичная ЧС :возникновение пожара в следствие короткого замыкания</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Авдеева И. И.			10.05.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т82	Чжан Юйчэнь		

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

Студенту:

Группа	ФИО
158Т82	Чжан Юйчэнь

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя – 45000 руб. Оклад инженера – 15000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премимальный коэффициент руководителя 30%; Премимальный коэффициент инженера 30%; Доплаты и надбавки руководителя 40%; Доплаты и надбавки инженера 30%; Дополнительной заработной платы 15%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	к.э.н.		12.05.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т82	Чжан Юйчэнь		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 67 с., 24 рис., 21 таблица ,17 источников, 1 прил.

Ключевые слова: робот-манипулятор, нейронная сеть, RBF, программа MATLAB, управление, моделирование

Объектом исследования является роботизированная рука на основе управления нейронной сетью RBF, отслеживание

Цель работы – разработка нейросетевого регулятора для двухзвенного робота-манипулятора.

В процессе написания выпускной квалификационной работы (ВКР) проводилось изучение управления нейронной сетью RBF, разработка манипулятора на основе управления нейронной сетью и его моделирование в программе MATLAB.

Область применения: роботизированные руки широко используются в различных отраслях, таких как машиностроении, металлургии, электронике, легкой промышленности, атомной энергетике и других областях. Применение робототехнических устройств в виде манипуляторов в нефтегазодобыче также является перспективной задачей.

Оглавление

Обозначения и сокращения	15
Введение	16
1 Обзор способов управления роботом-манипулятором	18
2 Теоретические основы управления траектории манипулятора	20
2.1 Нейронная сеть RBF	20
2.2 Принцип нейронной сети RBF.....	21
2.3 Математическая основа нейронной сети RBF.....	21
2.4 Теорема НЛ.....	23
2.5 контроль крутящего момента.....	23
3 Математическое описание управления объектом	27
3.1 Конструкция контроллера	27
3.2 Анализ стабильности	29
4 Моделирование роботизированной руки	30
4.1 Схема моделирования в MATLAB Simulink	30
4.11 Работающая программа MATLAB	30
4.12 Блок-схема управления моделированием.....	32
4.2 Результаты моделирования	34
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	40
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	40
5.2 Анализ конкурентных технических решений	40
5.3 SWOT-анализ	41
5.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию	44
5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	45
5.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	50
6 Социальная ответственность	53
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности Согласно ФЗ – 197 [8] каждый работник имеет право на:.....	53
6.2.1 электромагнитное излучение Для того чтобы избежать негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным нормам, описанным в РД 153-34.0-03.298-2001 [11].	54
6.2.2 Превышение уровня шума.....	55

6.2.3 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (монотонность труда, перенапряжение анализаторов).....	55
6.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны	56
6.3 Экологическая безопасность.....	57
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	57
6.4.1 Природная чрезвычайная ситуация.....	58
6.4.2 Анализ пожарной безопасности	58
Выводы по разделу	59
Заключение.....	61
Список использованных источников литературы	62
Приложения.....	64

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В данной работе были использованы следующие обозначения и сокращения:

RBF – радиальная базисная функция.

НJI – Hamilton-Jacobi Inequality.

Введение

В качестве объекта регулирования взят двухзвенный робот-манипулятор. Робот-манипулятор – это автоматическое операционное устройство, которое может имитировать некоторые действия человеческих кистей и предплечий, чтобы хватать, переносить предметы или управлять инструментами в соответствии с фиксированной программой. Он может заменить тяжелый труд людей для реализации механизации и автоматизации производства, а также может работать во вредных средах для защиты личной безопасности, поэтому он широко используется в различных сферах промышленности.

Отслеживание траектории манипулятора означает, что манипулятор отслеживает ожидаемую траекторию в соответствии с введенной ожидаемой траекторией. Однако система манипулятора является многопараметрической, сильно связанной, сильно нелинейной, изменяющейся во времени системой, кроме того, трудно получить точные динамические уравнения. Так как имеется возмущения внешней среды, то разработка системы управления манипулятором усложняется.

Среди современных алгоритмов управления более представительными являются адаптивный и робастный алгоритмы управления. Контроллер адаптивного алгоритма управления может регулировать параметры системы или изменять стратегию управления в соответствии с появившимися отклонениями для решения задачи стабилизации выходного параметра робота – его траектории движения. Надежный контроллер имеет простую структуру и не требует настройки параметров контроллера в режиме онлайн, поэтому он может поддерживать хорошие характеристики управления.

Среди интеллектуальных алгоритмов управления выделяются нечеткое управление и управление с использованием нейронной сети. Нечеткое управление подходит для систем управления с неопределенными параметрами.

Нейронная сеть упорядочивает несколько искусственных нейронов, чтобы установить нелинейное отображение от входа к выходу, которое может аппроксимировать модель в системе манипулятора. Однако для обучения сети

требуется большой объем выборочных данных, и будет некоторое отставание в контроле.

В данной работе в качестве объекта исследования рассматривается двухзвенный манипулятор, исследуются и анализируются его динамические характеристики. Далее разработано управление объектом на основе использования нейронной сети, составлена схема управления манипулятором, разработана имитационная модель в приложении Simulink программы MatLab. В итоге выполнено моделирование отслеживания траектории манипулятора, управляемого нейронной сетью RBF.

1 ОБЗОР СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ

Роботизированная рука может выполнять такие функции, как захват и перемещение, имитируя человеческую руку. В настоящее время большую часть опасных работ в экстремальных условиях необходимо выполнять с помощью роботов-манипуляторов, таких как космические операции, исследование морского дна, утилизация опасных отходов и т. д. [1] В экстремальных условиях эксплуатации и строгих требований к точности система управления манипулятором должна обладать хорошей стабильностью, быстрой скоростью отклика и высокой точностью. Однако манипулятор представляет собой сильно связанную нелинейную систему с несколькими входами и несколькими выходами, и существуют неопределенные изменяющиеся во времени возмущения и коэффициенты внутреннего трения, поэтому трудно установить точную динамическую модель для манипулятора, что добавляет сложности в систему управления и отслеживания траектории манипулятора.

В последние годы многие люди провели некоторые исследования по управлению траекторией роботизированных манипуляторов и предложили некоторые стратегии и методы управления, такие как метод вычисления крутящего момента, ПИД-управление, нечеткое управление, управление нейронной сетью, адаптивное управление и т. д. [2-5]

Для идеальной динамической модели манипулятора хорошим управляющим эффектом обладает контроллер слежения за траекторией, разработанный методом вычисления крутящего момента. Однако механическая рука обычно имеет много детерминированных факторов, таких как внутреннее трение и факторы, изменяющиеся во времени, и вычислительному контроллеру крутящего момента трудно получить желаемый эффект отслеживания. Изменяющееся во времени возмущение и внутреннее трение можно аппроксимировать и компенсировать с помощью нечеткого управления или нейросетевого управления, чтобы обеспечить стабильность системы управления манипулятором. Однако конструкция нечеткого регулятора более

сложна, особенно трудно определить соответствующую функцию принадлежности и нечеткие правила. Нейронная сеть обладает способностью к самообучению, может аппроксимировать и компенсировать любые нелинейные и линейные функции и имеет очень хорошую адаптируемость к отображению данных, что больше подходит для проектирования контроллера.

С учетом этих неопределенных факторов в данной работе разрабатывается адаптивный контроллер на основе RBF-сети.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ МАНИПУЛЯТОРА

2.1 Нейронная сеть RBF

RBFNN – это нейронная сеть RBF, также известная как нейронная сеть с радиальной базисной функцией (радиальная базисная функция). Нейронная сеть с радиальной базисной функцией – это эффективная нейронная сеть с прямой связью, которая имеет наилучшую производительность аппроксимации и глобальные оптимальные характеристики, которых нет у других прямых сетей, а также имеет простую структуру и высокую скорость обучения. В то же время это также модель нейронной сети, которую можно широко использовать для распознавания образов, аппроксимации нелинейных функций и других областях. [7]

Нейронная сеть RBF – это трехуровневая нейронная сеть, которая включает в себя входной слой, скрытый слой и выходной слой. Преобразование из входного пространства в пространство скрытого слоя является нелинейным, а преобразование из пространства скрытого слоя в пространство выходного слоя является линейным. Среди них большинство функций активации, используемых в нелинейном скрытом слое, представляют собой RBF с симметричными свойствами; линейный выходной слой взвешивает выходные данные узлов скрытого слоя, а количество нейронов в линейном выходном слое совпадает с размерностью выходного вектора (используется в задачах множественной классификации).

Роль скрытого слоя RBFNN заключается в выполнении нелинейного преобразования входного вектора и преобразовании точек выборки из входного пространства в многомерное пространство объектов. Линейная модель используется в пространстве объектов для моделирования обучающих выборок; также возможно сделать обучающие выборки линейно разделяемыми в многомерном пространстве объектов. Среди них функция активации определяется как RBF с симметричными свойствами.

Важной особенностью RBF является то, что по мере увеличения расстояния от центральной точки функция показывает монотонно убывающий (монотонно увеличивающийся) тренд.

2.2 Принцип нейронной сети RBF

Принцип нейронной сети RBF заключается в использовании RBF в качестве «базы» скрытой единицы для формирования пространства скрытого слоя, чтобы входной вектор можно было напрямую сопоставить со скрытым пространством без необходимости соединения через веса.

Когда центральная точка RBF определена, также определяется отношение отображения. Отображение из пространства скрытого слоя в выходное пространство является линейным, то есть выход сети является линейной взвешенной суммой выхода скрытого элемента, а вес здесь является регулируемым параметром сети. Среди них функция скрытого слоя состоит в том, чтобы отобразить вектор из низкоразмерного p в многомерный h , так что линейная неразделимость малой размерности может стать линейно разделимой с многомерной, в основном идея функция ядра.

Скрытые узлы нейронной сети RBF принимают расстояние между входным шаблоном и центральным вектором (например, евклидово расстояние) в качестве независимой переменной функции и используют радиальную базисную функцию (например, функцию Гаусса) в качестве функции активации. Чем дальше вход нейрона от центра радиальной базисной функции, тем ниже активация нейрона (функция Гаусса).

2.3 Математическая основа нейронной сети RBF

Нейронная сеть RBF – это трехуровневая нейронная сеть, которая включает в себя входной слой, скрытый слой и выходной слой. Преобразование из

входного пространства в пространство скрытого слоя является нелинейным, а преобразование из пространства скрытого слоя в пространство выходного слоя является линейным. Его топологическая структурная схема представлена на рисунке 3.

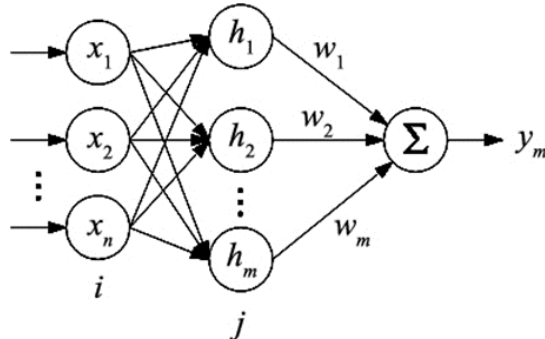


Рисунок 3 – Схема топологической структуры нейронной сети RBF

По сути, нейронная сеть RBF представляет собой нелинейную систему с множеством входов и множеством выходов. Посредством непрерывного адаптивного обучения настройка отношения вход-выход нелинейной системы завершена.

На схеме топологии нейронной сети RBF, $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ — управляющий вектор ввода, $H = [h_1, h_2, \dots, h_m]^T$ — радиальный базисный вектор сети, где h - функция Гаусса: $h_j = \exp\left(-\frac{|x-c_j|^2}{2b_j^2}\right)$ (1)

$C_j = [c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jn}]$ — центральный вектор первого узла сети, b_j - базовый коэффициент ширины первого узла сети.

Весовой вектор нейронной сети RBF равен $W = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]^T$, тогда функция вывода нейронной сети RBF будет: $y_{m(t)} = \sum_{j=1}^m \omega_j h_j$ (2)

Нейронная сеть RBF способна аппроксимировать любую нелинейную систему, может обрабатывать большие объемы данных параллельно, а также обладает высокой способностью к обучению и адаптируемостью, что обеспечивает стабильность системы управления нейронной сетью, поэтому она широко используется в управлении отслеживанием траектории. средних манипуляторов.

2.4 Теорема НЛ

В нелинейной системе моделируется следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) + g(x)d \\ z = h(x) \end{cases} \quad (3)$$

В формуле d - внешнее вмешательство, z - оценочный индекс системы.

Для сигнала, $d(t)$ определим его норму L_2 так:

$$|d(t)| = \left\{ \int_0^\infty d^T(t)d(t)dt \right\}^{\frac{1}{2}},$$

Эта норма может измерять энергию $d(t)$.

Для оценки способности системы подавлять помехи определяются следующие показатели эффективности:

$$J = \sup_{|d| \neq 0} \frac{|z|^2}{|d|^2} \quad (4)$$

В формуле J – это коэффициент усиления L_2 системы, который представляет надежность системы; чем меньше J , тем выше надежность системы.

Теорема НЛ (Hamilton-Jacobi Inequality) может быть описана как: для положительного числа γ , если существует положительно определенная и дифференцируемая функция $L(x) \geq 0$ и для любого $d(t)$:

$$\dot{L} \leq \frac{1}{2} \{ \gamma^2 |d|^2 - |z|^2 \} \quad (5)$$

2.5 контроль крутящего момента

Для манипулятора целью управления является управление положением конца манипулятора, что является так называемой проблемой управления положением. Положение, которого должен достичь конец манипулятора, называется желаемым положением или желаемой траекторией. Искомая

траектория может быть задана в пространстве задач манипулятора или преобразована в желаемую траекторию в совместном пространстве манипулятора. манипулятор через инверсную кинематику. Желаемая траектория обычно принимает две формы: одна представляет собой фиксированное положение, а другая представляет собой траекторию, которая непрерывно меняется во времени.

Для роботов-манипуляторов с ограниченным движением задача управления намного сложнее. Поскольку манипулятор находится в контакте с окружающей средой, необходимо контролировать не только положение конца манипулятора, но и силу действия конца манипулятора на окружающую среду. То есть не только конец робота должен достичь желаемого значения, но и сила, действующая на окружающую среду, должна достичь желаемого значения.

Если динамическая модель полностью точна, крутящий момент можно рассчитать напрямую, используя упреждающее управление. Но на самом деле в модели всегда присутствуют различные ошибки, поэтому упреждающее управление, как правило, всегда используется в сочетании с управлением с обратной связью.

Упреждающее управление относится к управлению без обратной связи, а управление с обратной связью относится к управлению с обратной связью с обратной связью. Упреждающая регулировка регулируется в соответствии с эффектом возмущения. Упреждающее управление измеряет возмущение и непосредственно вводит его в устройство регулировки, что более своевременно, чем управление с обратной связью, для преодоления возмущения.

Упреждающее управление может преодолеть только измеренное возмущение, управление с обратной связью может преодолеть все возмущения. В системе управления с прямой связью, если величина помехи не может быть измерена, прямая связь не может ее преодолеть. В системе управления с обратной связью любое возмущение, если оно влияет на управляемую переменную, может быть в определенной степени преодолено.

Упреждающее управление теоретически может не иметь разницы, но управление с обратной связью должно иметь разницу. Регулировка с обратной связью позволяет системе достичь динамической стабильности, так что регулируемые параметры могут динамически изменяться вблизи заданного значения, но регулируемые параметры не могут стабилизироваться на заданном значении. Упреждающее регулирование теоретически может обеспечить регулирование без разницы.

управление с прямой и обратной связью (feedforward and feedback control)

Упреждающее управление — это своего рода предиктивное управление, которое предсказывает рабочее состояние системы на следующем этапе, понимая текущее рабочее состояние системы. Недостаток прямой связи заключается в том, что при ее использовании необходимо иметь точное представление о системе, и только понимание модели системы может дать целевую компенсацию. Но в реальном инжиниринге не все объекты можно точно смоделировать, и многие объекты управления работают, и их структура меняется одновременно. Таким образом, одна только прямая связь не может обеспечить хорошее качество управления. В это время необходимо добавить обратную связь. Характеристикой обратной связи является определение управляющего входа в соответствии с отклонением. Независимо от модели объекта, пока есть отклонение, оно будет исправлено в соответствии с отклонением, что может эффективно устранить установившуюся ошибку.

Совокупность преимуществ интегрированного управления с прямой и обратной связью может повысить скорость отклика системы. С точки зрения упреждающего управления за счет добавления управления с обратной связью снижаются требования к точности модели упреждающего управления, с точки зрения упреждающего управления роль упреждающего управления позволяет вносить грубые коррективы во времени в основные возмущения, что значительно снижает нагрузку на контроль обратной связи.

Преимущества системы управления с упреждающей обратной связью:

1. С точки зрения упреждающего управления, благодаря добавлению управления с обратной связью, требования к точности модели упреждающего управления снижаются, и возмущение неизмеренного сигнала помехи может быть скорректировано.

2. С точки зрения управления с обратной связью, функция упреждающего управления может выполнять грубую корректировку основного возмущения во времени, что значительно снижает нагрузку на управление с обратной связью.

3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

3.1 Конструкция контроллера

Объект управления представляет собой n -шарнирный манипулятор, и его динамическое уравнение имеет следующий вид:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + \Delta(q, \dot{q}) + d = T \quad (6)$$

$q, \dot{q}, \ddot{q} \in R^n$ – угловое смещение, угловая скорость и угловое ускорение суставов манипулятора,

$T \in R^n$ – вектор крутящего момента в шарнире, прикладываемый приводом,

$M(q) \in R^{n \times n}$ – матрица инерции,

$C(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$ – Центробежная сила и матрица сил Ge,

$G(q) \in R^n$ – гравитационный член,

$\Delta(q, \dot{q})$ – член неопределенности динамической модели,

d – внешнее возмущение.

Идеальная траектория, полученная при планировании траектории, равна q_d , что определяет ошибку слежения.

Для $e = q - q_d$ расчетный закон управления с прогнозированием выглядит следующим образом:

$$T = u + M(q)\ddot{q}_d + C(q, \dot{q})\dot{q}_d + G(q) \quad (7)$$

В формуле u — закон управления обратной связью. Система замкнутого кольца может быть введена в режим (7) ввода (6) :

$$M(q)\ddot{e} + C(q, \dot{q})\dot{e} + \Delta(q, \dot{q}) + d = u \quad (8)$$

Пусть $\Delta f(q, \dot{q}) = \Delta(q, \dot{q}) + d$,

$$\text{Получить } M(q)\ddot{e} + C(q, \dot{q})\dot{e} + \Delta f = u \quad (9)$$

Используя нейронную сеть RBF для аппроксимации Δf , ее выражение выглядит следующим образом:

$$\Delta f = W_f^* \sigma_f + \varepsilon_f \quad (10)$$

где W_f^* – вес идеальной нейронной сети, σ_f – гауссова функция RBF, а ε_f –

ошибка аппроксимации.

$$M(q)\ddot{e} + C(q, \dot{q})\dot{e} + W_f^* \sigma_f + \varepsilon_f = u \quad (11)$$

Переменная состояния x :

$$\begin{cases} x_1 = e \\ x_2 = \dot{e} + \alpha e \end{cases} \quad (12)$$

Константа α больше нуля.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 - \alpha x_1 \\ M\dot{x}_2 = -Cx_2 + \omega - W_f^* \sigma_f - \varepsilon_f + u \end{cases} \quad (13)$$

Где:

$$\omega = M\alpha\dot{e} + C\alpha e$$

Используя неравенство НЛ, формула (13) записывается как формула (3) и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) + g(x)d \\ z = h(x) \end{cases} \quad (14)$$

где

$$f(x) = \begin{bmatrix} x_2 - \alpha x_1 \\ \frac{1}{M}(-Cx_2 + \omega - W_f^* \sigma_f + u) \end{bmatrix}, \quad g(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{M} \end{bmatrix}, \quad d = \varepsilon_f$$

Поскольку $d = \varepsilon_f$, ошибка аппроксимации нейронной сети RBF ε_f рассматривается как внешнее возмущение d , а оценочный индекс определяется как $z = x_2 = \dot{e} + \alpha e$, то коэффициент усиления L2 равен:

$$J = \sup_{|d| \neq 0} \frac{|z|^2}{|\varepsilon_f|^2}$$

Для системы формулы (13) адаптивный закон проектирования имеет вид:

$$\dot{\widehat{W}}_f = -\eta x_2 \sigma_f^T \quad (15)$$

Закон управления обратной связью проекта:

$$u = -\omega - \frac{1}{2\gamma^2} x_2 + W_f^* \sigma_f - \frac{1}{2} x_2 \quad (16)$$

\widehat{W}_f – веса нейронной сети RBF, σ_f – результат функции Гаусса нейронной сети RBF.

Формула замкнутой системы (6) удовлетворяет условию $J \leq \gamma$.

3.2 Анализ стабильности

Функция Ляпунова определяется как:

$$L = \frac{1}{2} x_2^T M x_2 + \frac{1}{2\eta} \text{tr}(\tilde{W}_f^T \tilde{W}_f) \quad (17)$$

в формуле: $\tilde{W}_f = \hat{W}_f - W_f^*$

Комбинируя формулу (13) и формулу (16), можно получить:

$$\dot{L} = -x_2^T \varepsilon_f - \frac{1}{2\gamma^2} x_2^T x_2 + x_2^T \tilde{W}_f \sigma_f - \frac{1}{2} x_2^T x_2 + \frac{1}{\eta} \text{tr}(\dot{\tilde{W}}_f^T \tilde{W}_f) \quad (18)$$

$$\text{Определение: } H = \dot{L} - \frac{1}{2} \gamma^2 \|\varepsilon_f\|^2 + \frac{1}{2} \|z\|^2 \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \text{Получить: } H = & -x_2^T \varepsilon_f - \frac{1}{2\gamma^2} x_2^T x_2 + x_2^T \tilde{W}_f \sigma_f - \frac{1}{2} x_2^T x_2 + \frac{1}{\eta} \text{tr}(\dot{\tilde{W}}_f^T \tilde{W}_f) - \\ & \frac{1}{2} \gamma^2 \|\varepsilon_f\|^2 + \frac{1}{2} \|z\|^2 \end{aligned} \quad (20)$$

потому что:

$$-x_2^T \varepsilon_f - \frac{1}{2\gamma^2} x_2^T x_2 - \frac{1}{2} \gamma^2 \|\varepsilon_f\|^2 = -\frac{1}{2} \left\| \frac{1}{\gamma} x_2 + \gamma \varepsilon_f \right\|^2 \leq 0$$

$$x_2^T \tilde{W}_f \sigma_f + \frac{1}{\eta} \text{tr}(\dot{\tilde{W}}_f^T \tilde{W}_f) = 0$$

$$-\frac{1}{2} x_2^T x_2 + \frac{1}{2} \|z\|^2 = 0 \quad (21)$$

Получить: $H \leq 0$, Согласно уравнению 19, получить:

$$\dot{L} \leq \frac{1}{2} \gamma^2 \|\varepsilon_f\|^2 - \frac{1}{2} \|z\|^2 \quad (22)$$

По теореме НЛ (Hamilton-Jacobi Inequality) доступно: $J \leq \gamma$, Таким образом, $\|z\|$ удовлетворяет индексу производительности, а e и \dot{e} удовлетворяют требованиям сходимости.

4 МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ РУКИ

4.1 Схема моделирования в MATLAB Simulink

4.11 Работающая программа MATLAB

Пусть идеальное отношение траекторий сустава 1 и сустава 2 равно $q_1 = \sin t$, $q_2 = \sin t$

Внешние возмущения сустава 1 и сустава 2 составляют $D_1 = \text{sgn}(q_1)$ и $D_2 = \text{sgn}(q_2)$ соответственно.

```
1 — clear
2 — clc
3 — close all
4
5 — %% Начальное значение количества состояний
6 — q0 = [0;0];
7 — dq0 = [0;0];
8
9 — %% Начальное значение нейронной сети
10 — W0 = rand(7, 2);
11
```

Рисунок 4 – Программа запуска исходного значения

```
16 — figure
17 — subplot(211)
18 — plot(Tout, Qout(:, 1))
19 — hold on
20 — plot(Tout, Qdout(:, 1), 'r-')
21 — legend(' выход', ' ожидание')
22 — xlabel(' время/s')
23 — ylabel(' Соединение 1 угол q_1 /rad')
24
25 — subplot(212)
26 — plot(Tout, Qout(:, 1)-Qdout(:, 1))
27 — xlabel(' время/s')
28 — ylabel(' Соединение 1 ошибка угла /rad')
29
```

Рисунок 5 – Соединение 1 угол

```

31 – figure
32 – subplot(211)
33 – plot(Tout, dQout(:, 1))
34 – hold on
35 – plot(Tout, dQdout(:, 1), 'r-.')
36 – legend(' выход', ' ожидание')
37 – xlabel(' время/s')
38 – ylabel(' Соединение 1 угловая скорость q_1 (rad/s)')
39
40 – subplot(212)
41 – plot(Tout, dQout(:, 1)-dQdout(:, 1))
42 – xlabel(' время/s')
43 – ylabel(' Ошибка угловой скорости шарнира 1 (rad/s)')
..

```

Рисунок 6 – Соединение 1 угловая скорости

```

47 – figure
48 – subplot(211)
49 – plot(Tout, Qout(:, 2))
50 – hold on
51 – plot(Tout, Qdout(:, 2), 'r-.')
52 – legend(' выход', ' ожидание')
53 – xlabel(' время/s')
54 – ylabel(' Соединение 2 угол q_2 /rad')
55
56 – subplot(212)
57 – plot(Tout, Qout(:, 2)-Qdout(:, 2))
58 – xlabel(' время/s')
59 – ylabel(' Соединение 2 ошибка угла 2 /rad')

```

Рисунок 7 – Соединение 2 угол

```

figure
subplot(211)
plot(Tout, dQout(:, 2))
hold on
plot(Tout, dQdout(:, 2), 'r-.')
legend(' выход', ' ожидание')
xlabel(' время/s')
ylabel(' Соединение 2 угловая скорость q_2 (rad/s)')

subplot(212)
plot(Tout, dQout(:, 2)-dQdout(:, 2))
xlabel(' время/s')
ylabel(' Ошибка угловой скорости шарнира 2 (rad/s)')

```

Рисунок 8 – Соединение 2 угловая скорости

```

%% Сравнение результатов наблюдения интерференции сустава 1
figure
plot(Tout, Dout(:, 1))
hold on
plot(Tout, Dgout(:, 1), 'r-')
legend(' действительность', ' оценка RBF')
xlabel(' время/s')
ylabel(' Соединение 1 возмущающий крутящий момент/Nm')

%% Сравнение результатов наблюдения интерференции сустава 2
figure
plot(Tout, Dout(:, 2))
hold on
plot(Tout, Dgout(:, 2), 'r-')
legend(' действительность', ' оценка RBF')
xlabel(' время/s')
ylabel(' Соединение 2 возмущающий крутящий момент/Nm')

```

Рисунок 9 – Сравнение результатов наблюдения интерференции сустава 1 и 2

```

%% Соединение 1 контрольный крутящий момент
figure
plot(Tout, Tauout(:, 1))
xlabel(' время/s')
ylabel(' управляющий крутящий момент \tau/Nm')

%% Соединение 2 контрольный крутящий момент
figure
plot(Tout, Tauout(:, 2))
xlabel(' время/s')
ylabel(' управляющий крутящий момент \tau/Nm')

```

Рисунок 10 – Соединение 2 контрольный крутящий момент

4.12 Блок-схема управления моделированием

Настоящая работа основана на имитационном эксперименте двухшарнирного манипулятора с программным обеспечением MatLab. Динамическая модель манипулятора показана в формуле (6). Созданная блок-схема управления симуляцией в Simulink представлена на рисунке 2.

Время моделирования 30 секунд

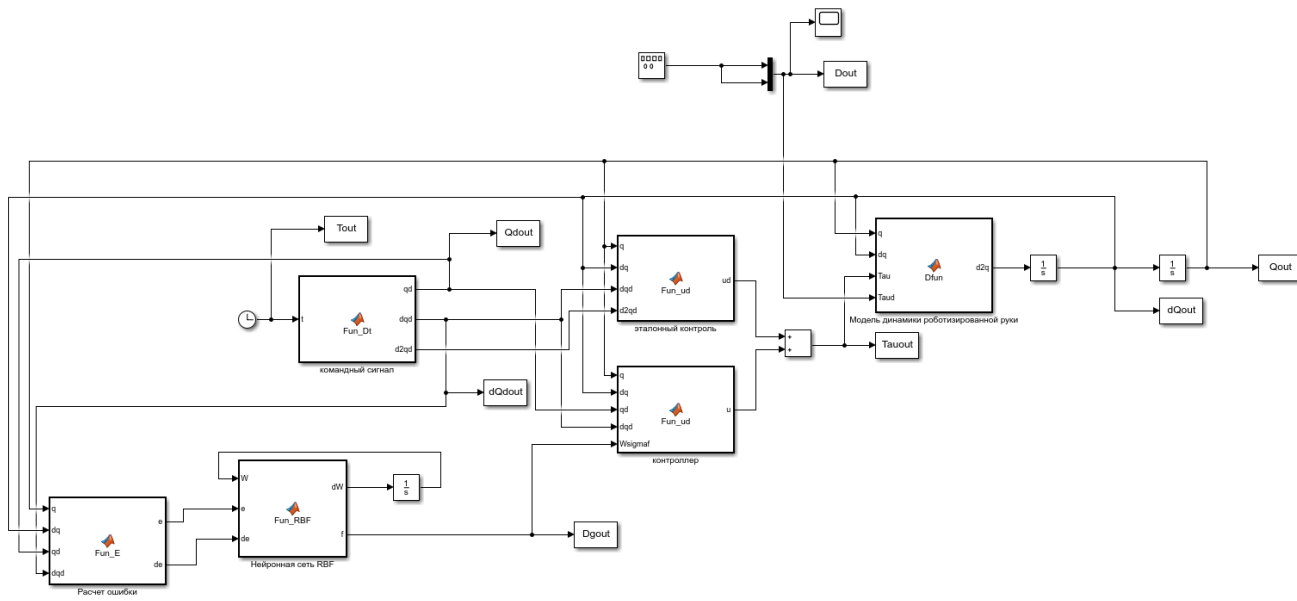


Рисунок 11 – Блок-схема моделирования Simulink управления манипулятором.

Fun_dt – это модуль генерации командного сигнала этой модели, который используется для генерации командного положения, скорости и ускорения двух суставов.

Fun_ud – является модулем вычисления эталонной управляющей переменной этой модели, который используется для вычисления управляющей переменной с прямой связью, генерируемой законом движения командного сигнала.

Fun_ud2 – это модуль расчета управляющей величины с обратной связью этой модели, который используется для расчета управляющей величины с обратной связью.

Dfun – динамическая модель этой модели манипулятора, описывающая динамическое дифференциальное уравнение манипулятора

Fun_e – это модуль расчета ошибки движения этой модели, который используется для расчета ошибки положения и ошибки скорости между сигналом команды и фактическим выходным сигналом.

Модуль Fun_RBF представляет собой модель оценки нейронной сети RBF этой модели, которая используется для оценки внешнего возмущения в режиме

онлайн и вывода оценочного значения в контроллер обратной связи для устранения в режиме онлайн.

Контроллер нейронной сети RBF, разработанный в работе, представляет собой модуль с входами 8 и выходами 4. 8 входов - это идеальная траектория суставов 1 и 2, фактическая траектория суставов 1 и 2, фактическая скорость суставов 1 и 2, и сустав 1. Заданное внешнее возмущение, 2, 4 выхода – крутящий момент шарниров 1 и 2 и оценка внешнего возмущения суставов 1 и 2.

Выберем параметры управления $\eta = 200$, $\alpha = 20$, $\gamma = 0.05$, параметр функции Гаусса $C_j = [-1.5, -1.0, -0.5, 0, 0.5, 1.0, 1.5]$, $b_j = 10$. Время моделирования 30 секунд.

4.2 Результаты моделирования

Результаты моделирования представлены на рисунках 12 и 13.

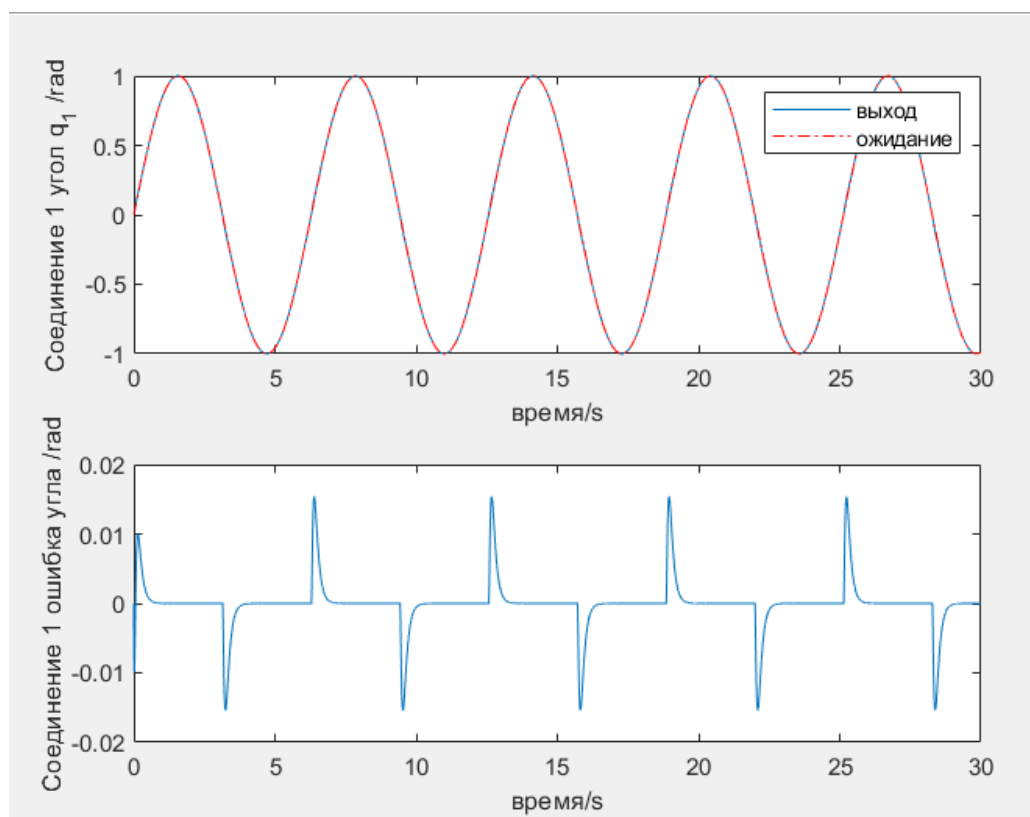


Рисунок 12 – Отслеживание траектории и ошибка сочленения 1

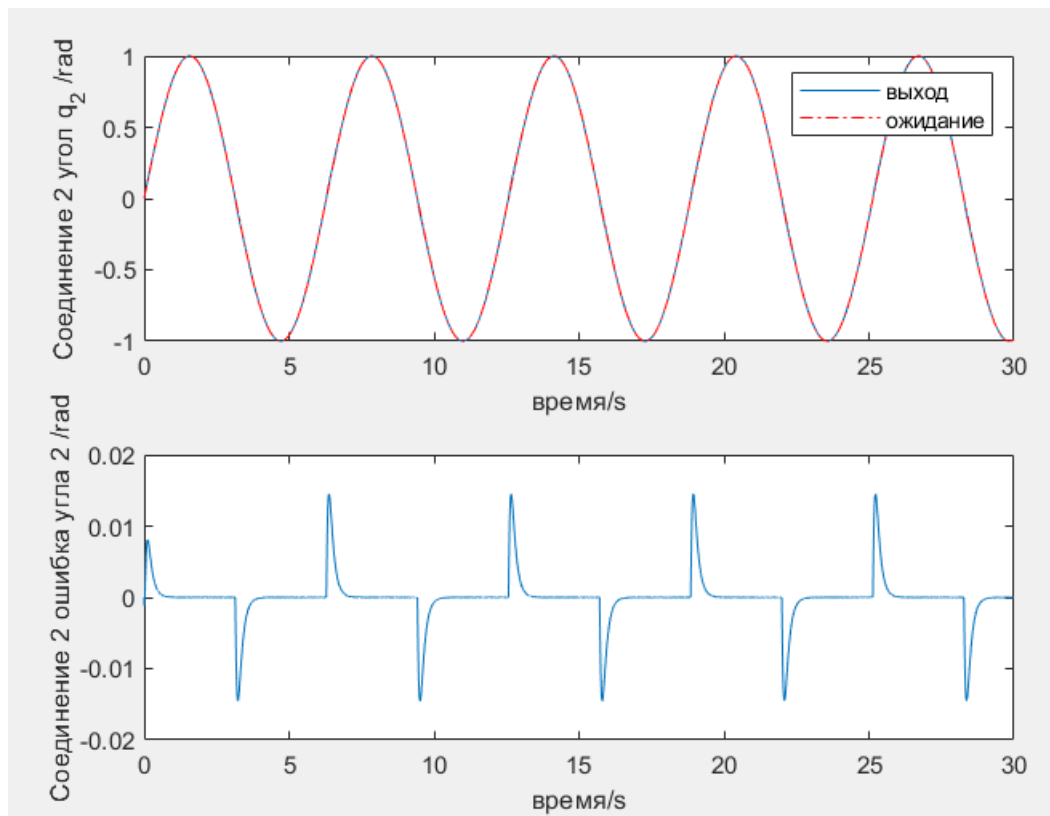


Рисунок 13 – Отслеживание траектории и ошибка сочленения 2

Максимальная ошибка траектории соединения 1 составляет 0.0153 рад, а максимальная ошибка траектории соединения 2 составляет 0.0145 рад. Соединение 1 и соединение 2 имеют тенденцию быть стабильными через 0.902 с и 1.025 с соответственно после запуска.

Из рисунков 12 и 13 видно, что небольшая ошибка смещения появится, когда сустав манипулятора только что запущен, а затем он постепенно стабилизируется.

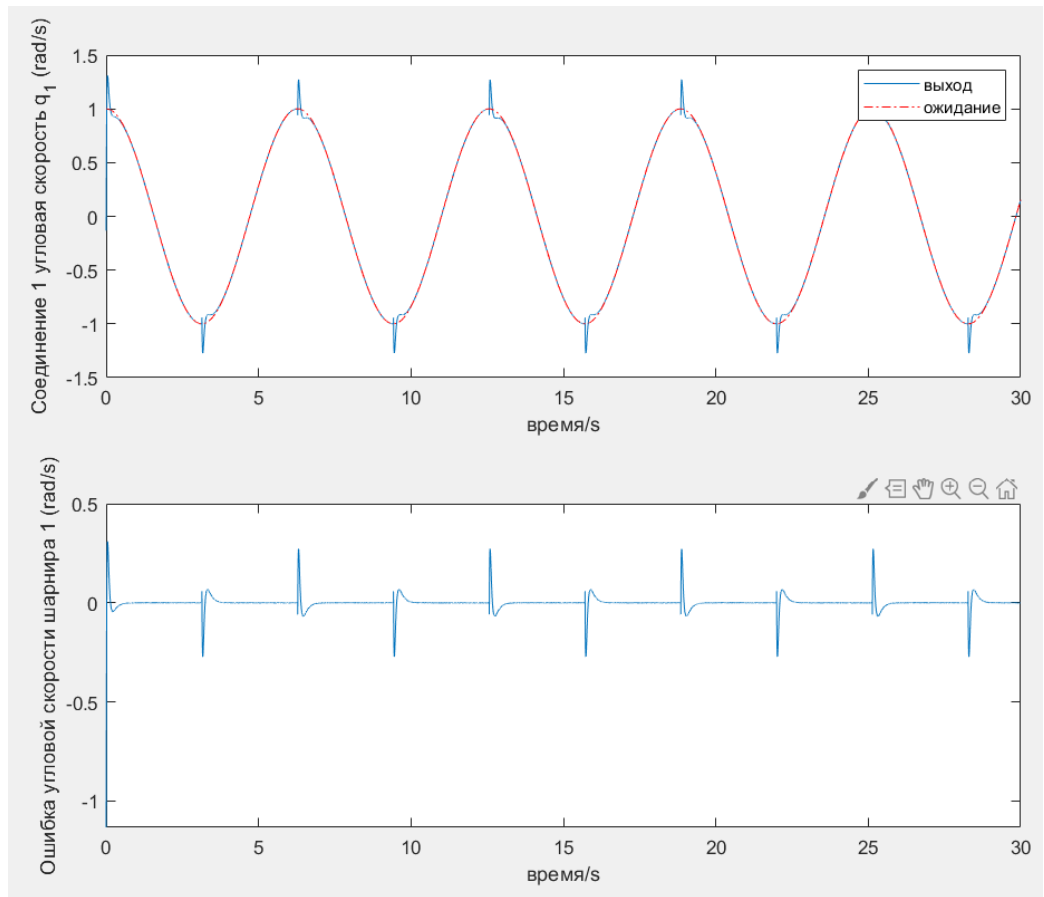


Рисунок 14 – Угловая скорость и ошибка угловой скорости шарнира 1

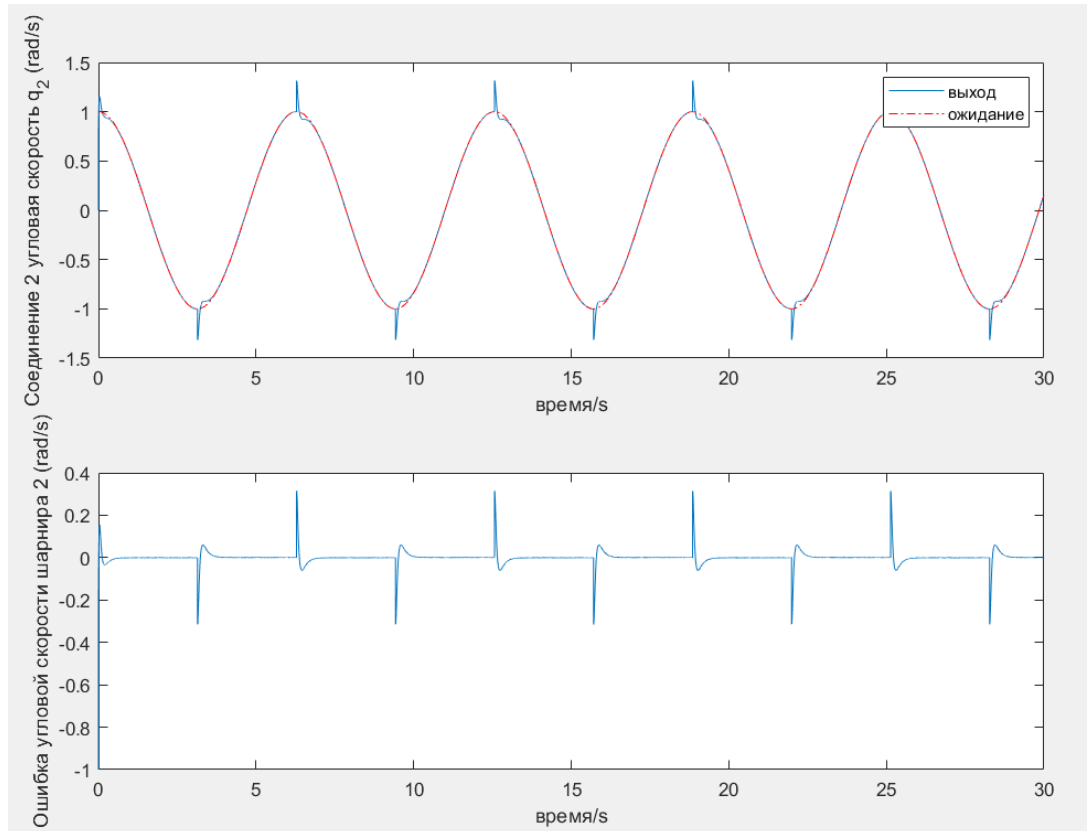


Рисунок 15 – Угловая скорость и ошибка угловой скорости шарнира 2

Из рисунков 14 и 15 видно, что большая ошибка угловой скорости появляется, когда соединение манипулятора только начинается, а затем постепенно стремится к стабилизации. В частности, максимальная ошибка угловой скорости соединения 1 составляет 0.3096 рад/с, а максимальная ошибка угловой скорости соединения 2 составляет 0.314 рад/с. Соединение 1 и соединение 2, как правило, стабилизируются через 0.8526 с и 0.9125 с соответственно после запуска. В крайней точке временной кривой угловой скорости сочленения ошибка угловой скорости сочленения будет иметь пиковое значение, меньшее, чем пиковое значение при запуске.

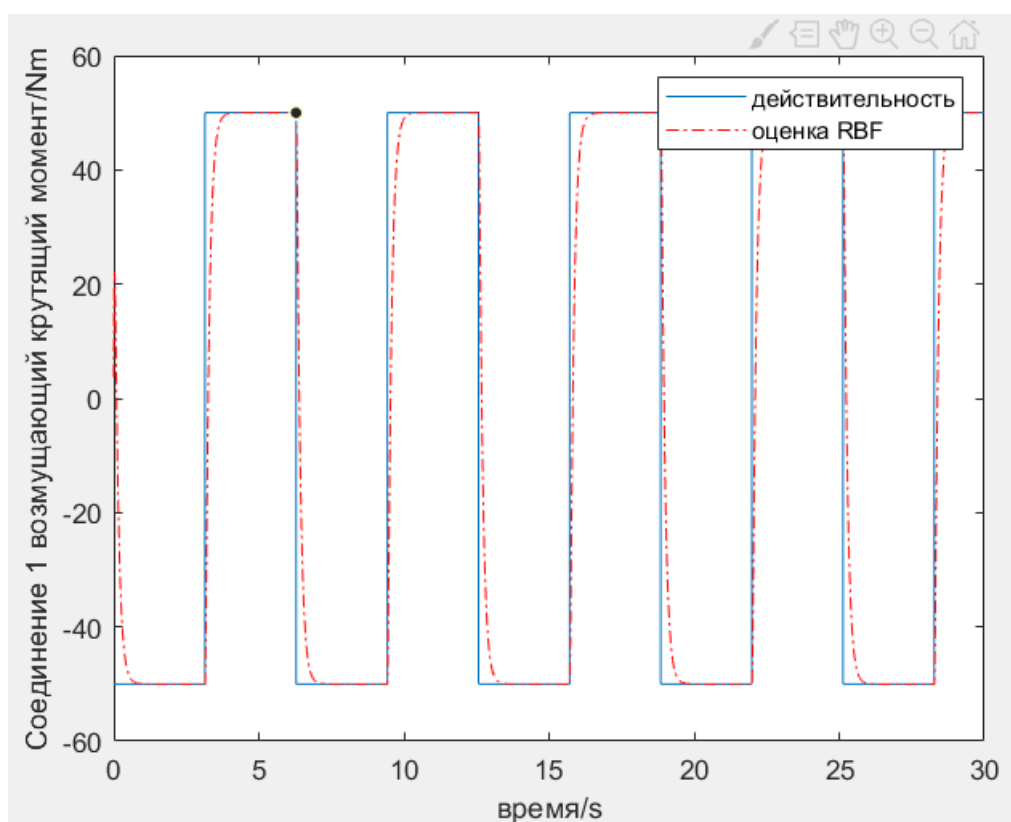


Рисунок 16 – Сравнение результатов наблюдения интерференции сустава 1

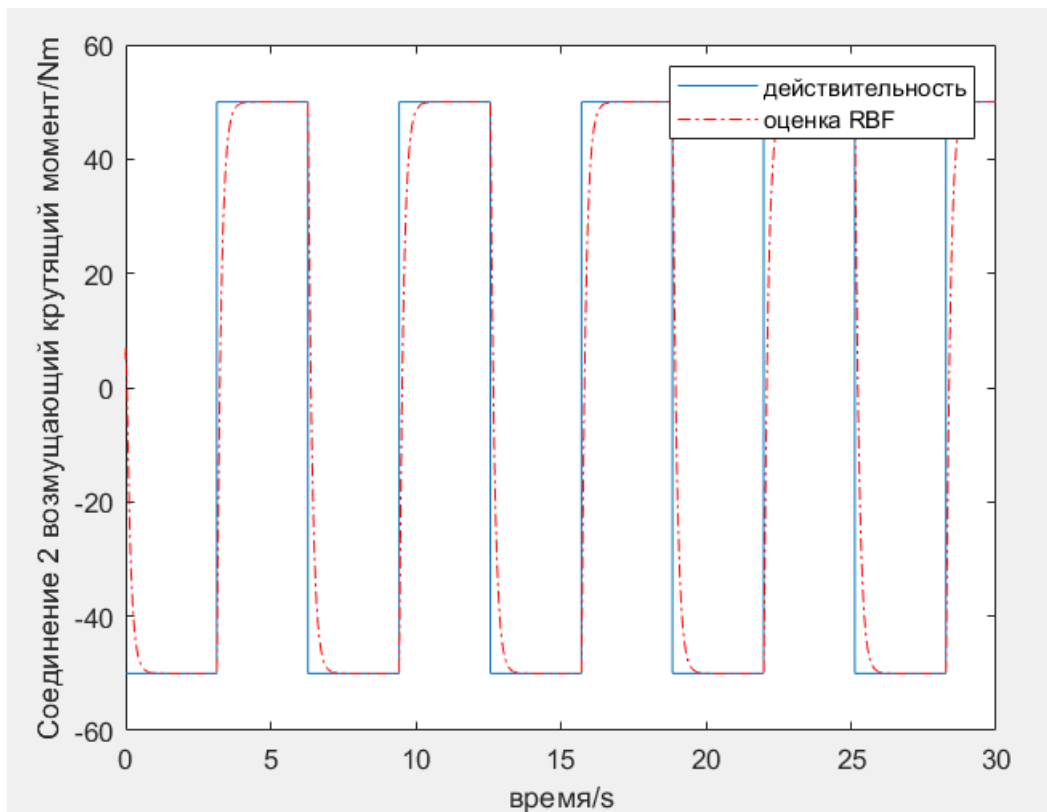


Рисунок 17 — Сравнение результатов наблюдения интерференции сустава 2

Из рисунка 6 видно, что выходное значение нейронной сети RBF колеблется в момент ее запуска, а затем может быстро приблизиться к внешнему возмущению.

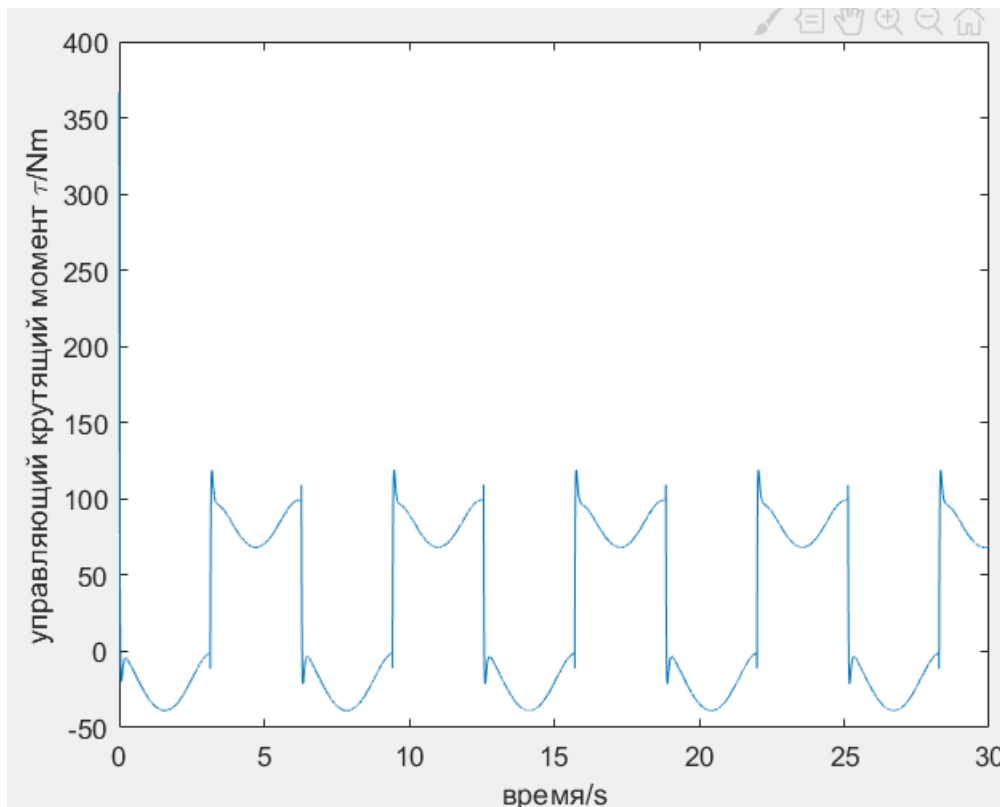


Рисунок 17 – соединение 1 контрольный крутящий момент

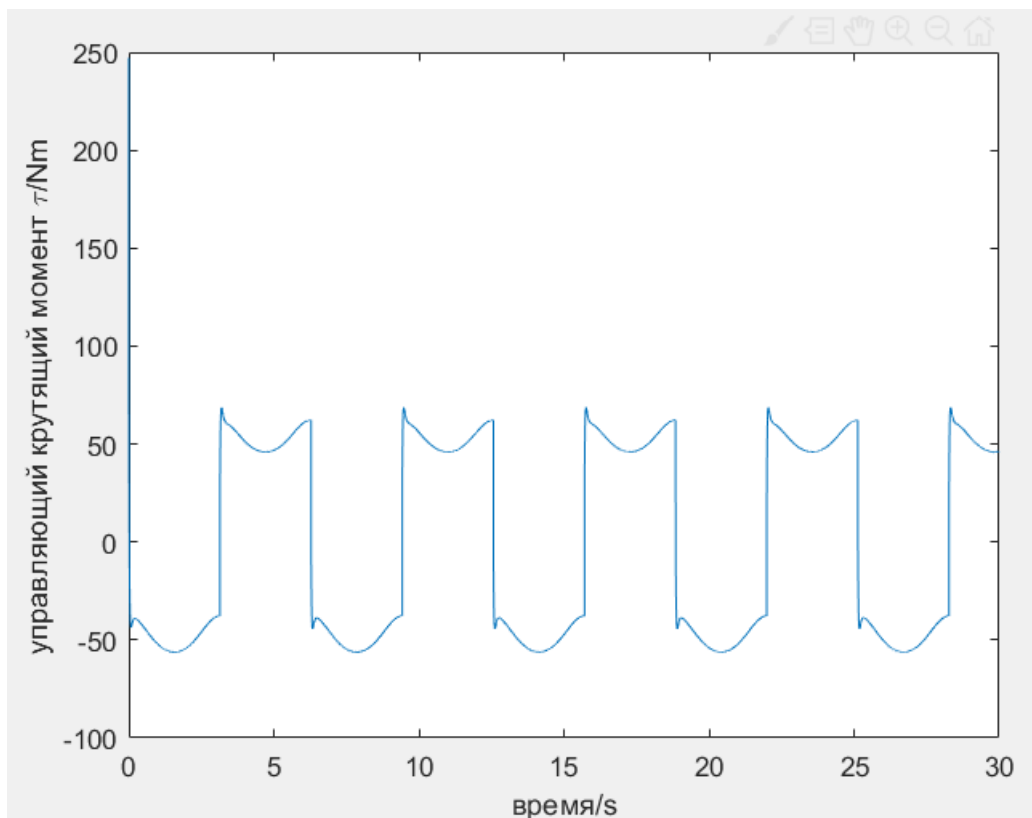


Рисунок 18 – соединение 2 контрольный крутящий момент

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целью разработки является нейросетевая система управления манипулятором RBF в среде MATLAB. Потенциальными пользователями системы управления роботом-манипулятором могут быть предприятия промышленного производства (механического), высокотехнологичных областей (например, аэрокосмической, атомной энергетики и др.), лаборатории. Сегментация рынка по сфере использования и размеру компании-клиента. Карта сегментации показана в таблице 5.1

		Сфера использования		
		Промышленные предприятия	Область высоких технологий	Лаборатории и
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Сравнительная таблица конкурирующих технических решений приведена в табл. 5.2.

Критерии оценки	Вес Критерии	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк1	Кф	Кк1

Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности Труда	0,09	5	4	0,45	0,36
2. Удобство в эксплуатации	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Надежность	0,03	5	5	0,15	0,15
4. Уровень шума	0,07	5	5	0,35	0,35
5. Безопасность	0,07	5	3	0,35	0,21
6. Точность измерений	0,05	5	5	0,25	0,25
7. Быстродействие	0,02	5	4	0,25	0,2
8. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07	5	5	0,35	0,35
Экономические критерии оценки эффективности					
Цена	0,2	5	3	1	0,6
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	0,4	0,4
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	0,5	0,5
Уровень проникновения на рынок	0,07	5	5	0,35	0,35
Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	0,25	0,25
Доступность	0,1	5	5	0,5	0,5
Итого	1	48	43	4,6	4,15

В оценочной карте для сравнения конкурентных технических решений (разработок). Исходя из расчётов, сделанных выше, можно сделать вывод, что разработка имеет высокий уровень конкурентоспособности.

Позиции конкурентов особенно уязвимы в степени проникновения на рынок. Кроме того, уязвимостью является предполагаемый срок эксплуатации разработки. Конкурентное преимущество устройства в функциональной мощности, сроке выхода на рынок и конкурентоспособности.

5.3 SWOT-анализ

На первом этапе SWOT анализа в таблице 4.2 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 5.3 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
-----------------	------------------------------

<p>С1. Довольно быстрое распространения системы охлаждения;</p> <p>С2. Использование систем охлаждения с фазовым переходом несет в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>С3. Данная система не занимают большое пространство;</p> <p>С4. Отсутствие затрат на электроэнергию.</p>	<p>В1. Нетрудоемкая адаптация научного исследования под иностранные языки;</p> <p>В2. Большой эффект экономии финансовых ресурсов;</p> <p>В3. Публикации о проекте в тематических журналах;</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Малая изученность процессов плавления и солидификации энтальпийным методом;</p> <p>Сл2. Значительные временные затраты;</p> <p>Сл3. Большая затрата электроэнергии на проведение НИ</p>	<p>У1. Отсутствие спроса на данный метод;</p> <p>У2. Подорожание материалов с фазовыми переходами;</p> <p>У3. Развитая конкуренция технологий производства..</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в табл. 5.4.

Таблица 5.4 - Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны				Слабые стороны			
		С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	-	+	+	0	0	-

	B2	+	+	+	+	-	+	+
	B3	+	+	-	+	+	+	-

Таблица 5.5 - Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

		Сильные стороны				Слабые стороны			
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	0	-	-	+	+	+	-
	У2	-	+	-	+	-	-	+	+
	У3	-	-	-	-	+	+	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей: B2C1C2C3; B3Сл1; B3Сл2Сл3; У1С1; У2Сл3.

Самой большой угрозой для проекта является подорожание материалов с фазовыми переходами.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 5.6.

Таблица 5.6 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>C1. Довольно быстрое распространения системы охлаждения;</p> <p>C2. Использование систем охлаждения с фазовым переходом несет в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>C3. Данная система не занимают большое пространство;</p> <p>C4. Отсутствие затрат на электроэнергию.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Малая изученность процессов плавления и солидификации энтальпийным методом;</p> <p>Сл2. Значительные временные затраты;</p> <p>Сл3. Большая затрата электроэнергии на проведение НИ</p>
--	---	--

<p>Возможности:</p> <p>В1. Нетрудоемкая адаптация научного исследования под иностранные языки;</p> <p>В2. Большой эффект экономии финансовых ресурсов;</p> <p>В3. Публикации о проекте в тематических журналах;</p>	<p>Использование нового вида охлаждения влечет за собой резкий экономический положительный эффект и дальнейшее развитие систем охлаждения.</p>	<p>Недостаточная изученность процессов фазового перехода энтальпийным может привести к неправильной математической модели</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на данный метод;</p> <p>У2. Подорожание материалов с фазовыми переходами;</p> <p>У3. Развитая конкуренция технологий</p> <p>Производства финансирования.</p>	<p>Отсутствие спроса влияет на актуальность использования инфракрасных излучателей</p>	<p>Самой большой угрозой для проекта является подорожание материалов с фазовым переходом</p>

5.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию

Структура работ в рамках научного исследования

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ	Руководитель Бакалавр

Теоретические и	5	Создание математической модели	Руководитель Бакалавр
экспериментальные исследования	6	Оформление отчета по НИР	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Бакалавр

5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Таблица 5.8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.	
		Исп.1	Исп.2		Исп.1	Исп.2
Материал с фазовым переходом, Галлий	Гр.	50	50	2000	2000	2000
Итого, руб.					2000	2000

Общие материальные затраты составили 4000 руб.

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в таблице

4.11.

Таблица 5.9 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнитель и по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.		Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн.		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.	
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	1	5.1		5.1	5.1
2	Составление и утверждение плана работ	НР	1	1	3.1		3.1	3.1
3	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	2	2		4	4
4	Выбор направления исследования	Ст, НР	2	2	5.1		10.2	10.2
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	2	3	5.1		10.2	15.3
6	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	12	13	2		24	26
7	Создание математической модели	Ст, НР	7	7	2		14	14
8	Проведение серии экспериментов	Ст	11	14	5.1		56.1	71.4
9	Оценка эффективности полученных результатов	Ст	4	5	2		8	10
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5	5	2		10	10
11	Написание	Ст	1	2	2		2	4

	раздела «Социальная ответственность »						
1 2	Оформление ВКР	Ст	5	6	2	10	12
Итого						156.7	185.1

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дп} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5–дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6–дневная неделя;

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

Таблица 5.10 – 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 - невыходы по болезни	48 0	72 0
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot (1 + K_{ПР} + K_d) \cdot K_p$$

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

$K_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от $Z_{тс}$);

$K_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$K_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{с1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

Тарифный коэффициент для НР = 1,866; для С = 1,407.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 4.13

Таблица 5.11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб.	$K_{пр}$	$K_{д}$	$K_{р}$	$Z_{м, руб.}$	$Z_{дн, руб.}$	Тр, раб. дн.		$Z_{осн, руб.}$	
									Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Научный руководитель	Старший преподаватель	1,866	45000	0,3	0,4	1,3	99450	5197	13	17	67561	88349
Студент	Инженер	1,407	15000	0,3	0,3	1,3	29250	1872	52	60	97344	112320
Итого											164905	200669

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}$$

Тогда дополнительная заработная плата руководителя при исполнении 1:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 67561 = 10134,15 \text{руб}$$

Тогда дополнительная заработная плата студента при исполнении 1:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 97344 = 10134,15 \text{руб}$$

Тогда дополнительная заработная плата руководителя при исполнении 1:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 88349 = 10134,15 \text{руб}$$

Тогда дополнительная заработная плата студента при исполнении 1:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 112320 = 10134,15 \text{руб}$$

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен

размер страховых взносов равный 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.14.

Таблица 5.12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.		Дополнительная заработная плата, руб.	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Руководитель проекта	67561	88349	10134.15	13252.35
Студент	97344	112320	14601.6	16848
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0.302			
Итого				
Исполнение 1	57271.5			
Исполнение 2	69692.3			

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы составили при исполнении 1:

$$Z_{\text{накл}} = (2000 + 52000 + 164905 + 24735.75 + 57271.5) \cdot 0.16 = 48145.96 \text{ руб}$$

Накладные расходы составили при исполнении 2:

$$Z_{\text{накл}} = (2000 + 52000 + 200669 + 30100.35 + 69692,3) \cdot 0.16 = 56713,864 \text{ руб}$$

Таблица 5.13 –Смета затрат на проект

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НТИ	2000	2000	Пункт 4.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	52000	52000	Пункт 4.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	164905	200669	Пункт 4.5.3

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	24735,75	30100,35	Пункт 4.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	57271,5	69692,3	Пункт 4.5.5
6. Затраты на научные и производственные командировки		-	Отсутствуют
7. Контрагентские расходы		-	Отсутствуют
8. Накладные расходы	48145,96	56713,864	Пункт 4.5.6
9. Бюджет затрат НТИ	300912,25	354461,65	

5.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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

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

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

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.1}} = \frac{300912,25}{354461,65} = 0,84$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}} = \frac{354461,65}{354461,65} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 5.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент	Исп.1	Исп.2
		т параметра		
1. Способствует росту производительности труда пользователя		0,2	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)		0,25	5	4
3. Энергосбережение		0,15	5	3
4. Надежность		0,2	5	4
5. Материалоемкость		0,2	4	3
Итого		1	4,8	3,45

$$I_{p-исп1} = 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,8$$

$$I_{p-исп2} = 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,45$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}} = \frac{4.8}{0.84} = 5.7$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}}} = \frac{3.45}{1} = 3.45$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}}$$

Таблица 5.15 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,84	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	3,45
3	Интегральный показатель эффективности	5,7	3,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,6

Итак, сравнивая полученные значения НТИ, можно сделать вывод о том, что реализация НТИ в первом исполнении эффективнее в финансовом плане на 53549,4 рублей и в ресурсном плане, как по временному ресурсу на 8 дней для студента и на 1 день для научного руководителя, так и по использованным материалам.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Социальная ответственность – это ответственность, которую все ученые должны взять на себя перед обществом. Минимизировать и предотвратить возможные негативные последствия использования техники и обеспечить безопасные условия труда для работников, основываясь на научных достижениях.

В ходе этой работы был разработан двухшарнирный робот-манипулятор на основе нейросетевого управления RBF. Работа выполняется в офисе. Вся работа выполняется с помощью компьютера.

Эта часть в основном включает в себя оценку рабочего места и производственной среды, анализ опасных и вредных факторов труда и меры защиты, установленные для этих опасных факторов.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности Согласно ФЗ – 197 [8] каждый работник имеет право на:

Анализ условий труда на рабочем месте

Основным объектом в производственной среде является рабочее место, а вообще говоря, рабочее место – это пространство, где может находиться человек во время производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [9]

Вывод: Следует учитывать модульные размеры рабочей поверхности стола ПК, на которые следует рассчитывать конструктивные размеры: ширина 800 и 1000 мм, глубина 800 и 1000 мм, его нерегулируемая высота равна 725 мм. Верстак должен иметь высоту не менее 600 мм, ширину не менее 500 мм, пространство для ног по колено.

- не менее 450 мм и на уровне выдвинутой ноги - не менее 650 мм.

Рабочие стулья должны быть спроектированы так, чтобы обеспечивать:

- ширина и глубина поверхности сиденья должны быть не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- Высота поверхности сиденья регулируется в диапазоне 400-550 мм с шагом до 15 градусов вперед и 5 градусов назад;
- высота опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширина не менее 380 мм, радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм;
- Наклон спинки в вертикальной плоскости в пределах ± 30 ;
- Расстояние между спинкой и передним краем сиденья регулируется в пределах 260-400 мм;
- Регулировка высоты подлокотников над сиденьем находится в диапазоне 230 ± 30 мм, а внутреннее расстояние между подлокотниками находится в диапазоне 350-500 мм.

6.2.1 электромагнитное излучение Для того чтобы избежать негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным нормам, описанным в РД 153-34.0-03.298-2001 [11].

Таблица 6.2 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2.5 В/м
Плотность магнитного поля	В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл

Напряженность электростатического поля	25 кВ/м
--	---------

6.2.2 Превышение уровня шума

Гудящий звук холодильника на работе и звук транспортных средств, едущих по дороге за окном, оказывают на меня большое влияние. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 [12], допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте приведены в таблице 6.3.

Помещения и рабочие места	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах среднегеометрическими частотами, Гц					Уровень звука, дБА
	63	12	26	10	4000	
Помещения управления, рабочие комнаты	79	70	68	55	50	60

Для защиты от воздействия шума на организм человека возможно применение архитектурно-планировочных методов, которые включают в себя: рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов, рациональное размещение рабочих мест, создание шумозащитных зон в различных местах нахождения человека согласно ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.

6.2.3 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (монотонность труда, перенапряжение анализаторов)

При разработке программы необходимо долго смотреть в компьютер и записывать данные, который вызывает зрительную и умственную нагрузку на организм человека. При умственной нагрузке необходима длительность

сосредоточенного внимания, выраженная ответственность, плотность сигналов и сообщений в единицу времени по МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности». Оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность ухудшаются функции внимания (объем, концентрация, переключение), памяти (кратковременной и долговременной), восприятия (появляется большое число ошибок). При зрительной нагрузке необходима высокая координация сенсорных и моторных элементов зрительной системы. Вызывает головную боль, ухудшение зрения, астенопию – патологического состояния, связанного с быстрым переутомлением глаз. Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических 54 упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, использовать методику психической саморегуляции.

6.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Согласно СНиП 23-05-95* в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

6.3 Экологическая безопасность

На данном рабочем месте выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на литосферу в результате образования отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники.

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 58 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов .

В ходе деятельности организация также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Природная чрезвычайная ситуация

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлечет за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. На случай замерзания труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

6.4.2 Анализ пожарной безопасности

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно СП 12.13130.2009 , помещение лаборатории категории помещения группы Г, возможный класс пожара Г. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть

по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Выводы по разделу

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами психофизиологического воздействия на организм человека. Для минимизации влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» .

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ,

соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности» .

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током .

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) .

Помещение лаборатории категории помещения группы Г, возможный класс пожара Г. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива .

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории

Заключение

Выбранная в представленной работе нейронная сеть с радиально-базисными функциями (RBF-сеть) обладает высокой степенью аппроксимации нелинейных функций и может отображать любые сложные нелинейные отношения. При этом правила обучения довольно просты, что является удобным решением при проведении компьютерной реализации. Система управления на основе указанной нейронной сети обладает высокой надежностью, способностью к нелинейному отображению и высокому самообучению.

В данной работе разработано нейросетевое управление на основе RBF-сети, которое с учетом неопределенности динамического уравнения манипулятора и наличия внешних возмущений и изменения нагрузки в реальных условиях работы отслеживает заданную траекторию и вырабатывает управление за траекторией двухзвенного манипулятор.

Список использованных источников литературы

1. Mingyue Cui, Zhaojing Wu. Trajectory tracking of flexible joint manipulators actuated by DC-motors under random disturbances [J] . Journal of the Franklin Institute, 2019, 56 (16). P. 47 – 59.
2. Dechao Chen, Shuai Li. A recurrent neural network applied to optimal motion control of mobile robots with physical constraints [J] . Applied Soft Computing Journal. 2019. 85 p. 105880.
3. Hamed Jabbari Asl, Jungwon Yoon . Robust trajectory tracking control of cable-driven parallel robots [J]. Nonlinear Dynamics, 2017(4). pp. 2769 – 2784 .
4. Van Cuong P, Nan W Y . Adaptive trajectory tracking neural network control with robust compensator for robot manipulators [J] . Neural Computing and Applications, 2016, 27(2). P. 525 – 536 .
5. Zhang W, Qi N, Yin H. PD Control of Robot Manipulators with Uncertainties Based on Neural Network [C] / International Conference on Intelligent Computation Technology & Automation IEEE2010
6. J Yuh. An Adaptive and Learning Control System for Underwater Robots D]. IFAC Proceedings Volumes, 1996, 29(1). pp. 145 – 150.
7. Imaida T, Yokokohji Y, Doi T, et al. Ground-space bilateral teleportation of ETS-VII robot arm by direct bilateral coupling under 7s time delay condition [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2004, 20(3). pp. 499 – 511.
8. ГОСТ 12.2.032-78. Охрана труда для операторов и пользователей ПК.
9. ГОСТ 12.2.049–80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования;
10. ГОСТ 22269–76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
11. ГОСТ 21889–76. Система «человек-машина». Кресло-человека-оператора. Общие эргономические требования.

12. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах

13. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда.

14. Зенкевич С. Л., Назарова А. В., Лисицын Д. М. Моделирование движения мобильного робота по сложному маршруту // Материалы Науч. Школы конференции «Мобильные роботы 2000», 2000 г. – С. 56-66.

15. Кобрин А. И., Мартыненко Ю. Г. Неголономная динамика мобильных роботов и ее моделирование в реальном времени // Докл. Науч. Школы-конференции «Мобильные роботы и мехатронные системы», 1999 г. – С. 123-129.

Приложения

Программа каждого модуля на блок-схеме управления SIMULINK:

```
командный сигнал* x эталонный контроль x контроллер x Моде.
function [qd, dqd, d2qd] = Fun_Dt(t)
% [qd, dqd, d2qd] = Fun_Dt(t) команда движения

theta1 = sin(t);
theta2 = sin(t);

Dtheta1 = cos(t);
Dtheta2 = cos(t);

D2theta1 = -sin(t);
D2theta2 = -sin(t);

qd = [theta1; theta2];
dqd = [Dtheta1; Dtheta2];
d2qd = [D2theta1; D2theta2];
```

КОМАНДНЫЙ СИГНАЛ

```
командный сигнал* x эталонный контроль* x контроллер x Модель динамики роботизированной руки x Расчет ошибки x
function ud = Fun_ud(q, dq, dqd, d2qd)
% ud = Fun_ud(q, dq, dd, dqd) Дифференциальные уравнения динамики манипулятора

%% присвоение переменной
q1 = q(1);
q2 = q(2);
dq1 = dq(1);
dq2 = dq(2);

%% постоянный параметр
m1 = 1.66;
m2 = 0.42;
m3 = 0.63;
m4 = 3.75;
m5 = 1.25;
g = 9.8; % Гравитационное ускорение

%% матрица инструкций
M = [m1+m2+2*m3*cos(q2) m2+m3*cos(q2)
      m2+m3*cos(q2) m2];
C = [-m3*dq2*sin(q2) -m3*(dq1+dq2)*sin(q2)
      m3*dq1*sin(q2) 0];
G = [m4*g*cos(q1)+m5*g*cos(q1+q2)
      m5*g*cos(q1+q2)];

ud = M*d2qd + C*dqd + G;
```

эталонный контроль


```

командный сигнал* x эталонный контроль* x контроллер* x Модель динамики роб
function u = Fun_ud(q, dq, qd, dqd, Wsigmaf)
% u = Fun_ud(q, dq, dqd, Wsigmaf) Параметры контроллера

%% присвоение переменной
q1 = q(1);
q2 = q(2);
dq1 = dq(1);
dq2 = dq(2);

%% постоянный параметр
m1 = 1.66;
m2 = 0.42;
m3 = 0.63;
m4 = 3.75;
m5 = 1.25;
g = 9.8; % Гравитационное ускорение

%% Параметры контроллера
gamma = 0.05;
alpha = 20;

%% кинетическая матрица
M = [m1+m2+2*m3*cos(q2)    m2+m3*cos(q2)
      m2+m3*cos(q2)        m2           ];
C = [ -m3*dq2*sin(q2)     -m3*(dq1+dq2)*sin(q2)
      m3*dq1*sin(q2)      0           ];
G = [ m4*g*cos(q1)+m5*g*cos(q1+q2)
      m5*g*cos(q1+q2)     ];

%% ошибка
e = q - qd;
de = dq - dqd;
x2 = de + alpha*e;

w = M*alpha*de + C*alpha*e;

-u = -w - (1/(2*gamma^2))*x2 - 0.5*x2 + Wsigmaf;

```

контроллер

```

командный сигнал* x эталонный контроль* x контроллер* x Модель динамики роботизированной руки* x Расчет ошибки
function d2q = Dfun(q, dq, Tau, Taud)
% d2q = Dfun(q, dq, tau) Д и ф ф е р е н ц и а л ь н ы е у р а в н е н и я д и н а м и к и м а н и п у л ь т о р а

%% п р и с в о е н и е п е р е м е н н о й
q1 = q(1);
q2 = q(2);
dq1 = dq(1);
dq2 = dq(2);

%% п о с т о я н н ы й п а р а м е т р
m1 = 1.66;
m2 = 0.42;
m3 = 0.63;
m4 = 3.75;
m5 = 1.25;
g = 9.8; % Г р а в и т а ц и о н н о е у с к о р е н и е

%% к и н е т и ч е с к а я м а т р и ц а
M = [m1+m2+2*m3*cos(q2) m2+m3*cos(q2)
      m2+m3*cos(q2) m2 ];
C = [ -m3*dq2*sin(q2) -m3*(dq1+dq2)*sin(q2)
      m3*dq1*sin(q2) 0 ];
G = [ m4*g*cos(q1)+m5*g*cos(q1+q2)
      m5*g*cos(q1+q2) ];

d2q = M \ ( Tau - Taud - C*dq - G );

```

Модель динамики роботизированной руки

```

эталонный контроль* x Расчет ошибки* x контроллер* x
function [e, de] = Fun_E(q, dq, qd, dqd)
% [e, de] = Fun_E(q, dq, qd, dqd) Р а с ч е т о ш и б к и

%% п р и с в о е н и е п е р е м е н н о й
q1 = q(1);
q2 = q(2);
dq1 = dq(1);
dq2 = dq(2);

alpha = 20;

%% о ш и б к а
e = q - qd;
de = dq - dqd;

```

Расчет ошибки

```

Расчет ошибки* x Нейронная сеть RBF x контроллер* x Модель динам
function [dW, f] = Fun_RBF(W, e, de)

C = zeros(2, 7);
C(1, :) = [-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5];
C(2, :) = [-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 ];
b = 10;
eita = 200;

alpha = 20;
x2 = de + alpha*e;

h1 = zeros(7, 1);
e1 = e(1);
for ii = 1:7
    h1(ii, 1) = exp( -norm(e1-C(:, ii)).^2 ./ (2*b^2) ); % 7*1
end
dW1 = -eita*x2(1)*h1;

h2 = zeros(7, 1);
e2 = e(2);
for ii = 1:7
    h2(ii, 1) = exp( -norm(e2-C(:, ii)).^2 ./ (2*b^2) ); % 7*1
end
dW2 = -eita*x2(2)*h2;

dW = [dW1 dW2];

W1 = W(:, 1);
W2 = W(:, 2);
f = [W1'*h1 W2'*h2]';

```

Нейронная сеть RBF