

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

Машанов Мансур Алишерович

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка системы автоматического управления рукой робота

5В070200 - Автоматизация и управление

Алматы 2019

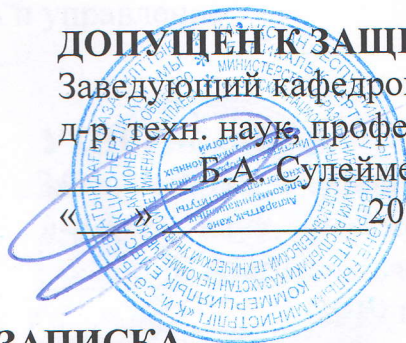
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
д-р. техн. наук, профессор
Б.А. Сулейменов
« » 2019 г.

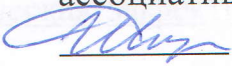


ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка системы автоматического управления рукой робота»

по специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил
Машанов М.А.

Научный руководитель
канд.техн.наук,
ассоциативный профессор
 О. И. Ширяева
(подпись)

«15» 01 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

5B070200 - Автоматизация и управление

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ
д-р. техн. наук, профессор

Б.А. Сулейменов

« » 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Машанову М.А.

Тема «Разработка системы автоматического управления рукой робота».

Утвержден Ученым советом института № 442 /от "14" "11" 2019 г.

Срок сдачи законченного проекта: "17" "05" 2019 г.

Исходные данные дипломному проекту: Юревич Е.И. Основы робототехники, техническая литература, данные преддипломной практики.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломной работы: а) описание функционирования САУ руки робота; б) исследование и синтез САУ руки робота; в) вопросы безопасности и охраны труда; г) экономическая эффективность разработки САУ руки робота.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): технологическая схема автоматизации руки робота; структурная схема; электрическая схема внешних соединений; математические модели.

Рекомендуемая основная литература: техническая литература по робототехнике и математическому моделированию роботов из 14 наименований.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

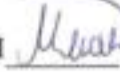
Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	1 марта 2019 г.	
Специальный раздел	20 марта 2019 г.	
Безопасность и охрана труда	30 апреля 2019 г.	
Экономическая часть	30 апреля 2019 г.	

Подписи

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

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	к.т.н., О.И. Ширяева	28.04.2019	
Специальный раздел	к.т.н., О.И. Ширяева	28.04.2019	
Экономическая часть	к.т.н., О.И. Ширяева	23.04.2019	
Безопасность и охрана труда	к.т.н., О.И. Ширяева	23.04.2019	
Нормоконтролер	к.т.н., Н.С.Сарсенбаев	05.05.2019	

Научный руководитель  Ширяева О.И.
(подпись)

Задание принял к исполнению бакалавр, обучающийся  Машанов М.А.
(подпись)

Дата "15" 01 2019 г.

Raport podobieństwa



Uczelnia:	Satbayev University
Tytuł:	Разработка системы автоматического управления рукой робота
Autor:	Машанов Мансур
Promotor:	Ольга Ширяева
Data Raportu Podobieństwa:	2019-04-29 10:42:50
Współczynnik podobieństwa 1: ?	2,1%
Współczynnik podobieństwa 2: ?	0,0%
Długość frazy dla Współczynnika Podobieństwa 2: ?	25
Liczba słów:	4 457
Liczba znaków:	35 481
Adresy stron pominiętych przy sprawdzaniu:	
Liczba wykonanych sprawdzeń pracy dyplomowej: ?	1

! Uwaga, w niektórych wyrazach w tym dokumencie pojawiają się litery z różnych alfabetów. Wystąpienia tych liter zostały wyróżnione. Może to świadczyć o próbie ukrycia niedopuszczalnych zapożyczeń. System zamienił te litery na ich odpowiedniki w alfabecie łacińskim a fragmenty, w których występują, zostały poprawnie sprawdzone. Prosimy o dokonanie szczególnie wnikliwej analizy tych fragmentów raportu.
Liczba wyróżnionych wyrazów 13

 Najdłuższe fragmenty zidentyfikowane jako podobne

Lp.	Tytuł lub adres url źródła (Nazwa bazy)	Liczba Autoridentycznych słów	Usuń zaznaczenia
1	URL_ http://mirznanii.com/a/191088/osnovy-robototekhniki	23	
2	URL_ https://studopedia.org/8-60169.html	12	
3	URL_ http://edu.alnam.ru/book_v_tau1.php?id=53	11	
4	URL_ http://mirznanii.com/a/191088/osnovy-robototekhniki	10	
5	URL_ https://studfiles.net/preview/2807197/page:18/	10	
6	URL_ http://mirznanii.com/a/191088/osnovy-robototekhniki	8	
7	URL_ http://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-nazarbaeva-narodu-kazahstana-31-yanvarya-2017-g	7	
8	URL_ http://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-nazarbaeva-narodu-kazahstana-31-yanvarya-2017-g	6	
9	URL_ https://studfiles.net/preview/6439005/page:7/	5	

<<

Dokumenty, w których odnaleziono fragmenty podobne: z RefBooks

Nie wykryto żadnych zapożyczeń

<<

Dokumenty, w których odnaleziono fragmenty podobne: z macierzystej Bazy danych

Nie wykryto żadnych zapożyczeń

<<

Dokumenty, w których odnaleziono fragmenty podobne: z Baz danych innych, niż macierzysta

Nie wykryto żadnych zapożyczeń

<<

Baza światowego Internetu

Pogrubioną czcionką oznaczono dokumenty zawierające fragmenty podobne, których długość przekroczyła limit współczynnika podobieństwa 2.

Lp.	Adres url źródła	Liczba identycznych słów (liczba fragmentów)	Usuń zaznaczenia
1	URL_ http://mirznanii.com/a/191088/osnovy-robototekhniki	41 (3)	
2	URL_ http://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-nnazarbaeva-narodu-kazahstana-31-yanvary-2017-g	13 (2)	
3	URL_ https://studopedia.org/8-60169.html	12 (1)	
4	URL_ http://edu.alnam.ru/book_v_tau1.php?id=53	11 (1)	
5	URL_ https://studfiles.net/preview/2807197/page:18/	10 (1)	
6	URL_ https://studfiles.net/preview/6439005/page:7/	5 (1)	

Szczegóły Raportu podobieństwa.Na **zielono** oznaczone są fragmenty odnalezione w tekstach z zasobów Internetu.Na **czerwono** oznaczone są fragmenty odnalezione w dokumentach z Bazy danych Uczelni.

Niebieskim kolorem tła oznaczone są fragmenty odnalezione w dokumentach z Bazy Aktów Prawnych.

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился (-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой появления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Машанов М.А.

Название: «Разработка системы автоматического управления рукой робота»

Координатор: Сәрсенбаев Н.С.

Коэффициент подобия 1: 2.1%

Коэффициент подобия 2: 0%

Тревога: 1

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой/начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе не обладают признаками плагиата, но из чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

заимствования добросовестные. к защите допущен

6.05.19

Дата

[Подпись]
Подпись заведующего кафедрой / начальника
структурного подразделения

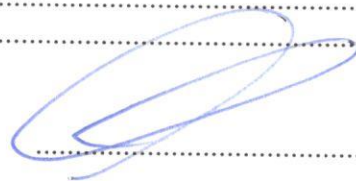
Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

к защите допущен

6.05.19

Дата

Подпись заведующего кафедрой / начальника
структурного подразделения



Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения в отношении работы:

Автор: Машанов М.А.

Название: «Разработка системы автоматического управления рукой робота»

Координатор: Сәрсенбаев Н.С.

Коэффициент подобия 1: 2.1%

Коэффициент подобия 2: 0%

Тревога: 25

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе не обладают признаками плагиата, но из чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. К защите документа.

6.05.19

Дата
руководителя



Подпись Научного

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломный проект

Машанов Мансур

(Ф.И.О. обучающегося)

5B070200-Автоматизация и управление

(шифр и наименование

специальности)

Тема: Автоматизация процесса конвертирования процесса медных штейнов

Тема дипломной работы является актуальной и посвящена разработке системы автоматического управления рукой робота и внедрению данной системы в производственные сферы деятельности.

Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка использованной литературы.

Работа начинается с описания технологического процесса и описания устройства и сферы применения роботов-манипуляторов. Также показан собранный

Вторая глава включает в себя анализ математической модели собранного робота. Показаны результаты моделирования системы, рассчитаны устойчивость, запас устойчивости и оценки качества. Также построен модальный регулятор и следящая система.

Для реализации имитационного моделирования выбран программно-технический комплекс Matlab с применением приложения Simulink.

В разделе посвященном безопасности жизнедеятельности описаны основные опасные факторы эксплуатации роботов, а также предложены способы защиты от них.

В экономическом разделе рассчитана себестоимость робота, а также рассчитана рентабельность предложенной системы.

Дипломная работа Машанова М. А. является самостоятельной, целостной и выполнена в соответствии с требованиями ГАК, заслуживает высокой оценки и может быть допущена к защите.

В процессе работы автор проекта показал себя дисциплинированным и исполнительным.

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки “отлично”, а Машанов М. А. присвоения академической степени “бакалавр” по специальности 5B070200 - “Автоматизация и управления”.

Научный руководитель

Ассоциированный профессор, канд.техн. наук

(должность, уч. степень, звание)

 Ширяева И.О.

(подпись)

« 13 » 05 2019 г.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жобада роботтың қолмен автоматты басқару жүйесін әзірлеу міндеті қарастырылады, ол төрт тараудан тұрады: технологиялық бөлім, есептеу бөлімі, экономика бөлімі, еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау бөлімі.

Бірінші тарауда технологиялық процестің сипаттамасы келтіріледі, автоматтандыру схемалары сипатталған, осы дипломдық жоба шеңберінде жиналған жұмыс прототипі және оның сипаттамасы көрсетілген.

Екінші тарауда жиналған прототип үшін есептелген математикалық модельге талдау жүргізіледі. Тұрақтылық, тұрақтылық қоры, сапаны бағалау анықталды. Күй кеңістігінде математикалық модель жасалды, ол үшін модальды реттеуіш есептелген.

Matlab ортасында роботтың қолмен автоматты басқару жүйесін модельдеу нәтижелері, бастапқы түрдегі кеңістіктегі математикалық модельдерді модельдеу нәтижелері, сондай-ақ модальды реттеуіштер алынды.

Еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау бөлімінде роботтың қолын САУ пайдаланумен байланысты негізгі қауіптер атап өтілді, қызметкерлер үшін де, жабдықтар үшін де қауіпсіздікті қамтамасыз ету тәсілдері сипатталды.

Экономикалық бөлімде роботтың қолын басқару жүйесін әзірлеудің экономикалық негіздемесі, сондай-ақ жұмыс прототипін құрастырудың өзіндік құны, оны бағдарламалау, жөндеу және қызмет көрсету шығындары келтіріледі.

ANNOTATION

This diploma project addresses the challenge of developing an automated robot hand control system. The graduation project consists of four chapters: the technological part, the calculation part, the section on economics, the section on safety and labor protection.

The first chapter provides a description of the process, describes the automation scheme, shows the working prototype assembled within this graduation project and its description.

In the second chapter there is an analysis of the calculated mathematical model for the assembled prototype. Determined sustainability, sustainability stocks, quality assessment. A mathematical model was constructed in the state space for which the modal controller was calculated.

In the Matlab environment, we obtained the results of the simulation of the automatic control system of the robot arm, the results of the simulation of the mathematical model in space in its original form, as well as with the modal controller.

In the section on safety and labor protection, the main dangers associated with the operation of the ACS of the robot's hands were listed, and ways to ensure safety for both employees and equipment were described.

The economic part provides an economic justification for the development of a robot arm control system, as well as the calculation of the cost of assembling a working prototype, its programming, repair and maintenance costs.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассматривается задача разработки системы автоматического управления рукой робота. Дипломный проект состоит из четырех глав: технологическая часть, расчетная часть, раздел по экономике, раздел по безопасности и охране труда.

В первой главе приводится описание технологического процесса, описаны схемы автоматизации, показан собранный в рамках данного дипломного проекта рабочий прототип и его описание.

Во второй главе идет анализ рассчитанной математической модели для собранного прототипа. Определены устойчивость, запасы устойчивости, оценки качества. Была построена математическая модель в пространстве состояний, для которой был рассчитан модальный регулятор.

В среде Matlab были получены результаты моделирования системы автоматического управления рукой робота, результаты моделирования математической модели в пространстве в исходном виде, а также с модальным регулятором.

В разделе о безопасности и охране труда были перечислены основные опасности, связанные с эксплуатацией САУ руки робота, были описаны способы обеспечения безопасности как для сотрудников, так и для оборудования.

В экономической части приводится экономическое обоснование разработки системы управления руки робота, а также расчет себестоимости сборки рабочего прототипа, его программирования, затраты на ремонт и обслуживание.

ВВЕДЕНИЕ		
1	Технологическая часть	11
1.1	Описание системы управления рукой робота	11
1.2	Технология процесса	15
1.3	Конструкторское проектирование робота	18
1.4	Программирование робота	21
2	Расчётная часть. Разработка системы управления рукой робота	23
2.1	Математическая модель и схема системы управления рукой робота	23
2.2	Получение результатов моделирования системы управления рукой робота	27
2.3	Анализ разомкнутой и замкнутой систем управления	31 38
2.4	Синтез системы управления рукой робота	
3	Безопасность жизнедеятельности	46
3.1	Безопасность при использовании роботов	46
3.2	Защита от прикосновения к объектам под напряжением	47
3.3	Обеспечение безопасности производственного оборудования	52
3.4	Пожаробезопасность	52
3.5	Виброзащита	53
3.6	Защита от влияния электромагнитных полей	54
3.7	Вредные излучения и их влияние на здоровье	56
3.8	Нормирование шума	57
3.9	Ионизирующие излучения и защита от их воздействия	58 59-
3.10	Санитарно-гигиенические требования к производственным помещениям	60
3.11	Производственная пыль как фактор производственной вредности	
4	Экономическая часть	61
4.1	Обоснованность эффективности внедрения роботов-манипуляторов в производство	61
4.2	Себестоимость внедрения роботов, способы снижения стоимости	61
4.3	Расчет себестоимости САУ руки-робота на примере собранного прототипа	62
4.4	Затраты на заработную плату разработчиков	63
4.5	Затраты на разработку программного обеспечения	63
4.6	Затраты на электроэнергию	64 65

4.7 Экономический эффект от использования робота
на примере погрузочных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

В послании Президента Республики Казахстан Нурсултана Назарбаева народу Казахстана, в 2017г., отмечено, что в настоящее время необходимо повсеместное внедрение элементов четвертой промышленной революции, таких как автоматизация, роботизация, искусственный интеллект, обмен «большими данными». Это обосновывает актуальность выбранной темы данного проекта.

В настоящее время идет активное развитие области робототехники: регулярно создаются новые модели роботов, производятся уже созданные модели роботов. В первую очередь речь идет и производстве промышленных роботов, способных заметно облегчить и ускорить производственный процесс в любой сфере деятельности. Их применение не ограничивается лишь сферой производства. Военные и охранные компании активно используют роботов с целью охраны периметра, а также для такого опасного для жизни и здоровья человека вида деятельности, как разминирование минных полей. Используются роботы и в космонавтике в качестве исследователей других планетарных систем.

Разработка роботов не ограничивается созданием простого искусственного интеллекта для выполнения простейших команд. Активно развивается создание нейросетей, способных заметно увеличить потенциал роботов в сферах деятельности, где требуется нестандартные решения и творческий подход.

Следует так же сказать, что роботы способны обмениваться информацией друг с другом или же передавать данные на персональный компьютер, снабжая человека необходимой информацией.

Современный уровень развития робототехники позволяет оснастить роботов широким спектром дополнительного оборудования таким, как камеры, системы навигации, датчик движения, света, звука и т.д. Все это позволяет значительно расширить возможности роботов и тем самым расширить область их применения.

Целью данного дипломного проекта является разработка система автоматического управления робота с манипулятором типа «рука робота».

В первой главе будет описан технологический процесс, в котором участвует робот-манипулятор, также будут описаны основные элементы и характеристики роботов. Будет продемонстрирован собранный в рамках данного дипломного проекта робот, описаны его характеристики.

Во второй главе будет произведен анализ математической модели на основе собранного прототипа, будут произведены проверка на устойчивость, поиск предельного коэффициента усиления и вычислены оценки качества математической модели. Ко всему прочему, будут составлены математическая модель в пространстве состояний, для которого будет рассчитан модальный регулятор. Также будет произведено моделирование в

среде MATLAB математической модели, модального регулятора и следящей системы.

В безопасности и охране труда будут описаны все опасные факторы, которые имеют место быть при эксплуатации робота. Сюда входят как риски, связанные с опасностью самих роботов, так и опасности поражения электрическим током, пожара и т.д.

В экономической части будут рассчитаны затраты на создание и эксплуатацию робота с манипулятором, будет рассчитана рентабельность его использования и затраты на разработку программного обеспечения.

В заключении приводятся основные полученные результаты, подводится итог проделанной работы.

1 Технологическая часть

1.1 Описание системы управления рукой робота

К настоящему времени технический прогресс привел к созданию робототехники и появлению роботов, запрограммированных для выполнения поставленных задач.

Особенно сильно это повлияло на производственные отрасли. На любом современном заводе основную работу выполняют именно роботы. Это привело к снижению трудоёмкости, а также стоимости производства.

Роботы способны выполнять монотонную работу, эффективность выполнения которой не снижается в течение продолжительного времени труда. Кроме того, в некоторых случаях робот способен выполнять работу, непосильную человеку, к примеру, перенос тяжелых объектов, таких как многотонные контейнеры или же стальные балки. В дополнении к этому, с задачами исследования Луны и Марса или же разминирования минных полей роботы справляются в разы эффективнее и безопаснее людей в силу большей стойкости к агрессивной среде и повреждениям.

Робот – автоматическое устройство, которое запрограммировано на выполнение заданного действия. Основные элементы робота:

1) Каркас – это основа робота, на котором держится вся конструкция.
2) Питание – любой подходящий источник энергии, нужной для работоспособности. Робот, представленный в данной статье, питается от шести батареек АА 1.2В.

3) Микроконтроллер – электронное устройство управления. Представляет собой менее мощную версию микропроцессора, обладающую памятью, устройствами ввода-вывода, таймерами и тд.

4) Исполнительный механизм, в частности, двигатели, устройства преобразования электрической или же любой другой энергии в механическую.

5) Датчики – чувствительные элементы, передающие на контроллер информацию о внешней среде. Особенно важны для подвижных роботов, позволяя им вовремя идентифицировать и обойти либо же устранить с помощью манипулятора препятствие на пути движения [1].

Основными тремя характеристиками робота являются: степень свободы, грузоподъемность и точность.

1) Степень свободы – это число независимых переменных, которые однозначно отвечают за подвижность робота. Зачастую степень свободы робота зависит от количества моторов. Количество моторов – это число степеней свободы. К примеру, у робота, собранного в рамках данного дипломного проекта, имеется три мотора: один мотор отвечает непосредственно за руку-манипулятор, два других отвечают за задний и передний приводы робота, позволяя ему осуществлять перемещение.

2) Грузоподъемность определяет максимальную массу, которую способен поднять робот.

3) Точность характеризует выполнение заданного действия с наименьшей погрешностью.

Особые требования к точности предоставляют к роботам, осуществляющим чрезвычайно тонкую работу, где небольшая неточность способна серьезно влиять на качество конечного продукта. Допустим, роботу-погрузчику нестрашно поставить переносимый контейнер на пару сантиметров левее от нужной точки. Тогда как робот, отвечающий за установку резисторов на печатную плату, промахнувшись на пару сантиметров, может просто испортить и плату, и резисторы.

Все вышеперечисленное означает, что от робота требуется выполнение целого спектра сложных задач:

1) Задача управления движением. Для нестационарных роботов необходимо обеспечение его подвижность, а также контроль за работой манипуляторов и датчиков.

1) Задача навигации – требуется в режиме реального времени знать текущее положение как робота в пространстве, так и его отдельных элементов (все тех же манипуляторов и датчиков).

2) Задача планирования движений – программирование робота на передвижение по определенному пути, выполнение необходимых маневров для обхода препятствий, а также возможная корректировка пути передвижения и контроль точности движения.

3) Задача стабильного канала связи – необходимо обеспечение непрерывной связи между установленным на роботе компьютером с удаленным терминалом, через который осуществляется управление.

Задача распознавания окружающей среды – обеспечение робота датчиками для распознавания преград на пути движения либо же определения необходимого объекта для взаимодействия [2].

Не стоит также забывать о том, что при реализации роботов, требуется обеспечить им максимально возможное быстродействие для повышения эффективности работы в режиме реального времени. Однако необходимо учитывать, что чрезмерное повышение быстродействия может негативно сказаться как на надежности данной системы, так и на ее стоимости.

В данном дипломном проекте рассматривается задача синтеза системы управления робота-манипулятора с движущейся рукой. Подобные системы управления отличаются повышенными требованиями к точному управлению. Это накладывает особенные требования к синтезу именно автоматической системы управления.

На рисунке 1.1 изображена схема руки робота. Как видно, она состоит из двух частей: устройства управления, которое состоит из программы управления и системы управления манипулятором, и самого манипулятора.

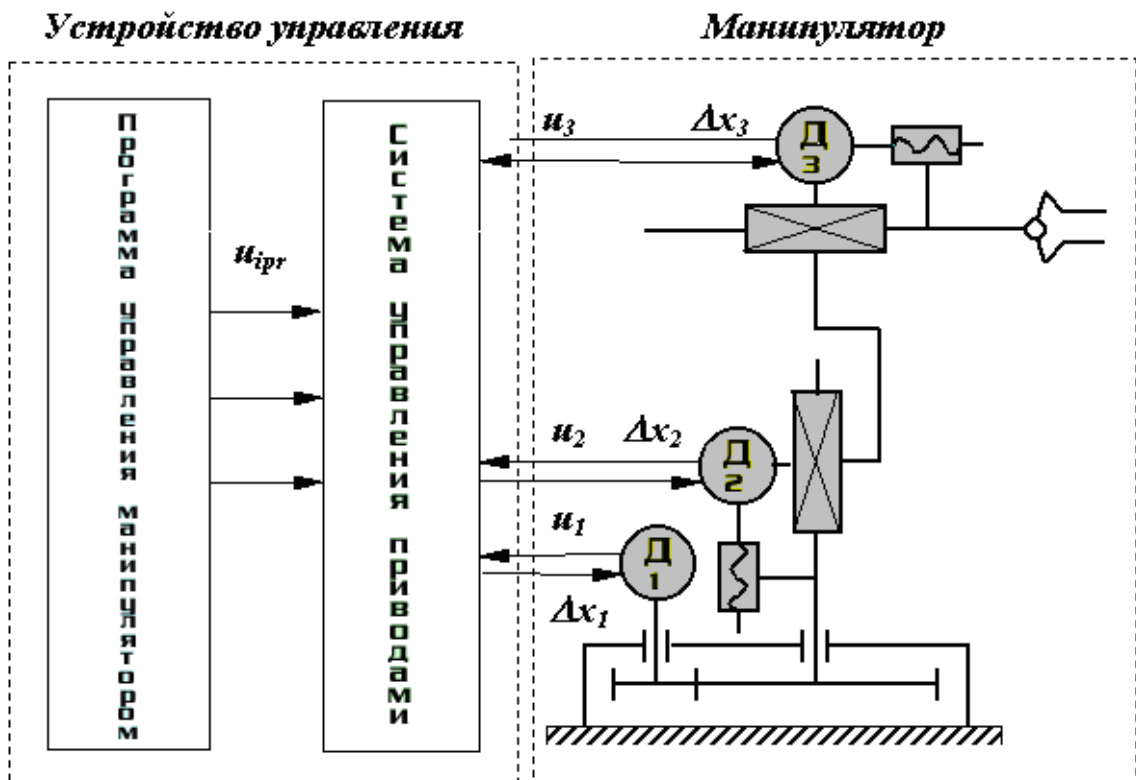


Рисунок 1.1 – Схема руки робота

В общем целом, сама систему управления робота состоит из внешнего оборудования и программного устройства, блока управления, приборов и датчиков внутренней информации. Устройство системы управления показана на рисунке 1.2.

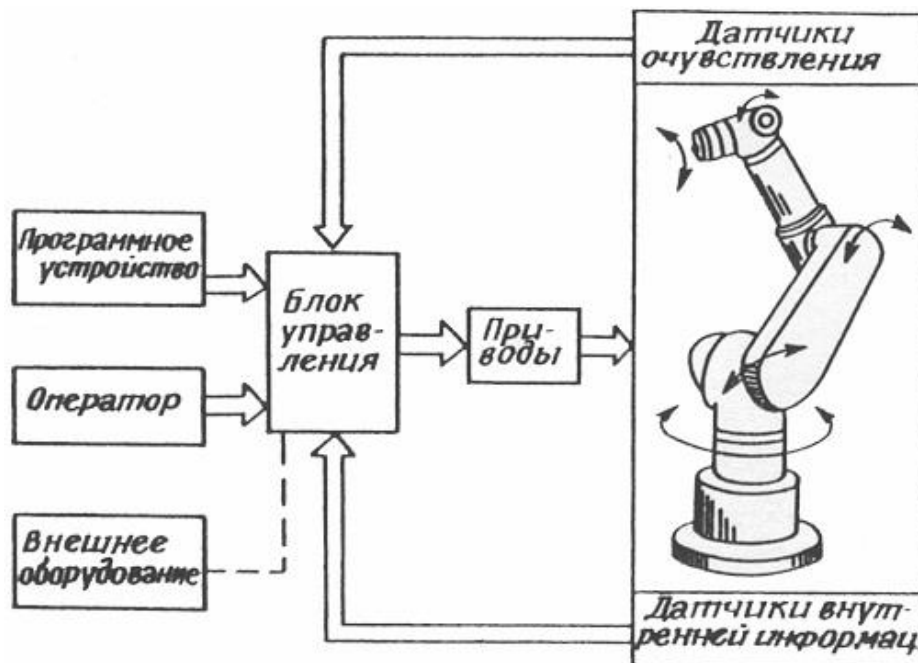


Рисунок 1.2 – Система управления роботом

На рисунке 1.3 показана функциональная схема робота.

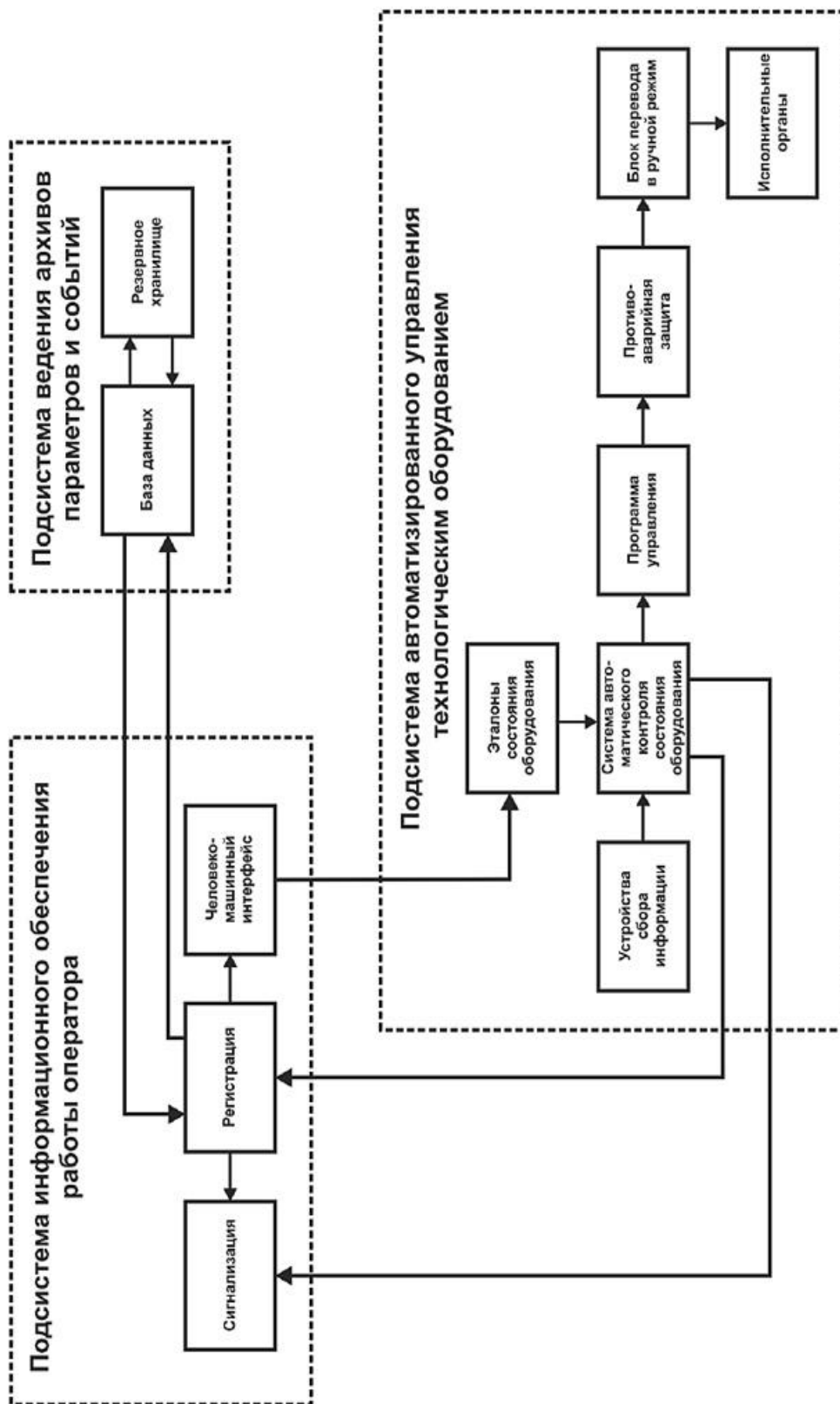


Рисунок 1.3 – Функциональная схема

На рисунке 1.4 показана схема автоматизации руки робота, с установленными приборами по месту, местного пульта и на щите.

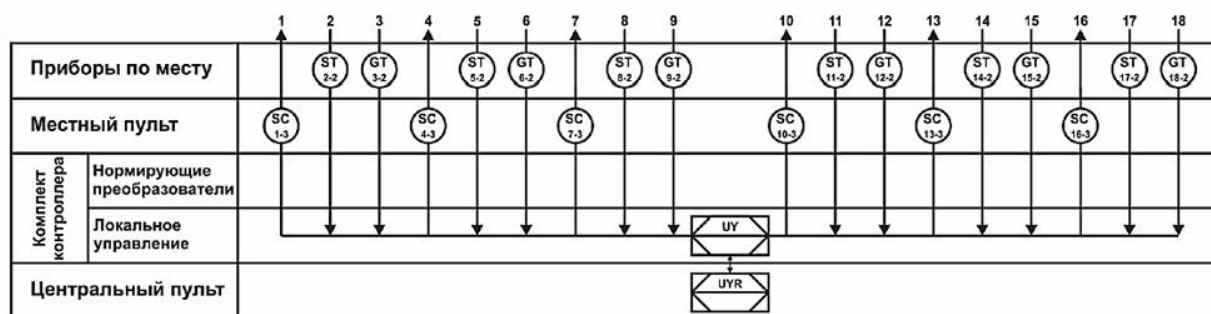
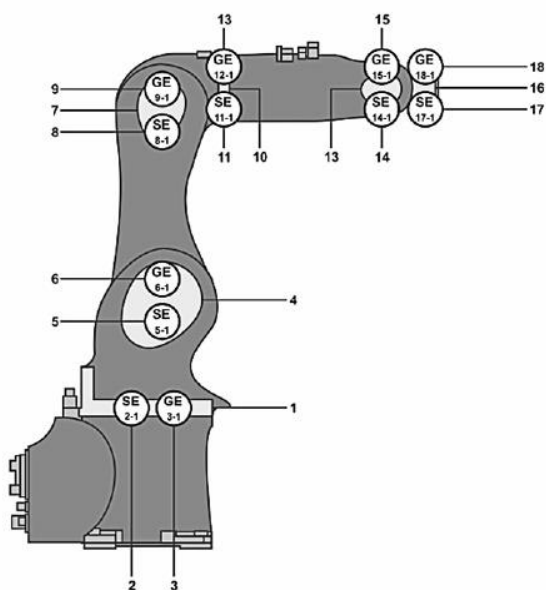


Рисунок 1.4 – Схема автоматизации робота

1.2 Технология процесса

Робот представляет собой автоматическую машину, которая состоит из манипулятора и устройства программного управления его движением, Роботы используются для выполнения основной либо какой-то вторичной работы вместо человека.

Манипулятор - совокупность пространственного рычажного механизма и системы приводов, осуществляющая под управлением программируемого автоматического устройства или человека-оператора действия (манипуляции), аналогичные действиям руки человека.

На рисунке 1.5 показан промышленный робот-манипулятор. Роботы предназначены для замены человека при выполнении основных и вспомогательных задач. При этом человек освобождается от необходимо осуществлять муторную и монотонную работу, а также использование роботов снижает травмоопасность.



Рисунок 1.5 – Промышленный робот-манипулятор

Каждый робот осуществляет свой спектр задач. Робот-маляр осуществляет нанесение составов на поверхность, тогда как задачи перемещения осуществляет робот манипулятор. Такое «разделение обязанностей», во-первых, упрощает конструкцию, а во-вторых, увеличивает надежность системы, ибо чем проще программа, заданная роботу, тем меньше риск возникновения сбоев. Ниже представлены различные типы выполняемых задач роботов:

1) Изготовление деталей. Повсеместно используются установки дляковки, резки и литья. Заготовку загружают в промышленную установку, где по заранее заданному алгоритму осуществляется ее обработка. Готовую заготовку извлекают рабочие либо же, если не позволяют габариты, извлечь деталь вручную, это делает робот, запрограммированный на извлечение заготовки и последующее его перемещение на следующий производственный этап.

2) Перемещение. Хранящиеся на складах тяжелые контейнеры и просто тяжелые объекты необходимо транспортировать. Либо же в производственное помещение, либо же в отдел логистики для транспортировки. Опять же, в силу больших габаритов перемещаемых объектов, применение человеческой силы для данной операции травмоопасно и неэффективно.

3) Погрузка и разгрузка тяжелых предметов. Задача погрузки тяжелых предметов особенно актуальна для заводов тяжелой промышленности для перемещения объектов большой массы с одного конвейера на другой. У таких роботов, как правило, за ненадобностью отсутствует подвижное шасси и робот является стационарной установкой, закрепленной между двумя производственными линиями.

4) Упаковка. Готовый продукт необходимо упаковать для защиты от внешнего воздействия. Такие роботы заворачивают продукцию, как правило, в полиэтиленовую пленку, защищающую от влаги и пыли, после чего упаковывают в тару (коробка, ящик, кейс), защищающую от механических повреждений при транспортировке.

5) Обработка деталей и заготовок. Такие роботы хорошо зарекомендовали себя при изготовлении металлических и деревянных заготовок обработкой посредством обработки исходной детали.

6) Чистовая обработка. Удаление с заготовки неровностей, шероховатостей и различных заусенцев. Данная операция является одной из тяжело осуществимых с точки зрения автоматизации. Проблема заключается в том, что у роботов, в отличие от человека, нет возможности оценки своей работы. Робот не может самостоятельно понять, достаточно хорошо очищена деталь или же нет.

7) Сверление. Для таких работ используется робот, исполнительным механизмом которого является дрель или же перфоратор. Использование таких роботов оправданно, когда необходимо осуществлять большое количество отверстий либо же размеры необходимых отверстий принуждают использование крупногабаритных инструментов. Это особенно актуально в самолетостроении, так как в больших деталях самолетов необходимо проделывать огромное количество отверстий, с помощью которых они и соединяются.

8) Нанесение различных составов на поверхность. Нанесение клея на деталь для дальнейшего соединения с другой деталью, покраска, обработка спец составом, повышающим характеристики детали. Эффективность роботов-маляров выше, чем у людей, в силу того что состав наносится равномерно по всей поверхности заготовки. Зачастую такие роботы оборудуются средствами защиты от вышеназванных составов. Осуществляется это установкой защитного экрана либо же программирования робота для осуществления периодического самоочистения от возможно попавших на него составов.

10) Сварка. Часто используемые в машиностроении роботы-сварщики осуществляют точечную либо дуговую сварку деталей будущей машины.

11) Контроль качества и испытания. Изготовленная либо же обработанная деталь подвергается тщательному контролю качества. Роботы, оснащенные специальными датчиками, которые представляют собой светодиоды, соединённые с полупроводниковыми светочувствительными

приборами, способны облегчить контроль качества, взяв на себя роль оценщиков.

12) Монтаж печатных плат. Типичный процесс монтажа плат выглядит следующим образом: заготовка помещается в специальный аппарат, где на нее наносится клеящий состав. После этого заготовка с клеем перемещается в следующий аппарат, на котором идет установка компонентов (резисторов). Далее заготовка следует в печь для быстрой сушки клея, после чего осуществляется пайка. В данной цепи каждую операцию выполняет определенный робот, который выполняет строго одно действие и неспособен выполнять другое [3].

1.3 Конструкторское проектирование робота

Постановка задачи. Необходимо сконструировать робот-манипулятор с рукой на трехколесном шасси. Для данного робота необходимо синтезировать такое управление, при котором осуществляется его перемещение из одной заданной точки в другую. Также для данного робота необходимо синтезировать управление рукой робота, с осуществление захвата предметов.

Решение поставленной задачи. В рамках поставленных задач был собран рабочий прототип подвижного робота манипулятора на базе конструктора Makeblock Ultimate 2.0.

Ключевой особенностью собранного прототипа является использование трехколесного шасси, вместо широко распространенных четырех и двухколесных. Преимуществом данной компоновки по сравнению с четырехколесным шасси является большая мобильность за счет уменьшения габаритов, а также большая маневренность за счет лучшей способности поворачивать во время движения.

По сравнению с двухколесным-балансирующим шасси данная конструкция имеет преимущество в устойчивости конструкции: наличие дополнительной точки опоры предотвращает переворачивание робота. Кроме того, двухколесное балансирующее шасси имеет значительные ограничения размера и требует тщательно откалиброванной балансировки.

Также в ряде роботов подобного типа для поддержания равновесия используется ряд дополнительных элементов, как: гироскопы, световые и эхо датчики. Все это вкуче способствует существенным затратам на сборку и, как следствие, увеличению себестоимости.

Как уже было сказано выше, рабочий прототип был собран на базе конструктора Makeblock Ultimate 2.0.

В таблице 1.1 указана спецификация данного робота [4].

Таблица 1.1 – Спецификация робота

Материал	Анодированный алюминий
Главная контрольная панель	ATMEGA2560-16AU
Модули движения	2 двигателя постоянного тока
Поддерживаемое ПО	mBlock 3 (ПК), Makeblock App (IOS/Android)
Возможные языки программирования	Scratch, Arduino, Python
Питание	6 батарей размера AA
Тип связи	USB, Bluetooth
Управление	Управление со смартфона либо же заданной программой

Основными элементами данного робота являются контроллер (показан на рисунке 1.6) и три мотора, два из которых отвечают за передвижение робота, а третий управляет поворотным механизмом, который поднимает и опускает руку робота.

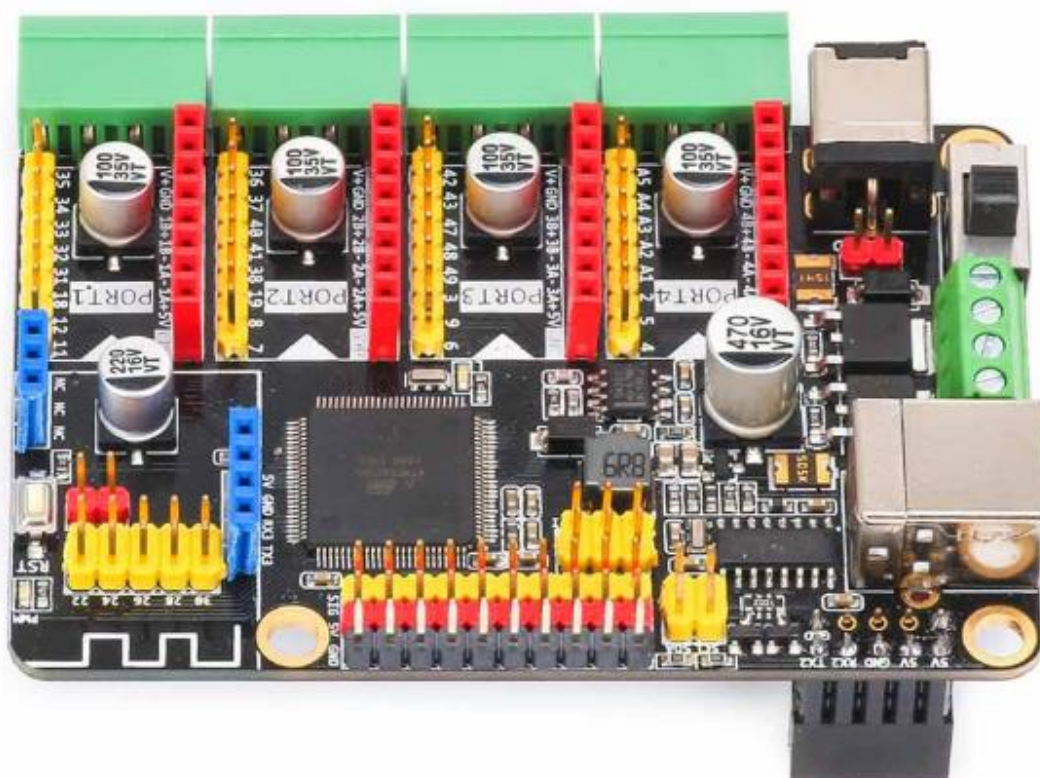


Рисунок 1.6 – Контроллер MegaPi

На рисунке 1.7 изображен подробный разбор устройства контроллера. На нем присутствуют индикатор питания, выключатель, сервоприводный интерфейс, а также высокоомощные входы и выходы.

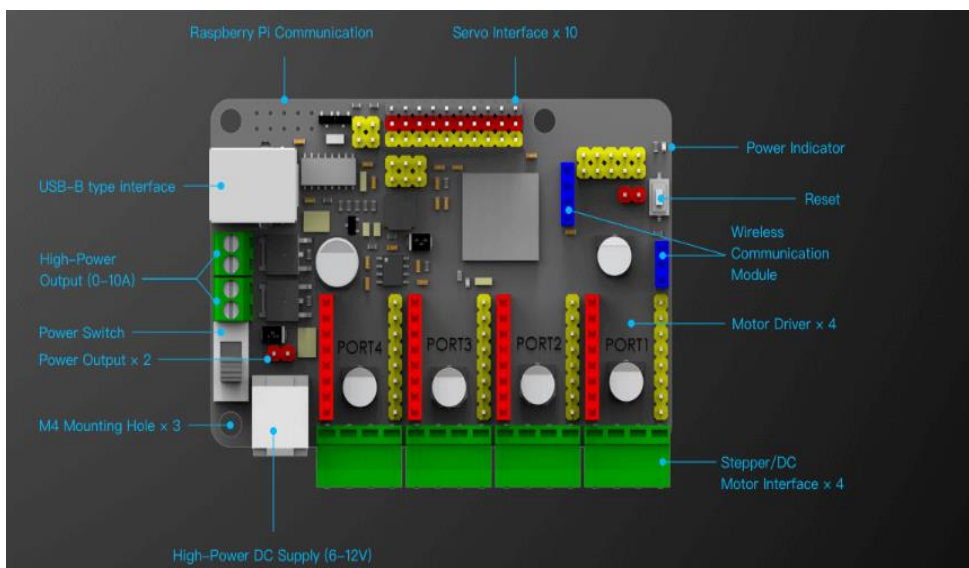


Рисунок 1.7 – Подробный разбор устройства контроллера

На рисунке 1.8 показана установка дополнительных модулей. Отдельного внимания заслуживают модуль Bluetooth и порты MegaPi RJ25. Модуль Bluetooth необходим для возможности управления роботом через любой смартфон с подходящим программным обеспечением посредством связи Bluetooth. Порты MegaPi RJ25 нужны для подключения моторов.

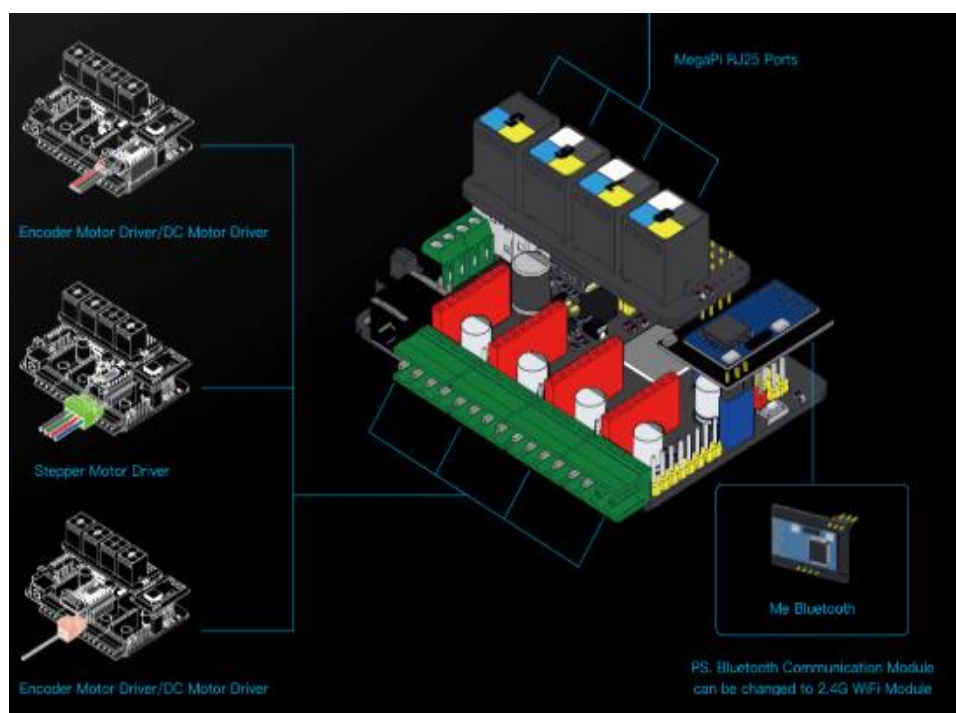


Рисунок 1.8 – Установленные дополнительные модули на контроллер

Ко всему прочему, данный контроллер предусматривает подключение дополнительного оборудования такого, как гироскоп, световой датчик, эходатчик, камера и так далее.

На рисунке 1.9 изображен двигатель постоянного тока. В собранном прототипе используются 3 двигателя: два двигателя с частотой вращения 187 оборотов в минуту, которые присоединены к шасси и отвечают за движение и повороты робота, и один двигатель с частотой вращения 89 оборотов в минуту, который отвечает за поднятие и опускание руки. Данные моторы требуют источник питания напряжением от 6 до 12 Вольт, крутящий момент составляет 3кг на см [5]



Рисунок 1.9 – Двигатель постоянного тока 25mm DC Encoder Motor.

1.4 Программирование робота

После сборки робота, его необходимо запрограммировать на выполнение различных движений. Помимо возможности программирования на языках Arduino и Python, роботы Makeblock поддерживают ручное управление через любой смартфон или планшет, поддерживающий Bluetooth и программное обеспечение. На рисунке 1.10 показан интерфейс пульта управления, реализованного на смартфоне Iphone 6s. Листинг программы показан в Приложении А.



Рисунок 1.10 – Интерфейс пульта управления

Он включает в себя кнопки сжатия и разжатия руки, а также поднятия и опускания руки. Также тут есть кнопка для передвижения робота. Максимальное расстояние, с которого возможно осуществить управление составляет приблизительно 12.5 метров.

Описание рабочего прототипа. На рисунке 1.11 показан рабочий прототип подвижного робота манипулятора. Он имеет трехколесную основу, управляемую двумя моторами с частотой 185 оборотов в минуту. Данная конструкция отличается маневренностью и хорошим вхождением в повороты. Данный робот способен поднимать вес до 2.5 килограммов и ехать со скоростью 8 км/час.

Если рассматривать практическое применение данного робота, то его можно использовать для задач транспортировки небольших по массе и габаритам объектов из одной точки в другую.

Объективным недостатком данной конструкции является отсутствие защиты от пыли и влаги (IP 00), что мешает использовать робот в условиях сильного ветра или же дождя. Однако установкой необходимых средств защиты данный недостаток может быть устранен.

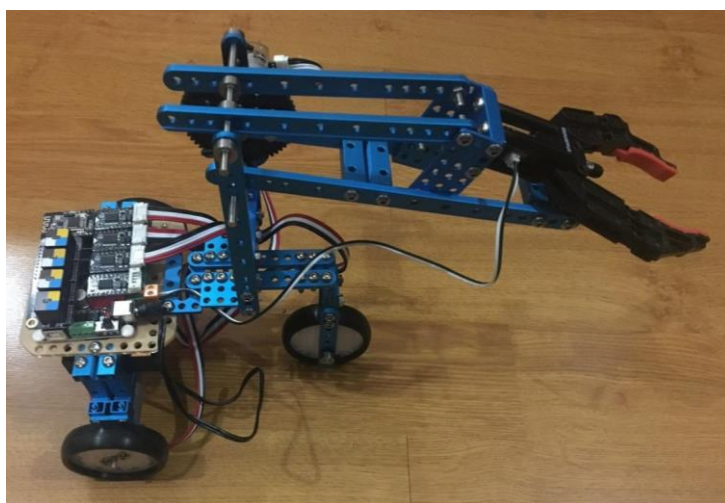


Рисунок 1.11 – Рабочий прототип

2 Расчётная часть. Разработка системы управления рукой робота

2.1 Математическая модель и схема системы управления рукой робота

На рисунке 2.1 задана схема системы управления рукой робота.

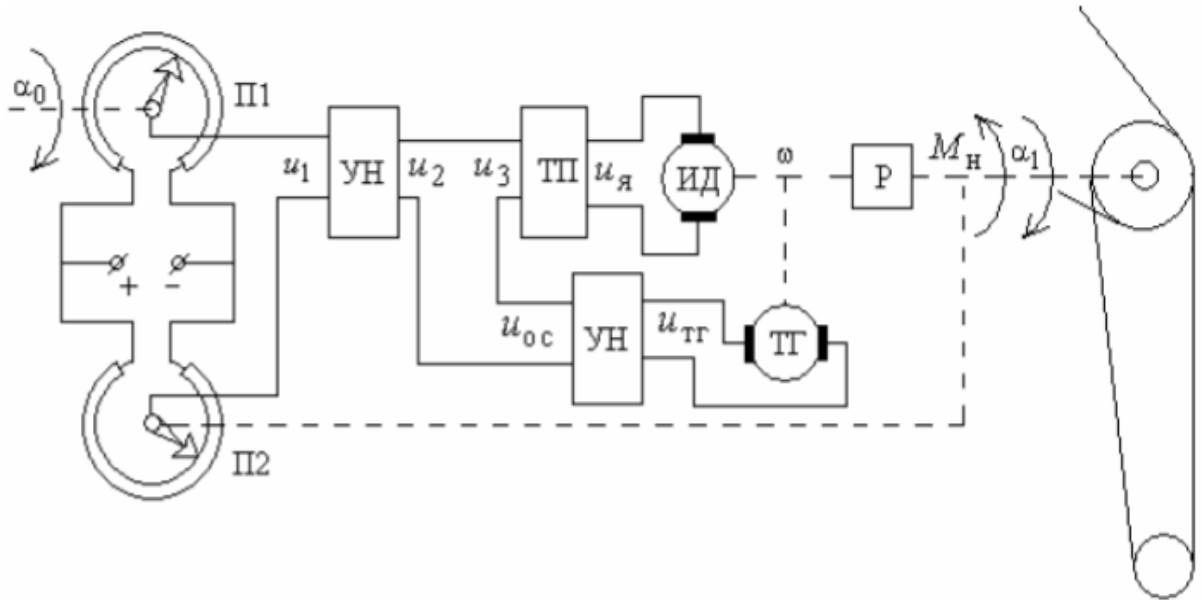


Рисунок 2.1 – Схема системы управления рукой робота

Здесь:

П1 – задающий потенциометр,

П2 – потенциометр обратной связи,

УН - усилитель напряжения,

ТП – тиристорный преобразователь,

ТГ – тахогенератор,

ИД - исполнительный двигатель

Р - понижающий редуктор

Линеаризованные уравнения элементов системы имеют вид:

Задатчик и усилители

$$u = (\alpha_0 - \alpha_1)kn, u_2 = ku_1 \times u, \quad (2.1)$$

$$u_3 = u_2 - u_{oc}, u_{oc} = ku_2 \times u_{тг}. \quad (2.2)$$

Преобразователь и двигатель

$$T_{np} \frac{\partial u_a}{\partial t} + u_a = k_{np} \times u_3, \quad (2.3)$$

$$T_{\partial\omega} \frac{\partial\omega}{\partial t} + \omega = k_{\partial\omega} \times u_{\alpha} . \quad (2.4)$$

Тахогенератор и редуктор

$$u_{mz} = k_{mz} \times \omega, \quad \frac{\partial\alpha_1}{\partial t} = k_p \times \omega . \quad (2.5)$$

В приведенных уравнениях:

α_1, α_0 – угол поворота, соответственно, задающей и выходной осей,

$u_1, u_2, u_3, u_{тг}, u_{ос}$ – напряжения постоянного тока,

ω – угловая скорость исполнительного двигателя,

$M_{нп}$ – приведенный момент нагрузки.

В таблице 2.1 указаны числовые значения, необходимые для расчетов.

Таблица 2.1 – Данные для расчетов схемы

№	кп	Ku1	Ku2	ктг	кпр	Tпр	кдв	Tдв	кр	α_0
3	2	2	1	0.05	2	0.005	50	0.05	0.02	$3\sin 0.1t$

Входящим сигналом является энергия от источника питания, то есть, электрический ток. Проходя через усилитель напряжения происходит усиление входного сигнала. В тиристорном преобразователе происходит преобразование переменного тока в постоянный. Двигатель, собственно, является исполнительным механизмом, который преобразует полученный сигнал в частоту. Выходным сигналом является само движение руки робота.

Система управления руки робота состоит из следующих основных элементов: задающий потенциометр, потенциометр обратной связи, усилитель напряжения, тиристорный преобразователь постоянного тока, тахогенератор и исполнительный двигатель.

Задающий потенциометр представляет собой спаренные переменные сопротивления, ползунки которых закреплены на одной оси. Сопротивление задающего потенциометра выполнено с переменным шагом намотки и включено так, что при минимальной скорости вращения обратная связь по току максимальная, а по мере увеличения скорости вращения обратная связь по току ослабляется [6].

Потенциометр обратной связи используется для плавного управления заслонками в случае применения регуляторов с жесткой обратной связью [6].

Усилитель напряжения служит для преобразовывания низкого переменного напряжения в высоковольтное постоянное напряжение [6].

Тиристорный преобразователь постоянного тока преобразовывает переменный ток в постоянный с регулировкой по заданному закону выходных параметров. Тиристорный преобразователь предназначен для питания якорных цепей двигателей и обмотки напряжения [6].

Тахогенератор – это электрическая машина малой мощности, работающие в режиме генератора, выходное напряжение которых U_r является линейной функцией частоты вращения вала [6].

Исполнительный двигатель – это машина, используемая в САУ, где она преобразует электрический сигнал исполнительного органа – напряжение управления. Обычно исполнительные двигатели работают в условиях частых пусков, реверсов и остановок [6].

Понижающий редуктор – устройство, преобразующее высокую угловую скорость вращения входного вала в низкую на выходном валу, увеличивая вращательный момент [6].

Уравнения и передаточные функции.

Потенциометр

$$G_n = \frac{u_1}{\alpha_1 - \alpha_0} = kn. \quad (2.6)$$

Обратная связь

$$G_{oc} = ku_2. \quad (2.7)$$

Усилитель напряжения

$$G_y = \frac{u_2}{u_1} = ku_1. \quad (2.8)$$

Тиристорный преобразователь

$$G_m = \frac{u_{я}}{u_3} = \frac{k_{np}}{T_{np} \times S + 1}. \quad (2.9)$$

Преобразователь и двигатель

$$T_{\partial\delta} \times S + \omega(S) = k_{\partial\delta} \times u_{я}(S), G_{\partial\delta} = \frac{k_{\partial\delta}}{T_{\partial\delta} \times S + 1}. \quad (2.10)$$

Тахогенератор и редуктор

$$G_{m2} = k_{m2}. \quad (2.11)$$

$$G_p = k_p. \quad (2.12)$$

С помощью полученных уравнений и передаточных функций будет осуществляться расчет эквивалентного значения передаточной функции разомкнутой, а затем замкнутой систем,

Функциональная схема. Прежде чем начинать какие-либо расчеты, необходимо составить функциональную и универсальную схемы данной системы (рисунок 2.2, 2.3). Основываясь на заданной схеме, а также на вычисленных уравнениях и передаточных функций, в итоге получились следующие схемы.

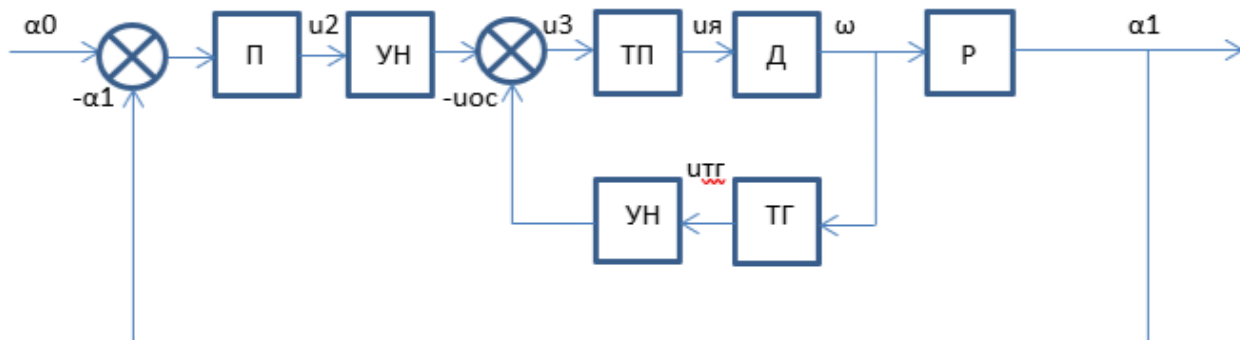


Рисунок 2.2 – Функциональная схема системы управления роботом-манипулятором

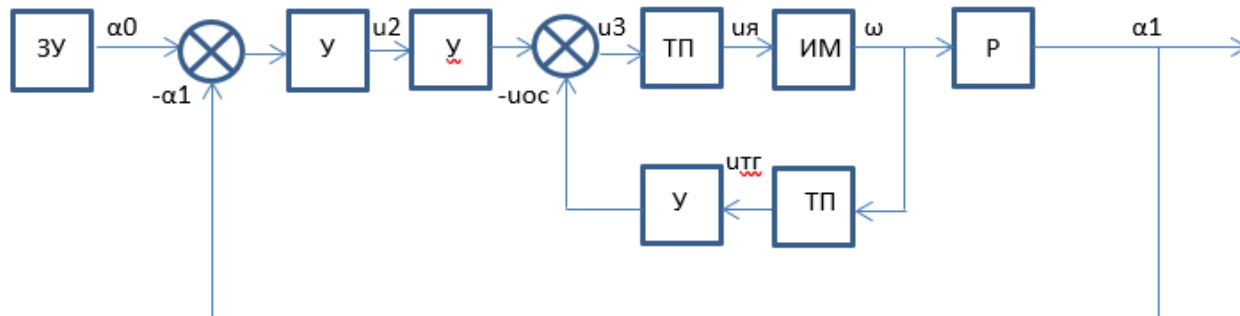


Рисунок 2.3 – Универсальная схема системы управления роботом-манипулятором

Так как схемы и уравнения с передаточными функциями каждого звена построены, можно начинать считать эквивалентное значение передаточной функции.

2.2 Получение результатов моделирования системы управления рукой робота

Переходной процесс. Исходя из схемы рисунка 2.3, необходимо посчитать эквивалентные значение передаточной функции для разомкнутой, а затем для замкнутой системы.

Замкнутая система – система, имеющая общую обратную связь.

Разомкнутая система – система без обратной связи.

Для начала нужно найти эквивалентное G для всего участка разомкнутой цепи, исходя из схемы рисунка 2.3, используя уравнения 1.1-1.7.

$$G_{\text{экв}} = G_n \times G_{yn} \times \frac{G_{mn} \times G_{ud}}{1 + (G_{mn} \times G_{ud}) \times (G_{mz} \times G_{yn})} \times G_p, \quad (2.13)$$

$$2 \times 2 \times \frac{\frac{2}{0.005S+1} \times \frac{50}{0.05S+1}}{1 + \frac{2 \times 50}{(0.005S+1)(0.05S+1)} \times (0.05 \times 1)} \times 0.02;$$

$$0.08 \times \frac{\frac{100}{0.00025S^2 + 0.005S + 0.05S + 1}}{1 + \frac{100}{0.00025S^2 + 0.005S + 0.05S + 1} \times (0.05)}$$

$$1 + \frac{\frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 1}}{0.00025S^2 + 0.055S + 1} = \frac{\frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 1}}{\frac{0.00025S^2 + 0.055S + 1}{0.00025S^2 + 0.055S + 1} + \frac{5}{0.00025S^2 + 0.055S + 1}}$$

$$\frac{\frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 1}}{0.00025S^2 + 0.055S + 6} = \frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 6}$$

$$G_{\text{экв}} = \frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 6}. \quad (2.14)$$

В результате получилось аperiodическое звено второго порядка. Проверим правильность подсчетов. Для этого сравним переходные характеристики эквивалентного значения в Simulink до и после расчетов.

Как видно на рисунке 2.4, графики идентичны, что означает правильность сделанных расчетов. Теперь необходимо получить переходной процесс с учетом переходной связи.

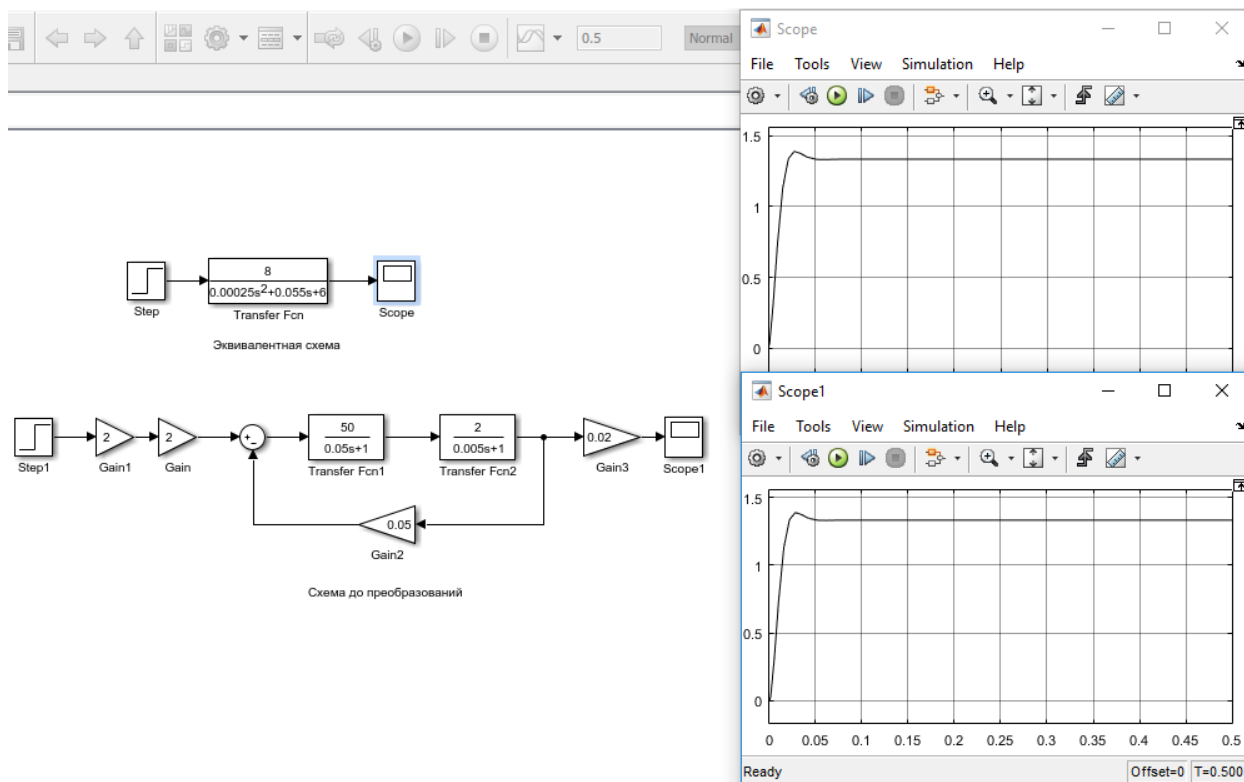


Рисунок 2.4 - Сравнение графиков до и после преобразований

Замкнутая схема – это схема с общей обратной связью. В данной схеме используется единичная обратная связь. По этой причине мы можем найти эквивалентное значение G с обратной связью, просто сложив числовой коэффициент числителя в знаменатель разомкнутой схемы (рисунок 2.5).

$$G_{\text{экв}} = \frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 14} \quad (2.15)$$

Глядя на данный график (рисунок 2.5), можно сказать, что система имеет небольшой колебательный скачок, который является следствием скомпенсированного действия устройств, используемых в данной схеме. Через совершенно небольшой период времени, равный приблизительно 0.04 секунды, система приходит в положение равновесия.

АФЧХ, АЧХ и ФЧХ. Отношение и разность называют соответственно амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной характеристиками (ФЧХ) рассматриваемого звена (или системы). АЧХ показывает, как звено пропускает сигналы различной частоты. ФЧХ показывает, какое отставание или опережение выходного сигнала по фазе создает звено при различных частотах [6].

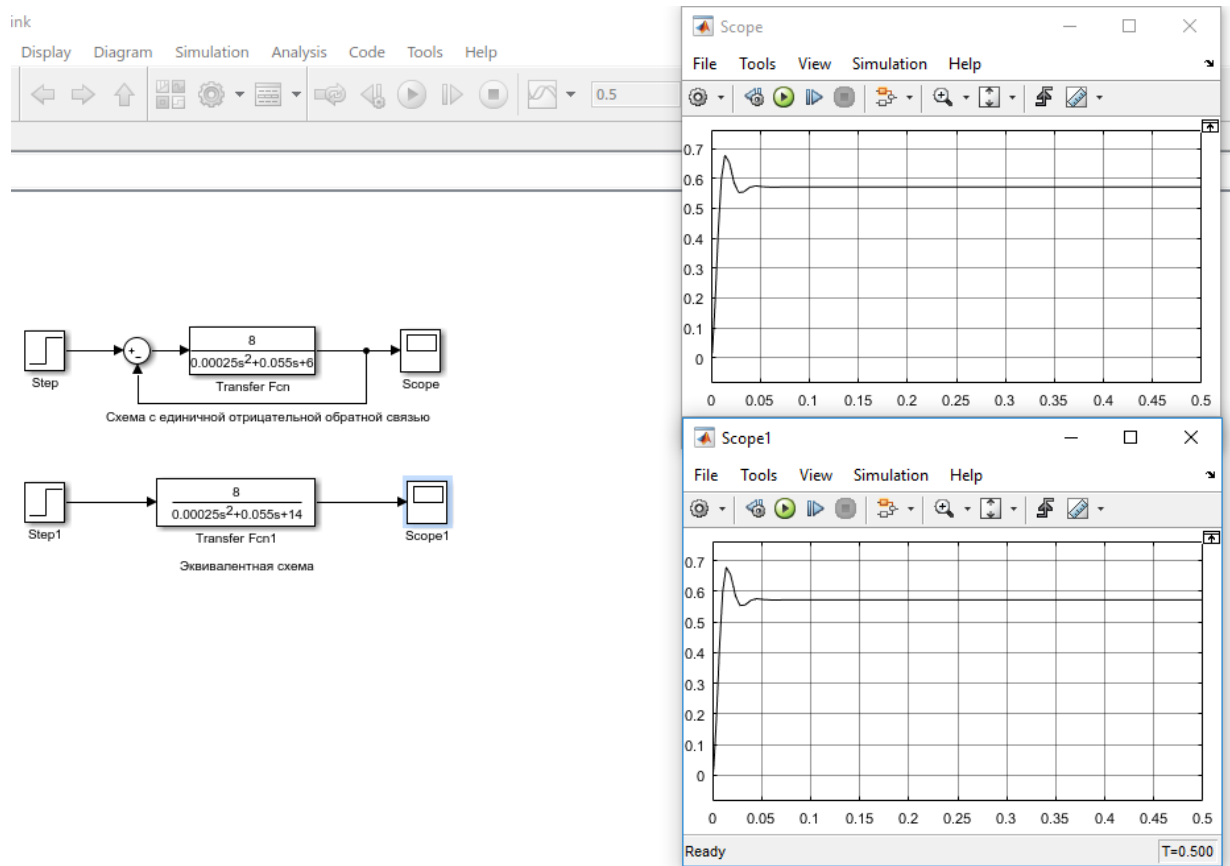


Рисунок 2.5 – Проверка в Simulink

Нахождение реальной и мнимой частей. Нахождение реальной и мнимой частей происходит разбиением на них преобразованной с помощью оператора Фурье передаточной функции:

$$G_{\text{экв}} = \frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 6}, \quad S = j\omega$$

$$G_{\text{экв}} = \frac{8}{0.00025(j\omega)^2 + 0.055j\omega + 8}.$$

Избавимся от j в знаменателе, возведя ее в квадрат. Для этого числитель и знаменатель дроби умножим на $(0.00025\omega^2 + 6 - 0.055j\omega)$:

$$G_{\text{экв}} = \frac{8(0.00025\omega^2 + 6 - 0.055j\omega)}{(0.00025\omega^2 + 6)^2 + (0.055\omega)^2},$$

$$G_{\text{экв}} = \frac{0.002\omega^2 + 48 - 0.44j\omega}{(0.00025\omega^2 + 6)^2 + 0.003025\omega^2},$$

$$G_{\text{экв}} = \frac{0.002w^2 + 48 - 0.44jw}{0.0000000625w^4 + 0.006w^2 + 36 + 0.003025w^2},$$

$$G_{\text{экв}} = \frac{0.002w^2 + 48 - 0.44jw}{0.0000000625w^4 + 36 + 0.009025w^2},$$

$$\text{Re} = \frac{0.002w^2 + 48}{0.0000000625w^4 + 36 + 0.009025w^2},$$

$$\text{Im} = \frac{-0.44w}{0.0000000625w^4 + 36 + 0.009025w^2},$$

$$M = \sqrt{(\text{Re}^2 + \text{Im}^2)},$$

$$M = \frac{\sqrt{0.000004w^4 + 9.216w^2 + 2304 + 0.1936w^2}}{0.0000000625w^2 + 36 + 0.009025w^2}.$$

При $w=0$ $M=1.33$, то есть начальная точка на графике АЧХ – 1.33. Теперь нужно рассчитать ФЧХ по следующей формуле:

$$\varphi = \text{arctg} \frac{\text{Im}}{\text{Re}}, \quad (2.16)$$

$$\varphi = \text{arctg} \frac{-0.44w}{\frac{0.0000000625w^4 + 0.009025w^2}{0.002w^2 + 48}} = \text{arctg} \frac{-0.44\omega}{0.002\omega^2 + 48} \dots$$

На рисунке 2.6 показана АФЧХ передаточной функции разомкнутой системы.

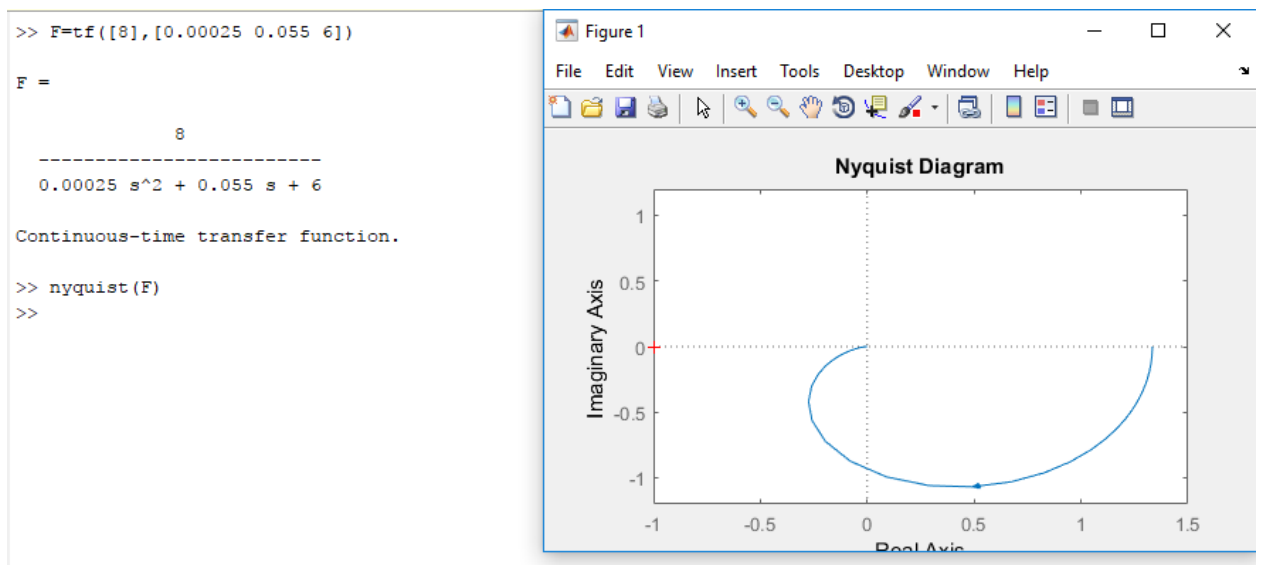


Рисунок 2.6 – График АФЧХ в MATLAB

На рисунке 2.7 показаны ЛАЧХ и ЛФЧХ передаточной функции.

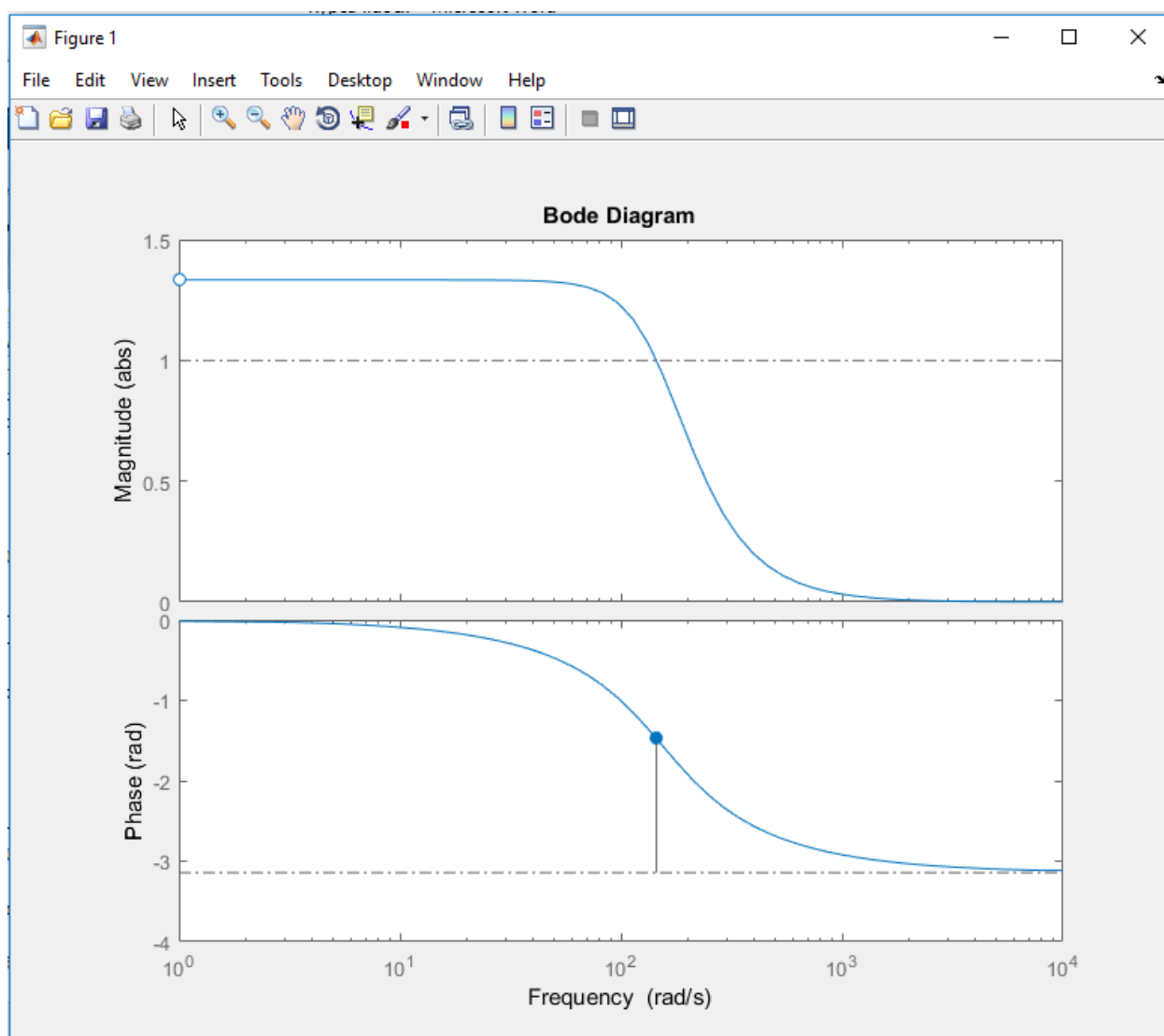


Рисунок 2.7 – График ЛАЧХ и ЛФЧХ в MATLAB

Судя по рисунку 2.7, ЛАЧХ апериодического звена первого порядка начинается в точке 1.33 и со временем стремится к нулю. ЛФЧХ начинается в нуле и стремится к -180 градусов.

2.3 Анализ разомкнутой и замкнутой систем управления

Система может быть устойчивой, неустойчивой или находиться на границе устойчивости. Основным методом для определения устойчивости системы является метод Ляпунова, из которого вытекают два критерия, определяющих устойчивость системы: критерий Гурвица и критерий Михайлова. Помимо них также существует критерий Найквиста.

Метод Ляпунова для определения устойчивости разомкнутой и замкнутой системы. Согласно первому методу Ляпунова для линейных систем:

Система будет устойчивой, если все корни характеристического полинома будут отрицательными.

Система будет неустойчивой, если хотя бы один корень характеристического полинома будет положительным.

Система будет на границе устойчивости, если хотя бы один корень характеристического полинома будет равен нулю либо иметь мнимое значение [7].

Необходимо найти корни значения передаточной функции:

$$G = \frac{8}{0.00025s^2 + 0.055s + 6}$$

```
>> g=tf([8],[0.00025 0.055 6])
g =
      8
-----
0.00025 s2 + 0.055 s + 6
pole(g)
ans =
 1.0e+02 *
-1.1000 + 1.09091i
-1.1000 - 1.09091i
```

Рисунок 2.8 – Корни для разомкнутой системы

Как видно на рисунке 2.8, все корни являются отрицательными. Так как все корни эквивалентного значения передаточной функции отрицательные, в соответствие с первым методом Ляпунова, система является устойчивой.

Метод Ляпунова для определения устойчивости замкнутой системы. Для устойчивости замкнутой системы по Ляпунову нам нужно то же условие, что и в предыдущем пункте: отрицательность корней.

```
>> pole(g)
ans =
 1.0e+02 *
-1.1000 + 2.09521i
-1.1000 - 2.09521i
```

Рисунок 2.9 – Корни для замкнутой системы

Как видно на рисунке 2.9, оба корня получились отрицательными. Так как все корни характеристического уравнения отрицательные, в соответствии с первым методом Ляпунова, замкнутая система является устойчивой.

Нахождение предельного коэффициента усиления разомкнутой цепи (Критерий Михайлова). Предельный коэффициент усиления – минимально/максимально допустимое значение коэффициента усиления, при котором система будет находиться на границе устойчивости. Выход за границы допустимого промежутка значений коэффициента усиления ведет к выходу системы за границы устойчивости. Для его определения используется критерий Михайлова, в котором предельный коэффициент усиления находится на основе характеристического полинома [8].

$$G_{экр} = \frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 6} = \frac{1.33}{0.0000416S^2 + 0.00916S + 1 + k},$$

$$G_{экр} = \frac{k}{0.0000416S^2 + 0.00916S + 1 + k}$$

Выписываем характеристический полином:

$$0.0000416S^2 + 0.00916S + 1 + k = 0.$$

Получим частотный характеристический полином:

$$D(j\omega) = 0.0000416j^2\omega^2 + 0.00916j\omega + 1 + k = (-0.0000416\omega^2 + 1 + k) + 0.00916j\omega = 0.$$

Разбиваем получившееся уравнение на реальную и мнимую части:

$$\begin{aligned} Im = 0.00916j\omega = 0 &\Rightarrow \omega_1 = 0, \\ Re = -0.0000416\omega^2 + 1 + k = 0 &\Rightarrow \omega_2 = \sqrt{\frac{1+k}{0.0000416}}, \end{aligned}$$

$$\omega_2 > \omega_1 \Rightarrow \sqrt{\frac{1+k}{0.0000416}} > 0 \Rightarrow k > -1.$$

Условие устойчивости: $k > -1$

Предельный коэффициент усиления $k = -1$

Согласно получившимся расчетом, система будет устойчива, если коэффициент усиления будет находиться в промежутке $(-1; \infty)$.

Определение запаса устойчивости. Запас устойчивости является показателем того, насколько система удалена от границы устойчивости. Минимально допустимым запасом устойчивости является запас в 30 градусов по фазе и 6 дБ по амплитуде. Запас устойчивости системы по амплитуде и

фазе обычно определяется для разомкнутой системы с помощью ЛАЧХ, для чего используется команда `margin`. Для обеих величин фиксируется частота (рад/с) и отмечается положение на графике. Значение `Inf` говорит о том, что по данному параметру система имеет бесконечный запас устойчивости, отрицательные или нулевые значения - об отсутствии запасов [9]. На рисунках 2.10 и 2.11 показаны запасы устойчивости по АФЧХ и ЛАЧХ с ЛФЧХ.

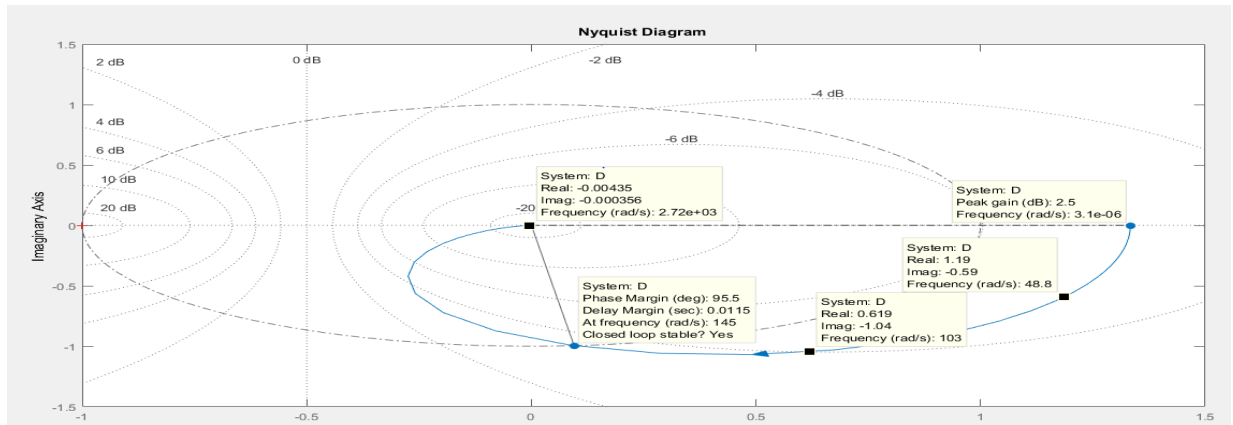


Рисунок 2.10 – Запасы устойчивости по АФЧХ

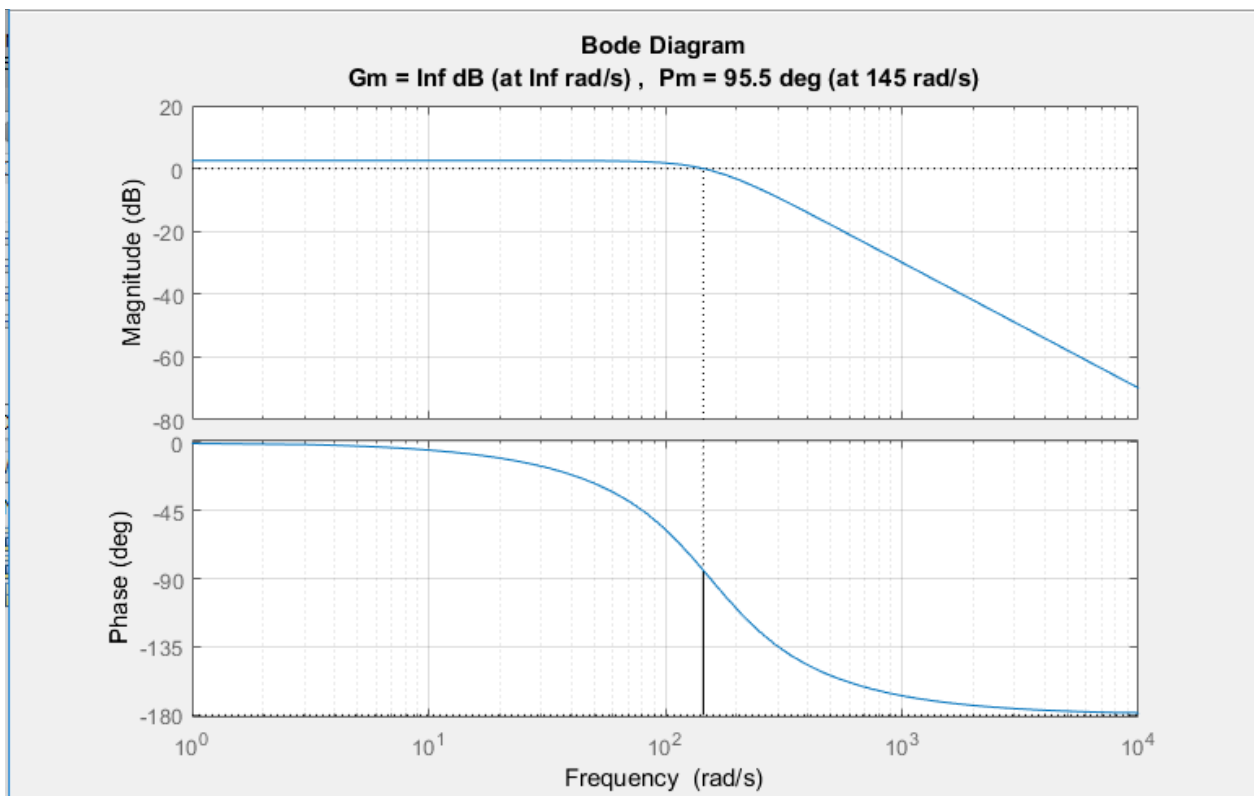


Рисунок 2.11 – Запасы устойчивости по АФЧХ и ФЧХ

Исходя из анализа вышеназванных рисунков, система имеет бесконечный запас устойчивости по амплитуде и запас устойчивости по фазе

в 95.5 deg (at 145 rad/s). Бесконечный запас по амплитуде объясняется тем, что система описывается дифференциальным уравнением второго порядка. Подводя итог, система имеет запасы устойчивости по амплитуде и фазе, удовлетворяющие требованиям.

Прямые оценки качества замкнутой системы управления рукой робота. Устойчивость, являясь основным и самым главным показателем качества системы, в некоторых случаях бывает недостаточной для оценки качества системы. В таких случаях помимо устойчивости и запаса устойчивости требуется применение прямых и косвенных оценок качества [9].

На рисунке 2.12 показаны полюса эквивалентного значения передаточной функции, найденные с помощью команды pzmap. Корни комплексные, из чего следует что перед нами колебательное звено.

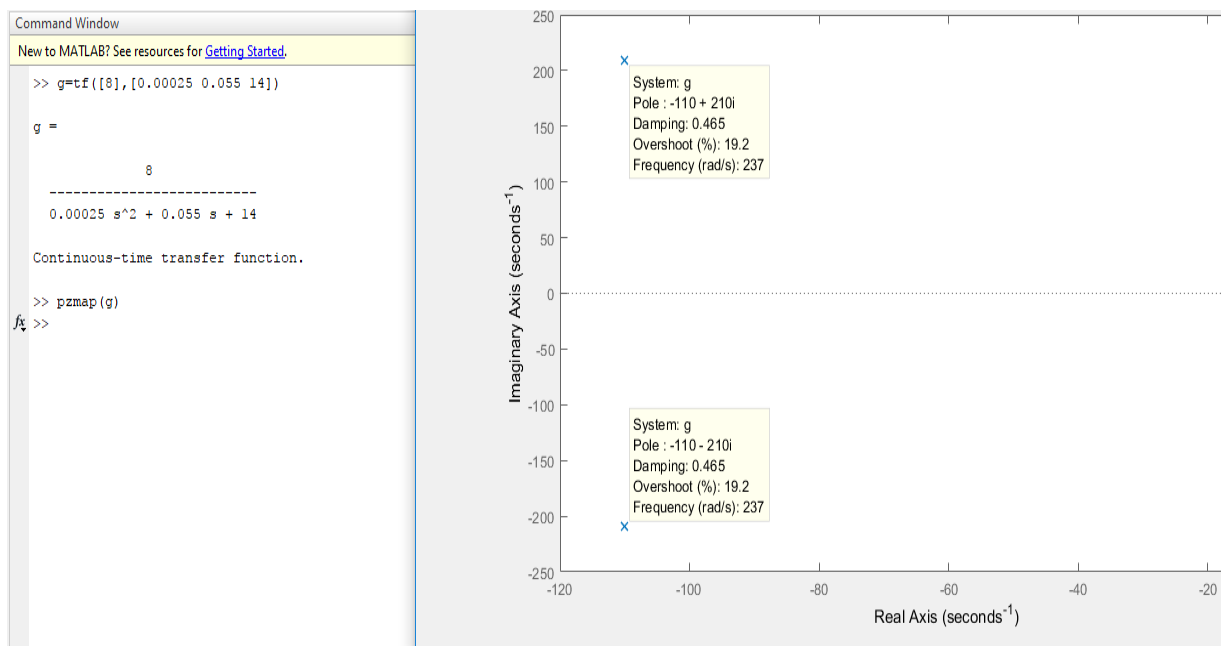


Рисунок 2.12 – Полюса передаточной функции в Matlab

На рисунке 2.13. показаны прямые оценки качества системы, выполненные в MATLAB с помощью команды Step.

По полученным данным прямые оценки качества замкнутой системы следующие:

- время регулирования $T_{set} = 0.0351c$;
- перерегулирование $P_{ov} = 19.2\%$;
- число колебаний – 1;
- колебательность: $\mu = \frac{\Delta y_{\max 2}}{\Delta y_{\max 1}} \times 100\% = \frac{0.55}{0.681} \times 100\% = 80.7\%$;
- частота колебаний:

$$\omega_{osc} = \frac{2\pi}{T} = 178.9;$$

- время достижения первого максимума, $T_p = 0.0151c$;
- время нарастания, $T_R = 0.00665c$;
- декремент затухания: $\chi = \frac{|y_{\max 1} - y_{ss}|}{|y_{\max 2} - y_{ss}|} = \frac{|0.681 - 0.571|}{|0.55 - 0.571|} = 5.38$.

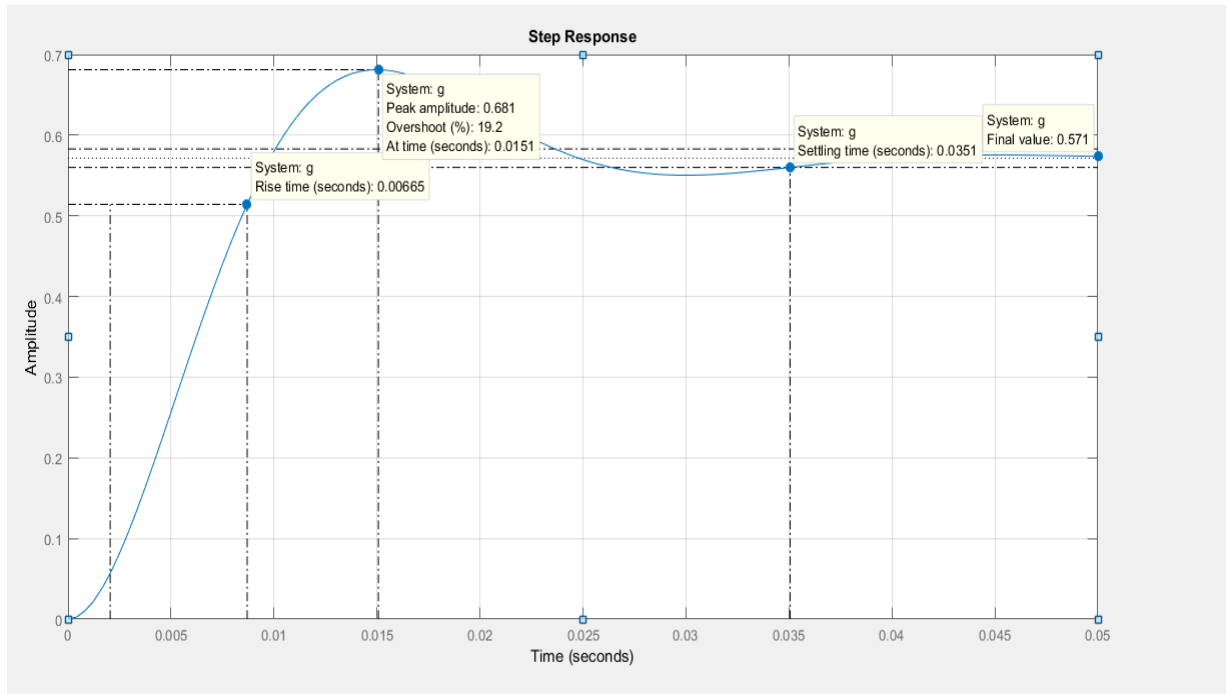


Рисунок 2.13 – Прямые оценки качества системы в Matlab

Косвенные оценки. Помимо прямых оценок, существует также ряд косвенных, которые можно определить по АЧХ и ФЧХ системы. С помощью команды `damp` можно определить ряд косвенных оценок в среде Matlab, который показан на рисунке 2.14.

```
D =
      8
-----
0.00025 s^2 + 0.055 s + 14

Continuous-time transfer function.

>> damp(D)

      Pole                Damping      Frequency      Time Constant
      (rad/seconds)      (seconds)
-----
-1.10e+02 + 2.10e+02i    4.65e-01    2.37e+02    9.09e-03
-1.10e+02 - 2.10e+02i    4.65e-01    2.37e+02    9.09e-03
```

Рисунок 2.14 – Команда `damp` в Matlab

На рисунке 2.15 показана амплитудно-частотная характеристика, по котором можно вычислить косвенные оценки.

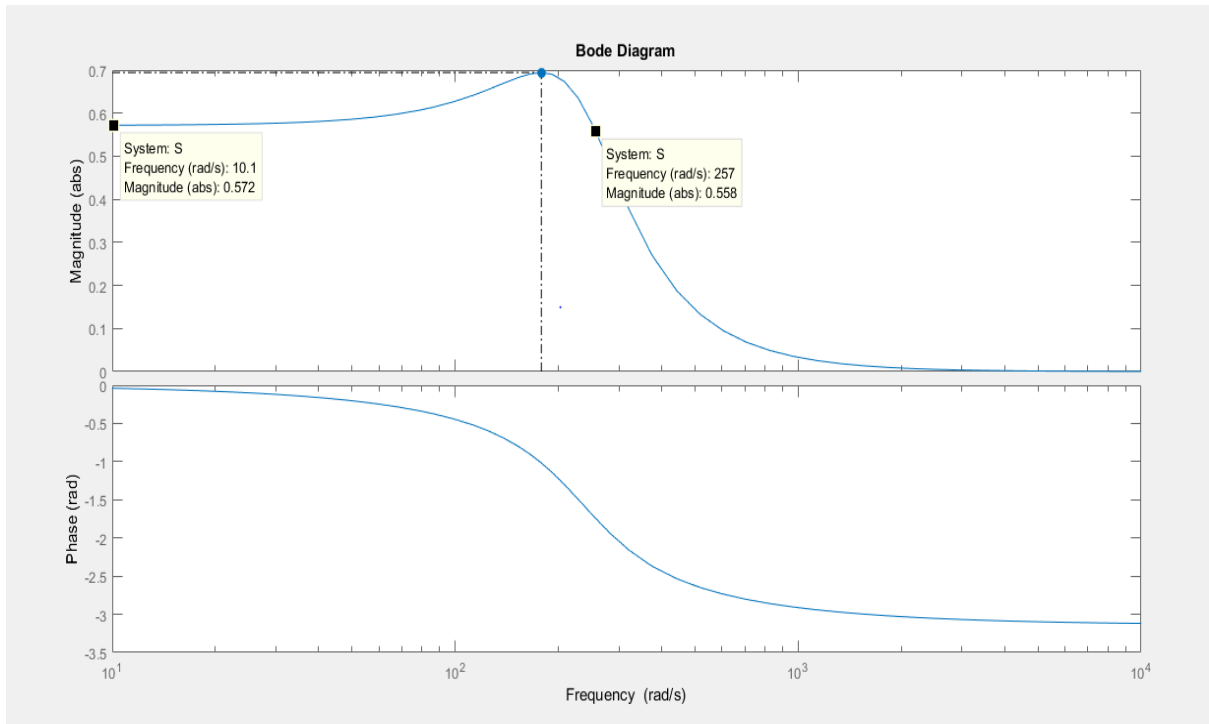


Рисунок 2.15 – Полюса передаточной функции в Matlab

В соответствии с рисунком 2.15, косвенные оценки имеют значение:

- 1) собственная частота: $\omega_n = 237$;
- 2) коэффициент демпфирования: $z = 0.465$;
- 3) коэффициент затухания: $\sigma = -74.77$;
- 4) действительная частота: $\omega_d = 209.8$;

В соответствии с перечнем косвенных оценок:

Показатель колебательности:

$$\mu = \frac{M_{\max}(\omega)}{M(0)} = \frac{0.694}{0.572} = 1.213;$$

Резонансная частота, $\omega_p = 178$;

Полоса пропускания системы, $\omega_{bandwidth} \in [0; 258]$;

Частота среза, $\omega_{CF} = 250$;

В таблице 2.2 представлены прямые и косвенные оценки переходного процесса. По ним можно сделать вывод о желаемом качестве системы: перерегулирование не должно быть больше 30%, количество колебаний не выше 2-х.

Таблица 2.2 – Таблица с оценками качества

	№	Оценка качества		Прямые	Косвенные	Соответствие требованиям
Основные	1	Время регулирования (Settling time)	T_{set}	0.0351с	0.0362с	
	2	Перерегулирование (Overshoot)	P_{ov}	19.2 %	18%	Соответствует
	3	Число колебаний	M	1	1	Соответствует
	4	Колебательность (Oscillation)	μ	80.7%	82.4%	Не соответствует
	5	Частота колебаний (oscillation frequencies)	ω_{osc}	$178.9c^{-1}$	$209.8c^{-1}$	
Дополнительн	6	Время достижения первого максимума (peak time)	T_p	0.0151		
	7	Время нарастания (rise time)	T_R	0.00665		
	8	Декремент затухания	χ	5.238		

В итоге, в соответствии с перечнем прямых и косвенных оценок, система не соответствует только в плане колебательности.

2.4 Синтез системы управления рукой робота

Целью данного раздела является:

- 1) Получить математическую модель по разомкнутой передаточной функции, а также регулятор к ней.
- 2) Синтез регулятора методом модального управления, а также следящей системы.
- 3) Синтез наблюдающего устройства.
- 4) Получить результаты моделирование без Р-регулятора и с Р-регулятором и на их основе

Пусть задана передаточная функция:

$$G = \frac{8}{0.00025S^2 + 0.055S + 6}$$

Так как параметры T_1 и T_2 имеют дробное значение, необходимо привести их к целым числам путем умножения на 4000:

$$G_{экс} = \frac{32000}{s^2 + 220s + 24000}.$$

Дифференциальное уравнение на основе заданной передаточной функции:

$$\begin{aligned} \frac{dy^2}{dt} + 220 \frac{dy}{dt} + 24000y &= 32000u, \\ x_1' &= x_2, \\ x_2' &= -24000x_1(t) - 220x_2(t). \end{aligned}$$

Представим систему управления рукой робота в виде математической модели в пространстве состояний:

$$\begin{aligned} \frac{dy^2}{dt} + 220 \frac{dy}{dt} + 24000y &= 32000u, \\ x_1' &= x_2, \\ x_2' &= -24000x_1(t) - 220x_2(t). \end{aligned} \tag{2.15}$$

Постановка задачи синтеза модального регулятора. Для математической модели (2.15) необходимо синтезировать модальный регулятор, чтобы обеспечить желаемую динамику для обеспечения степени устойчивости $n=3$.

Нахождение матрицы состояний A , матрицы управления B , матрицы наблюдаемости C и матрицы прямого воздействия D :

$$\begin{aligned} A &= \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -24000 & -220 \end{vmatrix}, \\ \text{Det}(sq - A) &= \begin{vmatrix} s & -1 \\ 24000 & s + 220 \end{vmatrix}, \\ B &= \begin{vmatrix} 0 \\ 32000 \end{vmatrix}, \\ C &= [1 \quad 0], \\ D &= 0, \\ q &= \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}, \\ R &= 1. \end{aligned}$$

Математическая модель в пространстве состояний

$$x'(t) = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -24000 & -220 \end{vmatrix} x(t) + \begin{vmatrix} 0 \\ 32000 \end{vmatrix} u(t),$$

$$y(t) = \begin{vmatrix} 1 & 0 \end{vmatrix} x(t).$$

Постановка задачи модального управления:

Объект управления описывается уравнением математической модели в пространстве состояний. С помощью пропорционального закона управления необходимо найти:

$$u(t) = -k^T x(t),$$

Обеспечить в замкнутой системе желаемую динамику

$$x'(t) = Dx(t),$$

методом модального управления. Надлежащим выбором вектора настраиваемых параметров K можно получить желаемые корни характеристического уравнения и обеспечить требуемую степень устойчивости [10].

При заданной математической модели системы, необходимо построить модальный регулятор, чтобы желаемая динамика обеспечивала степень устойчивости $n=3$

Дифференциальное уравнение:

$$\frac{dy^2}{dt} + 220 \frac{dy}{dt} + 24000y = 32000u,$$

$$x_1' = x_2,$$

$$x_2' = -24000x_1(t) - 220x_2(t).$$

Желаемая динамика задается из расчета обеспечения степени устойчивости $n=3$. В этом случае желаемая матрица состояний равна:

$$D = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -9 & -6 \end{vmatrix}.$$

Период дискретизации $T = 0.1$

Для синтеза дискретного регулятора необходимо получить математическую модель дискретной системы в пространстве состояний:

$$\begin{cases} x(n+1) = (AT + I)x(n) + BTu(n), \\ y(n) = C^T x(n). \end{cases}$$

$$\begin{matrix} x1'(t) \\ x2'(t) \end{matrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -24000 & -220 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x1 \\ x2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 32000 \end{vmatrix} u(t) = A'x(t) + B'u(t),$$

$$y(t) = \begin{vmatrix} 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x1 \\ x2 \end{vmatrix},$$

$$\begin{matrix} x1(n+1) \\ x2(n+1) \end{matrix} = \begin{vmatrix} E - A'T \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x1n \\ x2n \end{vmatrix} + B'Tu(n) = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -2400 & -220 \end{vmatrix} \times 0.1 \begin{vmatrix} x1n \\ x2n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 32000 \end{vmatrix} 0.1u,$$

$$y(n) = \begin{vmatrix} 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x1 \\ x2 \end{vmatrix},$$

$$\begin{matrix} x1(n+1) \\ x2(n+1) \end{matrix} = \begin{vmatrix} E - A'T \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x1n \\ x2n \end{vmatrix} + B'Tu(n) = \begin{vmatrix} 1 & -0.1 \\ 240 & 23 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x1n \\ x2n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 3200 \end{vmatrix} u,$$

$$y(n) = \begin{vmatrix} 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x1 \\ x2 \end{vmatrix}.$$

Желаемая степень устойчивости $n=-3$.

$$\det|pE - A| = p^2 + a_1p + a_2 = \det \left(p \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 1 & -0.1 \\ 240 & 23 \end{vmatrix} \right) = \det \begin{vmatrix} p-1 & 0.1 \\ -240 & p-23 \end{vmatrix} = p^2 - 24p + 47.$$

Характеристический полином замкнутой системы управления (по теореме Бозе по корням $p1=-3$, $p2=-3$):

$$\det|pE - D| = p^2 + c_1p + c_2 = (p+3)(p+3) = p^2 + 6p + 9.$$

Формирование вспомогательного вектора d :

$$d = c - a = \begin{vmatrix} c_2 \\ c_1 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} a_2 \\ a_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 9 \\ 6 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 47 \\ -24 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -38 \\ 30 \end{vmatrix}.$$

Формирование матрицы $H1$

$$H1 = \begin{vmatrix} AB & B \end{vmatrix} = \left(\begin{vmatrix} 1 & -0.1 \\ 240 & 23 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0 \\ 3200 \end{vmatrix}; \begin{vmatrix} 0 \\ 3200 \end{vmatrix} \right) = \begin{vmatrix} -320 & 0 \\ 73600 & 3200 \end{vmatrix}.$$

Формирование матрицы $H2$

$$H2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ a_1 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -24 & 1 \end{vmatrix}.$$

Вычисление произведения 2-х матриц:

$$Q = H_2^T H_1^T = \left(\begin{array}{c|c} 1 & 0 \\ \hline -24 & 1 \end{array} \times \begin{array}{c|c} -320 & 0 \\ \hline 73600 & 3200 \end{array} \right)^T = \left(\begin{array}{c|c} 1 & -24 \\ \hline 0 & 1 \end{array} \times \begin{array}{c|c} -320 & 73600 \\ \hline 0 & 3200 \end{array} \right)^T = \begin{array}{c|c} -320 & -3200 \\ \hline 0 & 3200 \end{array}.$$

Определение элементов вектора настраиваемых параметров:

$$k = Q^{-1}d = \begin{array}{c|c} -0.003125 & -0.003125 \\ \hline 0 & 0.0003125 \end{array} \times \begin{array}{c} -38 \\ 30 \end{array} = \begin{array}{c} 0.025 \\ 0.009375 \end{array}.$$

Проверка правильности решения задачи:

$$p^2 + 6p + 9 = \det \begin{array}{c|c} 1 & 0 \\ \hline 0 & 1 \end{array} - \begin{array}{c|c} 1 & -0.1 \\ \hline 240 & 23 \end{array} + \begin{array}{c} 0 \\ 3200 \end{array} | \begin{array}{c} 0.025 \\ 0.009375 \end{array} = \det \begin{array}{c|c} p-1 & 0.1 \\ \hline -240 & p-23 \end{array} + \begin{array}{c} 0 \\ 80 \\ 30 \end{array} \\ = \det \begin{array}{c|c} p-1 & 0.1 \\ \hline -160 & p+7 \end{array} = p^2 + 6p + 9.$$

Выдача проектного решения: выдается структура алгоритма управления и найденный вектор настраиваемых параметров k:

$$k = \begin{array}{c} 0.025 \\ 0.009375 \end{array}; u(t) = \begin{array}{c} 0.025 \\ 0.009375 \end{array}^T \begin{array}{c} x_1(n) \\ x_2(n) \end{array} = 0.025x_1(n) - 0.009375x_2(n).$$

На рисунке 2.16 представлена схема набора объекта управления с модальным регулятором.

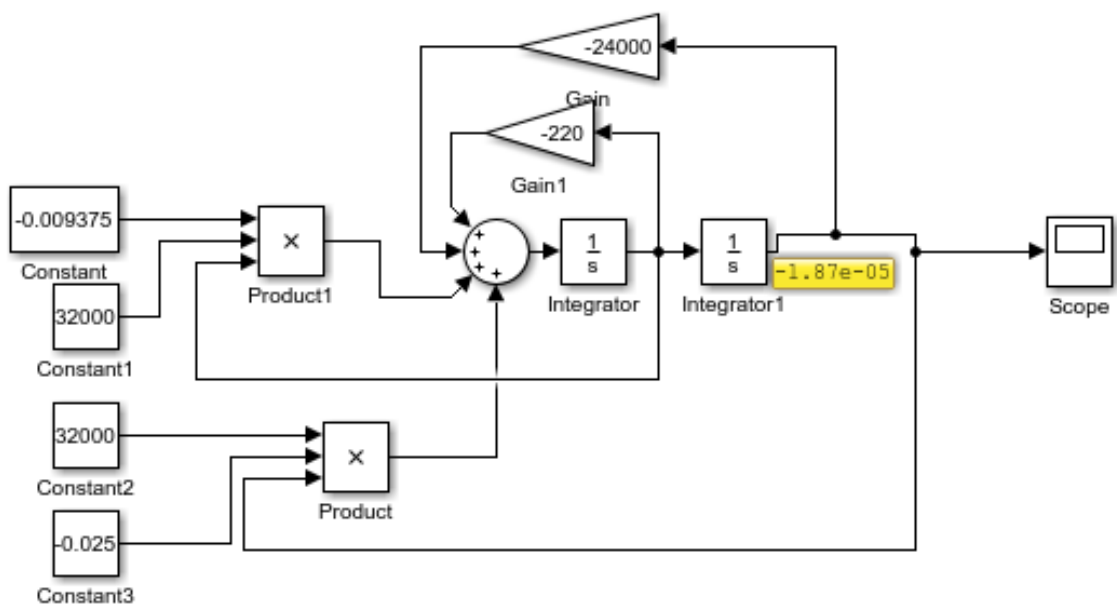


Рисунок 2.16 – Схема системы с модальным регулятором

Результаты моделирования невозмущённого движения объекта управления без регулятора представлены на рисунке 2.17.

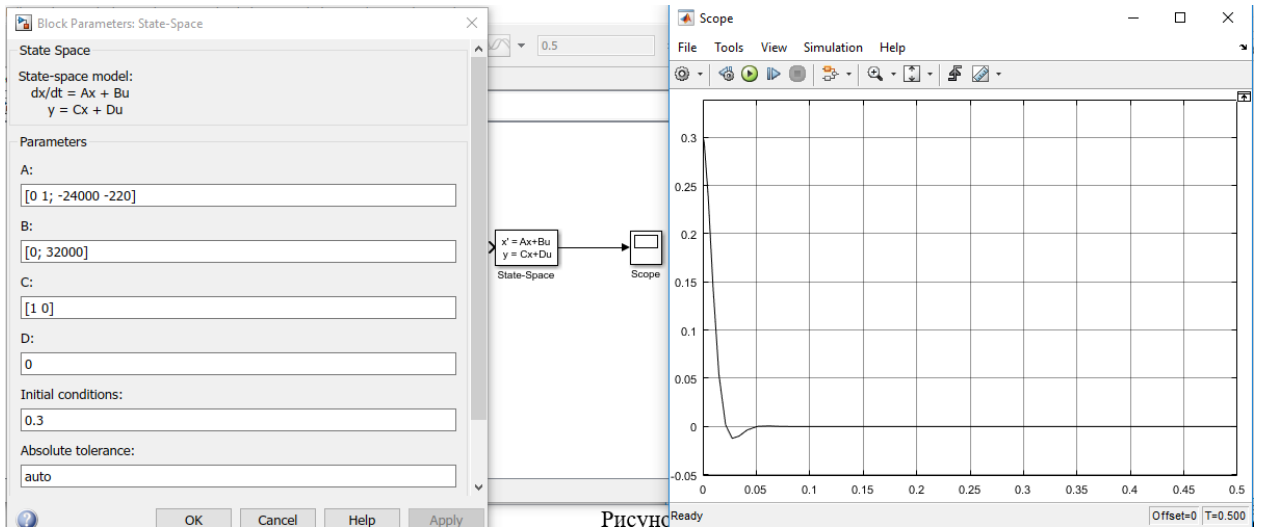


Рисунок 2.17 – Невозмущённое движение исходной системы

Для сравнения, на рисунке 2.18 показано невозмущённое движение исходной системы с рассчитанным модальным регулятором.

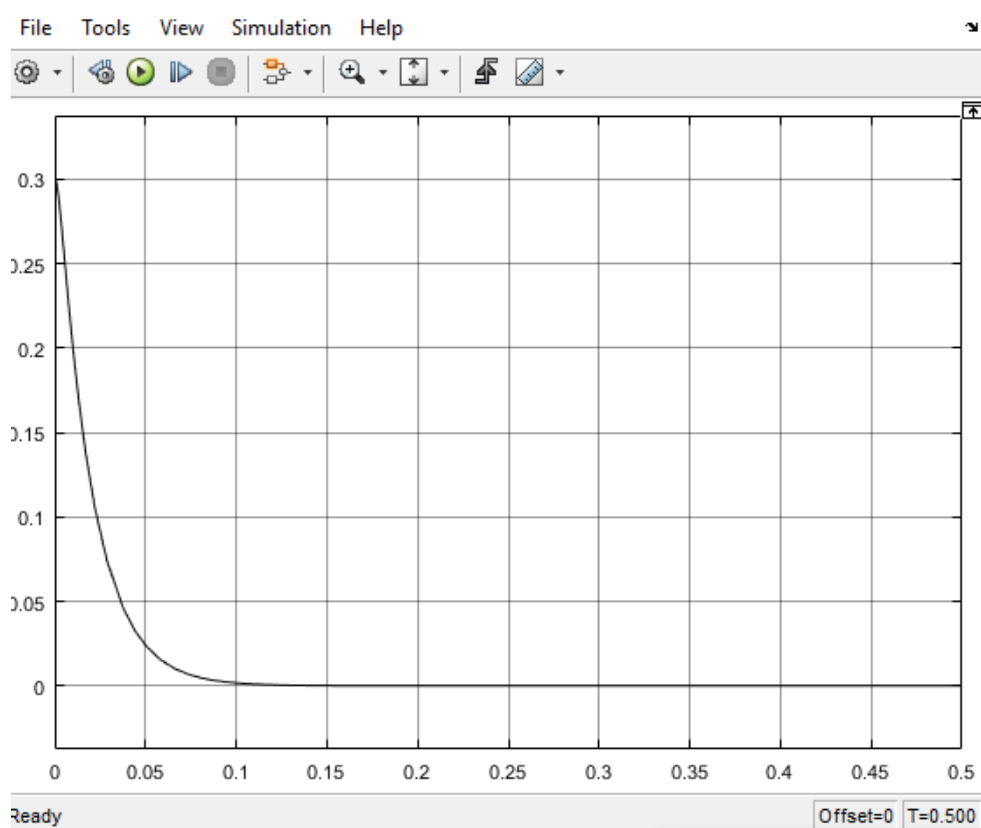


Рисунок 2.18 – График невозмущённого движения системы с модальным регулятором

Как видно, при добавлении в систему модального регулятора, система значительно улучшается: у нее исчезает перерегулирование, при этом практически не уменьшая быстродействие системы.

На рисунке 2.16 показан расчет следящей системы.

```
>> Nbar=rscale(sys,K)
Warning: NARGCHK will be removed in a
future release. Use NARGINCHK or
NARGOUTCHK instead.
> In rscale (line 25)

Nbar =

    1.7500
```

Рисунок 2.19 – Расчет следящей системы

Задав весь ряд параметров, таких как матрица состояний A , матрица управления B , матрица наблюдаемости C и матрицы прямого воздействия D , вводом команды $Nbar$, мы получаем рассчитанное значение для следящей системы:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + B \cdot Nbar \cdot r(t), \\ y(t) = C^T x(t) \end{cases}$$

На рисунке 2.20 представлены результаты моделирования следящей системы.

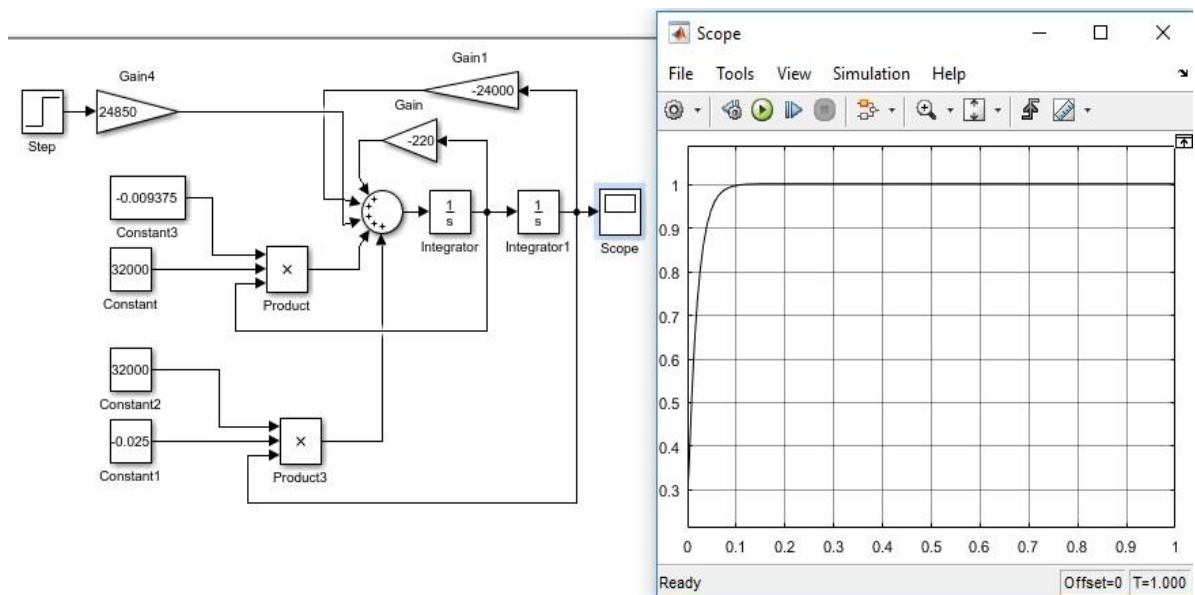


Рисунок 2.20 – Переходной процесс следящей системы управления рукой робота

В соответствии с графиком (рисунок 2.20) можно сделать вывод о том, что синтезированная система управления рукой робота удовлетворяет заданной динамике и цель достигнута.

3 Безопасность жизнедеятельности

3.1 Безопасность при использовании роботов

Любой робот, в особенности промышленный, представляет источник повышенной опасности. Огромные промышленные роботы-погрузчики либо же роботы-манипуляторы могут с лёгкостью убить человека, который по собственной неосторожности оказался на пути у робота.

Основная проблема заключается в ограниченном интеллекте робота. Хотя робота можно запрограммировать выполнять любое действие, установить на него различные датчики, которые были бы способны предотвратить несчастные случаи, сами по себе роботы не обладают собственным интеллектом и в большинстве своем представляют собой бездумные машины, прямо следующие запрограммированным протоколам. Робот может выполнять свою программу, не осознавая, что произошел сбой и в данный момент робот устраивает погром, уничтожая продукцию и является источником опасности для жизни и здоровья работников. Как итог, что самое главное, возможные человеческие жертвы. Побочным уроном является повреждение либо же уничтожение готовой продукции и сырья, что так же несет серьезные материальные убытки.

Особую опасность представляют в данной ситуации подвижные роботы, способные осуществлять перемещения во всех направлениях. Даже если такой робот имеет четко запрограммированную траекторию движения, нельзя забывать, что в силу различных сбоев, либо же износа/повреждения подвижной части, может привести к резкой смене курса движения робота. Также проблема заключается в том, что по окончании рабочего цикла и возвращения робота на исходную позицию для начала повторного цикла, либо же при переходе робота в другую зону для выполнения иного цикла, траектория движения робота так же может быть неконтролируемой.

Ко всему прочему, возможны ситуации, когда робот находится в неподвижном состоянии, но не является отключенным. Система ждет, когда будет подан входной сигнал для начала работы. И нахождение вблизи такого робота может повлечь за собой травмоопасность в следствие внезапно заработавшего робота. То же самое и возможно при экстренном отключении робота в силу. При включении робот продолжает выполнять свой рабочий цикл. Особую опасность представляют ситуации, когда в силу некоторых технических обстоятельств работник вынужден войти в опасную зону действия робота, для починки либо же калибровки робота. Причем в редких случаях возникают ситуации, когда робота невозможно отключить.

В целях повышения безопасности при эксплуатации роботов, проводится ряд мероприятий, направленных на устранение рисков травмоопасности. Одним из наиболее распространенных и относительно эффективных является установка ограждений в зоне действия робота.

Данные ограждения представляют собой стенки или заборы, ограждающие роботов от работников. Вход в данную зону представляет собой закрываемую на ключ дверь, что предотвращает попадание людей в зону действия рабочего робота.

Вторым способом является установка блокираторов. Нажатие на кнопку, отвечающую за блокировку, принудительно прекращает работу робота. После повторного нажатия, блокировка снимается. Обязательным является установка кнопок аварийной остановки.

Третий способ заключается в ограничении зоны действия робота. Делается это двумя основными способами: программированием либо же установки каких-либо физических упоров, ограничивающих подвижность робота.

Некоторую пользу приносит так же правильное размещение оборудования. Как правило, на заводах имеются какие-либо станки, непосредственно к которым в дальнейшем добавляются роботы. Суть правильного размещения заключается в минимизации рисков для оператора посредством создания максимального расстояния между роботом и оператором. В таком случае, робот размещается на максимальном расстоянии от ограждений.

Второстепенным, но обязательным средством повышения безопасности является установка предупредительных знаков и звуковой либо же световой индикации, которые, как правило, сигнализируют человека о том, что робот не выключен и все еще представляет средство повышенной опасности.

Повышение надежности роботов способствует снижению сбоев. Резкий скачок напряжения либо же перегрев способен вывести робота из строя. Поэтому вопрос пыли и влагозащиты, являются первостепенными. При эксплуатации робота в условиях повышенной температуры следует установить охлаждающую установку.

Повышения безопасности можно добиться даже на стадии проектирования робота. Удаление всех острых граней и установка мягкой обшивки способна значительно снизить опасность робота.

Ко всему вышесказанному, инструктаж работников предприятия является важным пунктом повышения безопасности труда. Периодическое проведение лекций по безопасности, на которых рабочему персоналу доступно объясняют правила техники безопасности и недопустимость их нарушения, способно уменьшить количество несчастных случаев, произошедших по причине халатности персонала [11].

3.2 Защита от прикосновения к объектам под напряжением

Опасность поражения током при прикосновении к корпусу и другим токоведущим металлическим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам,

может быть устранена быстрым отключением поврежденной электроустановки от питающей сети, а также снижением напряжения корпуса относительно земли.

Должна соблюдаться электробезопасность при проведении строительно-монтажных работ. Строительные площадки и помещения на них относятся к объектам повышенной или особой опасности. Рабочие, имеющие с применением электрического тока, в том числе пользующиеся электрифицированным инструментом, должны работать в резиновых перчатках и галошах и на резиновых ковриках. Включать электроустановки может только специально обученный рабочий. Корпуса электрооборудования должны быть надежно заземлены. В помещениях с повышенной влажностью, а также в котлах, баках и вне помещений напряжение должно быть не выше 36 В. звука в дБА, используется для ориентировочной оценки постоянного и непостоянного шума, так как в этом случае мы не знаем спектра шума.

Поражение электрическим током происходит, когда человеческий организм вступает в контакт с источником напряжения. Коснувшись проводника, который находится под напряжением, человек становится частью электросети, по которой начинает протекать электрический ток. Как известно, организм человека состоит из большого количества солей и жидкости, что является хорошим проводником электричества, поэтому действие электрического тока на организм человека может быть летальным. Последствия, которые возникнут в результате действия электрического тока на человека зависят от многих факторов, а именно:- от величины и рода протекающего тока, переменный ток является более опасным, чем постоянный;- продолжительности его воздействия, чем больше время действия тока на человека, тем тяжелее последствия;- пути протекания, самую большую опасность представляет ток, протекающий через головной и спинной мозг, область сердца и органов дыхания (легкие);- от физического и психологического состояния человека. Организм человека обладает неким сопротивлением, это сопротивление варьируется в зависимости от состояния человека. Минимальная величина тока, которую способен почувствовать человеческий организм составляет 1 мА. При повышении тока более 1 мА человек начинает чувствовать себя некомфортно, возникают болезненные сокращения мышц, при увеличении тока до 12-15 мА возникает судорожное сокращение мышц, контролировать свою мышечную систему человек уже не в состоянии и собственными силами не может разорвать контакт с источником тока. Действие электрического тока более 25 мА приводит к параличу мышц органов дыхания в результате чего человек может просто-напросто задохнуться. При дальнейшем увеличении тока возникает фибрилляция сердца. Электрический ток проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий: термическое; электролитическое; биологическое

Тело человека за счет наличия большого количества жидкости с содержащимися в ее составе солями и металлами, является проводником электрического тока, воздействие которого может привести к летальным последствиям для человека

Так как источником питания роботов является электричество, каждый робот может нести потенциальную опасность. Источниками питания являются батарейки, аккумуляторы либо же прямое подключение робота в сеть при наличии подходящего зарядного кабеля с преобразователем непостоянного электрического тока в постоянный.

Поражающее воздействие электрическим током происходит, когда человек, не имея средств защиты касается объекта под напряжением. Коснувшись способного проводить электричество объекта, к которым относятся различные металлические объекты, а также соледержащие жидкости, человек, тело которого так же является проводником, сразу начинает пропускать сквозь себя электрический ток. Травматизм от воздействия электрического тока напрямую зависит от силы и времени воздействия. Поражающее воздействие электрического тока включает в себя:

- 1) Повреждение мягких тканей, вызывающее их разрыв;
- 2) Ожоги и обугливание тканей
- 3) Распад органических соединений в теле человека, включая плазму и кровь;
- 4) Непроизвольное сокращение мышц и тканей, опасное тем, что может привести к остановке сердца и атрофии мышц.

Опаснее всего является его воздействие на органы дыхания, мозг и сердце. Кроме того, электрический ток угнетающе действует на центральную нервную систему человека, и может привести к полному либо же частичному параличу.

Важнейшими факторами, влияющими на исход поражения электрическим током, являются:

- 1) величина тока, протекающего через тело человека;
- 2) продолжительность воздействия тока;
- 3) частота тока;
- 4) путь прохождения тока;
- 5) индивидуальные свойства организма человека.

В нормальных условиях наименьший ток промышленной частоты, который вызывает физиологические ощущения у человека, в среднем равен 1 миллиамперу (мА); для постоянного тока эта величина равна 5 мА.

Продолжительность воздействия тока. Продолжительное воздействие электрического тока с параметрами, не представлявшими первоначально опасности для организма, может привести к гибели в результате снижения сопротивления тела человека.

Токи различного рода (при прочих равных условиях) представляют различную степень опасности для организма. Характер их воздействия также неодинаков. Постоянный ток производит в организме термическое и

электролитическое действие, а переменный — преимущественно сокращение мышц, сосудов, голосовых связок и т.д.

Путь тока в организме человека имеет важное значение для исхода поражения. Проходящий ток распределяется в организме по всему его объему, однако наибольшая часть его проходит по пути наименьшего сопротивления, главным образом вдоль потоков тканевых жидкостей, кровеносных и лимфатических сосудов и оболочек нервных стволов.

Особенности индивидуальных свойств человека. Физическое и психическое состояние человека в момент воздействия на него электрического тока имеет огромное значение [12].

Батарейки и аккумуляторы. Не стоит забывать и про опасность самих источников питания, таких как аккумуляторы и батарейки. В случае наличия брака, протекания чрезмерной химической реакции или же повреждений есть вероятность того, что из источника питания может потечь электролит, образующий на контактах окисление. Этот процесс может привести в негодность контакты и потребовать их замену.

Кроме того, если источник питания испытал воздействия короткого замыкания, либо же имела место быть зарядка от токов большей мощности чем та, на которую рассчитана источник питания может резко вздуться. Это происходит в следствие процесса распада диоксида марганца, в следствие чего высвобождаются кислород, тогда как в процессе коррозии цинка выделяется водород. Наличие в свободном состоянии газов внутри батареи и ведут к увеличению ее размеров, что негативно сказывается на прочности ее корпуса.

В купе с возникающим перегревом может произойти разлом корпуса батареи и высвобождение раскаленного электролита, который может стать причиной пожара и уничтожения оборудования.

Для предотвращения подобных ситуаций требуется использование батарей и аккумуляторов от надежных производителей, с отсутствием брака и механических повреждений, а также правильная зарядка. Со временем устаревшие аккумуляторы необходимо заменять на новые.

Изоляция токоведущих частей – одна из основных мер электробезопасности. Сопротивление изоляции токоведущих частей электрических установок относительно земли должно быть не менее 0,5–10 МОм (1 МОм = 10⁶ Ом).

Электрическая изоляция — это слой диэлектрика, которым покрывают поверхность токоведущих элементов, или конструкция из непроводящего материала, с помощью которой токоведущие элементы отделяют от других частей электроустановки.

Часто в качестве дополнительной изоляции используется корпус электроприемника, выполненный из изоляционного материала. Такой корпус защищает от поражения электрическим током не только при пробое изоляции внутри изделия, но и при случайном прикосновении рабочей части инструмента к токоведущей части. Если же корпус изделия металлический,

то роль дополнительной изоляции играют изоляционные втулки, через которые питающий кабель проходит внутрь корпуса, и изолирующие прокладки, отделяющие электродвигатель от корпуса.

Одним из способов защиты от поражения электричеством, является минимизации возможности соприкосновения человека с источником тока. С этой целью электрическое оборудование экранируется диэлектрическим экраном, который также защищает оборудование и от механического воздействия. Также использование защитной экипировки, таких как резиновая обувь и перчатки способны защитить человека даже при соприкосновении с прямым источником тока

Вторым способ является установка заземлений. Заземление представляет собой искусственное соединение электрооборудования с заземляющим устройством, представляющим собой набор проводников, и заземлителем. Заземлители представляют собой электроды из металла. Каждый электрический прибор подключаются к заземлению

Для рабочей мощности в пределах 1000 Вт, сопротивление заземления, согласно требованиям, составляет 15, 30 либо 60 Ом в зависимости от выбранного прибора.

Расчет заземляющих устройств сводится к определению переходного сопротивления растекания тока замыкания на землю с заземлителей, зависящего от удельного сопротивления слоев грунта ρ . Сопротивление слоев грунта зависит от их состава, влажности, уровня грунтовых вод и температуры. Наиболее точно ρ можно определить непосредственным промером на месте одним из существующих методов. Рекомендуемые при предварительных расчетах значения для различных грунтов и повышающие коэффициенты в промерзающих грунтах приводятся в справочниках [13].

Произведя расчет для искусственных заземлителей, предварительно определяют, не окажется ли достаточно естественных заземлителей, а уже затем подсчитывают необходимое сопротивление заземлителей искусственных

$$R_{иск} \leq \frac{R_{зз} \times R_{ест}}{R_{ест} - R_{зз}}, \quad (3.1)$$

Для электроустановок напряжением выше 1000 В с малыми токами замыкания на землю сопротивление заземляющего устройства должно удовлетворять условию

$$R_3 \leq \frac{U_3}{I_3}, \quad (3.2)$$

3.3 Обеспечение безопасности производственного оборудования

Помимо обеспечения безопасности работников предприятия, меры по защите должны затрагивать так же и производственное оборудование.

Обеспечение защиты зависит от непосредственно самого оборудования, а также от его расположения.

Основную опасность для производственного оборудования представляет пыль и влага. Степень защищенности оборудования от последних оценивается по индексу IP XX, где первая цифра – степень защиты от пыли, а вторая – степень защиты от влаги. IP 00 означает, что оборудование не имеет никакой защиты. Максимальным значением является IP69, который означает полную защиту от пыли и защиту от горячей воды при длительном погружении на глубину в несколько метров. Последнее, как правило, необходимо для оборудования, которое находится непосредственно под водой.

Кроме защиты от пыли и влаги, необходимо также обеспечить защиту от механических повреждений и сбоев в работе оборудования. Делается это путем установки защитного оборудования, такого как барьеры, а также ограждения [14].

3.4 Пожаробезопасность

Пожаром называют процесс неконтролируемое горения. Поражающее воздействие пожаров, помимо прямого воздействия огня, является образование угарного газа в процессе горения, а также выделения других едких химических веществ, происходящих при нагревании находящихся на производстве объектов, таких как изделия из пластика и резины.

Помимо прямой опасности жизни сотрудников предприятия, пожар представляет огромную опасность и для оборудования на предприятии.

Основной причиной пожаров является халатность сотрудников предприятия. Но также пожары могут быть вызваны и другими факторами, такими как короткое замыкание, взрыв аккумуляторов и батарей и тд.

Способы защиты. Установка устройств противопожарной сигнализации способно вовремя оповестить персонал об опасности. Также производится установка систем автоматического тушения пожаров. К таковым относятся разбрызгиватели. Наиболее дешевым и одним из эффективных способов тушения пожаров является вода. Однако следует помнить, что при горении электроприборов, находящихся

Кроме того, некоторые вещества только усиливают свое горение от воды. К таковым относятся нефтепродукты, масляных жидкостей и пластика. В данных случаях требуется использование безводных средств тушения, коими являются огнетушители.

Огнетушители по виду используемых средств тушения подразделяются на три группы: пенные, газовые и порошковые. Из огнетушителя огнетушащее вещество может подаваться под давлением газов, образующихся в результате химической реакции; под давлением заряда или рабочего газа, находящегося над огнетушащим веществом; под давлением рабочего газа, находящегося в отдельном баллоне; свободным истечением огнетушащего вещества [15].

3.5 Виброзащита

Вибрация – это механические колебания машин, механизмов и их элементов. Основными источниками вибрации являются машины для приготовления, распределения и виброуплотнения бетонной смеси, а также строительные машины, компрессоры и бульдозеры. Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью.

При длительном воздействии она вызывает хроническое профессиональное заболевание – вибрационную болезнь. Действие вибрации в зависимости от продолжительности воздействия подразделяют на постоянную вибрацию, для которой контролируемый параметр за время наблюдения изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ), и непостоянную вибрацию, для которой указанные параметры за время наблюдения изменяются более чем в 2 раза.

По характеру воздействия на человека вибрация подразделяется на: общую и местную (локальную). Общая вибрация передается через опорные поверхности сидящего (стоящего) человека и воздействует на весь организм. При действии на организм общей вибрации в первую очередь страдает опорно-двигательный аппарат и нервная система и такие анализаторы, как вестибулярный, зрительный. Местная вибрация – передается через руки или участки тела человека, контактирующего с вибрирующими поверхностями. Она воздействует на отдельные части организма человека при работе с виброинструментом, присутствует на рычагах управления транспортными средствами и пр.

Если техническими средствами не удастся достичь выполнения гигиенических норм на рабочем месте, то необходимо применять средства индивидуальной защиты: виброзащитные рукавицы и виброзащитную обувь, наколенники, коврики, нагрудники, специальные костюмы. С целью снижения уровня отрицательного воздействия вибрации на здоровье работающих способствует применение индивидуальных средств защиты от вибрации.

Виброзащитные рукавицы (с внутренней стороны обтянуты тканью для того, чтобы предотвратить раздражение).

Помимо организационных мер вибробезопасные условия труда обеспечиваются применением вибробезопасных машин, средств активной и

пассивной виброзащиты, снижающих воздействие вибрации на работающих на путях ее распространения, а также проектированием технологических процессов и производственных помещений, обеспечивающих не превышение норм вибрации на рабочих местах. Также следует предусматривать ограничение ультразвука, передающегося контактным путем.

Снижение вибрации машин может достигаться путем снижения виброактивности и внутренней виброзащитой источника. Причиной низкочастотных вибраций насосов, компрессоров, электродвигателей является неуравновешенность вращающихся элементов. Действие неуравновешенных динамических сил усугубляется плохим креплением деталей, их износом в процессе эксплуатации. Устранение неуравновешенности вращающихся масс достигается балансировкой. Второй способ внутренней виброзащиты – вибродемпфирование, т.е. превращение энергии механических колебаний системы в тепловую энергию. Виброгашение в системе достигается при помощи динамических виброгасителей, использующих эффекты инерции вязкого, сухого трения и т.п. Виброизоляция (в собственном понимании этого термина) заключается в уменьшении передачи вибрации от источника защищаемому объекту (человек или другой агрегат) путем введения дополнительной упругой связи [16].

3.6 Защита от влияния электромагнитных полей

Выбор того или иного способа защиты от воздействия электромагнитных излучений зависит от рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, напряженности и плотности потока энергии. ЭМП, необходимо й степени защита.

К мерам по уменьшению воздействия на работников. ЭМП относятся: организационные, инженерно-технические и врачебно-профилактические

Организационные мероприятия осуществляют органы санитарного надзора. Они проводят санитарный надзор за объектами, в которых используются источники электромагнитных излучений

Инженерно-технические мероприятия предусматривают такое расположение источников. ЭМП, которое б сводило к минимуму их воздействие на работающих, использования в условиях производства дистанционного управления аппаратурой, есть источник ом излучения, экранирование источников излучения, применения средств индивидуальной защиты (халатов, комбинезонов с металлизированной ткани, с выводом на заземляющее устройство). Для защиты глаз целесообразно использовать защитные очки. ЗП5-90. Стекло очков покрыто полупроводниковым оловом, что ослабляет интенсивность электромагнитной энергии при светопропускание не ниже 755%.

Гигиеническое нормирование электромагнитных полей. Целью гигиенического нормирования является установление предельно допустимых уровней (ПДУ) воздействия на людей ЭМП с учётом особенностей облучения и контингента лиц.

Обеспечение защиты персонала, профессионально не связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП, осуществляется в соответствии с требованиями гигиенических нормативов ЭМП, установленных для населения.

Предельно допустимый уровень напряжённости *электростатического поля* (ЭСП) при воздействии менее 1 часа за смену устанавливается равным 60 кВ/м. При большей напряжённости работа без средств защиты не допускается. Время пребывания в зоне воздействия ЭСП при напряжённости менее 20 кВ/м не регламентируется. В диапазоне 20 - 60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в ЭСП без средств защиты определяется по формуле указанных норм.

Воздействие переменных электромагнитных полей. Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряженностей электрического и магнитного полей, интенсивности потока энергии, частоты колебаний, локализации облучений на поверхности тела и индивидуальных особенностей организма.

Механизм этого воздействия заключается в том, что в электрическом поле атомы и молекулы, из которых состоит человеческое тело, поляризуются, а полярные молекулы (например, воды), кроме того, ориентируются по направлению распространения электромагнитного поля. В электролитах, которыми являются жидкие составляющие тканей, крови, межклеточной жидкости и т. п., после приложения внешнего поля появляются ионные токи. Переменное электрическое поле вызывает нагрев тканей тела человека как за счет переменной поляризации диэлектриков, так и за счет появления токов проводимости.

Источники излучений. Известно, что около проводника, по которому протекает ток, возникают одновременно электрическое и магнитное поля. Если ток не меняется во времени, эти поля не зависят друг от друга. При переменном токе магнитное и электрическое поля связаны между собой, представляя единое электромагнитное поле.

Электромагнитное поле обладает определённой энергией и характеризуется электрической и магнитной напряжённостью, что необходимо учитывать при оценке условий труда.

Источниками электромагнитных излучений служат радиотехнические и электронные устройства, индукторы, конденсаторы термических установок, трансформаторы, антенны, фланцевые соединения волноводных трактов, генераторы сверхвысоких частот и др.

Защита от электромагнитных полей. Электромагнитное поле – это область распространения электромагнитных волн. Основные параметры

электромагнитных волн – длина волны λ , частота f и скорость распространения света c . Эти параметры связаны соотношением:

$$\lambda = \frac{c}{f \times \sqrt{\mu \times \varepsilon}}. \quad (3.3)$$

где μ и ε – магнитная и диэлектрическая проницаемость среды.

Средства защиты от электромагнитных полей и излучений должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) не искажать, существенно, электромагнитное поле;
- 2) не снижать качество технического обслуживания и ремонта;
- 3) не снижать производительность труда.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

- 1) уменьшение излучения от источника;
- 2) экранирование источника излучения и рабочего места;
- 3) установление санитарно-защитной зоны;
- 4) поглощение или уменьшение образования зарядов статического электричества;
- 5) устранение зарядов статического электричества;
- 6) применение средств индивидуальной защиты.

Уменьшение мощности излучения от источника реализуется применением поглотителей электромагнитной энергии; блокированием излучения или снижением его мощности для вращающихся антенн в секторе, в котором находится защищаемый объект.

Поглощение электромагнитных излучений осуществляется поглотительным материалом путем превращения энергии электромагнитного поля в тепловую. В качестве такого материала применяют каучук, поролон, пенополистирол, ферромагнитный порошок со связывающим диэлектриком, волосяные маты, пропитанные графитом [17].

3.7 Вредные излучения и их влияние на здоровье

В течение своей жизни и всего биологического развития человек облучался и в настоящее время продолжает подвергаться воздействию радиоактивного излучения от естественного природного фона. Это относится ко всему населению земного шара и речь идет о естественной радиоактивности.

Естественные источники излучения, производящие этот фон, разделяют на две категории: внешнего и внутреннего облучения. К внешним относятся космические (галактические) излучения, солнечная радиация, излучения от горных пород земной коры и воздуха. Облучают нас даже собственные стены, то есть стройматериалы, из которых изготовлены здания и сооружения.

Воздействие электромагнитного излучения на организм человека напрямую зависит от особенностей его действия и других существенных характеристик: Частота; Количество единиц электромагнитных импульсов, что образуется за единицу времени, чем больше частота такого излучения, тем условно больше вредных последствий она вызывает; Длина волны

От величины и интенсивности образования таких факторов зависит влияние на человека электрических и электромагнитных полей, его пагубное действие на все органы и системы человеческого организма. Важным фактором, который также влияет на степень поражения, является режим излучения. То есть, прерывность или непрерывность контакта между человеком и источниками электромагнитного излучения.

В наибольшей степени страдает нервная система, а также сердечно-сосудистая. Сначала возникают такие признаки, как головная боль и головокружение, общая слабость, нарушение сна и т.д. Страдает давление, изменения также проявляются в увеличении или уменьшении артериального давления. Далее следует замедление пульса, боли в сердце (могут сопровождаться тахикардией или брадикардией), выпадение волос и ломкость ногтевых пластин [18].

3.8 Нормирование шума

Основная цель нормирования шума на рабочих местах – это установление предельно допустимого уровня (ПДУ) шума, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума – это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального у систем и анализаторов, чувствительных к шуму.

Нормируемыми характеристиками постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в децибелах (дБ) в октавных полосах частот. Допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука в децибелах акустических (дБА), измеренный по шкале “А” на временной характеристике шумомера “медленно”.

Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является эквивалентный (по энергии) уровень звука LAЭКВ, дБА, и уровень звукового давления Lэкв, дБ. [19]

3.9 Ионизирующие излучения и защита от их воздействия

Ионизирующее излучение – это излучение при взаимодействии, которого со средой образуются противоположно заряженные пары ионов (положительно заряженные ионы и электроны). Такой процесс называется ионизацией.

Различают:

Непосредственно ионизирующее излучение состоит из заряженных частиц, кинетическая энергия которых достаточная для ионизации при столкновении с атомами вещества (α и β – излучение радионуклидов, протонное излучение ускорителей и т.п.).

Косвенно ионизирующее излучение состоит из незаряженных (нейтральных) частиц, взаимодействие которых со средой приводит к возникновению заряженных частиц, способных непосредственно вызывать ионизацию (нейтронное излучение, гамма-излучение).

Методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений: Ионизационный, химический, фотографический, сцинтилляционный.

Защита от ионизирующих излучений осуществляется с помощью следующих мероприятий: сокращение продолжительности работы в зоне излучения; полная автоматизация технологического процесса; дистанционное управление; экранирование источника излучения; увеличение расстояния; использование манипуляторов и роботов; использование средств индивидуальной защиты и предупреждение знаком радиационной опасности; постоянный контроль за уровнем ионизирующего излучения и за дозами облучения персонала.

Допустимые дозы ионизирующего излучения. Величина, используемая для оценки степени воздействия ионизирующего излучения на любые вещества, живые организмы и их ткани. Действие ионизирующих излучений представляет собой сложный процесс. Эффект облучения зависит от величины поглощенной дозы, ее мощности, вида излучения, объема облучения тканей и органов. Для его количественной оценки введены специальные единицы, которые делятся на внесистемные и единицы в системе СИ. [20]

Экспозиционная доза

$$X = \frac{dQ}{dm}. \quad (3.4)$$

Поглощенная доза (D) - основная дозиметрическая величина

$$D = \frac{dE}{dm}. \quad (3.5)$$

Эквивалентная доза (H).

$$H = \sum_r w_r \times D_r . \quad (3.6)$$

Эффективная доза:

$$E_{эфф} = \sum_t w_t \times H_t . \quad (3.7)$$

Коллективная эффективная эквивалентная доза:

$$S = \int_0^{\infty} E \times \frac{dN}{dE} \times dE . \quad (3.8)$$

3.10 Санитарно-гигиенические требования к производственным помещениям

Санитарно-гигиенические требования к зданиям по производству какой-либо продукции сводятся, в сущности, к созданию в них благоприятных для здоровья условий работы, а также удовлетворению всех гигиенических потребностей. Перечислим основные из них.

1) в производственных помещениях следует принять меры защиты от проникновения грызунов и насекомых. Для примера: плотные двери, заделывание всех отверстий вокруг различных коммуникаций, металлические сетки на вентиляционных отверстиях.

2) Полы помещений для производства должны быть выполнены из прочного материала и иметь твердую и нескользкую поверхность.

3) Организации, которые производят БАД, должны обладать достаточными площадями для работ в хороших гигиенических условиях. Планировки помещений должны полностью исключать загрязнение продукции.

4) Все кабели и трубы должны быть аккуратно защищены и утеплены в поверхностях стен.

5) Внутренние стены должны обладать гладкой поверхностью, устойчивой к ударам и действию воды. Они должны быть облицованы специальной глазурованной плиткой или выкрашены в светлый цвет и без особого труда подвергаться мойке. Потолки также следует окрашивать в светлый цвет и делать водостойкими.

6) Планировка производственных помещений должна обеспечивать поточность всех выполняемых технологических процессов, а также полностью исключать возможность пересечения полуфабрикатов, отходов, грузопотоков сырья с грузопотоком готовой продукции.

7) При появлении плесени в производственных помещениях следует очистить и окрасить красками с разрешенными фунгицидными препаратами места ее возникновения.

8) Для хранения дезинфицирующих и моющих средств, а также уборочного инвентаря следует использовать отдельные кладовые и шкафы.

9) При наличии вентиляции разрешается размещать в подвалах помещения для складов, холодильные камеры, бытовые помещения, в соответствии со строительными нормами.

10) Должны быть предусмотрены раковины с холодной и горячей водой, снабженные мылом, одноразовыми полотенцами, дезинфицирующим раствором [21].

3.11 Производственная пыль как фактор производственной вредности

Производственной пылью называют взвешенные в воздухе, медленно оседающие твердые частицы размерами от нескольких десятков долей микрона. Многие виды производственной пыли представляют собой аэрозоль.

По размерам частиц (дисперсности) различают видимую пыль, микроскопическую и ультрамикроскопическую.

Согласно общепринятой классификации все виды производственной пыли подразделяются на органические, неорганические и смешанные. Первые, в свою очередь, делятся на пыли естественного (древесная, хлопковая, льняная, шерстяная и др.) и искусственного (пыли пластмасс, резины, смол и др.) происхождения, а вторые – на металлическую (железная, цинковая, алюминиевая и др.) и минеральную (кварцевая, цементная, асбестовая и др.) пыль. К смешанным видам пыли относят каменноугольную пыль, содержащую частицы угля, кварца и силикатов, а также пыли, образующиеся в химических и других производствах.

Специфика качественного состава пыли предопределяет возможность и характер действия на организм человека. Определенное значение имеет форма и консистенция пылевых частиц, которые в значительной мере зависят от природы исходного материала. Так, длинные и мягкие пылевые частицы легко осаждаются на слизистой оболочке верхних дыхательных путей и могут стать причиной хронического трахеита и бронхита. Степень вредного воздействия пыли зависит также от ее растворимости в тканевых жидкостях организма. Большая растворимость токсической пыли усиливает и ускоряет ее вредное влияние [22].

4 Экономическая часть

4.1 Обоснованность эффективности внедрения роботоманипуляторов в производство

Использование в промышленности роботов уже доказало свою эффективность. Дело в том, что на многих производствах, особенно касающихся тяжелой промышленности производство без использования роботов в принципе невозможно. К примеру, в сфере автомобилестроения требуется перенос и точечный монтаж огромных деталей, осуществить который вручную не представляется возможным в силу больших размеров деталей и, соответственно, большой трудоемкости производства. Напротив же, в производстве изделий крайне небольшого размера роботы эффективнее людей в силу возможности создания роботов, способных совершать работу с точностью, значительно превосходящую человеческую. Примером этого может служить установка smd компонентов (резисторов) на печатную плату. Весь процесс выглядит следующим образом: на заготовку тонким ровным слоем наносится специальный клей, на клей насаживаются smd компоненты, после чего заготовка отправляется в печь для сушки клея.

Во всех данных операциях превосходство роботизации очевидно: робот способен гораздо точнее нанести клей ровным слоем, роботом способен точнее и быстрее установить smd компоненты, ведь речь идет о чрезвычайно маленьких деталях, где смещение буквально на сантиметр грозит браку.

4.2 Себестоимость внедрения роботов, способы снижения стоимости

В робототехнике, как и в ряде других областей, чем точнее робот и чем лучше его быстродействие, тем он дороже. Поэтому вопрос цены в данном случае является первостепенным. Кроме того, необходимо рассчитывать, чтобы характеристики робота не являлись избыточным. К примеру, для простого робота погрузчика, способного перевозить объекты массой не более 10 килограмм, вовсе не нужен двигатель огромной мощности.

Основные способы снижения себестоимости разработки и внедрения роботов являются:

1) Повышение надежности работы роботов. Увеличение срока службы роботов и уменьшение изнашиваемости механизмов способствует снижению цены ремонта, увеличению ремонтпригодности роботов и, как следствие, снижению общих затрат на обслуживание и замену роботов .

2) Увеличение прибыли от производства. Если цех, оснащенный роботами, будет производить больше продукции с минимальным количеством брака, то будет получена большая прибыль с продукции, которая будет целиком покрывать затраты на производство.

3) Использование оптимального в данных условиях оборудования. Как уже было сказано выше, чем лучше оборудование, тем оно и дороже. Поэтому установка робота, способного обрабатывать более 3000 заготовок в час для цеха, пропускная способность которого составляет всего 1000 заготовок в час, в целом, является излишней. Установка робота, обрабатывающего всего 1000 заготовок в час, не только не ухудшит скорость производства, но и уменьшит себестоимость.

4) Качественное использование оборудования. Использование оборудования с максимально высокой эффективностью, которая включает в себя лучшее управления и загруженность роботов вкупе с максимально возможным временем установки даст прирост к производительности труда, что увеличит прибыль.

4.3 Расчет себестоимости САУ руки-робота на примере собранного прототипа

Себестоимость САУ руки робота включает в себя затраты на материалы для изготовления робота, его сборку, а также разработку и установку необходимого программного обеспечения для робота. В таблице 4.2 представлен расчет себестоимости оборудования и деталей, необходимого для сборки робота

Таблица 4.2 – перечень и стоимость деталей робота

№	Наименование деталей, приборов и вычислительной техники	Количество	Стоимость, тг	Общая стоимость, тг
1	Микропроцессорный контроллер	1	16000	16000
2	ПК	1	120000	120000
3	Двигатель 186RPM	1	9600	9600
4	Двигателя 89RPM	2	5600	11200
5	Механизированная рука робота	1	12000	7300
6	Модуль для подключения двигателей	4	3000	12000
7	Bluetooth модуль	1	9600	9600
8	Комплект деталей и крепежей для создания каркаса	1	18000	18000
9	Источник питания	1	3750	3750
ИТОГО				187850

4.4 Затраты на заработную плату разработчиков

Для разработки робота-манипулятора требуются инженер-сборщик, программист и консультант по техническим вопросам. В таблице 4.3 показана заработная плата и время работы каждого специалиста.

Таблица 4.3 – перечень специалистов и их заработная плата

Наименование	Зарботная плата в месяц	Время работы
Инженер-сборщик	20000	1.5 месяца
Программист	30000	0.5 месяца
Консультант по техническим вопросам	25000	1.5 месяца

Общая стоимость затрат высчитывается по формуле:

$$ЗП_{общ} = ЗП_{сб} \times T_{сб} + ЗП_{пр} \times T_{пр} + ЗП_{ко} \times T_{ко} , \quad (4.1)$$

где: $ЗП_{общ}$ – общие затраты за заработную плату работников;

$ЗП_{сб}$ – заработная плата сборщика в месяц;

$T_{сб}$ – продолжительность работы сборщика;

$ЗП_{пр}$ - заработная плата программиста в месяц;

$T_{пр}$ - продолжительность работы программиста;

$ЗП_{ко}$ - заработная плата консультанта по техническим вопросам в месяц;

$T_{ко}$ - заработная плата консультанта в месяц;

$$ЗП_{общ} = 20000 \times 1.5 + 30000 \times 0.5 + 25000 \times 1.5 = 82500 \text{тг} ,$$

Общие затраты на заработную плату сотрудников в течение всего периода разработки составляют 82500 тенге.

4.5 Затраты на разработку программного обеспечения

Общие затраты на разработку программного обеспечения складываются из заработной платы программиста за весь период работы, а также затраты на покупку компьютера.

Из прошлого раздела заработная плата программиста в течении всего периода работы составляет 15000 тенге.

Стоимость покупки ноутбука составляет 120000 тенге. Потребление электричества в день составляет 400 Вт/час.

Стоимость затрат на электроэнергию, потребляемую ноутбуком за весь период разработки, определяется, как произведение потребляемой электроэнергии в день на количество рабочих дней:

$$Z_{\text{эк}} = \frac{400 \times 15}{1000} \times 17 = 102 \text{тг}.$$

Общие расходы на разработку ПО:

$$Z_{\text{по}} = 120000 + 102 + 15000 = 135102 \text{тг}.$$

В итоге, общие затраты на разработку программного обеспечения составляют 135102 тенге.

4.6 Затраты на электроэнергию

Источниками питания прототипа являются 6 батареек типа АА напряжением 1.2В.

В качестве таковых нами были использованы аккумуляторы Duracell Turbo стоимостью в 700 тенге. В сравнении с обычными щелочными батарейками, которые, безусловно, дешевле выбранных аккумуляторов, они не обладают возможностью подзарядки после израсходования заряда. Они способны обеспечивать питание установки в течение 8 часов непрерывной работы до полного израсходования заряда, что означает необходимость перед началом каждого рабочего дня заряжать аккумуляторы. Ёмкость одного аккумулятора составляет 2500 мА/час, из чего следует, что общая ёмкость составляет 15000 мА/час.

Для зарядки аккумуляторов необходима покупка зарядного устройства Duracell CEF14 (2AA2500mah) стоимостью 13000 тенге. С его помощью в течении 5 минут можно заряжать по 2 аккумулятора, что обеспечивает полную зарядку всех батареек в течении 15 минут.

Общие экономические затраты на источник питания и устройство подзарядки составляют 17200 тенге.

Также необходимо учесть, что спустя 400 зарядок, соответствующих 400 рабочим дням требуется потратить дополнительно 4200 тенге за замену аккумуляторов в силу достижения ими предела допустимого количества перезарядок.

Экономические затраты на зарядку аккумуляторов в течении месяца вычисляются по формуле:

$$Z = D \times \frac{C}{100 \times U} \times P, \quad (4.2)$$

где: Z – месячные затраты на электроэнергию;

D – количество рабочих дней;

C – общая ёмкость аккумуляторов;

U – напряжение;

P – стоимость одного кВт/час;

$$Z = 22 \times \frac{15000}{100 \times 6} \times 17 = 9350. \quad (4.3)$$

Из данных расчетов следует, что затраты на зарядку аккумуляторов в течение месяца будет составлять 9350 тенге.

4.7 Экономический эффект от использования работа на примере погрузочных работ.

Для определения данного эффекта будет вычислена производительность труда и затраты на содержание работа-погрузчика и рабочего-грузчика. Рабочим процессом будет являться перенос 20-килограммовых условных ящичков. Продолжительность труда в сутки составляет 8 часов. Стоимость работы грузчика – 500 тенге в час. Общее количество рабочих часов в неделю составляет 40 часов. Стоимость работа оценивается в 1900000 тенге, стоимость обслуживания включая подзарядку аккумулятора составляет 1600 тенге в день.

Расчет годового экономического эффекта будет осуществляться по формуле

$$E = E1 - E2, \quad (4.4)$$

где: E – годовой экономический эффект,

$E1$ – затраты на зарплату рабочего в год,

$E2$ – расходы на обслуживание работа в год (тг/год).

$$E = 120000 * 12 - 1600 * 22 * 12 = 1.440.000 - 422400 = 1.017.000 \text{ тенге}.$$

Для расчета времени, через которое стоимость работа окупится вычисляется по формуле

$$T = \frac{C}{E}, \quad (4.5)$$

где: T – время,

C – цена работа,

E – годовой экономический эффект

$$T = \frac{C}{E} = \frac{1.900.000}{1.017.000} = 1.868.$$

В результате, через 1.868 года или же через 682 дня робот окупится. Как видно, менее чем через 2 года робот окупится, что подтверждает его рентабельность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе был описан технологический процесс использования роботов манипуляторов, были описаны основные характеристики и составляющие роботов. Также были продемонстрированы основные схемы, в том числе схема автоматизации робота-манипулятора. Кроме того, был продемонстрирован собранный прототип подвижного робота-манипулятора на трехколесном шасси, описаны его характеристики и способ управления.

Во второй главе был выполнен полный анализ математической модели, составленной для собранного прототипа. Была определена устойчивость математической модели, вычислены границы устойчивости, которые удовлетворяют требованиям, найдено значение предельного коэффициента усиления, рассчитаны параметры для построения модального управления и следящей системы. Было проведено моделирование системы в среде Matlab как в исходном виде, так и с рассчитанными модальными регуляторами и следящей системой. Были получены результаты моделирования, исходя из которых модальный регулятор и следящая система рассчитаны верно, улучшая работу системы.

В безопасности и охране труда были описаны опасные факторы, которые могут угрожать жизни и здоровью персонала основными из которых основными опасными факторами являются угрозы поражения электрическим током, пожара, также были описаны все опасные факторы, исходящие непосредственно от самих роботов, самыми основными из которых является безопасность жизнедеятельности при непосредственной эксплуатации роботов, а также пожаробезопасность и электробезопасность.

В экономической части были рассчитаны себестоимость изготовления рабочего прототипа подвижного робота с манипулятором, стоимость его программирования, расходы на ремонт и эксплуатацию робота, на заработную плату сотрудников, принимающих участие в создании робота, а также вычислены затраты на электроэнергию и замену источников питания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Юревич Е.И. Основы робототехники. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005.- 416 с.
- 2 Сафонов Ю.М. Электроприводы промышленных роботов. - М.: Энергоатомиздат, 1990.-177 с.
- 3 Процесс изготовления smd компонентов, // Электронная версия на сайте <https://lamragid.ru/elektrika/komponenty/smd-elementy>
- 4 Спецификация роботов Makeblock Ultimate 2.0 // Электронная версия на сайте <https://www.makeblock.com/steam-kits/mbot-ultimate>
- 5 С.А.Филиппов Уроки робототехники, Москва «Лаборатория знаний», 2017г, 10-56 с.
- 6 Воронов А.А. и др. Основы теории автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1977. 519 с.
- 7 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - СПб, 2003.
- 8 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - СПб, 2003. с
- 9 Shirayayeva O. Linear Control Systems (using MATLAB). Textbook. – Almaty: 2016. – 240 p.
- 10 Ширяева О.И. Синтез модального регулятора, Алматы: 2016.
- 11 Т. Ретч, Г. Шмиттер, А. Марти, Принципы безопасности для промышленных роботов // Электронная версия на сайте <http://base.safework.ru/iloenc?navigator&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D85>
- 12 Скляр Н.Е., Рузняев Е.С., Волков В.В. Электробезопасность: Учебное пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. - 215 с.
- 13 Правила техники безопасности при экпл.эл.установок от 29.11.2012 №1509
- 14, Правила пожарной безопасности в Республике Казахстан ЛЕМ (Лем), 2019 г. 236 стр.
- 15 Колосов Ю.В., Барановский В.В. Защита от вибраций и шума на производстве // Электронная версия на сайте <http://window.edu.ru/resource/441/73441>
- 16 Л.К, Титова Электромагнитное излучение – Екатеринбург 2014 // Электронная версия на сайте http://lib.usfeu.ru/downloads/el-mag_Izl.pdf
- 17 Б. Б. Левитт Защита от электромагнитных полей, Москва АСТ, 2007, с. 3-23
- 18 Б. Б. Левитт Защита от электромагнитных полей, Москва АСТ, 2007, с. 45-68
- 19 Е. Колобова, Л. Проскурина, Н. Рахимова Производственный шум. Нормирование. Методы снижения шума, Оренбург, 2009 г. с. 7-32
- 20 Безопасность и охрана труда в РК ЛЕМ (Лем), 2019 г. с. 116-131
- 21 Безопасность и охрана труда в РК ЛЕМ (Лем), 2019 г. с. 225-272

22 Арустамов Э.А. - безопасность жизнедеятельности. // Электронная версия на сайте <http://ohrana-bgd.narod.ru/bgdps11.html>