

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Кафедра систем управления и мехатроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система автоматического управления активным магнитным подвесом

УДК 621.822-056.13:681.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е31	Камышникова Ольга Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Тутов И.А.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тухватулина Л.Р.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Невский Е.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	Губин В.Е.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Разрабатывать математические модели составных частей объектов профессиональной деятельности методами теории автоматического управления.
P2	Применять необходимые для построения моделей знания принципов действия и математического описания составных частей мехатронных и робототехнических систем (информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники).
P3	Определять характеристики объектов профессиональной деятельности по разработанным моделям.
P4	Разрабатывать макеты информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных и микропроцессорных модулей мехатронных и робототехнических систем.
P5	Применять контрольно-измерительную аппаратуру для определения характеристик и параметров макетов.
P6	Выполнять расчетно-графические работы по проектированию информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных и микропроцессорных модулей мехатронных и робототехнических систем.
P7	Разрабатывать конструкторскую проектную документацию электрических и электронных узлов (включая микропроцессорные) мехатронных и робототехнических систем, принципиальные электрические схемы, печатные платы, схемы размещения, схемы соединения.
P8	Участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний

<i>Универсальные компетенции</i>	
P9	Обладать способностью владеть культурой мышления, способен к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
P10	Обладать способностью уметь использовать нормативные правовые документы в своей деятельности.
P11	Обладать способностью иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией.
P12	Обладать способностью владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P13	Обладать способностью владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.
P14	Обладать способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P15	Обладать способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.
P16	Обладать способностью владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки Мехатроника и робототехника
Кафедра систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Губин В.Е._____

(Ф.И.О.)

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Е31	Камышникова Ольга Сергеевна

Тема работы:

«Система автоматического управления активным магнитным подвесом»

Утверждена приказом директора Института
кибернетики (дата, номер)

№3935/с от 05.06.2017г.

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

Активный магнитный подвес, система моделирования MatLAB, среда программирования MexBIOS.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор патентных решений, разработка технического задания. Разработка функциональной, структурной и электрической принципиальной схем. Выбор средств автоматизации. Получение математической модели системы. Синтез САР АМП. Настройка регулятора. Программирование в среде MexBIOS. Реализация системы.
Перечень графического материала	Функциональная схема САР, структурная схема САР, электрическая принципиальная схема САР, спецификация, программа в среде MexBIOS.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента Тухватулина Лилия Равильевна.
2. Социальная ответственность	Ассистент кафедры ЭБЖ Невский Егор Сергеевич.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры СУМ	Тутов Иван Андреевич	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е31	Камышникова Ольга Сергеевна		

Реферат

Пояснительная записка содержит 98 страниц машинописного текста, 30 таблиц, 40 рисунков, 1 список использованных источников из 31 наименования, 5 приложений.

Цель работы: разработка и сбор модели активного магнитного подвеса, проведения экспериментальных исследований для получения математической модели, синтез САР АМП с использованием микроконтроллера.

В данном проекте была разработана система автоматического регулирования активным магнитным подвесом, была получена математическая модель объекта, выполнено моделирование переходных процессов в пакете прикладных программ MATLAB&SIMULINK для анализа САР, проведен синтез системы, настроен каскадный ПИ-регулятор. САР реализована на базе микроконтроллера STM32F3DISCOVERY с помощью среды разработки MxBIOS Development Studio.

Разработанная система автоматического управления позволит регулировать положение «левитирующего» объекта, что позволит в дальнейшем использовать для активных магнитных подшипников в высокоскоростных роторах.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, активный магнитный подвес, микроконтроллер, синтез системы, каскадный регулятор.

Определения, обозначения, сокращения

Термин	Определение
Техническое задание	Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки системы
ФЮРА	Это код организации разработчика проекта (ТПУ).
Стандарт	<p>Это образец, эталон, модель, принимаемые за исходные.</p> <p>Стандарт РФ – документ, устанавливающий комплекс норм, правил и требований к объекту стандартизации, в котором устанавливаются характеристики продукции.</p>
Объект управления	Термин теории автоматического управления, который обозначает устройство или динамический процесс, управление которым и являются целью систем автоматического управления.
Микроконтроллер (МК)	Это специальная микросхема, предназначенная для управления различными электронными устройствами.
Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД)	Устройство, используемое в системах автоматического управления для поддержания заданного значения измеряемого параметра. Рассматриваемый регулятор измеряет отклонение стабилизируемой величины от

	заданного значения и выдает управляющий сигнал, который является суммой трех слагаемых, пропорциональных
Система автоматического регулирования (САР)	Автоматически действующая система, которая поддерживает требуемое значение физической величины в каком-либо процессе или изменяет значение по заданной программе. Любая система включает в себя регулируемый объект и регулятор.
Активный магнитный подвес (АМП)	Это устройство, позволяющее левитировать изделие из магнитного материала, которое находится в магнитном поле, создаваемом катушкой.
Коэффициент полезного действия (КПД)	Показатель эффективности действия механизма.
Левитация	Способность преодоления силы притяжения и перемещения в пространстве.
Активный магнитный подшипник	Мехатронное устройство поддержание ротора без механического контакта за счет сил магнитного притяжения и использования следящей обратной связи.
Синтез системы управления	Расчет, который отыскивает рациональную структуру системы и установление оптимальных величин.

Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор источников.....	13
2 Техническое задание.....	16
2.1 Основные задачи и цели создания САР.....	16
2.2 Назначение системы автоматического регулирования.....	16
2.3 Требования к функциям, выполняемой системы.....	17
2.4 Требования к техническому обеспечению системы.....	17
2.5 Требования к программному обеспечению.....	17
3 Основная часть.....	19
3.1 Описание системы управления.....	19
3.2 Структурная схема системы управления.....	20
3.3 Функциональная схема системы управления.....	21
3.4 Выбор средств автоматизации.....	21
3.4.1 Выбор отладочных плат.....	21
3.4.2 Выбор датчиков магнитного поля.....	24
3.5 Электрическая принципиальная схема.....	25
3.6 Исследования на гистерезис свойств электромагнита.....	26
3.7 Математическая модель активного магнитного подвеса.....	28
3.7.1 Исследования на зависимость силы от тока и координаты.....	30
3.8 Анализ устойчивости объекта управления.....	33
3.9 Выбор и настройка регулятора.....	35
3.10 Система «Наблюдатель».....	41
3.11 Проверка системы на грубость.....	47
3.12 Программная реализация системы управления.....	50

3.13	Результаты работы.....	52
4	Оценка коммерческого и инновационного потенциала инженерных решений	56
4.1	Потенциальные потребители результатов исследований	56
4.2	Анализ конкурентных технических решений	56
4.3	SWOT – анализ.....	58
4.4	Планирование потребности в человеческих ресурсах.....	61
4.5	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	61
4.6	Структура работ в рамках научного исследования.....	62
4.7	Определение трудоемкости выполнения работ	63
4.8	Разработка графика проведения научного исследования	64
4.9	Бюджет НТИ	67
4.9.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	67
4.9.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	68
4.9.3	Основная заработная плата исполнителей темы	69
4.9.4	Дополнительная заработная плата	70
4.9.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	70
4.9.6	Накладные расходы	71
4.9.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	72
4.10	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73
5	Социальная ответственность	78
5.1	Производственная безопасность.....	78

5.2	Повышенный уровень шума на рабочем месте	79
5.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений	80
5.4	Повышенный уровень вибрации на рабочем месте	81
5.5	Термические опасности	82
5.6	Электробезопасность.....	83
5.7	Экологическая безопасность	84
5.8	Чрезвычайная ситуация на рабочем месте.....	86
5.9	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	88
	Заключение	89
	Список публикаций.....	90
	Список использованных источников	91
	Приложение А	94
	Приложение Б	95
	Приложение В.....	96
	Спецификация	97
	Приложение Г	98

Введение

Левитация - это зависание какого-либо тела в пространстве без подвеса, либо механической опоры. Сегодня, рассматривается в основном два вида левитации. Это магнитная и акустическая.

Магнитная левитация – это явление, при котором любые металлические предметы (имеются ограничения на габариты, массу и т.д.) «парят» в воздухе под воздействием магнитного поля. [3].

Применение электрических и магнитных полей для левитации существует уже несколько веков. Актуальность проявилась и в наше время, во время развития приборостроения, машиностроения для измерительной, ядерной и космической техники.

Магнитные подвесы давно известны в поездах на магнитном подвесе, которые развивают скорости до 500 км/ч, но на данный момент такие подвесы играют значимую роль в активных магнитных подшипниках. Активные магнитные подшипники нашли применение в качестве подшипников для подвеса роторов высокоскоростных электрических машин, в машиностроении и авиационных двигателях. Так как данные подшипники увеличивают КПД и надежность, а также улучшают динамические характеристики, за счет отсутствия механического контакта между неподвижным и вращающимся частями механизма.

Актуальность данной темы, заключается в использовании таких подвесов в активных магнитных подшипниках, которые в свою очередь, имеют ряд преимуществ:

1. Максимальная температура, при которой работает активный магнитный подшипник 540°C (шарикоподшипник – 260 °C);
2. Возможность работы активного магнитного подшипника на высоких скоростях, до 200000 об/мин.

1 Обзор источников

1. Способ формирования сигналов отклонения ротора в системах магнитного подвеса роторных машин и устройство для его реализации (МПК F04D 29/058 (2006.01) F04D 29/66 (2006.01) F16C 32/04 (2006.01), Дата подачи заявки: 05.06.2012 (45) Опубликовано: 20.02.2014)

Предлагаемый способ формирования сигналов отклонения ротора электромагнита СМП заключается в следующем. Из теории электрических цепей известно, что при формировании тока в индуктивности методом ШИМ на обмотку электромагнита подаются прямоугольные импульсы напряжения с амплитудой $\pm U$. Подача импульсов напряжения положительной или отрицательной полярности осуществляется электронными ключами выходного каскада усилителя мощности с ШИМ – управлением. Регулирование тока при ШИМ – управлении осуществляется путем изменения длительности подачи импульсов положительного (первый интервал коммутации) и отрицательного (второй интервал коммутации) напряжения при постоянном периоде коммутации.

Главный недостаток – это использование двуполярного ШИМ – сигнала и релейной схемы, что приводит к срезанию высоких частот. В разрабатываемой схеме будет использован более высокочастотный ШИМ, что позволит пропускать более высокие частоты.

2. Система автоматического управления электромагнитным подвесом ротора ([F16C32/04](#) с использованием магнитных или электрических опор, [H02K7/09](#) с использованием магнитных подшипников, [H02P6/16](#) устройства для определения положения, [G05B11/36](#) с возможностью получения отдельных характеристик, например пропорциональной (линейной), интегральной, дифференциальной, подача заявки: 2015-04-21, публикация патента:10.07.2016)

Предложенная система автоматического управления электромагнитным подвесом ротора работает следующим образом. Изначально ротор находится на

страховочных подшипниках. При включении системы управления в каждом канале датчик положения ротора 1 измеряет отклонение ротора от центрального положения. Разница между поддерживаемым центральным значением положения ротора в блоке задания 2 и измеренным значением подается на вход блока обработки сигнала вибрации 4, выход которого подается на вход пропорционального 5, интегрального 6 и дифференциального 7 регуляторов. В соответствии с передаточными функциями, реализованными в регуляторах 5–7, сумма выходных значений этих регуляторов подается на вход пропорционально-дифференциального регулятора 8. В соответствии с передаточной функцией, реализованной регулятором 8, выходное значение подается на вход элемента сравнения 9, где из этого значения вычитается измеренное с помощью датчика тока 11 значение силы тока в обмотках электромагнитов. Разница подается на вход пропорционального регулятора тока 10. Задача этого регулятора – поддержание значения тока, пропорционального выходному значению регулятора 8, а также компенсация постоянной времени T_{Σ} обмоток электромагнитов. Выходное значение пропорционального регулятора тока 10 – это значение для силового широтно-импульсного преобразователя 12, пропорционально которому силовой преобразователь регулирует напряжение на обмотках электромагнитов 13 и 14.

В результате в обмотках электромагнитов 13 и 14 формируются такие токи, которые создают результирующую силу, поднимающую ротор со страховочных подшипников и удерживающую его в центральном положении (по датчику 1) в рабочих режимах.

Силовой преобразователь 12 работает с цифровым входным сигналом широтно-импульсного модулятора.

Различия рассматриваемой и разрабатываемой систем: в системе [2] имеется датчик положения, значение с которого сравнивается с какой-то уставкой, в разрабатываемой системе положение будет задаваться разностью

показателей с двух датчиков. Также в системе [2] постоянное положение вала обеспечивают два электромагнита (нижний и верхний), а в разрабатываемой системе вал будет притягиваться силой притяжения к одному электромагниту (верхнему), т.е. нижний электромагнит исключается. Поэтому в разрабатываемой системе обеспечивается экономия в массе магнитов и стоимости затраченной меди.

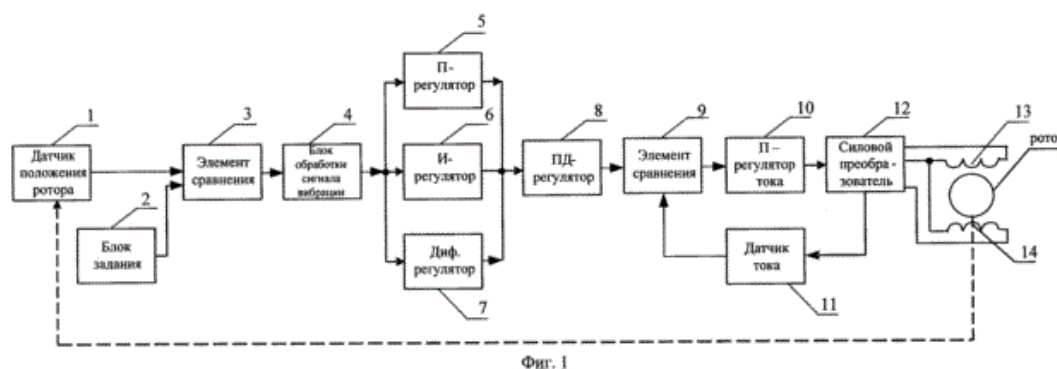


Рисунок 1 – Функциональная схема системы управления [2]

Патенты на системы управления магнитным подвесом заявлены в 2014-2016 годах, что также подтверждает актуальность и заинтересованность в данной тематике.

2 Техническое задание

2.1 Основные задачи и цели создания САР

Целью системы автоматического регулирования является обеспечение стабилизации положения магнитного подвеса в заданной координате, осуществляя управление током в электромагните.

САР активного магнитного подвеса реализует следующие задачи:

- измерение величины магнитного поля;
- обработка измеренных величин;
- автоматическое регулирование координаты активного магнитного подвеса;
- управление значением тока в электромагните за счет подачи ШИМ-сигнала.

2.2 Назначение системы автоматического регулирования

Магнитная левитация – это способность тела «зависать» в воздухе в определенной координате под действием магнитной силы. Данное явление применяется в активных магнитных подвесах.

Активный магнитный подвес применяется в высокоскоростном транспорте, что позволяет увеличить скорость перемещения и уменьшает энергопотребление в огромное число раз.

Особый интерес возникает в применении таких подвесов в качестве активных магнитных подшипников в высокоскоростных турбинах. Такие турбины применяются в энергетике (ветрогенераторы), станкостроении (высокоточные станины для станков). Используются при разработке линейки универсальных независимых и совокупно управляемых опор с АМП для роторов, валов и осей машин и механизмов для систем с различными скоростными и нагрузочными режимами работы.

Так как данные подвесы не имеют трения, за счет этого увеличивают износостойкость и повышают энергопотребление.

2.3 Требования к функциям, выполняемой системы

Система автоматического управления должна обеспечивать следующее:

1. измерение магнитного поля;
2. выработка управляющего воздействия для стабилизации координаты подвешенного тела;
3. регулирование тока, подаваемого на электромагнит;
4. быть устойчивой при влиянии внешних помех.
5. система должна быть устойчивой при изменении координаты в диапазоне 4-10 мм.
6. время переходного процесса должно составлять до 4 секунд.
7. перерегулирование не должно превышать 30%.

2.4 Требования к техническому обеспечению системы

Система управления, устанавливаемая в лабораториях и цехах предприятий, т.е. в закрытом отапливаемом и вентилируемом помещении, должно быть устойчиво к воздействию температур от +18 до +27 °С, влажности воздуха 60 % при температуре +27 °С, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Система управления должна иметь возможность модернизации и развития. Микроконтроллеры должны иметь резервные каналы ввода и вывода, не менее 20%, а также все необходимые интерфейсы для передачи данных.

Степень защиты технических средств от пыли и влаги должна быть не менее IP20.

2.5 Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение системы управления должно обеспечивать:

- Передача входных параметров САР;

- Реализация системы управления, используя стандартные блоки библиотеки программы;
- Обеспечение визуальной среды программирования;
- Возможность моделирования.

3 Основная часть

3.1 Описание системы управления

Разрабатываемая система управления, функциональная схема которого представлена на рисунке 1 и в приложении 1 подразумевает под собой автоматическое регулирование подвешенного постоянного магнита под электромагнитом на определенной координате (активный магнитный подвес).

В состав такой системы управления входят:

1. программируемый микроконтроллер;
2. силовой преобразователь;
3. электромагнит;
4. 2 датчика магнитного поля;
5. постоянный магнит;
6. источник питания.

В данной системе электромагнит должен притягивать подвешенный постоянный магнит на определенном расстоянии, регулирование координаты постоянного магнита происходит за счет электромагнита, величина тока в котором определяется системой управления, заложенной в МК. Для выработки управляющего воздействия необходимы значения магнитного поля, которые регистрируются с помощью двух датчиков, расположенных над и под электромагнитом (так как электромагнит создает магнитное поле, влияние которого требуется исключить). Информация с датчиков поступает на программируемый МК в виде обратной связи на регулятор, благодаря которому происходит управление током в катушке. Чем ближе постоянный магнит к электромагниту, тем большее значение приходит с датчиков на МК, тем меньшее значение тока будет подаваться на катушку. Таким образом постоянный магнит находится в определенной координате постоянно.

Данная система управления представлена на рисунке 2.

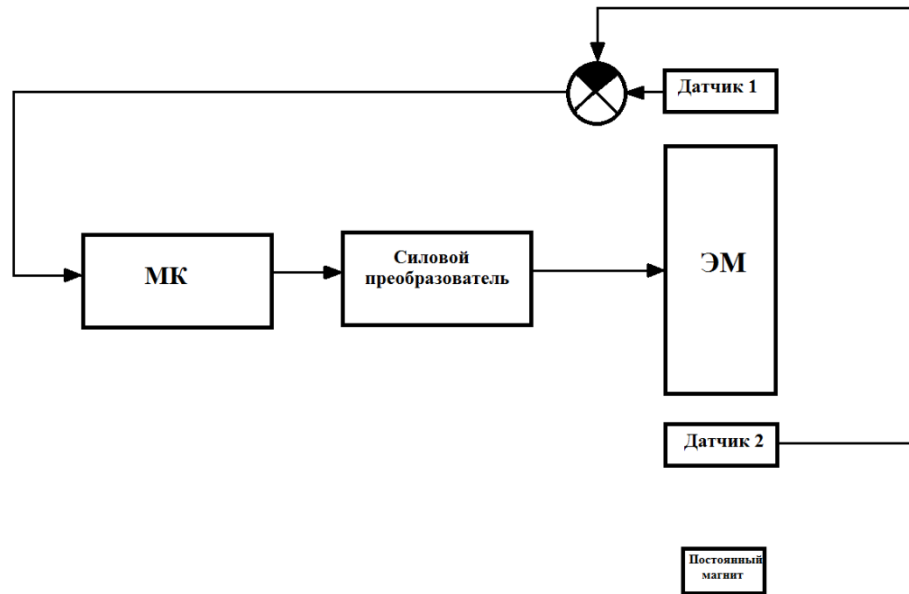


Рисунок 2 – Функциональная схема системы управления

3.2 Структурная схема системы управления

Объектом управления является постоянный магнит, подвешенный под электромагнитом.

Исполнительным устройством является электромагнит, в котором происходит измерение магнитного поля.

В качестве регулятора используется каскадный ПИ-регулятор.

В качестве обратной связи используются датчики магнитного поля и наблюдатель для восстановления величины скорости.

Структурная схема представлена на рисунке 3.

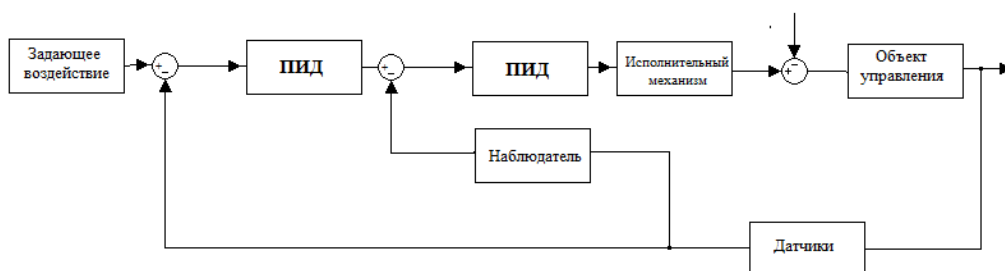


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления

3.3 Функциональная схема системы управления

Функциональная схема автоматического управления необходима для отображения основных технических решений, которые принимаются при проектировании систем автоматизации.

ФС – это технический документ, определяющий блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования процессом, а также оснащение объекта управления приборами. На функциональной схеме обычно изображаются системы автоматического контроля, управления и регулирования.

3.4 Выбор средств автоматизации

3.4.1 Выбор отладочных плат

При выборе отладочных плат рассмотрены 2 модели:

1. STM32F3DISCOVERY (рисунок 4).

Высокоинтегрированная отладочная плата семейства DISCOVERY на базе МК STM32F3 с дискретными и аналоговыми выходами предназначена для разработки и отладки приложений.

Отличительные особенности отладочной платы:

1. Плата питания: от внешнего напряжения питания 5В и USB-шину;
2. Мощные вычислительные ресурсы;
3. Наличие аналоговых и дискретных входов;
4. Внешний разъем с выходом всех линий I/O для быстрого подключения к макетной плате;
5. Встроенный отладчик ST-LINK;
6. Возможность использования визуальной среды разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления MexBIOS.



Рисунок 4 – Внешний вид отладочной платы STM32F3Discovery

2. Pinboard II (рисунок 5).

Данная отладочная плата также с аналоговыми/дискретными выводами на базе 8-ми разрядного микроконтроллер на ядре Atmel AVR8. 16кБ памяти и вся периферия семейства Mega применима для домашнего использования.

1. Питание платы происходит с различных источников;
2. Имеет дополнительные интерфейсы USB-2 UART на базе FT2232, PC2, USB, IC2, SPI;
3. Наличие дискретных и аналоговых выводов;
4. Работает с 8-ми разрядным микроконтроллером на ядре Atmel – ATMega16а;
5. Имеет набор из 3-х кварцев, один из них часовой;
6. Один из языков программирования C++.

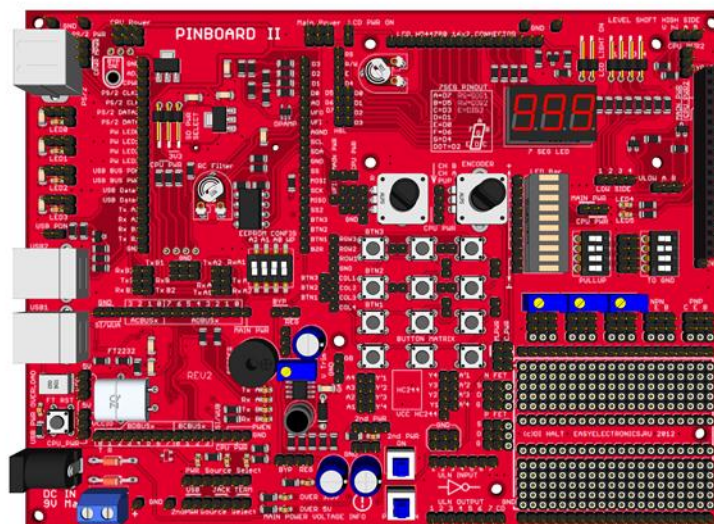


Рисунок 5 – Внешний вид отладочной платы Pinboard II

Таблица 1 – Сравнение характеристик микроконтроллеров

Параметры	Atmega16A	STM32F3
Разрядность	8 бит	32 бита
FLASH	32 кб	32 кб
Таймер 8 бит	2 шт.	-
Таймер 16 бит	1 шт.	16 шт.
ШИМ	3 канала	6 каналов
USART	1 шт.	1 шт.
SPI	1 шт.	1 шт.
I2C	1 шт.	1 шт.
АЦП	8 каналов 10 бит	16 каналов 12 бит
Питание	2,7 – 5,5 В	2,4 – 3,6 В
Скорость	0 – 16 МГц	4 – 32 МГц

На основании данных таблицы 1 можно сделать вывод, что по всем параметрам отладочная плата STM32F4DISCOVERY имеет большее количество

преимуществ. Основными являются – скорость, стоимость, а самое главное возможность использования визуальной среды разработки MexBIOS, что упростит перенос синтезированного регулятора из среды моделирования MATLAB без особых изменений.

3.4.2 Выбор датчиков магнитного поля

1. Магниторезисторы Honeywell

Магниторезистивные датчики отличаются высокой чувствительностью и позволяют измерять самые небольшие изменения магнитного поля. Применяются для контроля перемещений объектов, измерения слабых полей, измерения частоты вращения, измерения угловой координаты.

Такие датчики имеют ряд преимуществ: отсутствие расстояния между магнитом и датчиком, широкий диапазон рабочих температур (от -55 до 150⁰C), на датчики влияет только магнитное поле с направленностью силовых линий горизонтально поверхности.



Рисунок 6 – Внешний вид магниторезистора

2. Датчики Холла

Это монолитные интегрированные микросхемы, которые срабатывают на магнитное поле. Если магнитное поле с силовыми линиями перпендикулярно чувствительной области датчика, элемент Холла генерирует напряжение Холла, пропорциональное приложенному полю.

Главным недостатком является – чувствительность к изменению температур. Но все датчики Холла имеют в своей конструкции встроенный

усилитель выходного сигнала, который позволяет напрямую подключать датчик к МК, также обладают хорошей линейностью выходного сигнала.



Рисунок 7 – Внешний вид датчика Холла

По рассмотренным характеристикам датчиков магнитного поля проведено сравнение. Датчик Холла обладает меньшей чувствительностью к магнитному полю и регистрирует магнитное поле только в перпендикулярном направлении к нему. Магниторезистор обладает большей чувствительностью и регистрирует магнитное поле, как в перпендикулярном, так и в продольном направлениях. Так как в реальных системах могут возникать посторонние магнитные поля в разных направлениях, которые отрицательно влияют на систему, то будет более разумно применять датчики Холла для исключения регистрации посторонних магнитных полей.

3.5 Электрическая принципиальная схема

В качестве датчиков магнитного поля применены датчики Холла аналогового типа (SS495A). Рассматриваемые датчики реагируют на магнитное поле, создаваемое электромагнитом и подают сигнал на АЦП выводы микроконтроллера (РА1, РА2).

Питание МК осуществляется через USB-порт, который присоединен к ПК (5 В). Для корректных показаний АЦП необходимо стабильное питание, но питание МК подвергается воздействию шумов, поэтому производитель МК предлагает использовать два параллельно включенных фильтрующих конденсатора – электролитический (1мкФ) и керамический (10нФ). (согласно документации на МК STM32F3).

Спецификация на контроллер советует поставить параллельно источнику питания 5 конденсаторов в 100нФ (поближе к контроллеру) и один на 4.7мкФ (ближе к Vdd_3).

Питание измерительной и исполнительной частей осуществляется по общей шине с блока питания от 7 В.

Для управления током в катушке необходимо генерировать ШИМ-сигнал. ШИМ-сигнал получен с вывода PB10 по таймеру на TIM_2.

Для управления током в катушке также необходимо установить MOSFET транзистор, управляемый сигналом (3,3 В) на затворе для этого используется транзистор IRF730.

Электрическая принципиальная схема представлена в приложении В.

3.6 Исследования на гистерезис свойств электромагнита

В разрабатываемой системе управления используется электромагнит с сердечником. Электромагнит – это устройство, состоящее из токопроводящей обмотки и ферромагнитного сердечника, который намагничивается при прохождении по обмотке электрического тока. Обмотка выполняется из медного провода. Сердечник обычно производят из мягкого отожженного железа или сплавов железа с кремнием, которые обладают наименьшим остаточным магнетизмом.

В рассматриваемой системе свойства сердечника неизвестны, а так как некоторые материалы, из которых сделан сердечник могут иметь гистерезисную петлю (зависимость напряженности магнитного поля от индукции магнитного поля), то необходимо провести исследования для исключения гистерезиса (свойство систем, мгновенный отклик которых на приложенные к ним воздействия зависит от текущего состояния, а поведение системы определяется предысторией).

Для выявления зависимости параметров системы от ее предыстории проведены две серии экспериментов: по увеличению тока; по уменьшению тока. Суть эксперимента заключается в следующем, катушка закреплена статично, на нее подается одно значение тока, начиная с 0,4 А и проводятся наблюдения изменения координаты тела в момент его притягивания, для этого берем тела различных масс.

Исследования проводились при изменении значений тока от 0,4А до 3,2А с шагом 0,1А и изменении массы подвешиваемого тела от 2 г до 30 г, с шагом 1 г, исследовалось изменение координаты тела, при которой начиналось притягивание тела электромагнитом.

На основании данных исследований были получены две поверхности, при увеличении тока и его уменьшении. (Рисунок 8 и рисунок 9).

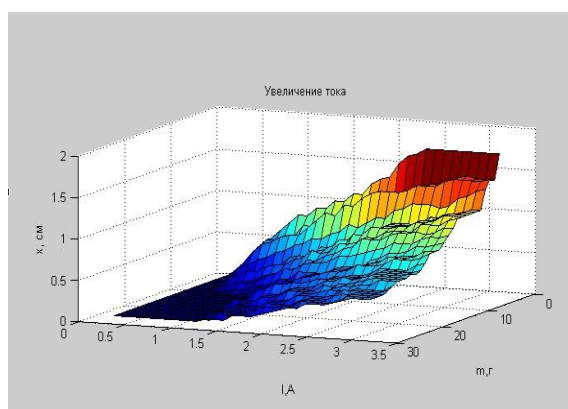


Рисунок 8 – Поверхность, полученная при увеличении тока

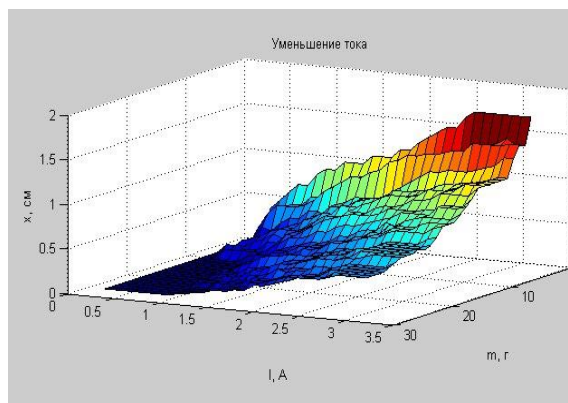


Рисунок 9 – Поверхность, полученная при уменьшении тока

По полученным графикам поверхностей, гистерезисная зависимость не выявлена. Полученная зависимость будет использована для дальнейших исследований.

3.7 Математическая модель активного магнитного подвеса

Для синтеза системы управления и ее настройки необходима математическая модель системы.

Необходимо расставить силы для нашего устройства. Согласно второму закону Ньютона: сумма всех сил, действующих на тело, равна произведению массы тела на сообщаемое этой суммой ускорение. Как видно, из рис.3.1 на магнит действует магнитная сила ($F(x(t), i(t))$) и сила притяжения ($mg(t)$).

Следует составить уравнение равновесия системы. Для этого равнодействующая всех сил должна быть равна 0. В соответствии с проекцией на ось y :

$$m \cdot a(t) = F(x(t), i(t)) - m \cdot g(t) \quad (1)$$

Так как учитывается изменение координаты, то при

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt}, v(t) = \frac{dx(t)}{dt} \Rightarrow a(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2}, \text{ ПОЭТОМУ } m \frac{d^2x(t)}{dt^2} = F(x(t), i(t)) - mg(t).$$

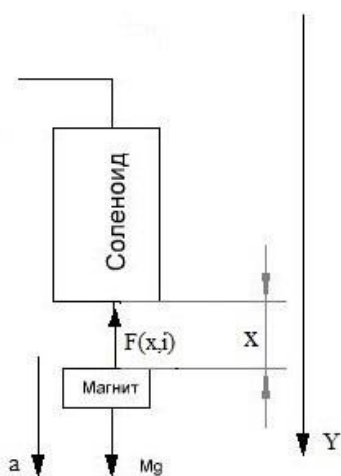


Рисунок 10 – Схема для вычисления математической модели

Для получения второго уравнения рассмотрен процесс возникновения магнитного поля в простейшем электромагните.

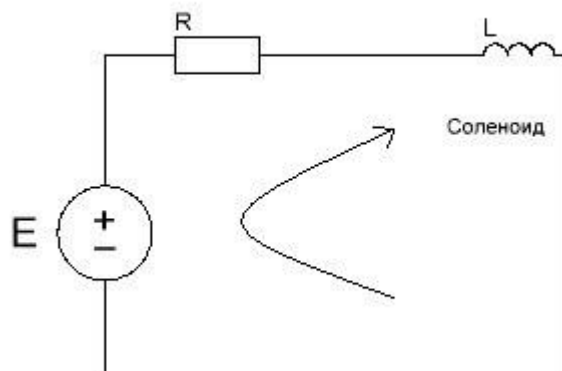


Рисунок 11 – Электрическая цепь рассматриваемой системы

После включения обмотки, приложенное к ней напряжение источника E уравнивается с активным падением напряжения и противоЭДС самоиндукции. На основании второго закона Кирхгофа записано следующее уравнение:

$$E(t) = I(t) \cdot R - \frac{LdI(t)}{dt} \quad (2)$$

Во время передвижения постоянного магнита наводится дополнительная ЭДС $\frac{dE_{\psi}}{dt}$, так как магнитный поток пересекает витки катушки. В ходе проведенных экспериментов установлено, что сила тока катушки незначительно зависит от наведенной ЭДС, поэтому для инженерных расчетов можно пренебречь ее величиной.

Отсюда получена система уравнений:

$$\begin{cases} E(t) = I(t) \cdot R - \frac{LdI(t)}{dt} \\ m \frac{d^2x(t)}{dt^2} = F(x(t), i(t)) - m \cdot g(t) \end{cases} \quad (3)$$

3.7.1 Исследования на зависимость силы от тока и координаты

В полученной системе уравнений (3) неизвестной остается величина магнитной силы (появление данной силы обеспечивается протеканием тока через катушку), магнитная сила зависит от тока и координаты удаления ОУ от электромагнита (на основании уравнения (1)). В пункте 3.5 уже были проведены исследования необходимых зависимостей. Полученные величины взяты в виде трех массивов (масса, координата и ток) и построена поверхность с помощью утилиты пакета MatLAB – Surface Fitting Tool.

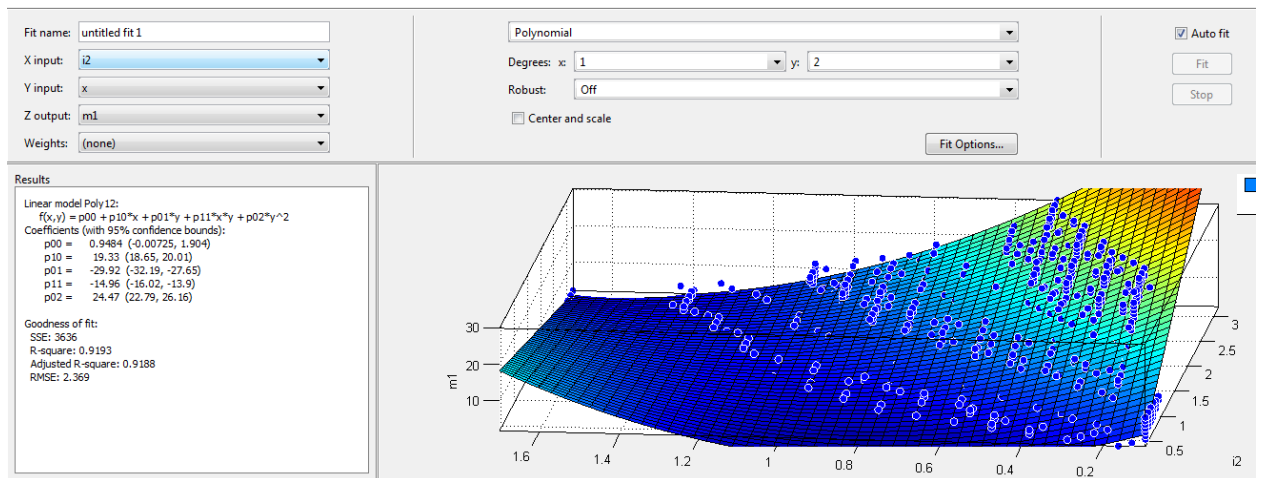


Рисунок 12 – Поверхность для получения необходимых зависимостей

Данная утилита позволяет построить поверхность по трем массивам и вывести автоматически полиномом данной поверхности:

$$F(i, x) = p_{00} + p_{10} \cdot i + p_{01} \cdot x + p_{11} \cdot ix + p_{02} \cdot x^2. \quad (4)$$

На основании системы уравнений (3) и с учетом полученного полинома (4) построена структурная схема объекта управления.

Поэтому необходимо применить преобразование Лапласа (интегральное преобразование, связывающее функцию $F(s)$ комплексного переменного (изображение) с функцией $f(x)$ вещественного переменного (оригинал)) к системе дифференциальных уравнений (3) и полученной магнитной силе F_m , преобразуя их в операторные, где $s = \frac{d}{dt}$:

$$\begin{cases} E(s) = R \cdot I(s) + L \cdot I(s) \cdot s \\ m \cdot x(s) \cdot s^2 = p_{10} \cdot I(s) + p_{01} \cdot x(s) + p_{11} \cdot I(s) \cdot x(s) + p_{02} \cdot x^2(s) - mg(s) \end{cases} \quad (5)$$

По полученным уравнениям построена структурная схема для синтеза системы:

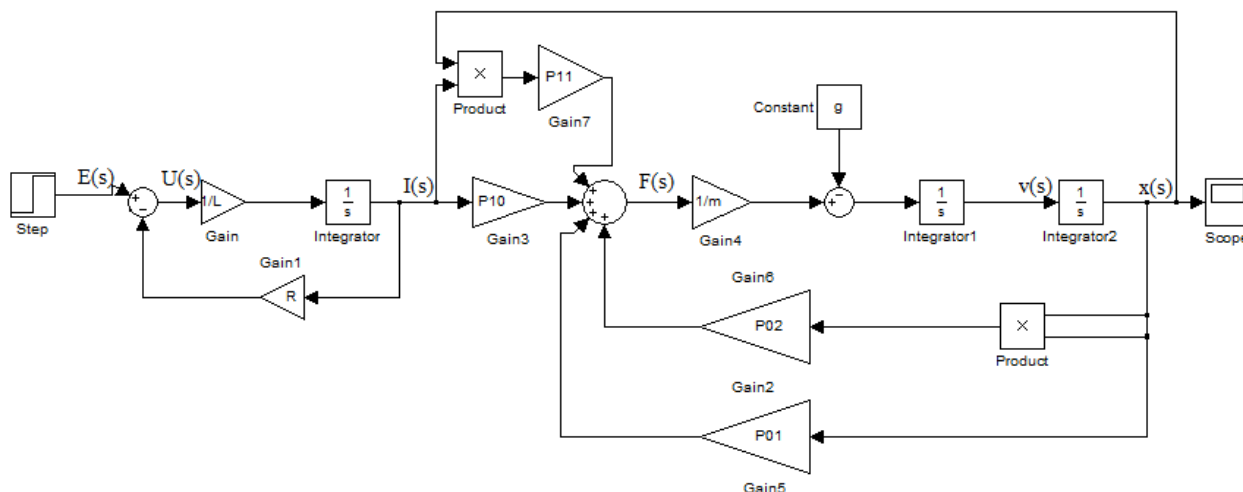


Рисунок 13 – Операторно-структурная схема объекта управления

Синтез САУ для данной структуры системы управления является достаточно сложной задачей, так как система является нелинейной, поэтому для ее решения проведена линеаризация в конкретной рабочей точке ($I=2\text{А}$, $x=0,6\text{ см}$, $m=13\text{ г}$):

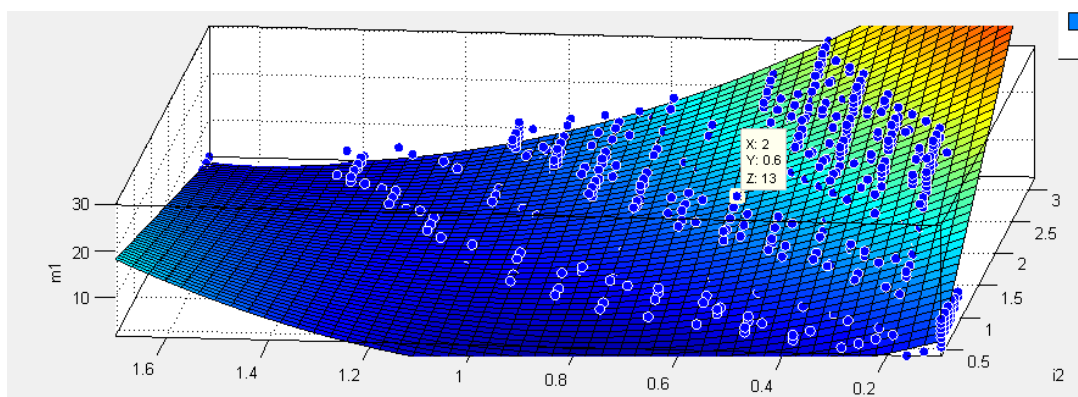


Рисунок 14 – Линеаризация поверхности в точке

Также автоматически получен полином для конкретной точки:

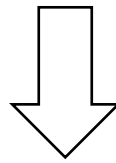
$$F(i(t), x(t)) = 0.94 + 19.33 \cdot i(t) + 29.92 \cdot x(t), \quad (6)$$

где $p_{10} = 19.33$, $p_{01} = 29.92$.

На основании системы уравнений (5) и уравнения (6) получены передаточные функции системы и построена структурная схема.

Применено преобразование Лапласа и преобразованы (5) и (6):

$$\begin{cases} E(s) = R \cdot I(s) + L \cdot I(s) \cdot s \\ m \cdot x(s) \cdot s^2 = p_{10} \cdot I(s) + p_{01} \cdot x(s) - mg(s) \end{cases} \quad (7)$$



$$\begin{cases} I(s) \cdot s = \frac{E(s)}{L} - \frac{I(s)R}{L} \\ v(s) \cdot s = \left(\frac{p_{10}I(s)}{m} + \frac{p_{01}}{m} \right) \left(\frac{1}{m} - g(s) \right) \\ x(s) \cdot s = v \end{cases} \quad (8)$$

По системе уравнений (8) построена новая структурная схема для дальнейших исследований.

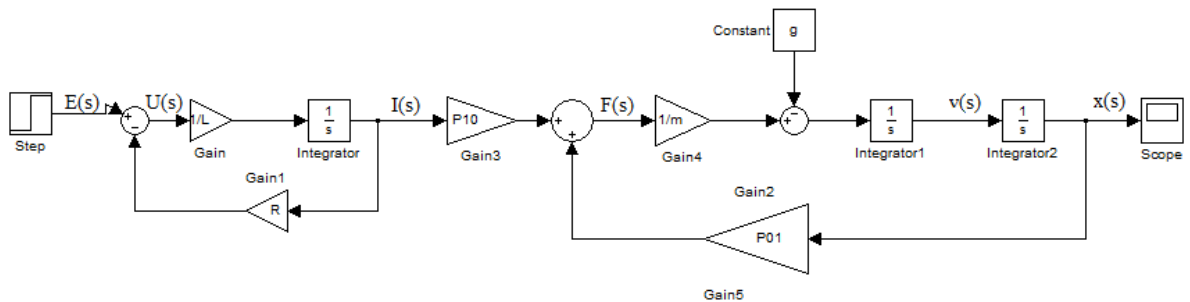


Рисунок 15 – Операторно-структурная схема объекта управления после проведения линеаризации

3.8 Анализ устойчивости объекта управления

По полученной структурной схеме объекта управления на рисунке 15, необходимо получить передаточную функцию системы и корни характеристического уравнения для определения устойчивости системы.

Получение передаточной функции системы.

$$1 \text{ контур: } W1 = \frac{\frac{1}{LS}}{1 + \frac{R}{LS}} = \frac{1}{LS + R}. \quad (9)$$

$$2 \text{ контур: } W2 = \frac{\frac{1}{ms^2}}{1 - \frac{P_{01}}{ms^2}} = \frac{1}{ms^2 - P_{01}}. \quad (10)$$

$$\text{Общий контур: } W = \frac{P_{10}}{mLs^3 + mRs^2 - P_{01}Ls - RP_{01}}. \quad (11)$$

Для получения корней характеристического уравнения, необходимо знать все численные значения в передаточной функции (11). Данные коэффициентов p_{01} и p_{10} , а также m и значение тока объекта управления получены в пункте 3.6.1 (линеаризация поверхности в конкретной точке). Значение индуктивности и сопротивления измерено с помощью мультиметра.

Таблица 2 – Численные значения элементов объекта управления

E	5 В
P_{01}	19,33
P_{10}	29,92
M	13 г
I	2 А

L	6,65 мГн
R	1,37 Ом

Подстановка численных значений:

$$W = \frac{19,33}{86,45 \cdot 10^{-6} \cdot s^3 + 17,81 \cdot 10^{-3} \cdot s^2 - 0,199 \cdot s - 40,99} \quad (12)$$

Посредством встроенных функций MatLAB по полученной передаточной функции (12) следует привести разработанную систему в вид «вход-состояние-выход», т.е. получить матрицы состояний.

```
>> W=tf([19.33],[86.45e-6 17.81e-3 -0.199 -40.99]);
>> E=ss(W)
```

Рисунок 16 – Встроенные функции MatLAB для получения матриц состояний

```
A =
      x1      x2      x3
x1  -206   17.98   57.88
x2   128      0      0
x3      0      64      0

B =
      u1
x1     4
x2     0
x3     0

C =
      x1      x2      x3
y1      0      0   6.824

D =
      u1
y1     0
```

Рисунок 17 – Полученные матрицы состояний

A – матрица состояния системы (объекта), B – матрица управления (входа), C – матрица выхода по состоянию, D – матрица выхода по управлению.

По вычисленным матрицам состояний соберем систему в среде моделирования Simulink.

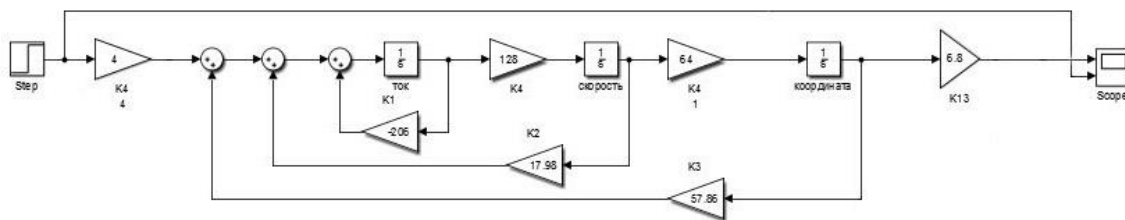


Рисунок 18 – Операторно-структурная схема по матрицам состояний

С помощью встроенных функций MatLAB получены корни характеристического уравнений по передаточной функции (12):

$$s_1 = -206,01$$

$$s_2 = 47,97 \quad .$$

$$s_3 = -47,97$$

```
>> W=tf([19.33],[86.45e-6 17.81e-3 -0.199 -40.99])

W =

          19.33
-----
8.645e-05 s^3 + 0.01781 s^2 - 0.199 s - 40.99

Continuous-time transfer function.

>> eig(W)

ans =

-206.0171
  47.9749
 -47.9729
```

Рисунок 19 – Результат вычислений в MatLAB

По полученным корням характеристического уравнений можно сделать вывод о неустойчивости системы (второй корень является положительным).

3.9 Выбор и настройка регулятора

Так как система является неустойчивой, то необходимо использовать регулятор, в качестве которого используется ПИД-регулятор.

Пропорциональная составляющая вырабатывает сигнал, который противодействует отклонению регулируемой величины в данный момент

времени. Интегральная составляющая накапливает результирующее значение, устраняя статическую ошибку, образованную П-составляющей. ПИД-регулятор обладает Д-составляющей, при ее наличии выходная величина регулятора изменяется с некоторым опережением относительно входной величины, за счет это могут быть устранены большие запаздывания. В разрабатываемой системой на датчик оказывают влияние шумы, Д-составляющая усиливает шумы, что приводит к нестабильной работе регулятора. Поэтому решено отказаться от данной составляющей и применять ПИ-регулятор.

Задача системы регулирования объекта управления сводится к поддержанию подвешенного тела в заданной координате, для исключения перерегулирования по координате необходимо в том числе корректировать скорость объекта управления. Для этого в качестве алгоритма регулирования используется последовательный каскадный регулятор, в состав которого входят сразу два регулятора: ведущий и ведомый.

Ведущий регулятор формирует управляющее воздействие на ведомый регулятор в соответствии с разницей между уставкой и измеренными значениями с датчиков на электромагните. Ведомый регулятор формирует управляющее воздействие на исполнительное устройство.

Настройка регулятора. По полученным корням характеристического уровня был сделан вывод о неустойчивости системы, поэтому традиционные методики настройки ПИД-регулятора (такие как метод Циглера-Никольса и CHR-метод) не применимы.

При применении автоматической настройки ПИД-регулятора, встроенной в пакете MatLAB&Simulink, получены физически нереализуемые значения коэффициентов, поэтому применена ручная настройка. Также в MATLAB&Simulink использована параллельная форма представления ПИД-регулятора, а в среде программирования MexBIOS используется

последовательная форма, поэтому в Simulink создан ПИ-регулятор, структура которого представлена на рисунке 20.

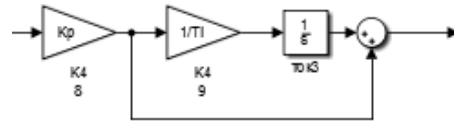


Рисунок 20 – Структура ПИ-регулятора

Структурная схема каскадного ПИ-регулятора представлена в среде моделирования Simulink.

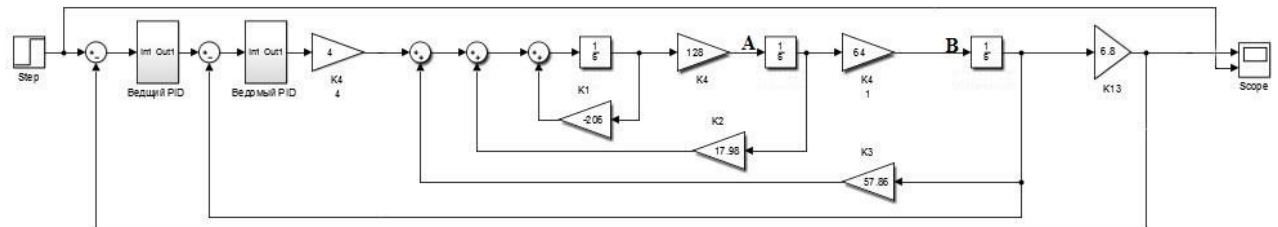


Рисунок 21 – Операторно-структурная схема с каскадным ПИ-регулятором

Сначала выполняется настройка ведомого ПИ-регулятора, а потом ведущего. Необходимо учитывать, что увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости, а с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее и снижает запас устойчивости. Изменяя коэффициенты и наблюдая за переходной характеристикой (см. рис.22), определяются необходимые значения ($K_p=2$; $T_i=0,1$).

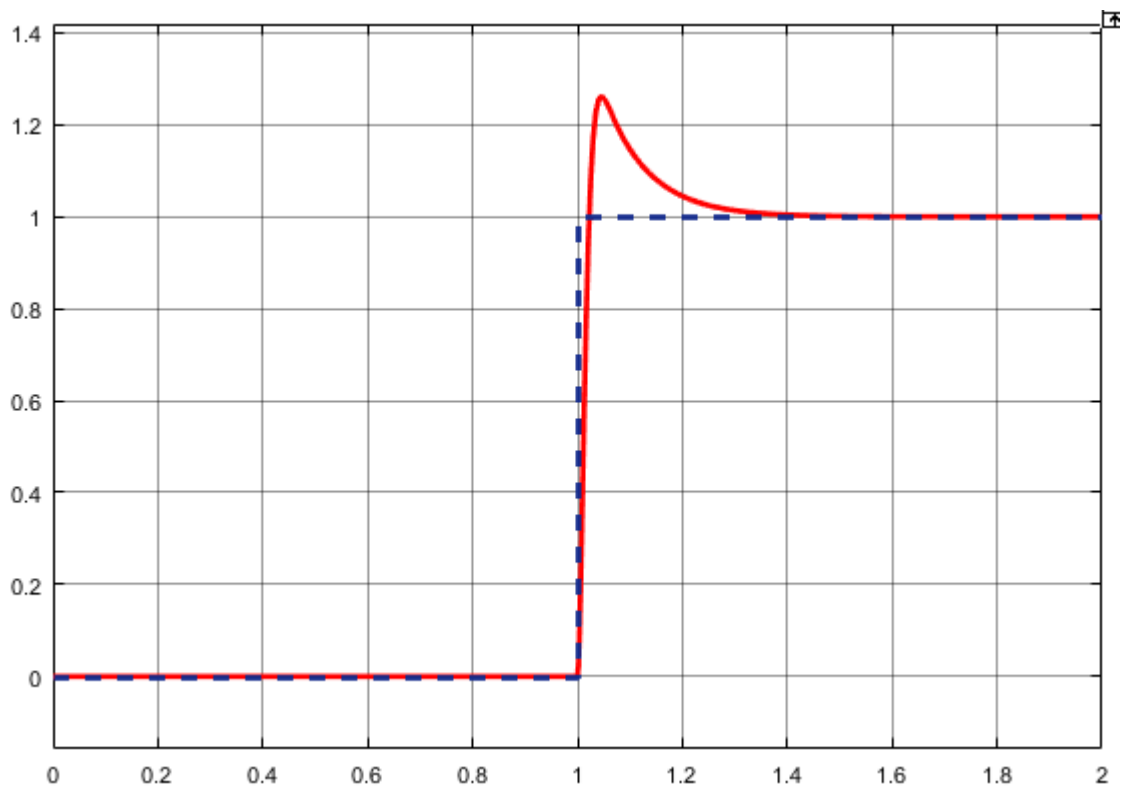


Рисунок 22 – Переходная характеристика после настройки внутреннего контура

По переходной характеристике определяются перерегулирование и время переходного процесса.

Таблица 3 – Параметры переходной характеристики

σ	25%
$t_{\text{пп}}$	0,5 с

После настройки внутреннего регулятора, настраивается внешний ПИ-регулятор по правилам, перечисленным выше. Получены следующие значения коэффициентов: $K_p=8$; $T_i=1$.

Результаты моделирования представлены на рисунке 23.

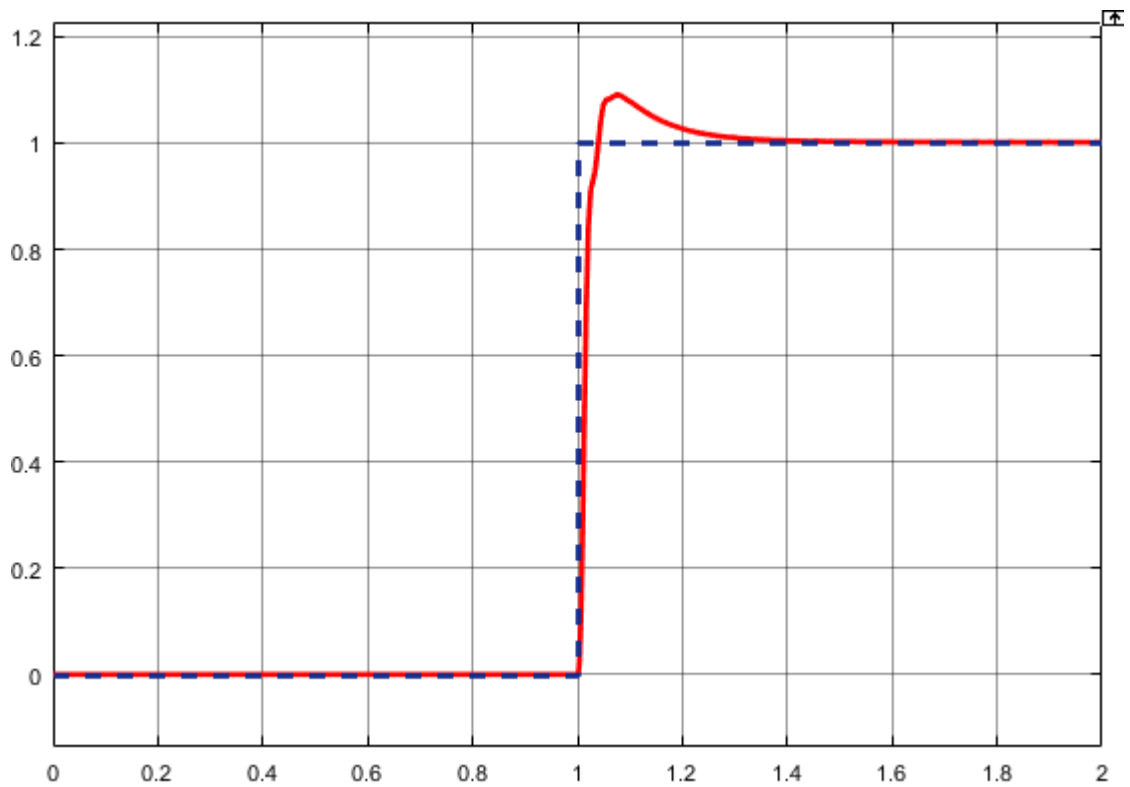


Рисунок 23 – Переходная характеристика ОУ после настройки ведущего регулятора

Таблица 4 – Параметры переходной характеристики

σ	9%
$t_{\text{пп}}$	0,5 с

Проверим реакцию системы при ступенчатом задающем воздействии и возмущающих единичных ступенчатых воздействиях через 3 секунды в точке А и через 7 секунд в точке В от начала регистрации процесса (см.рисунок 21). Переходный процесс представлен на рисунке 24.

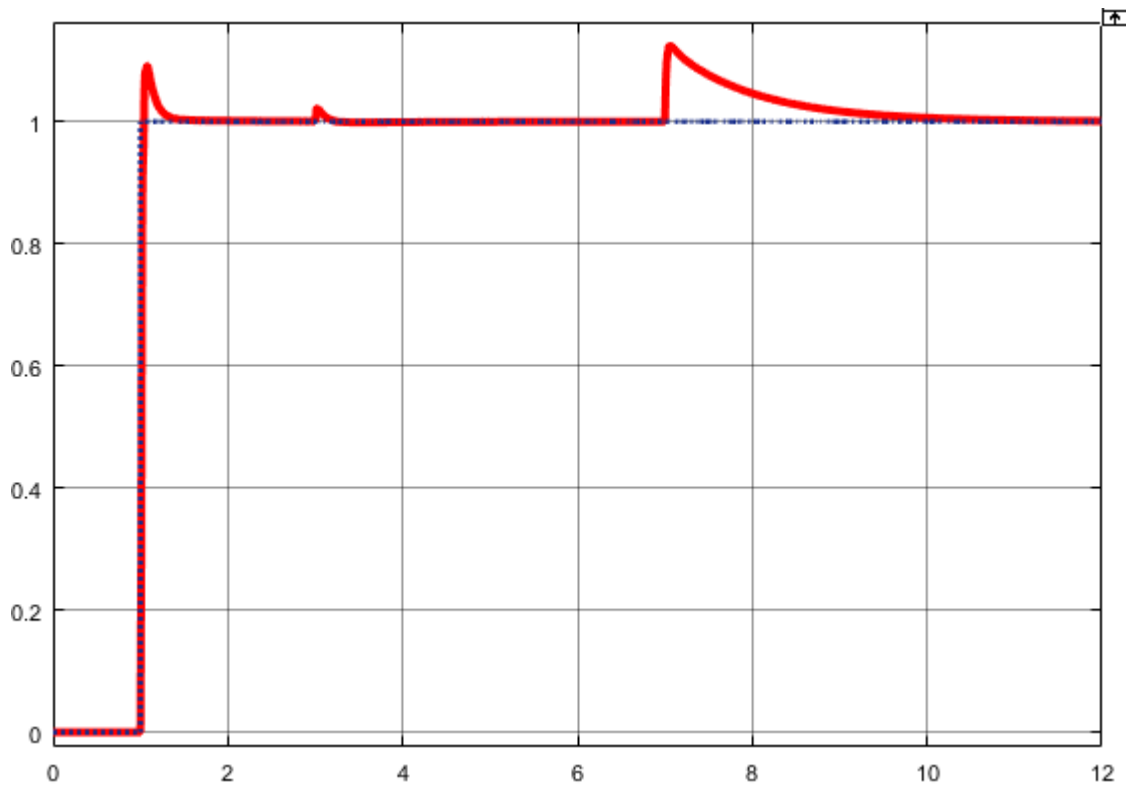


Рисунок 24 – Переходная характеристика при ступенчатом задающем и возмущающем воздействии

Таблица 5 – Реакция системы на ступенчатые задающие и возмущающие воздействия

	Задающее воздействие	Возмущающее воздействие (точка А)	Возмущающее воздействие (точка В)
σ	9 %	2%	12%
$t_{\text{пп}}$	0,9 с	0,3 с	4,5 с

На основании таблицы 5 можно сделать вывод, что полученный каскадный ПИ-регулятор справляется со своей задачей при единичных ступенчатых возмущающих воздействиях в точках А и В, согласно технического задания разрабатываемой системы.

3.10 Система «Наблюдатель»

Так как измерению доступны не все переменные (скорость изменения координаты постоянного магнита не доступна измерению), то решено использовать такую систему, как наблюдатель.

Наблюдатель состояния можно представить в виде модели объекта управления, на вход которой поступает то же управляющее воздействие, что и на объект управления и, кроме того, дополнительный сигнал коррекции. Этот сигнал получается из невязки между выходами объекта и модели.

Как уже было сказано система управления описывается матрицами состояний на рисунке 16 и представляется стандартной системой управления:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx,\end{aligned}\tag{14}$$

где $x(t)$ – вектор состояния, $u(t)$ – управляющий вектор, $y(t)$ – вектор выхода.

Матрицы A , B , C – известны, тогда вектор x можно аппроксимировать состоянием \hat{x} модели:

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu,\tag{15}$$

которая имеет тот же вход, что и объект (14).

При идеальной аппроксимации системы моделью состояния x и \hat{x} совпадают.

При восстановлении (15) не используется измеряемый выход, качество восстановления улучшится при введении в модель разности измеренного выхода и его оценки $y - C\hat{x}$ в виде обратной связи, представленное уравнение получено в источнике [5]:

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + L(y - C\hat{x}),\tag{16}$$

где L – некоторая матрица, обеспечивающая требуемый вид переходных процессов.

В качестве наблюдателя было принято решение применить наблюдатель «Люенбергера», так как данный вид наблюдателя проще реализуем и поможет восстановить неизвестный и необходимый вектор скорости. Так как в разрабатываемой системе наблюдаются шумы, то для получения более точного вектора состояния, наблюдатель должен иметь тот же порядок, что и система управления, в данном случае – третий.

Для получения всех параметров наблюдателя (коэффициенты наблюдателя) необходимо выбрать желаемые корни наблюдателя на основании корней полученных по структурной схеме на рисунке 25.

Полученные корни представлены на рисунке 25.

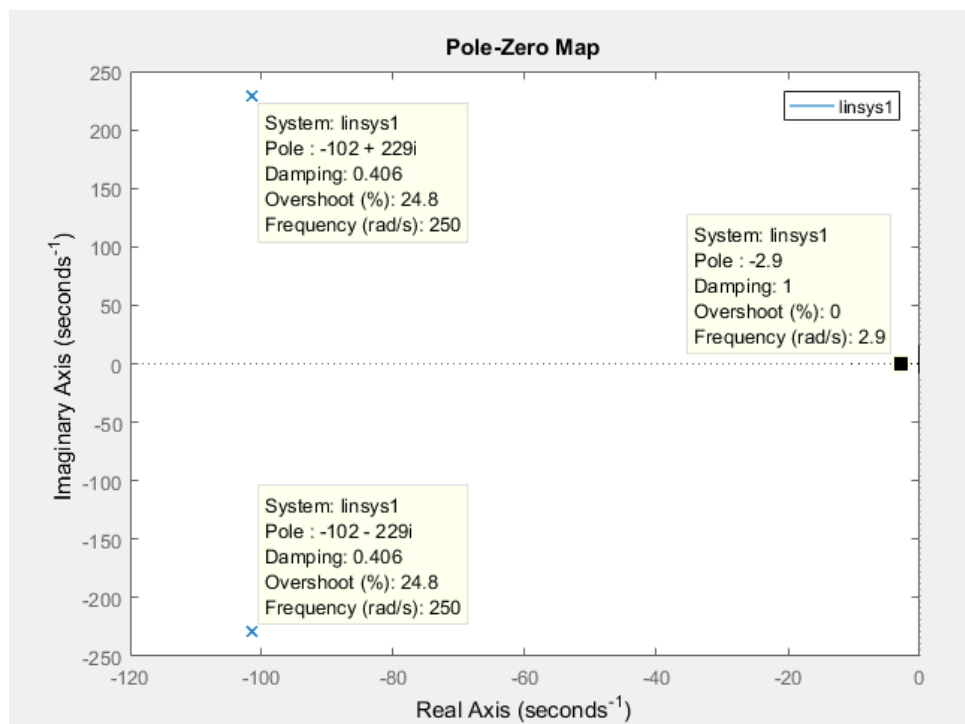


Рисунок 25 – Корневой годограф системы без наблюдателя

Наблюдатель не влияет на корни замкнутой системы, а лишь добавляет свои. Обычно корни наблюдателя стараются расположить левее корней объекта с регулятором, чтобы динамика наблюдателя не сильно сказывалась на динамике

всей системы, но в рассматриваемой системе имеются шумы, а более левое расположение корней приводит к большей чувствительности к шумам. Поэтому корни наблюдателя выберем в области корней объекта управления, таким образом, чтобы они оказывали приемлемое влияние на динамику объекта.

Выбраны следующие корни: $L_{01} = -40+40i$, $L_{02} = -40-40i$, $L_{03} = -150$.

```
>> A=[-206.015037593985 17.9836610757663 57.8792609528629;128 0 0;0 64 0];
>> B=[4;0;0];
>>
>> C=[0 0 6.82365280689705];
>> L=place(A',C',[-40+40i, -40-40i, -150]);
```

Рисунок 26 – Получение коэффициентов матрицы L

Получены следующие коэффициенты:

$$L_1 = -28,2351;$$

$$L_2 = 28,7617;$$

$$L_3 = 3,5150.$$

На основании полученных коэффициентов и структурной схемы объекта управления с каскадным ПИ-регулятором, собрана структурная схема с наблюдателем Люенбергера и оценена скорость восстановления переменной состояния.

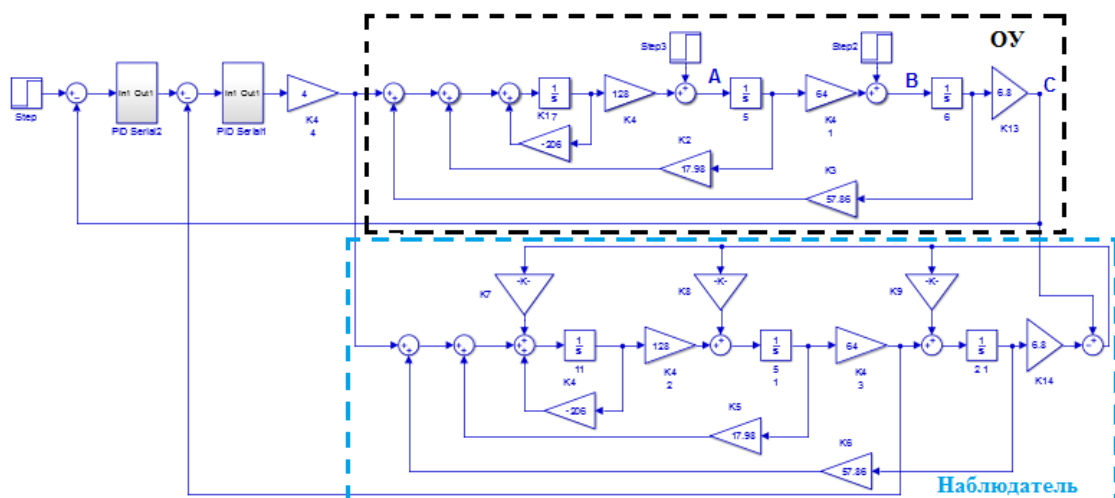


Рисунок 27 – Операторно-структурная схема ОУ с наблюдателем

Необходимо проверить, каким образом происходит реакция системы с наблюдателем на возмущающие ступенчатые воздействия. Построена переходная характеристика системы с наблюдателем и без него, с реакцией систем на единичное ступенчатое возмущающее воздействие в точках А и В и единичное ступенчатое задающее воздействие.

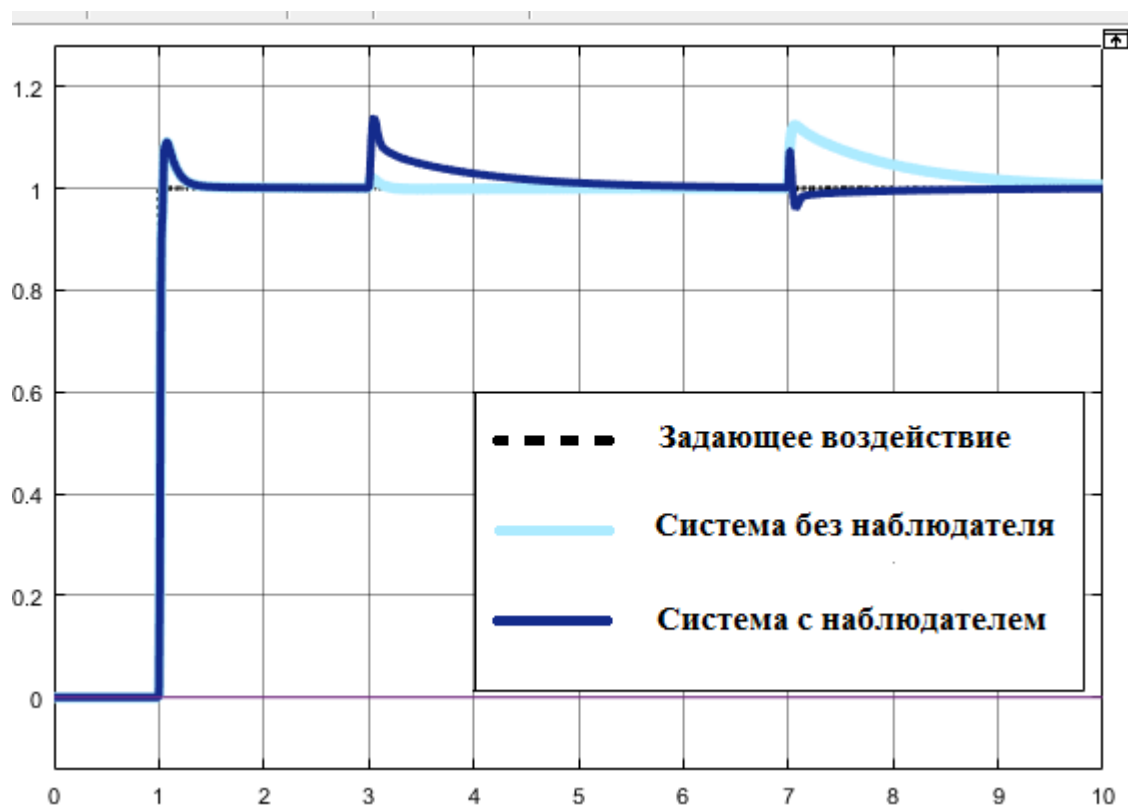


Рисунок 28 – Переходная характеристика системы с наблюдателем и без него

Таблица 6 – Реакция параметров систем на ступенчатое единичное задающее воздействие и ступенчатое единичное возмущающее воздействие

	Система без наблюдателя			Система с наблюдателем		
	Здающее воздействие	Возмущающее воздействие в точке А	Возмущающее воздействие в точке В	Здающее воздействие	Возмущающее воздействие в точке А	Возмущающее воздействие в точке В
σ	9%	2%	12%	9%	13%	7%
$t_{пп}$	0,9 с	0,3 с	4,5 с	0,9 с	4 с	3 с

На основании таблицы 6 можно сделать вывод о том, что система при добавлении в нее наблюдателя реагирует на единичные ступенчатые возмущающие воздействия по-разному, так как наблюдатель в каких-то случаях ухудшает параметры системы, а в каких-то улучшает. При наличии возмущающего воздействия в точке А (3 секунды), время переходного процесса и перерегулирование увеличиваются по сравнению с системой без него, но не превышают значений, заданных в техническом задании. Реакция системы на возмущающее воздействие в точке В (7 секунд) в системе с наблюдателем имеет улучшенные свойства в сравнении с системой без него и также не превышает значений, заданных в ТЗ.

Динамика наблюдателя при воздействии единичных ступенчатых возмущающих воздействий на систему представлена в виде разницы по переменным состояниям в точках А, В, С между системой с наблюдателем и без него. Ниже представлены полученные графики.

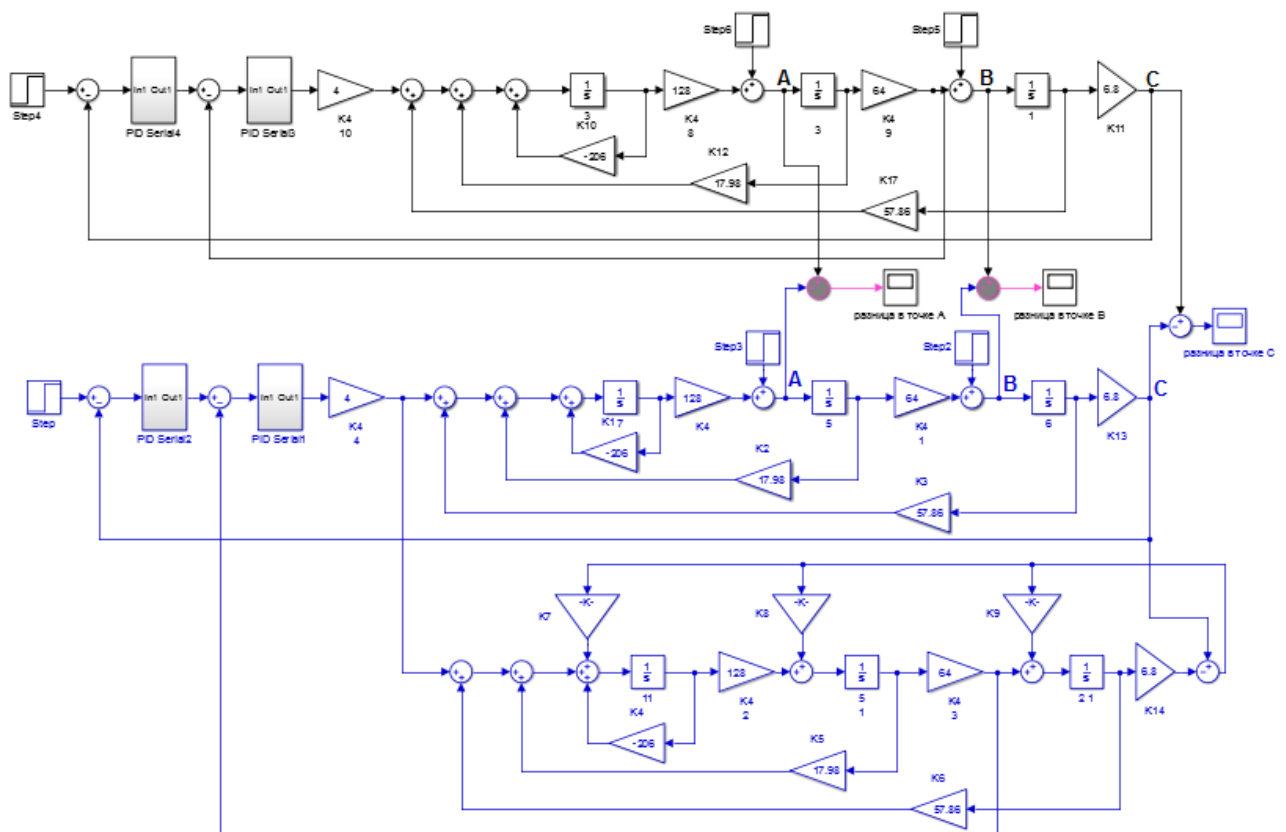


Рисунок 29 – Операторно-структурные схемы для наблюдения динамики наблюдателя

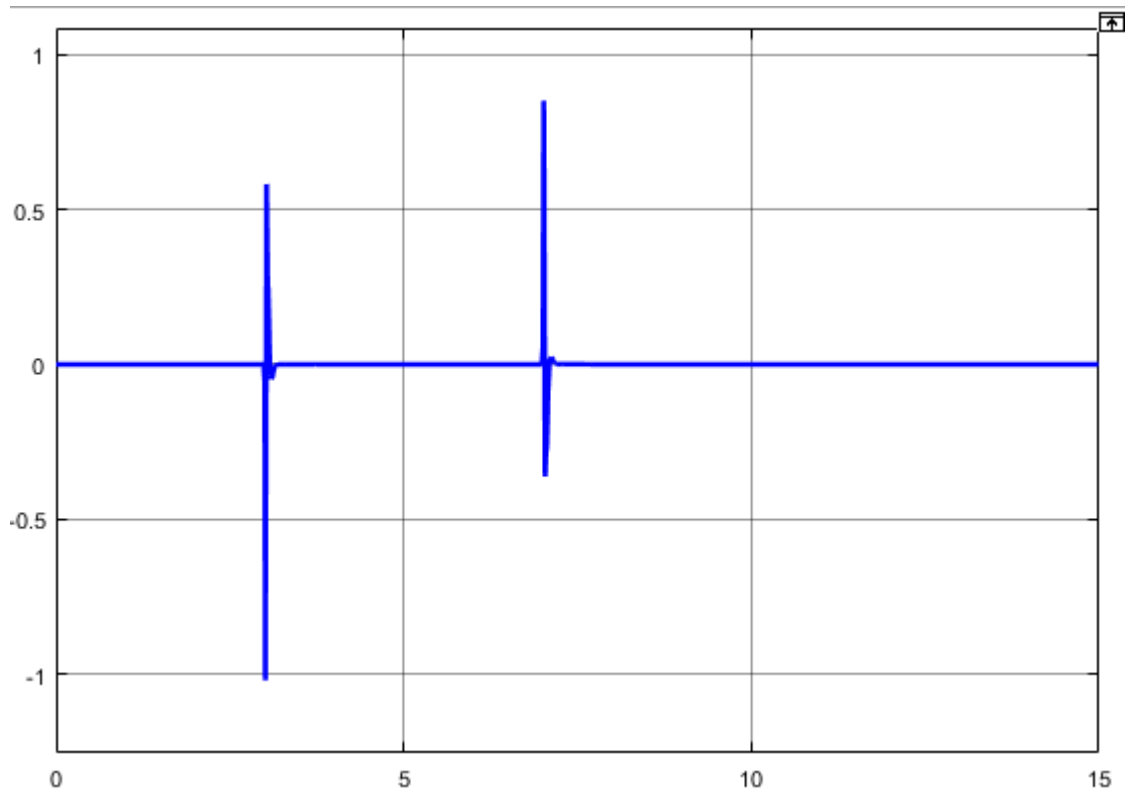


Рисунок 30 – Разница переменных систем на возмущающее воздействие в точке А

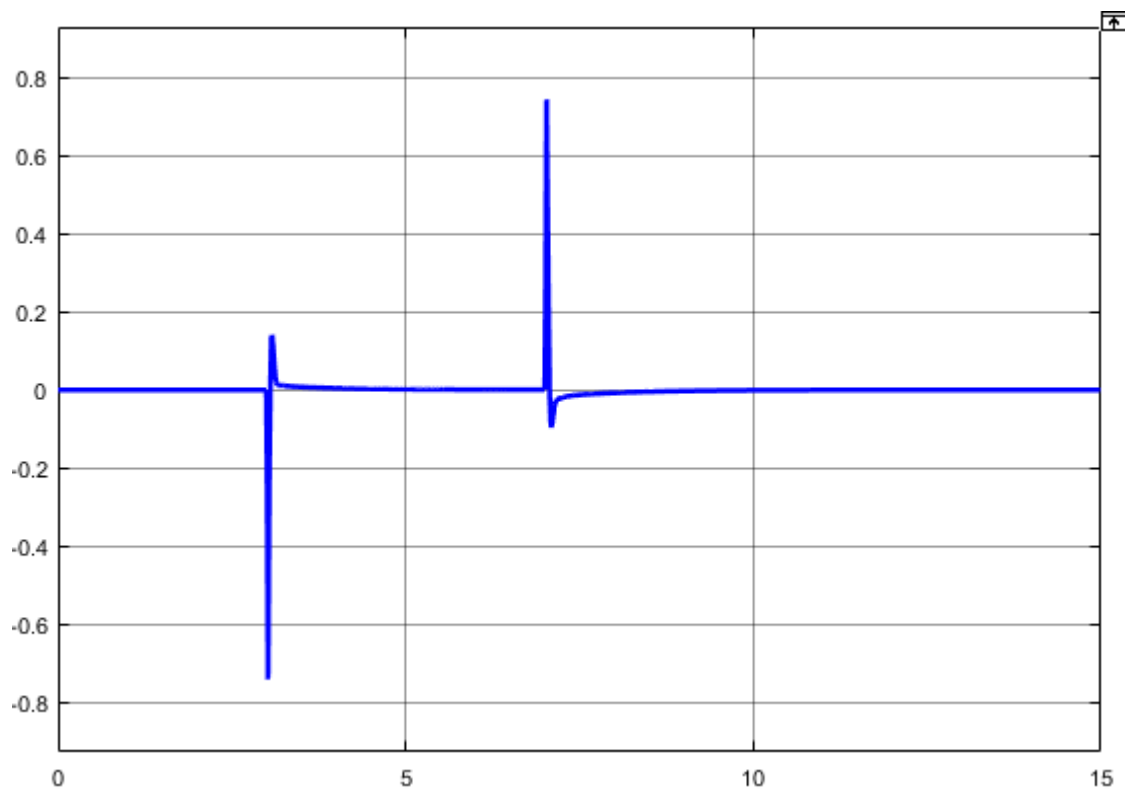


Рисунок 31 – Разница переменных систем на возмущающее воздействие в точке В

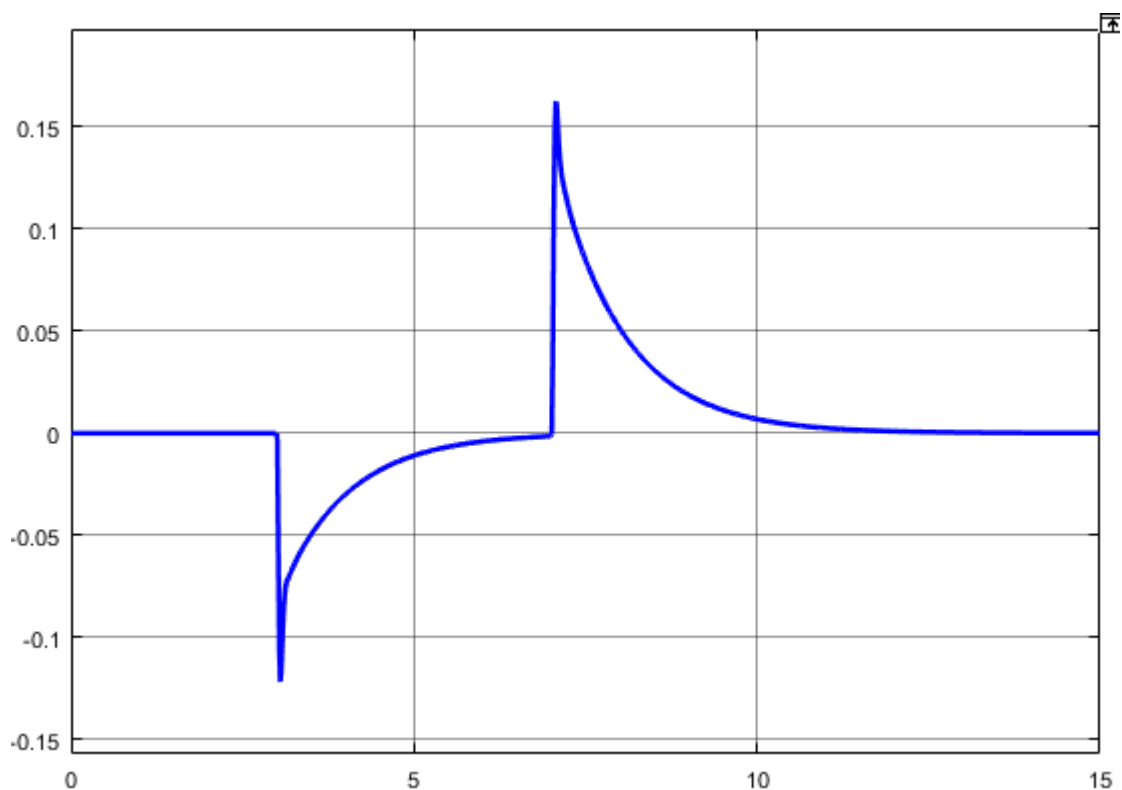


Рисунок 32 – Разница переменных систем на выходе в точке С

Введение наблюдателя позволяет с достаточной точностью восстановить необходимый вектор скорости для решения задачи стабилизации. Несмотря на несоблюдение рекомендаций выбора корней наблюдателя в области корней ОУ, наблюдатель обеспечивает приемлемые показатели переходного процесса.

3.11 Проверка системы на грубость

Выбор параметров объекта управления, по которым целесообразно оценить грубость САР, значения их вариаций и планирование активного эксперимента по оценке грубости

Система называется грубой в том случае, если при малых вариациях её параметров свойства системы, в частности, показатели качества, также изменяются мало. Для практики промышленных систем управления грубость системы фактически означает её работоспособность.

Зная физические свойства объекта, можем предположить, что свойства ОУ не изменяются в больших диапазонах, поэтому целесообразно проверить

грубость системы при вариации параметров объекта $\pm 20\%$. Варьируемыми параметрами будут коэффициенты P_{01} и P_{10} .

Необходимо увеличить и уменьшить коэффициенты на 20% и пронаблюдать за реакцией системы по переходной характеристике.

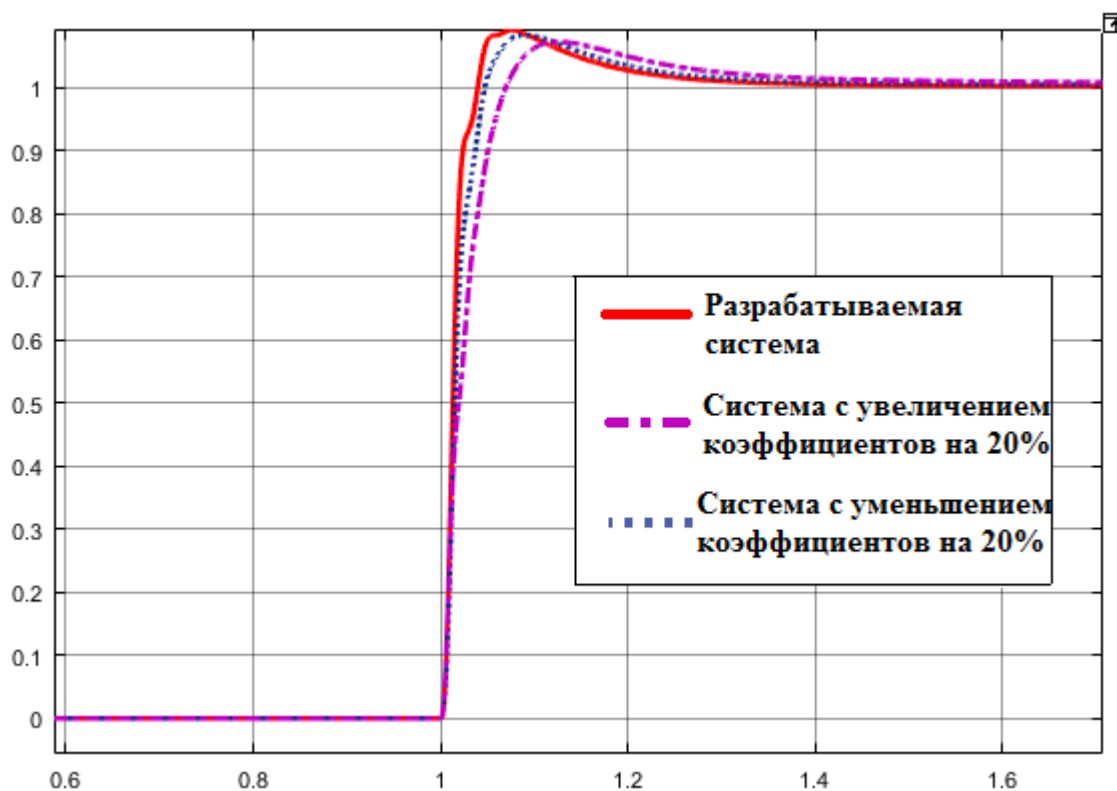


Рисунок 33 – Переходная характеристика системы задающего воздействия при проверке на грубость

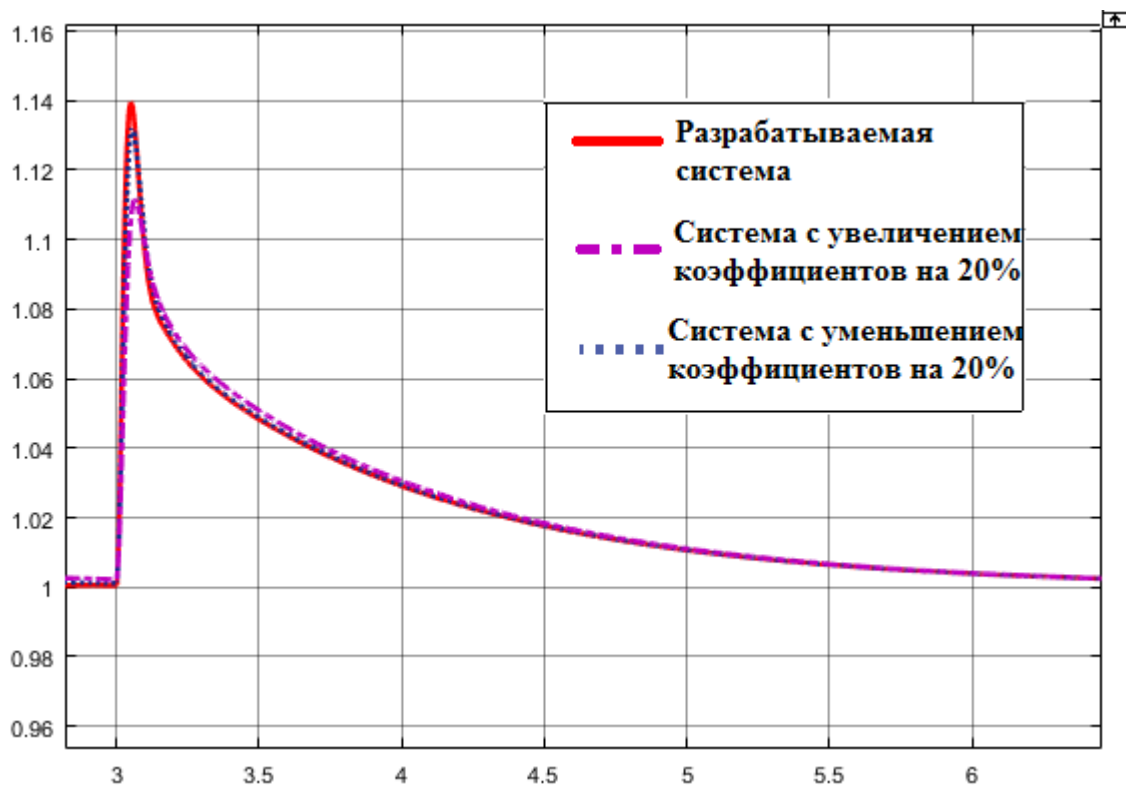


Рисунок 34 – Переходная характеристика системы при возмущающем воздействии в точке А при проверке на грубость

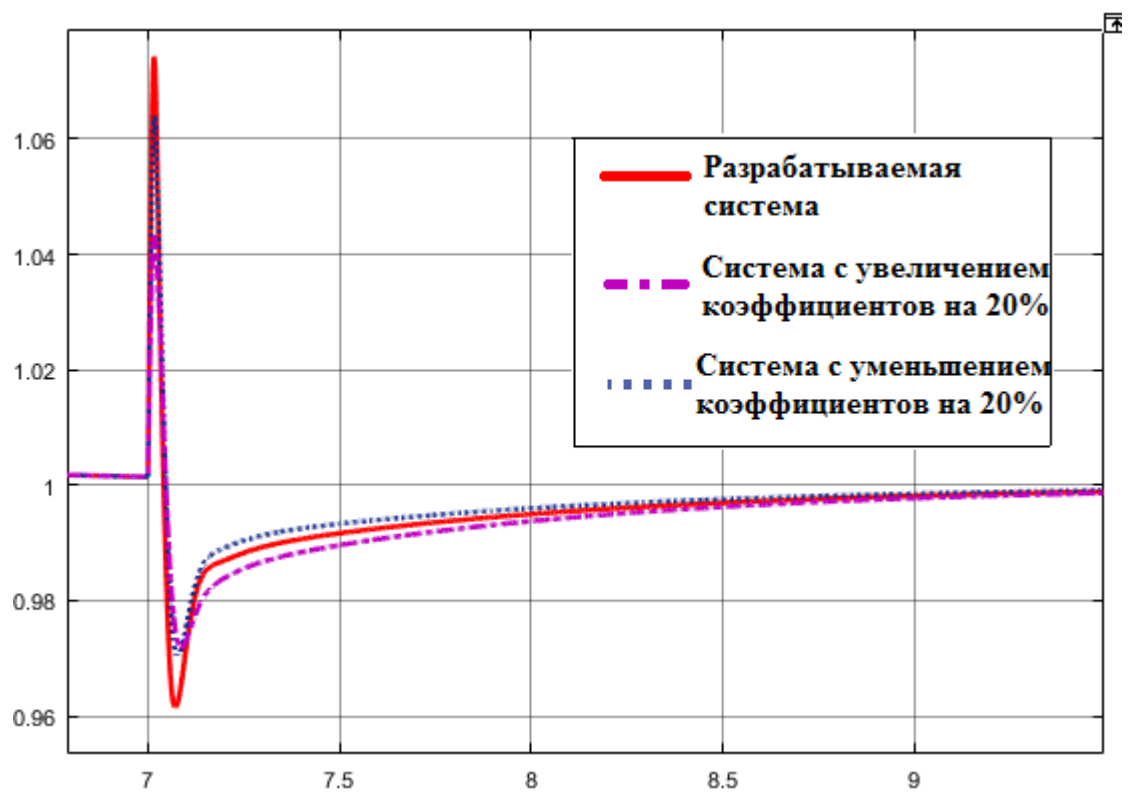


Рисунок 35 – Переходная характеристика системы при возмущающем воздействии в точке В при проверке на грубость

По графикам на рисунках 33-35 определены перерегулирование и время переходного процесса.

Таблица 7 – Реакция параметров системы на ступенчатое единичное задающее и возмущающие воздействия в точках А и В при изменении параметров

	Задающее воздействие	Задающее Воздействие (-20%)	Задающее воздействие (+20%)	Возмущающее воздействие в точке А	Возмущающее воздействие (т.А, -20%)	Возмущающее воздействие (т.А, +20%)	Возмущающее воздействие (в точке В)	Возмущающее воздействие (т.В, -20%)	Возмущающее Воздействие (т.В, +20%)
σ	9 %	8 %	7 %	13 %	13%	11%	7 %	6 %	4%
$t_{\text{пп}}$	0.9 с	0,6 с	0.6 с	4 с	4 с	4 с	3 с	3 с	3 с

На основании данных таблицы 7 можно сделать вывод о том, что при изменении параметров на 20%, перерегулирование остается в пределах нормы до 30% (согласно условиям технического задания) и время переходного процесса изменяется незначительно, следовательно, разрабатываемую систему можно считать грубой.

3.12 Программная реализация системы управления

В ходе выбора отладочной платы была выбрана STM32F3DISCOVERY на базе МК STM32F3 и среда программирования MeXBIOS (представлена на рисунке 29 и в приложении Г).

Программа состоит из следующих блоков:

1. Ведущего ПИ-регулятора с обратной связью с выхода системы (iqPID);
2. Ведомого ПИ-регулятора с обратной связью с вектора скорости, восстановленного с блока наблюдателя (iqPID_1);
3. Блок широтно-импульсной модуляции (LOGIC_PWM);

4. Драйвер дискретного ввода/вывода (GPIO);
5. Блоков аналого-цифрового преобразователя (ADC, ADC_1);
6. Система наблюдателя.

Программирование и реализация каждого блока осуществляется на языке C++ и находится в справке на каждый блок в среде программирования MexBIOS.

Ведущий и ведомый ПИ-регуляторы представляют библиотечные блоки ПИД-регулятора, в которых в качестве параметров выставлены коэффициенты, полученные при настройке регулятора в Simulink.

Так как необходимо физически управлять током в катушке, то необходимо реализовать блок ШИМ и усилитель управляющего сигнала. Данный блок предназначен для получения последовательности импульсов различной скважности.

Для задания дискретного выхода на ножку PB10 микроконтроллера необходим блок GPIO.

Разность значений с блоков АЦП – это разность значений, полученных с датчиков Холла, установленных на электромагните, которая составляет обратную связь для ведущего ПИ-регулятора.

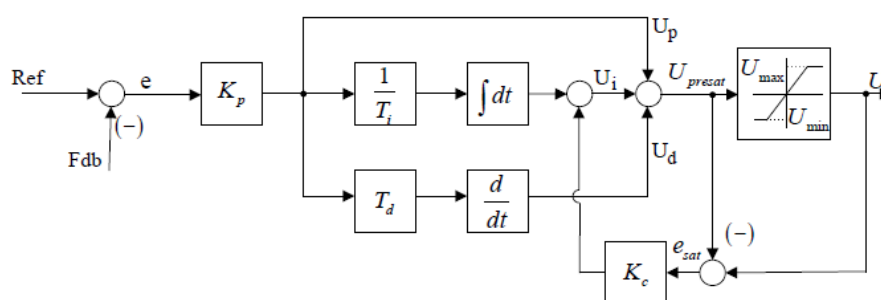


Рисунок 36 – Структурная схема ПИД-регулятора в MexBIOS

Так как в используемой среде программирования отсутствует блок интегратора, в качестве его замещения использован ПИД-регулятор с коэффициентами $K_p=1$, $K_i=1$, $K_d=0$.

Система «Наблюдатель» полностью повторяет систему в среде моделирования Simulink с полученными в ней параметрами.

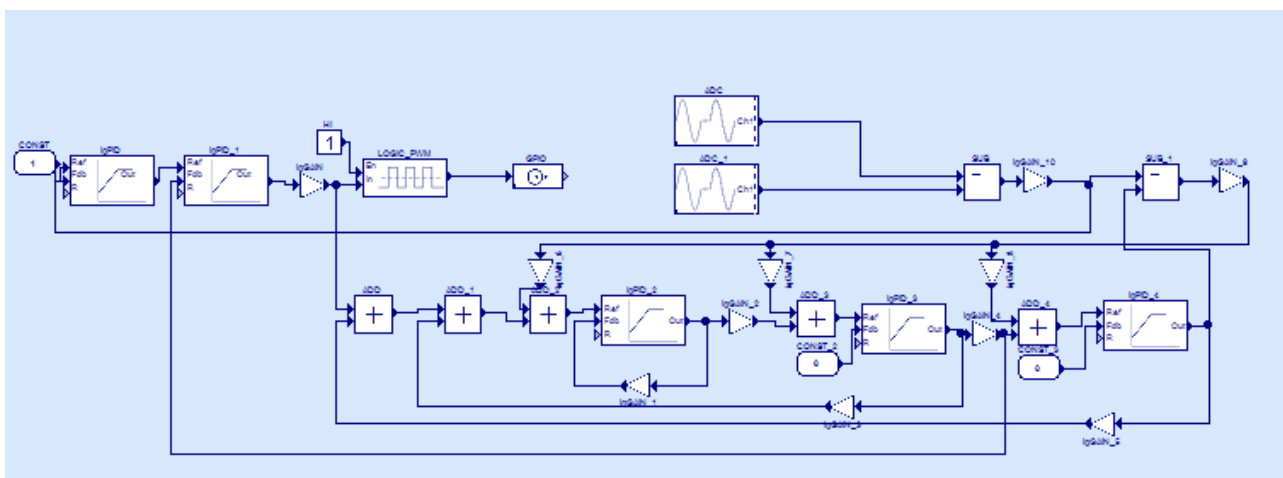


Рисунок 37 – Пример системы управления в среде программирования MexBIOS

3.13 Результаты работы

Разработанная система управления, перенесенная в среду программирования MexBIOS записана в микроконтроллер.

По разработанной электрической принципиальной схеме (пункт 3.5 и приложение В) собрана система с микроконтроллером, исполнительным устройством в виде электромагнита, датчиками Холла и объекта управления (постоянного магнита).

Фотографии системы в собранном виде представлены на рисунках 38-39.

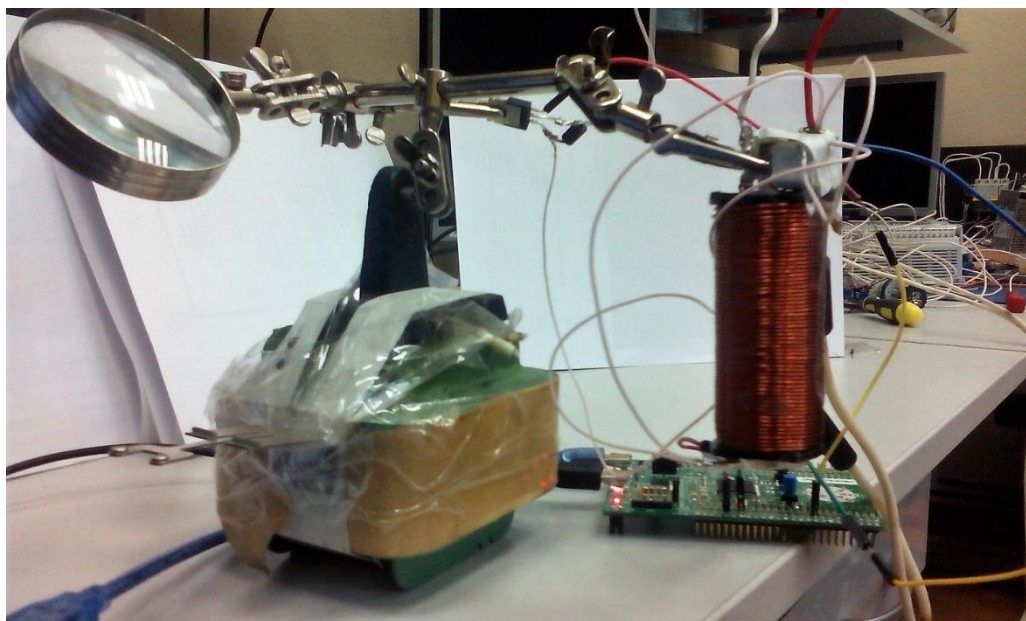


Рисунок 38 – Фотография собранной системы

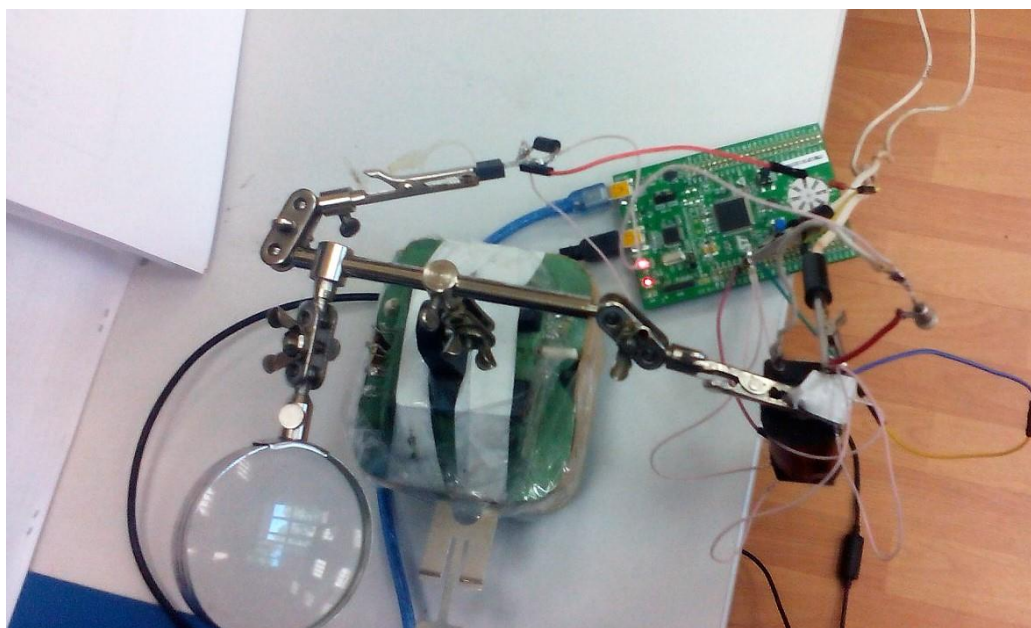


Рисунок 39 – Фотография собранной системы

При запуске собранной системы подвешенный постоянный магнит начинает левитировать в конкретной точке. При незначительных внешних воздействиях (в пределах зоны чувствительности датчика Холла) на объект (изменяя положение при помощи посторонних предметов), постоянный магнит возвращается в исходное положение. Таким образом, можно сказать, что система автоматического управления выполняет свои функции, согласно ТЗ, несмотря на внешние возмущения системы.

В будущем следует разработать конструкцию активного магнитного подшипника и систему управления им на основании изложенной работы. А также провести дальнейшие исследования для изучения поведения реальной системы.

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Е31	Камышникова Ольга Сергеевна

Институт	Кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Мехатроника и робототехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>В данном проекте следует просчитать стоимость всех ресурсов научного исследования. Общий бюджет затрат не должен превышать 110000 рублей (с учетом материальных, энергетических, накладных затрат и т.д.). Человеческие ресурсы – 2 человека (руководитель и студент-дипломник).</i>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Необходимо составить календарный план НИ (со второго триместра февраля до первого триместра июня). Рассчитать затраты НИ.</i>
<i>2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>С позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения необходимо рассмотреть два вида исполнения системы и выбрать наиболее выгодное.</i>

Перечень графического материала:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Тухватулина Лилия Равильевна	Кандидат философских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е31	Камышникова Ольга Сергеевна		

4 Оценка коммерческого и инновационного потенциала инженерных решений

4.1 Потенциальные потребители результатов исследований

Потенциальными потребителями результатов исследования является большая область машиностроительной промышленности. Для данных предприятий разрабатывается система автоматического управления активным магнитным подвесом.

В таблице приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности. Анализ рынка проводился на основе следующих компаний: ОАО «Турбохолод» (средняя компания), АО «ВНИИЭМ» (крупная компания), ЗАО «ИНТЕК АНАЛИТИКА» (мелкая компания).

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности			
		Разработка конструкции АМП	Создание алгоритмов управления АМП	Синтез настроек АМП	Выполнение пусконаладочных работ
Размер компании	Крупные	+	+	+	+
	Средние	+	-	-	+
	Мелкие	+	-	-	-

Согласно карте сегментирования рынка, выберем следующие сегменты: создание системы управления АМП и синтез настроек АМП для средних и мелких компаний.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ проводится при помощи оценочной карты для сравнения конкурентных решений. В качестве конкурентов выбраны АО «Казанькомпрессормаш» и ООО «ВНИИЭМ».

Таблица 9 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкурентоспособность		
		Разрабатываемая САР	Конкурентная САР 1	Конкурентная САР 2	Разрабатываемая САР	Конкурентная САР 1	Конкурентная САР 2
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Устойчивость	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
Энергоэкономичность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
Безопасность	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Простота эксплуатации	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
Конкурентоспособность	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
Уровень проникновения на рынок	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
Условия проникновения на рынок	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Итого	1	47	48	38	4,44	4,04	3,32

По полученным результатам можно сделать вывод, что разрабатываемая система регулирования является по конкурентоспособности самой эффективной, а по оценкам отстает на один балл от конкурентной системы САР 1. Но главным

фактором в разрабатываемой системой является ее наибольшая устойчивость. Уязвимость конкурентов заключается в устойчивости, производительности и высокой цене.

4.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ – это метод стратегического планирования. Такой метод выявляет факторы внутренней и внешней среды организации.

Первый этап: описание сильных и слабых сторон разрабатываемой САР.

Сильные стороны: энергоэкономичность, более низкая стоимость, экологичность за счет меньшего энергопотребления, внедрение современных технологий.

Слабые стороны: отсутствие клиентов, система направлена на определенный вид приводов.

Угрозы: отсутствие потребности в новых технологиях, большая конкуренция, нестабильная экономическая ситуация в стране.

Возможности: увеличение спроса в конкретных областях, расширение диапазона предоставляемых услуг, повышение стоимости конкурентных разработок, повышение уровня импортозамещения.

Второй этап: выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Составление интерактивных матриц проекта.

Таблица 10 – Интерактивная матрица для сильных сторон и возможностей

		Сильные стороны			
		С1	С2	С3	С4
Возможности	В1	+	+	0	+
	В2	-	+	-	+
	В3	0	+	-	+
	В4	+	+	+	+

Таблица 11 – Интерактивная матрица для слабых сторон и возможностей

Слабые стороны			
Возможности		Сл1	Сл2
	В1	+	+
	В2	+	+
	В3	+	-
	В4	-	-

Таблица 12 – Интерактивная матрица для сильных сторон и угроз

Сильные стороны					
Угрозы		С1	С2	С3	С4
	У1	-	-	-	+
	У2	-	+	-	+
	У3	+	+	-	-

Таблица 13 – Интерактивная матрица для слабых сторон и угроз

Слабые стороны			
Угрозы		Сл1	Сл2
	У1	+	+
	У2	+	-
	У3	+	+

Составление итоговой матрицы SWOT.

Таблица 14 – SWOT - анализ

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	<p>С1. Энергоэкономичность</p> <p>С2. Более низкая стоимость</p> <p>С3. Экологичность</p> <p>С4. Современные технологии.</p>	<p>Сл1. Отсутствие клиентской базы.</p> <p>Сл2. Узкая направленность</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Увеличение спроса.</p> <p>В2. Расширения диапазона предоставляемых услуг</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В4. Повышение уровня импортозамещения.</p>	<p>Увеличение спроса может развить современные технологии и снизить стоимость.</p> <p>Расширение диапазона услуг улучшит экологичность за счет применения более экологичного подшипника.</p>	<p>Увеличение спроса, повышение стоимости конкурентов и расширение услуг смогут увеличить клиентскую базу. Также большой спрос сможет расширить узкую направленность.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие потребности в новых технологиях.</p> <p>У2. Увеличение конкуренции.</p> <p>У3. Нестабильная экономическая ситуация в стране</p>	<p>Отсутствие потребностей в новых технологиях не смогут развить современные технологии. Увеличение конкуренции снизит стоимость.</p>	<p>Узкая направленность и отсутствие потребностей в новых технологиях может ослабить интерес покупателей.</p>

4.4 Планирование потребности в человеческих ресурсах

Необходимо привести характеристику работающего персонала.

Таблица 15 – Перечень должностных обязанностей и их характеристики

Должность	Кол-во работников	Образование	Стаж работы	Функциональные обязанности	Возраст
Научный руководитель	1	Высшее	5	Составление ТЗ, ведение студента во время разработки проекта	28
Студент-дипломник	1	Высшее	4	Выполнение пунктов ТЗ, разработка проекта, составление пояснительной записки	21

4.5 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов.

В первом исполнении проведение научно-исследовательских работ осуществлялось студентом-дипломником и руководителем совместно.

Все расчеты, построение поверхностей, линеаризация поверхности, синтез системы проведены при помощи математического пакета MatLAB.

Во втором исполнении, возможно, убрать долю взаимодействия с руководителем и все расчеты перенести в ручной вид, без помощи дополнительных программ.

4.6 Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выпускной квалификационной работы определяется опытным путем в человеко-днях и имеет вероятностный характер, так как зависит от трудно учитываемых факторов.

Для реализации проекта необходимы – студент-дипломник(СД) и руководитель(Р). Рассмотрим этапы выполнения ВКР.

Таблица 16 - Этапы выполнения ВКР

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Исполнитель	Загрузка
Разработка технического задания на НИР	1	Составление и утверждение ТЗ	Р	100%
Выбор направления исследования	2	Обзор существующих решений и изучение литературы	Р, СД	20%/80%
	3	Разработка и утверждение ТЗ	Р, СД	90%/10%
	4	Календарное планирование работ	СД	100%

Продолжение таблицы 16

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Исследования на гистерезис	СД	100%
	6	Исследования на определение магнитной силы	СД	100%
	7	Исследования на определение влияния наведенной ЭДС	СД	100%
	8	Получение математической модели системы	Р, СД	50%/50%
	9	Моделирование САР	СД	100%
	10	Проведение синтеза системы	Р, СД	50%/50%
	11	Реализация САР	Р, СД	40%/60%
Оформление отчета НИР	12	Написание пояснительной записки	СД	100%

4.7 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (17)$$

где $t_{ожі}$ – это ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой недели в чел.-днях,
 $t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость i -ой недели,
 $t_{max i}$ – максимально возможная трудоемкость i -ой недели.

По ожидаемой трудоемкости необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p .

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (18)$$

где $Ч_i$ – численность исполнителей.

4.8 Разработка графика проведения научного исследования

В данном пункте необходимо построить диаграмму Ганта – горизонтально-ленточный график, на котором работы представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения приведенных работ.

Продолжительность выполнения работ:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

(19)

T_{pi} – продолжительность выполнения работ,

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48, \quad (20)$$

$T_{кал}$ – количество календарных дней в году,

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году,

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

Все расчеты сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведенных работ

№ раб.	Трудоемкость работ			Исполнители	T_{pi} , раб.дней	T_{ki} , кал.дней
	t_{min} , чел- дни	t_{max} , чел- дни	$t_{ожі}$, чел- дни			

1	1	2	1,4	Р	1,4	2
---	---	---	-----	---	-----	---

Продолжение таблицы 17

2	5	10	7	Р, СД	3,5	5
3	1	2	1,4	Р, СД	0,7	1
4	1	2	1,4	СД	1,4	2
5	10	14	11,6	СД	11,6	17
6	8	16	11,2	СД	11,2	17
7	10	14	11,6	СД	11,6	17
8	12	20	15,2	Р, СД	7,6	11
9	10	14	11,6	СД	11,6	17
10	8	14	10,4	Р, СД	5,2	8
11	12	20	15,2	Р, СД	7,6	11
12	3	5	3,8	СД	3,8	6
Итого:						114

На основании таблицы 17 построим диаграмму Ганта,

Таблица 18 – Диаграмма Ганта

№ раб,	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дней	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление и утверждение ТЗ	Р	2													
2	Обзор существующих решений и изучение литературы	Р, СД	5													

3	Разработка и утверждение ТЗ	Р, СД	1																
---	-----------------------------	-------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 18

4	Календарное планирование работ	СД	2																
5	Исследования на гистерезис	СД	17																
6	Исследования на определение магнитной силы	СД	17																
7	Исследования на определение влияния наведенной ЭДС	СД	17																
8	Получение математической модели системы	Р, СД	11																
9	Моделирование САР	СД	17																
10	Проведение синтеза системы	Р, СД	8																
11	Реализация САР	Р, СД	11																
12	Написание пояснительной записки	СД	6																



- руководитель



- студент – дипломник

4.9 Бюджет НТИ

4.9.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх}, \quad (21)$$

m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении проекта;

$N_{расх}$ – количество материальных ресурсов одного вида, планируемых к использованию в проекте (шт, кг);

C_i – цена приобретения единицы вида потребляемых ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, примем равным 20%.

Расчеты представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб,	Затраты на материалы, руб,
Датчики Холла SS495A	шт,	4	250	1200
Операционные усилители LM324N	шт,	2	20	48
Транзистор КТ815А	шт,	2	12	28,8
Проволока медная	кг	1	690	828

Провод	м	3	20	72
ИТОГО:				2176,8

4.9.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данном пункте необходимо учесть затраты на специальное оборудование, необходимое для проведения научных исследований.

Все оборудование, имеющееся в организации приведено в таблице 20. Таблица 20 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ.

Наименование	Количество	Цена единицы оборудования	Стоимость
Мультиметр DT-832	1	300	300
Осциллограф DS1052E	1	21000	21000
Контроллер STM32F3	1	900	900
Лабораторный источник питания EA-PS 3016-20B	1	35000	35000
Паяльная станция ELEMENT 850	1	3400	3400
Припой ПОС 61 3,0мм, катушка 100г	1	290	290
Канифоль сосновая 100 г	1	100	100
Итого:			60990

4.9.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда (оклад, стимулирующие выплаты, районный коэффициент).

Для студента-дипломника основную заработную плату составляет государственная стипендия, а также повышенная академическая стипендия с учетом районного коэффициента.

Для расчета основной заработной платы необходимо привести действительный годовой фонд рабочего времени руководителя и студента.

Таблица 21 – Баланс времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент-дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные дни и праздничные дни)	52 и 14	104 и 14
Потери рабочего времени (отпуск, больничные)	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Тарифная заработная плата	Районный коэффициент	Месячный должностной оклад работника	Среднедневная заработная плата	Продолжительность работ	Заработная плата основная
Руководитель	17000	1,3	22100	737	18	13260
Студент	7661	1,3	-	-	-	9960
Итого:						23220

4.9.4 Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 23220 = 3483, \quad (22)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принятый 0,15.

4.9.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (23)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. в соответствии с положением ст.58.2 закона №212-ФЗ установлены следующие тарифы страховых взносов: ПФР - 0.22 (22%), ФСС РФ – 0.029 (2.9%), ФФОМС – 0.051 (5.1%).

Таблица 23 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель проекта	13960	3483
Студент-дипломник	9600	-
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды. %	27,1	27,1
Итого:	3783,36	943,98

4.9.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования. оплата услуг связи. электроэнергии. почтовые и телеграфные расходы. размножение материалов и т.д.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{ир}} =$$

$$= (\text{затраты на материалы} + \text{затраты на спецоборудование} + \text{основная з/п} + \text{дополнительная з/п}) \cdot k_{\text{ир}} =$$

$$= (2176,8 + 60990 + 23220 + 3483) \cdot 0,16 = 14379,17$$

где $k_{\text{ир}}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы. возьмем равный 16%.

4.9.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма. руб.
1. Материальные затраты	2176,8
2. Затраты на специальное оборудование	60990
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	23220
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	3483
5. Отчисления во внебюджетные фонды	4727,34
6. Накладные расходы	14379,17
Бюджет затрат НИИ	108976,31

На основании таблицы построим диаграмму бюджета затрат.



Рисунок 40 – Диаграмма затрат

Как видно из диаграммы на рисунке 40, основные затраты идут на специальное оборудование. Но перечисленное оборудование уже имеется в учебной лаборатории и применяется для многих проектов, что имеет окупаемость и не является затратным для данного проекта. Материальные затраты составили всего 2%, конкретные дополнительные материалы именно для описанного проекта не являются дорогостоящими.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{фин}^{исп} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (25)$$

где Φ_{pi} – стоимость варианта исполнения;

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (26)$$

где a_i – весовой коэффициент варианта исполнения разработки,
 b_i – балльная оценка варианта исполнения разработки.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad (27)$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{финр}^{исп.2}}.$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (28)$$

В пункте 4.5 было рассмотрено два варианта исполнения разработки. На основании этого необходимо провести сравнительную характеристику вариантов исполнения.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	2
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	3
3. Помехоустойчивость	0,1	3	3

Продолжение таблицы 25

4. Энергосбережение	0,2	5	5
5. Надежность	0,2	5	4
6. Материалоемкость	0,1	3	4
Итого:	1	4,6	3,5

На основании полученных показателей выполним сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки.

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2
Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,96
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,5
Интегральный показатель эффективности	4,6	3,64
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,04	0,96

С позиции финансовой и ресурсной эффективности на основании таблицы, первый вариант исполнения системы наиболее выгодный, Данный вариант исполнения и используется в выпускной квалификационной работе.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Е31	Камышникова Ольга Сергеевна

Институт	Кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>«Система автоматического управления активным магнитным подвесом».</p> <p>Данная система состоит из катушки индуктивности, датчиков Холла, постоянного магнита и микроконтроллера. Основная работа производится за компьютером.</p> <p>Данную систему предполагается использовать в приводах с активным магнитным подшипником, в качестве которого будет использован активный магнитный подвес.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p>	<p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • повышенный уровень шума во время работы привода; • повышенный уровень электромагнитных излучений активного магнитного подвеса; • повышенный уровень вибрации. <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • термические опасности (ожоги во время нагрева катушки индуктивности); • электробезопасность (электрический ток, проходящий через катушку индуктивности; незащищенные электрические провода, соединяющие МК с катушкой).
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>В качестве воздействия на атмосферу рассмотрен выброс углекислого газа во время энергопотребления подшипников. Проведен расчет энергосбережения</p>

	активного магнитного подшипника по сравнению с шарикоподшипником.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Чрезвычайные ситуации, которые могли бы возникнуть на производстве – это выход из строя активного магнитного подшипника или отключение электроэнергии, что приведет к остановке производства и поломке дорогостоящего оборудования. Еще одной такой ситуацией является появление пожара на рабочем месте.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Требования и мероприятия к организации рабочего места.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Невский Егор Сергеевич	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е31	Камышникова Ольга Сергеевна		

5 Социальная ответственность

Во время трудовой деятельности с системой управления активным магнитным подвесом, на работника (специалиста) может воздействовать ряд производственных факторов. В данном случае необходимо указать меры по обеспечению безопасности трудовой деятельности для предупреждения и сохранения здоровья специалиста.

Система представляет собой микроконтроллер, катушку индуктивности, датчики Холла, постоянный магнит, которые входят в состав привода с таким видом подшипника.

Предполагается, что такая система будет использоваться в небольшом производственном помещении, которое отапливается и вентилируется.

5.1 Производственная безопасность

В данном пункте рассматриваются опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть во время разработки и эксплуатации данного активного магнитного подвеса. Перечисленные факторы приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Вредные и опасные факторы при разработке и выполнении работ с активным магнитным подвесом

Наименование работ (источник фактора)	Факторы (ГОСТ 12.0.003 – 74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Работа с катушкой индуктивности; 2. Техническое обслуживание активного магнитного подвеса	1. Повышенный уровень шума во время работы привода; 2. Повышенный уровень электромагнитных излучений магнитного подвеса; 3. Повышенный уровень вибрации;	1. Термические опасности (ожоги во время нагрева катушки индуктивности); 2. Электробезопасность (электрический ток, проходящий через катушку индуктивности; незащищенные электрические провода, соединяющие МК с катушкой).	1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 2. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 3. СанПиН 2.2.4.548-96 4. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 5. СП 52.13330.2011 6. ГОСТ Р 50571.4-94 7. ГОСТ Р 12.1.019-2009

5.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Во время эксплуатации данной системы на производстве, источниками шума, может являться привод, в который входит активный магнитный подшипник, либо кондиционеры, находящиеся в данном помещении.

Эксплуатация системы будет происходить в производственном помещении, следовательно, согласно санитарным нормам СН2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Уровень шума на производстве не должен превышать 75 дБА.

Таблица 28 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения с шумным оборудованием и дистанционным управлением	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

По уровню шума двигателя подразделяются на пять классов по ГОСТ 6372-84 Е. Двигатели с активными магнитными подшипниками относятся ко второму классу: двигатели с малозумными подшипниками. Такой двигатель имеет значение уровня шума от 87 до 100 дБ, в зависимости от номинальной мощности (от 630 до 1000 кВт). [23].

Поэтому, согласно ГОСТ 12.1.003-83 при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека, до значений, не превышающих допустимые.

Во-первых, применимы методы и средства коллективной защиты. Возможно применение звукоизоляционного ограждения от места расположения привода, также эффективным средством защиты работающих от шума оборудования является устройство звукоизолированных кабин и постов управления. Такие кабины представляют собой изолированные помещения, выполненные из кирпича, бетона, шлакобетона или сборных металлических панелей. При планировке территории предприятий наиболее шумные помещения должны быть сконцентрированы в одном - двух местах. Расстояние между шумными и тихими помещениями должно обеспечивать необходимое снижение шума.

Во-вторых, использование индивидуальных средств защиты. Такие средства предупреждают расстройства органов слуха и нервной системы организма.

В качестве таких средств используются беруши, наушники, шлемы, специальные костюмы, которые обезопасят пользователя.

5.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Основными источниками электромагнитных излучений на производстве и рабочем месте является катушка индуктивности (электромагнит).

Санитарные правила и нормы «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона» устанавливают предельно допустимые уровни воздействия на людей электромагнитных излучений.

Таблица 29 – Предельно допустимые уровни магнитного поля в зависимости от продолжительности воздействия

Время пребывания (ч)	Допустимые уровни МП, B [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
1	2000	8000
2	1000	4000
4	500	2000
8	100	1000

Значение магнитной индукции при использовании активного магнитного подвеса в качестве подшипника составляет 1.37 Тл при локальном воздействии. Поэтому необходимо находиться от данного подшипника на расстоянии.

Для достижения допустимого значения магнитной индукции $B = 0.008$ Тл, силе тока $I = 5$ А и коэффициенте пропорциональности $k = \frac{\mu_0}{\pi} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{\pi} = 10^{-7} \text{ Н / А}^2$ необходимо находиться на расстоянии [24]:

$$B = k \frac{I}{r} \tag{29}$$

$$r = \frac{kI}{B} = \frac{10^{-7} \cdot 5}{0.008} = 625 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

А также обеспечить требования безопасности, согласно ГОСТ 12.1.006 – 84 “ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности”

Мероприятия по снижению излучений:

1. Выбор рациональных режимов работы оборудования;
2. Ограничение места и времени нахождения работающих в ЭМП;
3. Использование поглощающих или отражающих экранов;
4. Применение средств индивидуальной защиты (специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани и защитные очки).
5. Использование и применение профилактических напитков.

5.4 Повышенный уровень вибрации на рабочем месте

Присутствующий вид вибрации в производственном помещении во время работы привода относится к 3 категории общей вибрации на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий.

Таблица 30 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос. Гц	ПДУ виброускорения		ПДУ виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с * 10 ⁻²	дБ
8	1.4	123	2.8	115

Продолжение таблицы 30

16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109

Значение виброскорости двигателей с активным магнитным подшипником не превышает $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ при значении частоты 125 Гц, что является допустимым по ПДУ. [23].

При неисправностях двигателя значения виброскорости и виброускорения могут превышать ПДУ, поэтому необходимо предпринять меры по защите от вибрации.

Методы борьбы с вибрацией:

1. Средства индивидуальной защиты. При работе с ручным механизированным электрическим и пневматическим инструментом применяют СИЗ рук от воздействия вибраций. К ним относятся рукавицы, перчатки, виброзащитные прокладки или пластины, которые снабжены креплениями к руке.

2. Виброизоляция. Метод осуществляется путём введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибрации от источника колебаний на основание или смежные конструкции, либо от основания на защищаемый орган человека.

5.5 Термические опасности

На производстве, где будет использоваться активный магнитный подвес, возможно получить тепловые ожоги от нагрева катушки индуктивности.

Высокая температура катушки может быть обусловлена высокой температурой в помещении, где установлен подшипник, перегревом двигателя, в котором расположен АМП. Перегрев катушки подшипника может быть также при частом включении – отключении двигателя.

Защита от ожогов при соприкосновении с наружными поверхностями оборудования достигается снижением температуры наружных поверхностей оборудования.

Снижение температуры наружных поверхностей достигается с помощью теплоизоляции или принудительного охлаждения, а также путем ограждения частей, имеющих температуру выше 70 °С в местах, доступных для обслуживающего персонала и применения средств индивидуальной защиты.

5.6 Электробезопасность

Во время работы с активным магнитным подвесом возможно повреждение электрическим током, проходящим через катушку индуктивности (короткое замыкание), либо травмы могут быть получены при соприкосновении тела работника с оголенными проводами.

Мероприятия по предотвращению возможного поражения электрическим током:

1. соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия, ограждения токоведущих частей;
2. применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
3. применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
4. применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
5. использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения:

1. основная изоляция токоведущих частей;
2. ограждения и оболочки;
3. установка барьеров;

4. размещение вне зоны досягаемости;
5. применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

1. защитное заземление;
2. автоматическое отключение питания;
3. уравнивание потенциалов;
4. выравнивание потенциалов;
5. двойная или усиленная изоляция;
6. сверхнизкое (малое) напряжение;
7. защитное электрическое разделение цепей;
8. изолирующие (непроводящие) помещения. зоны. площадки.

5.7 Экологическая безопасность

С точки зрения экологии, активный магнитный подшипник является энергосберегающим, в отличие от шарикоподшипника.

Так как более 50% техногенных выбросов в атмосферу парниковых газов приходится на объекты энергетики. Энергетика также интенсивно загрязняет литосферу и гидросферу. Это негативно влияет на климат («парниковый эффект», сопровождающийся повышением температуры в атмосфере) и на погоду (аномально большая нестабильность).

Рассчитаем экономию энергопотребления активного магнитного подшипника по сравнению с шарикоподшипником. Активный магнитный подшипник имеет электропотребление 2.1 кВт\ч. среднее потребление шарикоподшипника 8 кВт\ч. [22. 28].

Допустим, при наработке привода 8000 часов в год, энергопотребление АМП:

$$W_1 = V \cdot t = 2.1 \cdot 8000 = 16800 \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (30)$$

Энергопотребление шарикоподшипника:

$$W_2 = V \cdot t = 8 \cdot 8000 = 64000 \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (31)$$

Экономия энергопотребления в год:

$$W_2 - W_1 = 64000 - 16800 = 47200 \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (32)$$

Выброс углекислого газа (CO_2) составляет 42 кг в год для подшипника, согласно ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. Поэтому, при использовании АМП, выброс в год составит:

$$S_1 = W_1 \cdot m = 16800 \cdot 42 = 705 \text{тонн}. \quad (33)$$

Для шарикоподшипника:

$$S_2 = W_2 \cdot m = 64000 \cdot 42 = 2688 \text{тонн}. \quad (34)$$

Выбросы углекислого газа при использовании активного магнитного подшипника уменьшатся в 3.8 раз по сравнению с шарикоподшипником, что является важным фактором в обеспечении экологической безопасности.

Таким образом, активные магнитные подшипники вносят вклад в сокращение энергопотребления, выбросов углекислого газа и необходимости техобслуживания. Поэтому востребованность в энергосберегающих подшипниках очень высока.

5.8 Чрезвычайная ситуация на рабочем месте

Одной из чрезвычайных ситуаций на производстве с использованием активного магнитного подшипника может стать – повреждение такого подшипника и его выход из строя.

Последствия такой ситуации могут привести к значительному снижению отпуска производимых потребителем товаров, имеющим место в связи с этим незанятостью персонала, простоем производственного оборудования или же может сказаться на нормальной жизнедеятельности большого количества граждан. К таким же последствиям может привести и отключение электроснабжения производства.

Для того, чтобы обеспечить бесперебойное производство во время работы активного магнитного подшипника, используются специальные страховочные шарикоподшипники.

Во избежание остановки производства во время отключения электричества, необходимо:

- питание электроприемников допускается предусматривать от однотрансформаторных ТП при наличии централизованного резерва трансформаторов и возможности замены повредившегося трансформатора за время не более одних суток;
- опускается резервирование в послеаварийном режиме путем прокладки временных шланговых кабельных связей на напряжении 0.38 кв.

Также еще одной наиболее типичной ситуацией, которая может произойти на производстве – это возникновение пожара на рабочем месте. Например, пожар может произойти в случае замыкания проводов или их обрыва.

К обеспечением условий труда работников, необходимо:

1. утвердить службу. помогающую организовать работу по обеспечению пожарной безопасности на производстве;
2. провести подробный инструктаж для сотрудников. чтобы они усвоили правила пожарной безопасности;

3. соблюдать правила пожарной безопасности;
4. разделить обязанности между работниками и руководителем;
5. обеспечить помещения предприятия средствами тушения возгораний. а также системами предупреждения пожара.

К мероприятиям по пожарной безопасности относятся:

1. на каждой двери служебного либо складского помещения следует разместить таблички, оповещающие об уровне пожароопасности;
2. все противопожарные системы и установки с автоматическим управлением (противопожарные сигнализации, механические двери, системы подачи воды и т.д.) необходимо содержать в исправности, регулярно проводить проверки, ремонт и замену по необходимости;
3. специальные наружные пожарные лестницы и защитные ограждения на крыше должны проверяться специалистами как минимум два раза в год
4. в каждом помещении должны на видных местах располагаться информационные таблички с указанным на них номером службы спасения;
5. Специальная одежда и оборудование (защитные костюмы, маски, перчатки и сапоги) должны находиться в аккуратно сложенном или подвешенном виде в железных шкафах, расположенных в отдельных помещениях;
6. после каждой рабочей смены помещения и оборудование необходимо осматривать, проверять, убирать и чистить. Необходимо отключать от электросети аппараты (исключение составляют те, которые должны работать по назначению круглые сутки);
7. также необходимо разработать и развесить на видных местах каждого цеха планы эвакуации при пожаре.
8. следить за правильностью применения и выбора кабелей, проводов, двигателей, светильников и другого электрооборудования в зависимости от класса пожаро- и взрывоопасное помещений и условий среды.

При возникновении ЧС необходимо немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию и должность); дать

сигнал тревоги добровольной пожарной дружине, сообщить руководителю (генеральному директору, начальнику цеха, заведующей магазином и т.п.) или его заместителю о пожаре; принять меры по организации эвакуации людей (эвакуацию начинать из помещения, где возник пожар, а также из помещений, которым угрожает опасность распространения огня и дыма; одновременно с эвакуацией людей, приступить к тушению пожара своими силами и имеющимися средствами пожаротушения (огнетушители, вода, песок и т.п.).

5.9 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место должно быть организовано с учетом ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».

При проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают мужчины и женщины - общие средние показатели мужчин и женщин.

Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела работающего или наклон его вперед не более чем на 15°.

Конструкцией производственного оборудования и организацией рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности.

Средняя высота расположения средств отображения информации должна соответствовать 1365 мм для мужчин и женщин.

Аварийные органы управления следует располагать в пределах зоны досягаемости моторного поля, при этом следует предусмотреть специальные средства опознавания и предотвращения их непроизвольного и самопроизвольного включения в соответствии с ГОСТ 12.2.003-7.

Заключение

В результате выполненной работы была разработана система автоматического управления активным магнитным подвесом, которую можно использовать в качестве прототипа системы управления для активных магнитных подшипников.

Были разработаны схемы, позволяющие изучить структуру и функционал системы управления, а также проведен синтез САР в среде MATLAB&Simulink.

САР была спроектирована на базе датчиков магнитного поля Холла, отладочной платы STM32F3DISCOVERY, электромагнита и постоянного магнита, и встроенной системы ПО для микроконтроллера, разработанной в визуальной среде разработки MexBIOS.

Результатом работы также является получение математической модели объекта, синтез САР, настройка каскадного ПИ-регулятора и разработка системы с наблюдателем.

Список публикаций

1. Публикация. Выступление с докладом. Камышникова О.С., Тутов И.А. Звуковая левитация // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск. 25-26 Марта 2015. - Томск: ТПУ. 2015 - С. 38-40

2. Публикация. Выступление с докладом. Камышникова О.С., Тутов И.А. // Акустическая левитация. XIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Секция: Автоматизация и управление в технических системах. 9-13 ноября. – Томск: ТПУ. 2015.

3. Публикация. Выступление с докладом. Камышникова О.С., Тутов И.А. // Магнитная левитация (активный магнитный подвес). XIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Секция: Автоматизация и управление в технических системах. 7-11 ноября. – Томск: ТПУ. 2016.

4. Выступление с докладом. Камышникова О.С., Кривошеева Е.А., Леонов С.В. // Способы экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов. Международная конференция "Когнитивная робототехника" в ТГУ. Секция: Электроника. 7-10 декабря. – Томск: ТГУ. 2016.

Список использованных источников

1. Т.И. Трофимова Курс физики: Уч. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 560с.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики (в трех томах): Учебное пособие. – М.: Высшая школа. 1979 – 511 с.
3. Малышенко А.М. Математические основы теории систем: Учебник для вузов. – Томск: ТПУ, 2008. – 364 с.
4. Камышникова О.С., Тутов И.А. // Магнитная левитация (активный магнитный подвес). Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск. 7-11 ноября 2016. - Томск: ТПУ. 2016.
5. IT-лента. Магнитная левитация [Электронный ресурс]. – URL: <http://it-lenta.ru/что-такое-magnitnaya-levitatsiya> (Дата обращения: 12.10.2016).
6. Левитрон на датчике Холла [Электронный ресурс]. – URL: http://samodelkilab.ucoz.ru/news/levitron_92_sobrat_svoimi_rukami/2014-01-19-321 (Дата обращения 20.09.2016).
7. Наблюдатель Люенбергера [Электронный ресурс]. - URL: <http://drive.ispu.ru/elib/kolganov2/112.html> (Дата обращения: 10.03.2017)
8. Активные магнитные подшипники [Электронный ресурс]. - URL: <http://amb-lab.narod.ru/Book/Chapter1.htm> (Дата обращения: 02.10.2016)
9. Сила тяги электромагнитов [Электронный ресурс]. – URL: <http://electrono.ru/elektrotexnicheskaya-apparatura/sila-tyagi-elektromagnitov> (Дата обращения: 02.02.2017)
10. Управляемость и наблюдаемость [Электронный ресурс]. – URL: <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction§ion=ControlStateSpace> (Дата обращения: 15.03.2017)
11. Разработка структуры системы автоматического управления электромагнитным подвесом роторов турбогруппы гт тэц [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-struktury-sistemy->

[avtomaticheskogo-upravleniya-elektromagnitnym-podvesom-rotorov-turbogruppy-gt-tets](#) (Дата обращения: 24.03.2017)

12. Поезда на магнитном подвесе [Электронный ресурс]. – URL: <http://elektrik.info/main/fakty/63-vse-samoe-interesnoe-o-poezdakh-na.html> (Дата обращения: 26.01.2017)

13. Наблюдатель Люенбергера [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.techproof.ru/prunid-775.html> (Дата обращения: 23.04.2017)

14. ПИД-регуляторы [Электронный ресурс]. – URL: <http://tehtab.ru/Guide/GuideTricks/TAU/PPDPIPIDregulators/> (Дата обращения: 25.05.2017)

15. Классический ПИД-регулятор [Электронный ресурс]. – URL: http://www.bookasutp.ru/Chapter5_2.aspx (Дата обращения: 25.05.2017)

16. Спецификация датчика Холла [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/009a/0900766b8009a37c.pdf> (Дата обращения: 25.05.2017)

17. Спецификация полевого транзистора IRF370 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=IRF370> (Дата обращения: 25.05.2017)

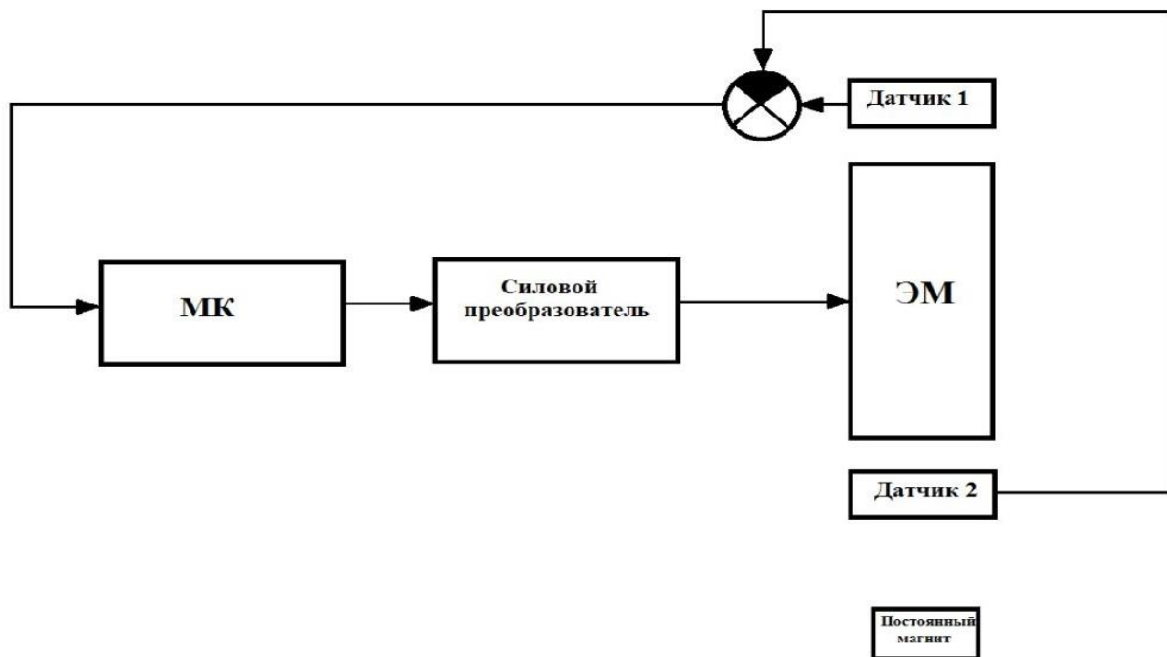
18. Спецификация микроконтроллера STM32F3 [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/f2/1f/e1/41/ef/59/4d/50/DM00058181.pdf> (Дата обращения: 25.05.2017)

19. Выбор электродвигателя по классу вибрации и уровню шума. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.agrovodcom.ru/elektrodvigatel/info_jelektrodvigatel-vibracija-shum.php. (Дата обращения: 19.04.2017)

20. Магнитное действие электрического тока. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.eduspb.com/node/1774>. (Дата обращения: 20.04.2017)

21. Уровни вибрации для электродвигателей. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://elektrica.info/kak-ustranit-vibratsiyu-e-lektrodivigatelya/>. (Дата обращения: 20.04.2017)
22. Поляхов Н.Д. Обзор способов практического применения активных магнитных подшипников / Н.Д. Поляхов. А.Д. Стоцкая // Журнал «Научное приборостроение». том 22. №4. – Спб: СпбГЭТУ, 17.04.2012. – с.5 – 18. – Библиогр.: 22 назв.
23. СН2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
24. СанПИН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»
25. СанПИН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
26. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
27. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
28. ГОСТ 17.4.3.04-85 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране загрязнения»
29. Функциональная схема. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://ani-studio.narod.ru/BOX/Flash/Study/Automation/HTML-Themes/Theme7.htm> (Дата обращения: 23.05.2017)
30. СТО ТПУ 2.5.01-2006 «Стандарт организации. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления»
31. Грубость систем управления. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.techeducator.ru/dexius-47-1.html> (Дата обращения: 2.06.2017)

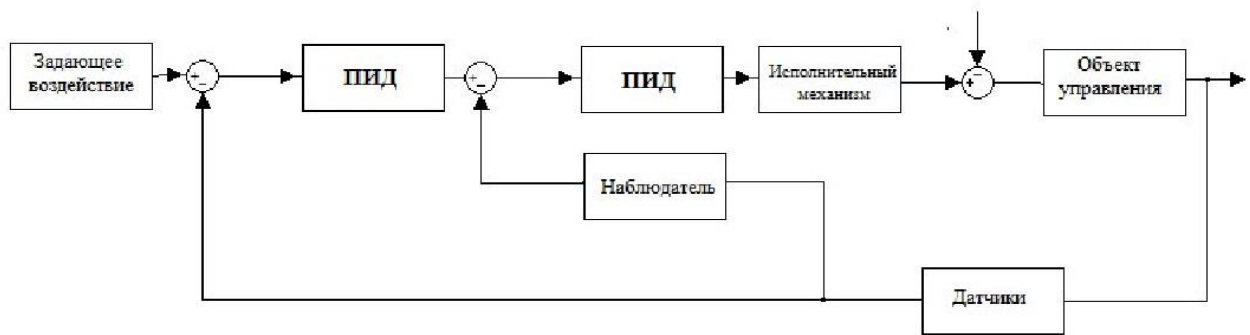
Приложение А



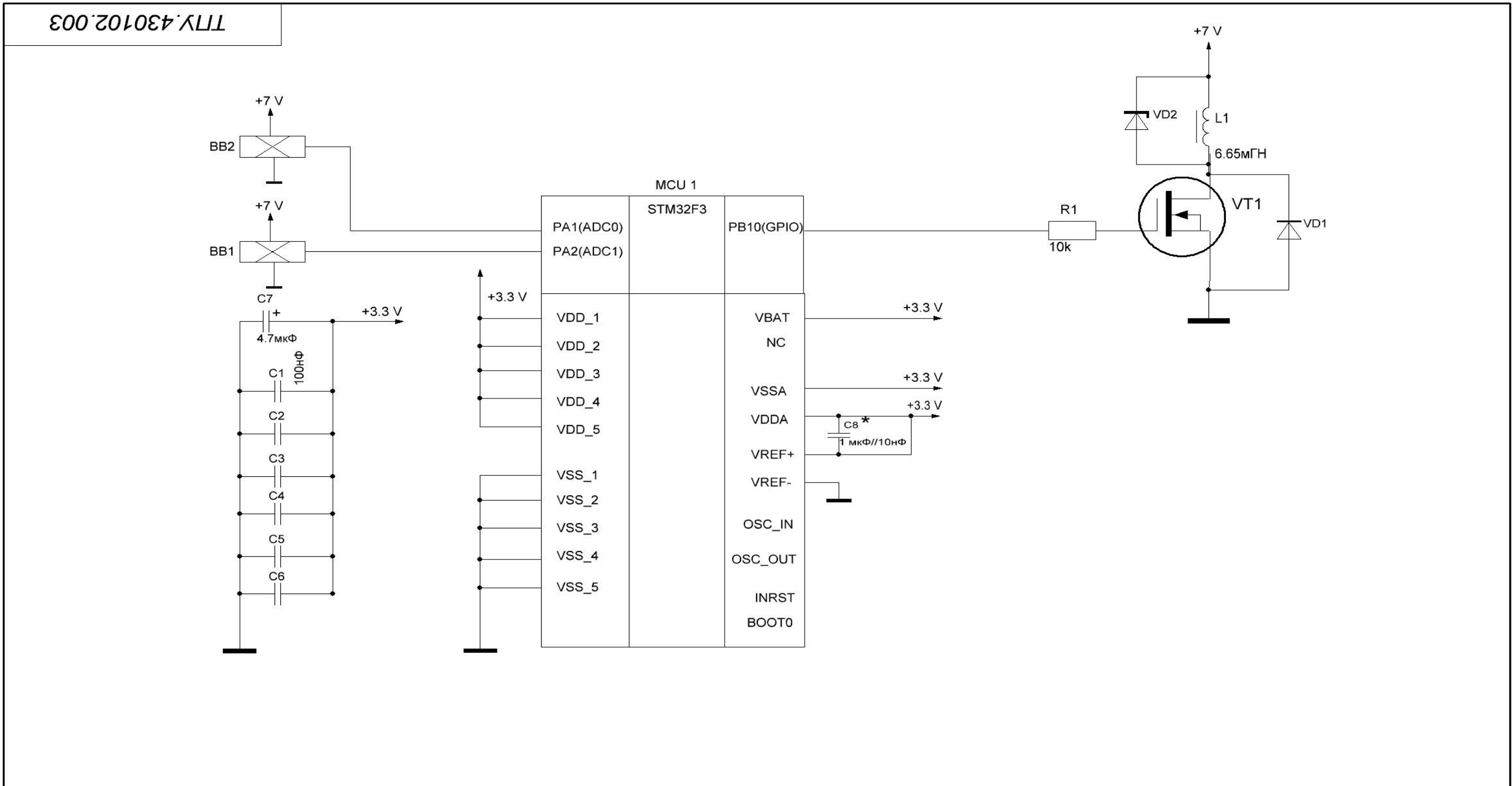
МК	Микроконтроллер
ЭМ	Электромагнит
Датчик 1,2	Датчики магнитного поля

					ФЮРА.421413.001.ЭЗ		
					Функциональная схема САР		
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		Камышникова О.С.			у		
<i>Провер.</i>		Тутов И.А.					
<i>Т. контр.</i>					<i>Лист</i>	1	<i>Листов</i> 1
<i>Реценз.</i>						ТПУ	ИК
<i>Н. контр.</i>						Группа	8Е31
<i>Утверд.</i>							

Приложение Б

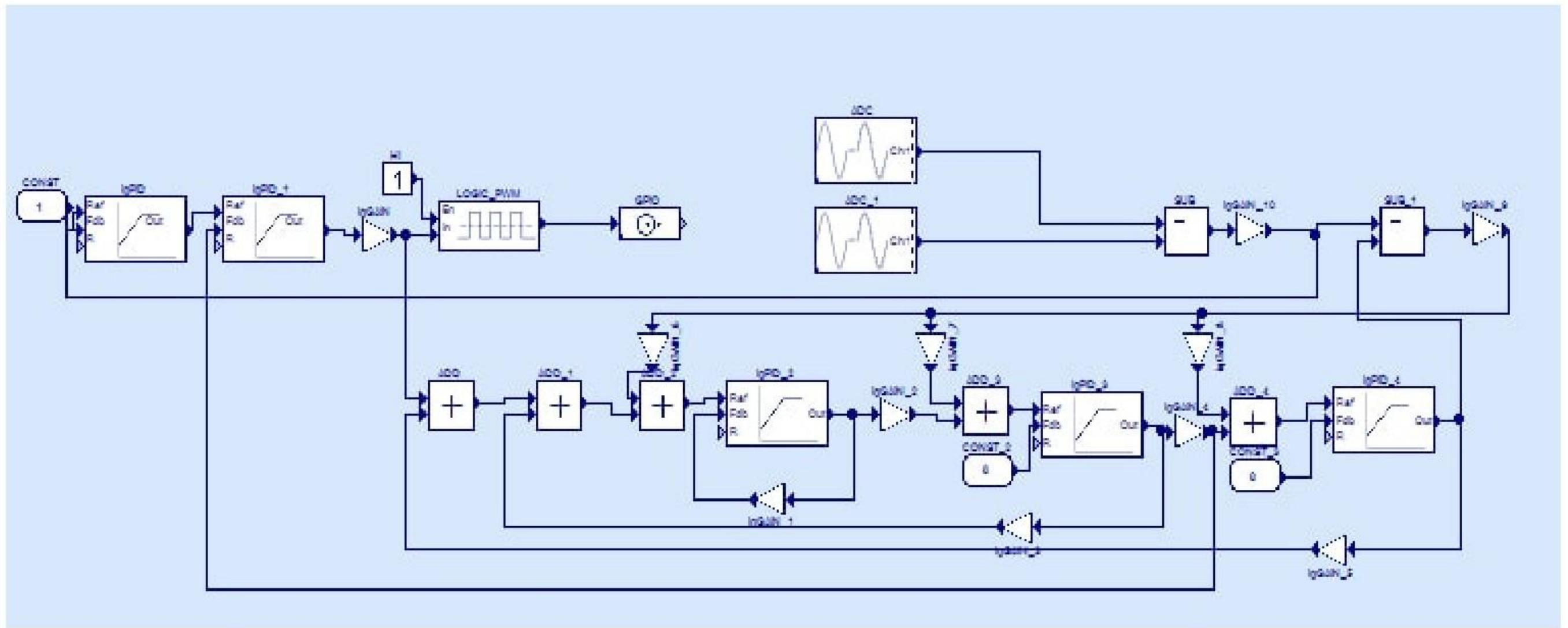


					ФЮРА.421413.001.ЭЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Структурная схема САР	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Камышникова О.С.				у		
Провер.		Тутов И.А.						
Т. контр.						Лист 1	Листов 1	
Реценз.						ТПУ		ИК
Н. контр.						Группа		8Е31
Утверд.								



C8* - развязка АЦП, согласно спецификации на МК

					ТПУ.421413.001.Э3		
					Схема электрическая принципиальная АМП		
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Лист</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>
Разраб.		Камышникова О.С.					
Провер.		Тупов И.А.					
Т. контр.					<i>Лист 1</i>		<i>Листов 1</i>
Реценз.					ТПУ ИК		
Н. контр.					Группа 8Е31		
Утверд.							



					ФЮРА.421413.001.ЭЗ		
					Программа в MexBIOS		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
					У		
Разраб.	Камышникова О.С.						
Пров.	Тутоев И.А.						
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							
					Лист 1		Листов 1
					ТПУ		ИК
					Группа		8E31

Поз обозначение	Наименование	Кол	Примечание
MCU1	Микроконтроллер ARM-32bit ST Microelectronics STM32F303VCT	1	
C1-C6	Конденсатор K50-35 25В 100 мкФ 20%	6	
C7	Конденсатор K73-17 63В 4,7мкФ 20%	1	
C8	Конденсатор K10-17 63В 10 нФ 10%	1	
R1	Резистор МЛТ-0,25-10кОМ-5%	1	
L1	Катушка индуктивности 6.65мГн	1	
VD1	Диод защитный P6KE27A 600Вт 25В	1	
VD2	Стабилитрон 1N4733A 5,4В 1Вт	1	
BB1-BB2	Датчик Холла аналоговый SS495A Honeywall 670Гц	2	
VT1	Полевой транзистор IRF730 75 ВТ 400В	1	

				ФЮРА.421413.001 ЭЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат			
Разраб.	Камышникова О.С			Система автоматического управления активным магнитным подвесом	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Туттов И.А.				Э	1	1
					ТПУ ИК Группа 8Е31		
Утверд							