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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Регулируемый электропривод системы электрогидравлического усилителя рулевого управления электробуса

УДК 62-83-523:629.341.064.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Степанов Денис Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники

Код результата	Результат обучения
Универсальные компетенции	
Р1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
Р2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
Р3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
Р4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
Р5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
Р6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
Р7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
Р8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
Р9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
Р10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
Р11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. руководителя отделения
_____ _____ Ивашутенко А.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ72	Степанову Денису Алексеевичу

Тема работы:

Регулируемый электропривод системы электрогидравлического усилителя рулевого управления электробуса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 753/с от 01.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2019

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Выпускная квалификационная работа бакалавра, техническая литература, техническая документация
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Титульный лист Задание Реферат Введение Раздел 1 Устройство и принцип работы электроусилителя рулевого управления Раздел 2 Определение требуемой области работы электропривода Раздел 3 Исследование нелинейных САУ электропривода Раздел 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Раздел 5 Социальная ответственность Заключение Список литературы
Перечень графического материала	– функциональная схема электропривода; – имитационная модель; – графики переходных процессов электропривода

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	**Консультант**
Основное исследование	Ланграф С.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора И.В.
Социальная ответственность	Гуляев М.В.
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2019

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Степанов Д.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ72	Степанову Денису Алексеевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования.	Объектом исследования является регулируемый электропривод системы электрогидравлического усилителя рулевого управления электробуса, в программной среде Matlab Simulink.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства;организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов при исследовании электропривода системы ЭГУР: – повышенный уровень шума на рабочем месте; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – поражение электрическим током – неудовлетворительный микроклимат – повышенный уровень напряженности электростатического поля – движение машин и механизмов
3. Экологическая безопасность	– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, уровень токсичности); – решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. – Пожаровзрывобезопастность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отд. общетехнических дисциплин	Гуляев М.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Степанов Д.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ72	Степанову Денису Алексеевичу

Институт	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	Оклад руководителя - 31000 руб. Оклад инженера - 17000 руб.
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	Премиальный коэффициент 30%; Доплаты и надбавки 30%; Дополнительной заработной платы 15%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 28 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	-Анализ конкурентных технических решений;
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - накладные расходы; - амортизационные отчисления.
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*:	
1. *Оценочная карта конкурентных технических решений* 2. *Календарный план проведения НТИ* 3. *Бюджет затрат НТИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Степанов Д. А.		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему «Регулируемый электропривод системы электрогидравлического усилителя рулевого управления электробуса» содержит 81 страницу печатного текста, 38 рисунков, 17 таблиц, 23 источника использованной литературы.

Ключевые слова: электропривод, насос гидроусилителя, электродвигатель постоянного тока, рулевое управление.

Цель работы: расчет электропривода и исследование его режимов работы.

Работа выполнена в программных средах: MATLAB Simulink, Mathcad и Microsoft Office.

Результатом исследования стало расчет электропривода системы электрогидравлического усилителя, получены характеристики режима работы электропривода.

В организационно – экономическом разделе выполнено планирование научно – исследовательских работ, рассчитан бюджет научного исследования.

В разделе производственная и экологическая безопасность рассмотрено влияние опасных и вредных производственных факторов на человека при эксплуатации разработанного электропривода.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ **10**

1.1 Устройство и принцип работы электроусилителя рулевого управления **12**

1.2 Система рулевого управления с электрогидравлическим усилителем **18**

2.1 Определение требуемой области работы электропривода **21**

2.2 Расчёт требуемой мощности двигателя **22**

2.3 Проверка обеспечения заданной области работы ЭП **24**

2.4 Выбор силового преобразователя **26**

2.5 Моделирование силового канала электропривода **27**

2.6 Синтез и разбор линеаризованной САУ РЭП **29**

2.7 Оптимизация контура тока **29**

2.8 Построение контура скорости на модульный оптимум **32**

2.9 Оптимизация контура скорости при симметричном оптимуме с входным фильтром **35**

2.10 Моделирование контура скорости, настроенного на СО, без фильтра на входе **39**

2.11 Исследование нелинейных САУ электропривода. Структурная схема нелинейной САУ РЭП. **42**

2.12 Имитационная модель нелинейной САУ РЭП **42**

3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ **46**

3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности **47**

3.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны **47**

3.2. Производственная безопасность **48**

3.3. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду **55**

3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях **56**

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ **58**

4.1. Анализ конкурентных технических решений **58**

4.2 Планирование проведения работ технического проекта **60**

4.3. Основная заработная плата исполнителей темы **68**

4.4. Расчет капитальных вложений на реализацию проекта **73**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ **79**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ **80**

ВВЕДЕНИЕ

Рулевым управлением называется совокупность устройств, осуществляющих поворот управляемых колес автомобиля.

Рулевое управление служит для изменения и поддержания направления движения автомобиля. Оно в значительной степени обеспечивает безопасность движения автомобиля. Рулевое управление автомобиля состоит из двух частей -- рулевого механизма и рулевого привода. В рулевой механизм входят рулевое колесо, рулевой вал и рулевая передача, которая определяет тип рулевого механизма.

Поскольку орган управления -- рулевое колесо -- постоянно находится в руках водителя, оно на современных автомобилях выполняет также информационную функцию -- по усилиям, вибрациям на рулевом колесе происходит передача водителю информации о состоянии дорожного покрытия, нагруженности контакта колес с дорогой.

Рулевое управление автомобиля должно обеспечивать ощущаемую водителем связь между углом поворота рулевого колеса и направлением движения автомобиля, обладать высокой надежностью. Усилия, необходимые для управления, не должны приводить к повышенной утомляемости водителя и в тоже время должны информировать его о состоянии контакта управляемых колес с дорогой.

В магистерской диссертации рассматривается регулируемый электропривод системы электрогидравлического усилителя рулевого управления электробуса. Данный двигатель постоянного тока служит для циркуляции жидкости под давлением, внутри гидравлического насоса.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что техническое состояние рулевого управления автомобиля непосредственно влияет на безопасность движения. Поэтому к его состоянию предъявляются повышенные требования. Чувствительность к управлению рабочей системы рулевого управления должна

позволять квалифицированному оператору уверенно вести машину по заданной траектории при выполнении всех операций, для которых предназначена данная машина. Машины с разной скоростью и при разных условиях на дороге должны иметь эффективное и продолжительное время работы в системе рулевого управления.

1.1. Устройство и принцип работы электроусилителя рулевого управления

Электроусилитель рулевого управления (ЭУР), как и любой другой усилитель, призван уменьшить усилие, прилагаемое водителем при воздействии на рулевое колесо, тем самым повышая уровень комфорта и легкость управления автомобилем. Дополнительное усилие создается за счет электрического привода. Отсутствие гидравлических элементов в системе повышает ее надежность и создает дополнительные возможности для реализации таких функций, как автоматическая парковка. В этой главе разберем, какие еще особенности есть у ЭУР, узнаем его устройство и принцип работы.

В данной выпускной квалификационной работе был исследован регулируемый электропривод системы электрогидравлического усилителя рулевого управления электробуса. Произведены все необходимые расчеты и сделаны выводы

Функции и назначение

Рисунок 1. Общий вид электро-рулевой части автомобиля.

Главное предназначение ЭУР – снижение усилия, прилагаемого водителем на рулевое колесо в процессе управления автомобилем.

К основным преимуществам электроусилителя в сравнении с гидроусилителем можно отнести:

1. высокую надежность за счет отсутствия гидравлики: исключается вероятность появления утечек и других неисправностей, характерных для ГУР;
2. более высокую точность и удобство регулирования рулевого управления;
3. экономию топлива за счет того, что электроусилитель работает только во время поворота руля.

Разновидностью ЭУР является система адаптивного электроусилителя, работающая совместно с системой курсовой устойчивости. Она дает важные преимущества с точки зрения безопасности: корректирует углы поворота колес, повышая устойчивость автомобиля, а также компенсирует недостаточную или избыточную поворачиваемость автомобиля.

Преимущества устройства:

1. Надежность.
2. Возможность реализации автоматического управления автомобилем.
3. Простота обслуживания и бесшумная работа.
4. Экологическая и технологичность безопасность.
5. Возможность управления транспортным средством в случае выхода системы из строя.
6. Обеспечение легкости и плавности рулевого управления.

7. Обеспечение соответствия между углами поворота управляемых колес и руля.

8. Обеспечение пропорциональности между силами сопротивления повороту колес и усилием на рулевом колесе.

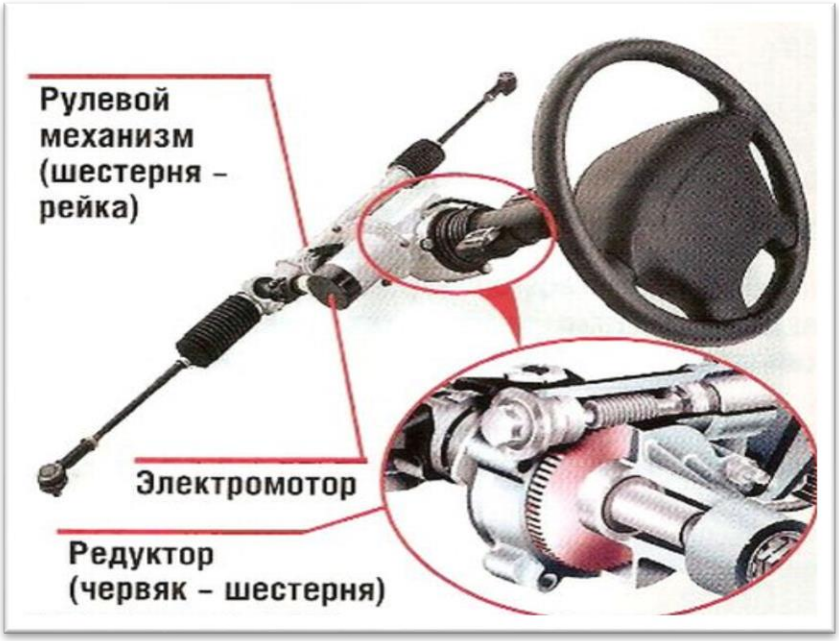

Рисунок 2. Устройство ЭУР

Конструктивно ЭУР состоит из следующих элементов: электродвигатель (электромотор); механическая передача (редуктор); система управления.

Электрический двигатель

Именно электромотор, который, как правило, представлен асинхронным электродвигателем, приводит в движение электроусилитель руля. При этом существует несколько схем установки электродвигателя: электрический двигатель передает усилие на вал рулевого колеса. Электрический мотор передает усилие на рулевую рейку.

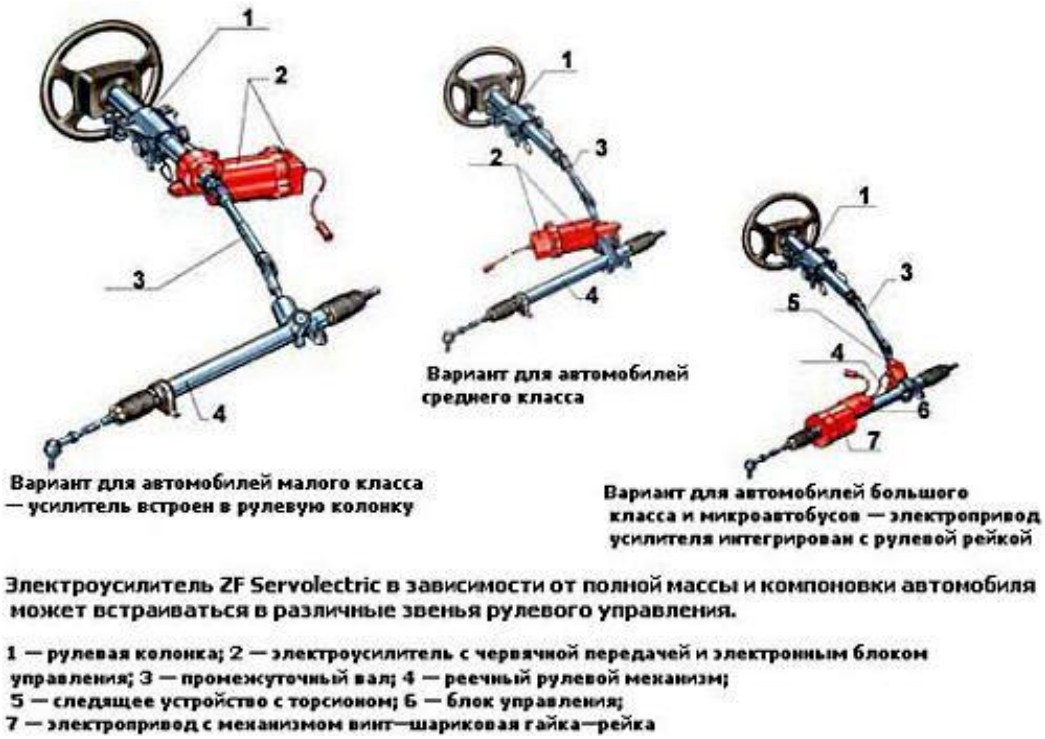

Рисунок 3. Варианты установки электродвигателя

Наиболее востребованным считается второй вариант, который называют электромеханическим усилителем рулевого управления.

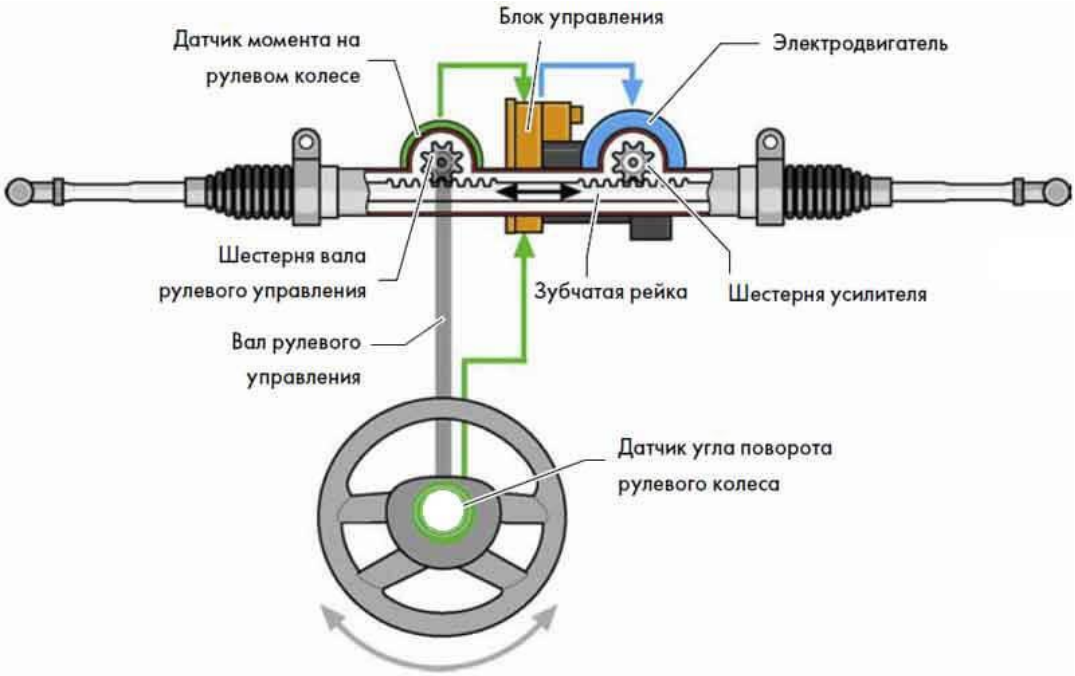

Рисунок 4. Устройство рулевого управления с ЭУР

Система управления ЭУР состоит из:

1. входных датчиков;
2. электронного блока управления;
3. исполнительного устройства.

В дополнение к этим элементам система управления ЭУР использует информацию от блока управления ABS (датчики частоты вращения колеса) и блока управления двигателем. Обрабатываются сигналы датчика, на основании которых дает команду начать работу исполнительному устройству, в роли которого как раз является электрический двигатель усилителя.

Принцип работы электроусилителя руля следующий: при повороте водителем рулевого колеса происходит скручивание торсионного вала. Эту информацию блоку управления передает датчик крутящего момента. ЭБУ обрабатывает данные, соотносит их с показаниями других датчиков и вычисляет усилие, которое необходимо приложить, чтобы помочь водителю повернуть колеса. Электрический двигатель получает команду и воздействует на вал рулевой колонки либо на рулевую рейку.

Внутри устройства необходима механическая коробка передач для передачи силы, которую создает ЭУР на рулевую рейку. Внутри электрического компонента одно зубчатое колесо отдает усилие от механизма к колесной части автомобиля, а второе - от электродвигателя усилителя. Конструкция здесь такая, что рейка имеет специальные выступы и зубья, которые потом приводят в движение колеса машины. Если же в вашей машине используется ЭУР с параллельным приводом, что также бывает нередко, то здесь вращательный момент передается с помощью ремня и винтового механизма. Здесь все немного сложнее с технической точки зрения, но не менее надежно.

Помимо всего этого, важно отметить, что здесь присутствуют еще и электронные датчики. Устройство электроники основано на работе двух датчиков: угол поворота руля и датчик крутящего момента. Электроусилитель

руля, помимо прочего, так же принимает сигнал от системы АБС и от бортового компьютера. Обработав полученную информацию, система анализирует происходящее и определяет, каким способом воздействовать на руль.

Рисунок 5. Состав ЭГУР

Преимущества и недостатки электроусилителя руля

К основным преимуществам ЭУР относятся:

1. экономия топлива – электрический мотор исключает необходимость отбора части мощности у двигателя;
2. надежность за счет отсутствия гидравлической системы;
3. обеспечение лучшей связи водителя с дорогой;
4. компактность и простота обслуживания;
5. удобство регулирования характеристик рулевого управления;
6. возможность реализации автоматического управления.

К минусам устройства относятся:

1. невозможность использования устройства на тяжелых грузовиках из-за его малой мощности;
2. недостаточная влагозащищенность;

1.2 Система рулевого управления с электрогидравлическим усилителем

Система электрогидравлического управления заключается в том, что в системе с стандартным ГУР имеется электродвигатель постоянного тока. Такие системы называют гибридными, как и обычные системы они имеют гидравлическую технологию, обеспечивая рабочее давление в гидравлическом насосе, который приводится в движение за счет электродвигателя, вместо потребления мощности от основного двигателя транспортного средства.

Электродвигатель и насос находятся на одном валу, в разных режимах, электродвигатель работает по-разному, когда автомобиль двигается в обычном режиме на не большой скорости, по прямой дороге, электродвигатель не нуждается в помощи управления колесами и он может быть отключен. В ситуации, когда автомобиль стоит на месте и водитель пытается припарковаться, то положение колес меняется не на скорости, а по сухому асфальту, требуется помощь в повороте колес от электродвигателя, он начинает работать на максимальной нагрузке. Когда автомобиль движется на средней скорости входя в поворот, нагрузки от двигателя будет достаточно номинальной.

Преимущества данного варианта ЭГУР:

Экономия топлива, так как гидронасос работает за счет электродвигателя, а не двигателя внутреннего сгорания;

Такую систему так же можно применять в электрокарах;

Не требуется периодическое обслуживание (замена жидкости гидроусилителя должна выполняться каждые 50 000-80 000 километров пробега или, как только ее уровень в бачке понизился до минимальной отметки).

Плавность и удобство управления автомобилем;

Возможность автоматической настройке режима работы в зависимости от условий на дороге.

Под недостатками можно назвать:

Дороговизна всего оборудования в целом;

Сложность обслуживания;

Выход из строя подшипников на валу двигателя и насоса;

Долговечность, в связи с перепадами температур и влажностью.

В своей дипломной работе я рассмотрел определенный тип двигателя, который в полной мере подходит к системе с гидроусилителем. Нагрузка электродвигателя должна быть как максимальной, так и минимальной, вращаться он должен только в одну сторону (влево) так как насос не подразумевает режим реверс.

Электродвигатель выбираем типа ДПТ, так как электропитание в автомобиле осуществляется за счет аккумуляторной батареи.

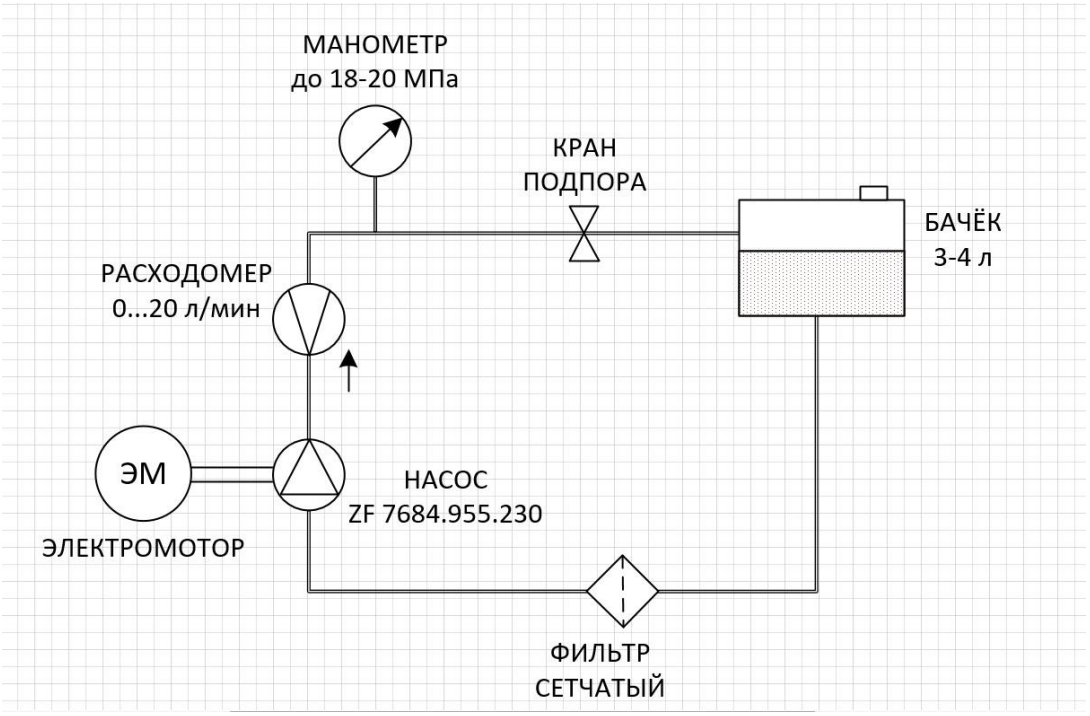

Рисунок 6. Схема подключения системы электро-гидроусилителя

На рисунке 6 показана схема подключения всей системы, она состоит из электродвигателя, насоса, бачка, фильтра, крана, манометра и расходометра. Измерительные приборы нужны для контроля давления и расхода жидкости ГУРа. В бачке находиться сама жидкость ГУРа объемом 3-4 литра. Между насосом и баком установлен обычный сетчатый фильтр, что бы не допустить попадание мелкого мусора внутрь насоса.

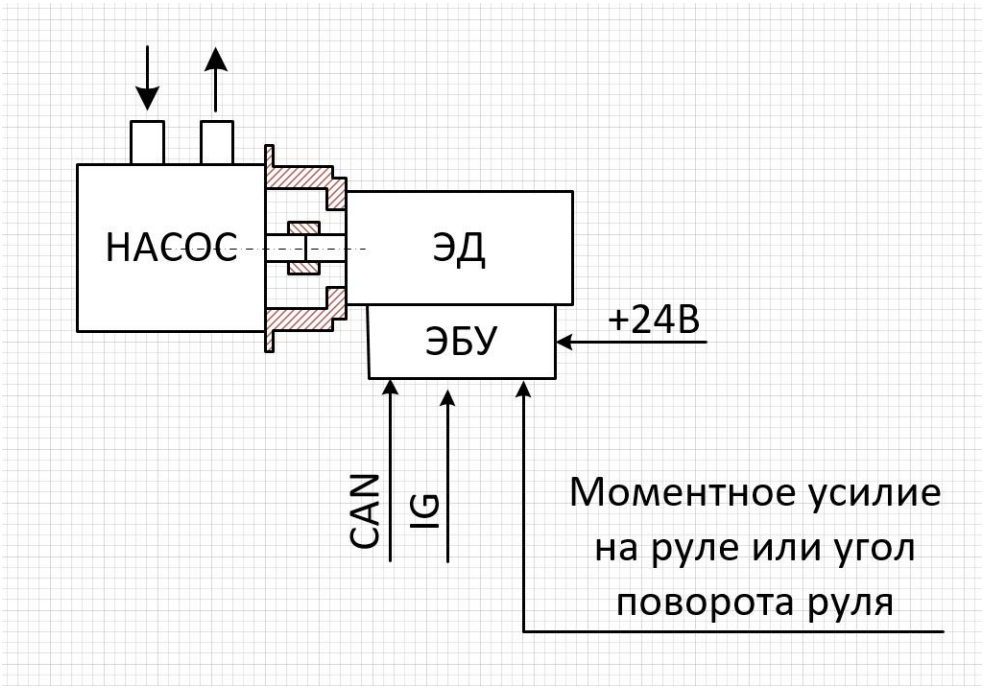

Рисунок 7 – Схематическое положение подключаемых датчиков

Система управления подключается напрямую к электродвигателю и как видно по рисунку 7, электродвигатель соединяется на одном валу с насосом, соединительная муфта на валу находиться под резиновым пыльником, дабы защитить муфту и вал от попадания пыли, и грязи.

Так же по рисунку можно заметить, что на насосе показано как происходит циркуляция жидкости, вал вращается только в одну сторону. На систему управления приходит питание 24 В и необходимое количество датчиков, датчик положения руля, скорости и момент на валу рулевой рейки.

2.1 Определение требуемой области работы электропривода

Область работы электропривода ограничена следующими значениями момента и скорости двигателя:

– максимальная скорость электропривода:

$$\omega_{\text{ЭП.МАКС}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{МАКС}}}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 3000}{30} = 314 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– минимальная скорость электропривода:

$$\omega_{\text{ЭП.МИН}} = \frac{\omega_{\text{ЭП.МАКС}}}{D_{\omega}} = \frac{314}{200} = 1{,}57 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– требуемый кратковременный максимальный момент нагрузки электропривода 68:

$$M_{\text{С.МАКС}} = 68 \ \text{Н} \cdot \text{м};$$

– требуемый длительный момент нагрузки электропривода 30:

$$M_{\text{С.ДЛИТ}} = 30 \ \text{Н} \cdot \text{м};$$

– требуемый минимальный момент нагрузки электропривода:

$$M_{\text{С.МИН}} = 0{,}1 \cdot M_{\text{С.ДЛИТ}} = 0{,}1 \cdot 30 = 3 \ \text{Н} \cdot \text{м}.$$

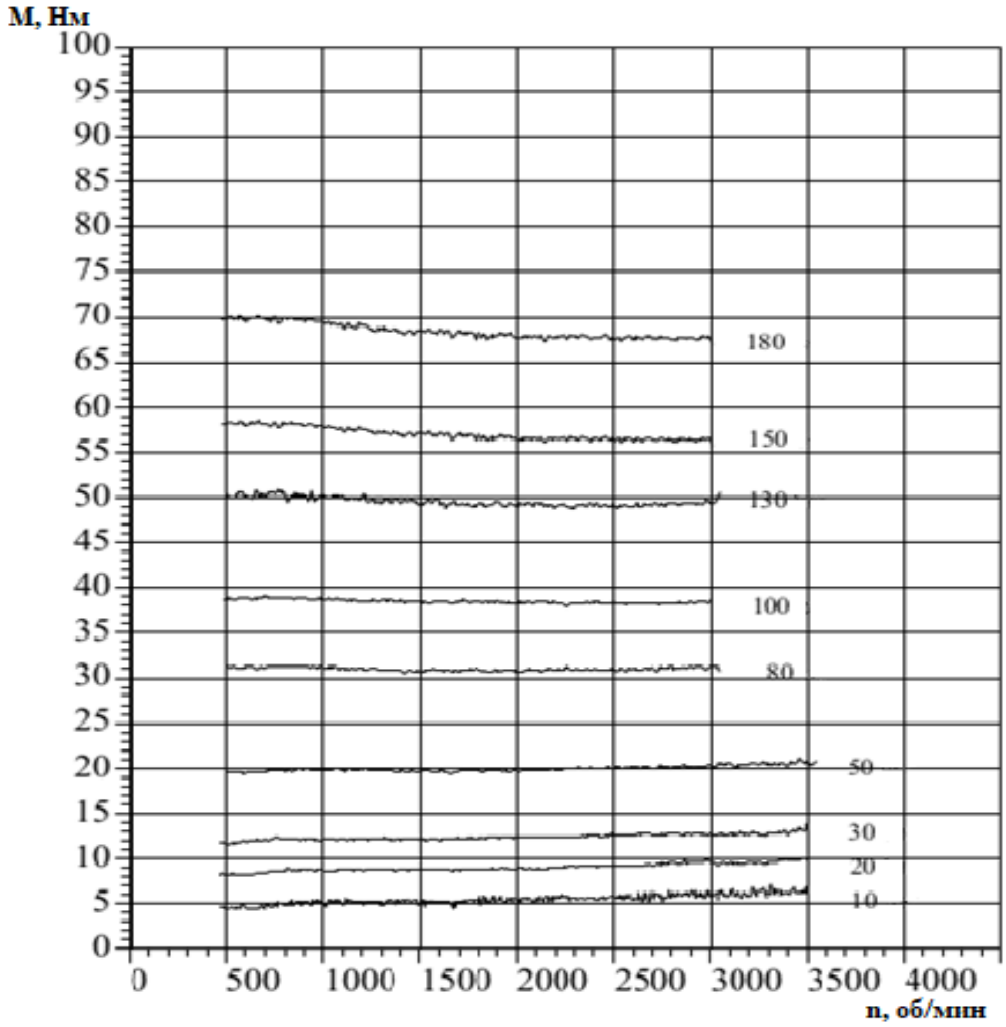

Рисунок 8 – Область работы электропривода

2.2 Расчёт требуемой мощности двигателя

Условия выбора электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения:

$$n_{\text{ДВ.Н}} \geq n_{\text{МАКС}} \geq 1700 \ \frac{\text{об}}{\text{мин}};$$

$$P_{\text{ДВ.Н}} \geq M_{\text{С.ДЛИТ}} \cdot \frac{\pi \cdot n_{\text{МАКС}}}{30} \geq 12 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 1700}{30} \geq 2{,}135 \text{ кВт}.$$

Выбираем электродвигатель типа 2ПБ132МГУХЛ4 со следующими параметрами:

– номинальная мощность: $P_{\text{Н}}$=3,7 кВт;

– номинальное напряжение: $U_{\text{Н}}$=220 В;

– номинальная скорость вращения двигателя: $n_{\text{н}} = 2360 \ \frac{\text{об}}{\text{мин}}$;

– КПД: $\eta = 0{,}81$;

– сопротивление обмотки якоря: $R_{\text{ОЯ}} = 0{,}346$ Ом;

– сопротивление обмотки дополнительных полюсов: $R_{\text{ДП}} = 0{,}224$ Ом;

– индуктивность двигателя: $L_{\text{ДВ}} = 7{,}9$ мГн;

– момент инерции двигателя: $J_{\text{ДВ}} = 0{,}038 \ \text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Номинальный ток двигателя:

$$I_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_{\text{ДВ.Н}}}{U_{\text{ДВ.Н}} \cdot \eta_{\text{ДВ.Н}}} = \frac{3700}{220 \cdot 0{,}81} = 20{,}763 \text{ А}.$$

Номинальная угловая скорость двигателя:

$$\omega_{\text{ДВ.Н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ДВ.Н}}}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 2360}{30} = 247{,}013 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии:

$$R_{\text{ДВ}} = k_t \cdot \left(R_{\text{ОЯ}+15^0C} + R_{\text{ДП}+15^0C} \right) = 1{,}3 \cdot \left(0{,}346 + 0{,}224 \right) = 0{,}741 \text{ Ом},$$

где $k_t = 1 + \Delta\alpha_{\text{М}} \cdot \tau = 1 + 0{,}004 \cdot 75 = 1{,}3.$

Коэффициент ЭДС и электромагнитного момента при номинальном потоке возбуждения:

$$c = \frac{U_{\text{ДВ.Н}} - I_{\text{ДВ.Н}} \cdot R_{\text{ДВ}}}{\omega_{\text{ДВ.Н}}} = \frac{220 - 20{,}763 \cdot 0{,}741}{247{,}013} = 0{,}828 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Номинальный момент:

$$M_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_{\text{ДВ.Н}}}{\omega_{\text{ДВ.Н}}} = \frac{3700}{247{,}013} = 14{,}979 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Выполняется условие: $M_{\text{ДВ.Н}} = 14{,}979 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\text{С.ДЛИТ}} = 12 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

Электромагнитный момент, соответствующий номинальному току:

$$M_{\text{ЭМ.Н}} = c \cdot I_{\text{ДВ.Н}} = 0{,}828 \cdot 20{,}763 = 17{,}199 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{\text{С.ДВ}} = M_{\text{ЭМ.Н}} - M_{\text{ДВ.Н}} = 17{,}199 - 14{,}979 = 2{,}22 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Скорость идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{ДВ.Н}}}{c} = \frac{220}{0{,}828} = 265{,}7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи:

$$T_{\text{ДВ}} = \frac{L_{\text{ДВ}}}{R_{\text{ДВ}}} = \frac{0{,}0079}{0{,}741} = 0{,}011 \text{ с}.$$

2.3 Проверка обеспечения заданной области работы ЭП

Для выбранного двигателя рассчитываем семейство механических $\omega_{дв} = f(M_c)$ и электромеханических $\omega_{дв} = f(I_{яц})$ характеристик при изменении питающего напряжения по формулам:

$$\omega_{\text{ДВ}}(I_{\text{ДВ}}) = \frac{U_{\text{ИНВ}} - I_{\text{ДВ}} \cdot R_{\text{ДВ}}}{c}; \qquad \omega_{\text{ДВ}}(M_{\text{ДВ}}) = \frac{U_{\text{ИНВ}}}{c} - \frac{M_{\text{ДВ}} \cdot R_{\text{ДВ}}}{c^2}.$$

Расчёт характеристик производим при изменении питающего напряжения с шагом $0{,}2 \cdot U_{\text{ном}}$

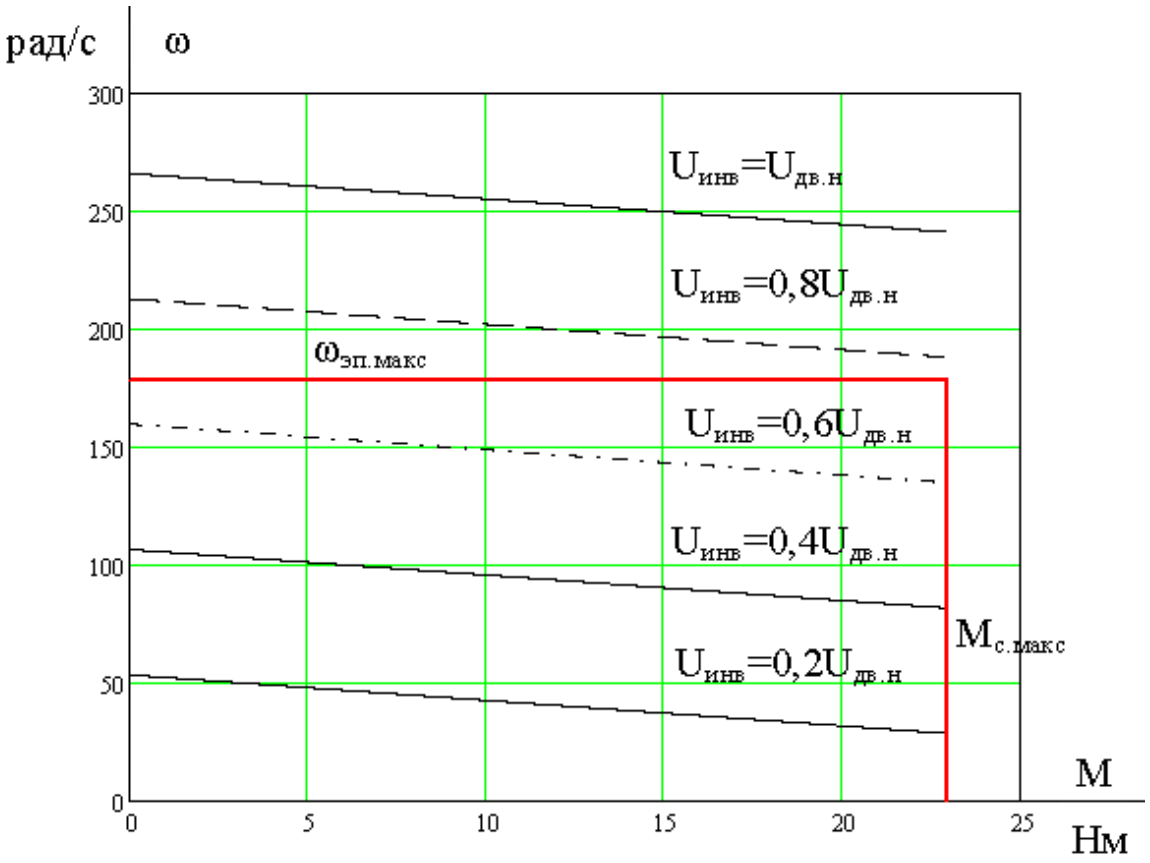

Рисунок 9 – Семейство механических характеристик разомкнутой системы

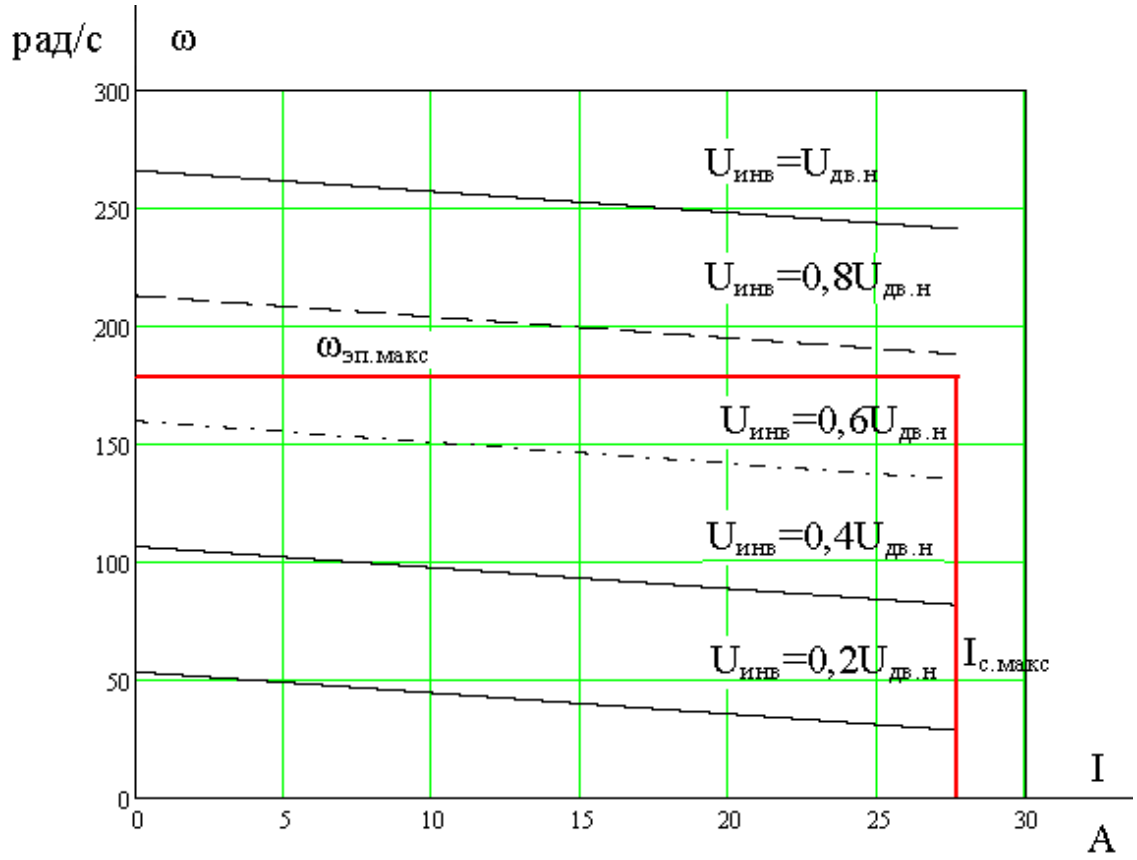

Рисунок 10 – Семейство электромеханических характеристик разомкнутой системы

2.4 Выбор силового преобразователя

В качестве силового преобразователя принимаем тиристорный управляемый выпрямитель типа ЭПУ1М – 2 –3427М со следующими параметрами [2]:

– номинальный ток: $I_{d\text{Н}} = 25$ А;

– номинальное напряжение: $U_{d\text{Н}} = 230$ В;

– номинальное напряжение сети: $U_{\text{СЛ}} = 380$ В;

– максимальный ток: $I_{d\text{МАКС}} = 2 \cdot I_{d\text{Н}} = 2 \cdot 25 = 50$ А.

Структурная схема тиристорного преобразователя представлена на рисунке 11.

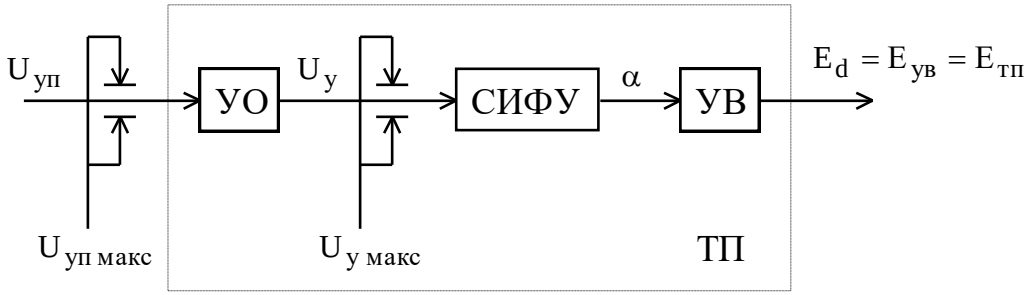

Рисунок 11 – Структурная схема тиристорного преобразователя

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя:

$$k_{\text{ТП}} = \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{упр.макс}}} = \frac{220}{10} = 22.$$

Эквивалентная постоянная времени тиристорного преобразователя:

$$T_{\text{ТП}} = \frac{0,5}{m_{\text{в}} \cdot f_{\text{С}}} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с.}$$

Схема силовой части регулируемого электропривода показана на рисунке 12.

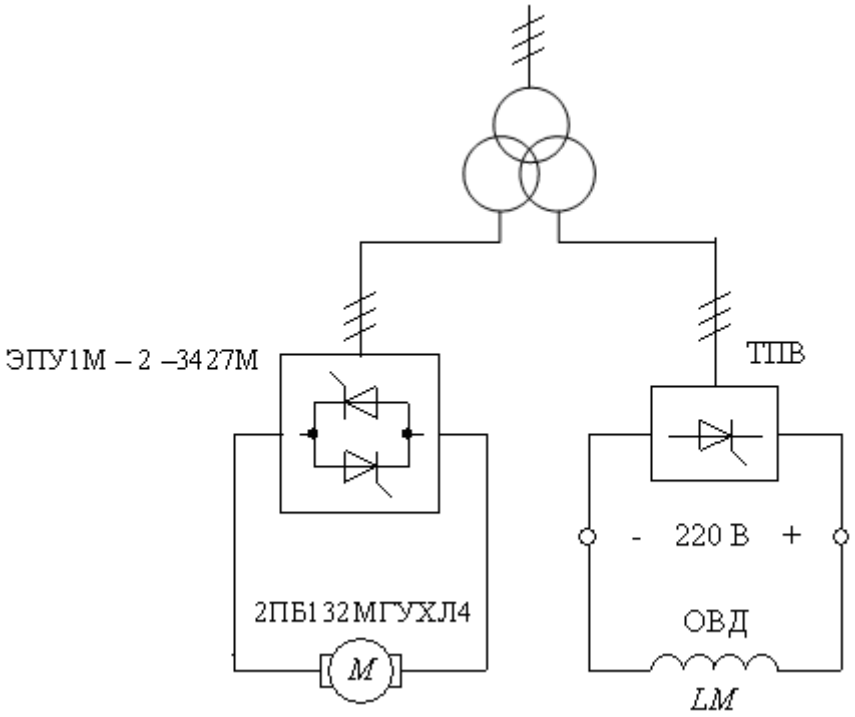

Рисунок 12 Схема силовой части регулируемого электропривода.

2.5 Моделирование силового канала электропривода

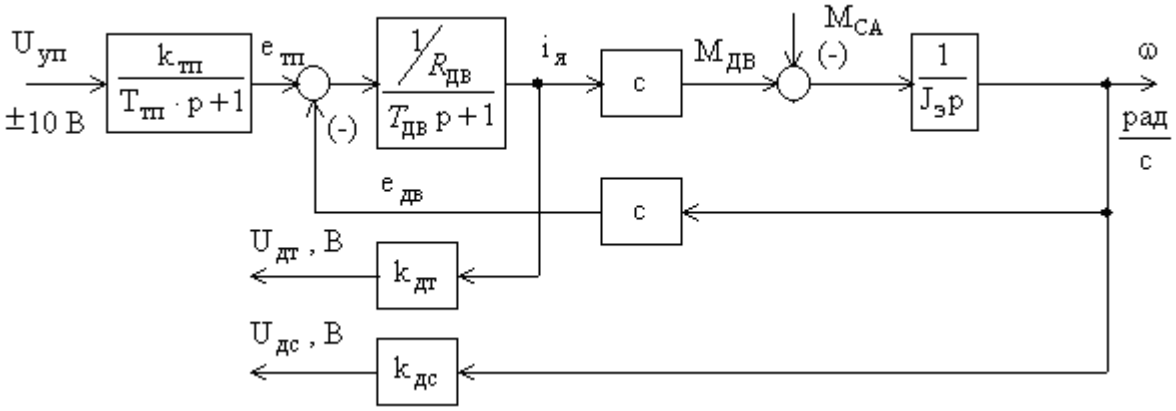

Рисунок 13 – Структурная схема силовой части электропривода

Эквивалентный момент инерции:

$$J_э = J_{дв} + J_м = J_{дв} + 0,5 \cdot J_{дв} = 0,038 + 0,5 \cdot 0,038 = 0,057 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

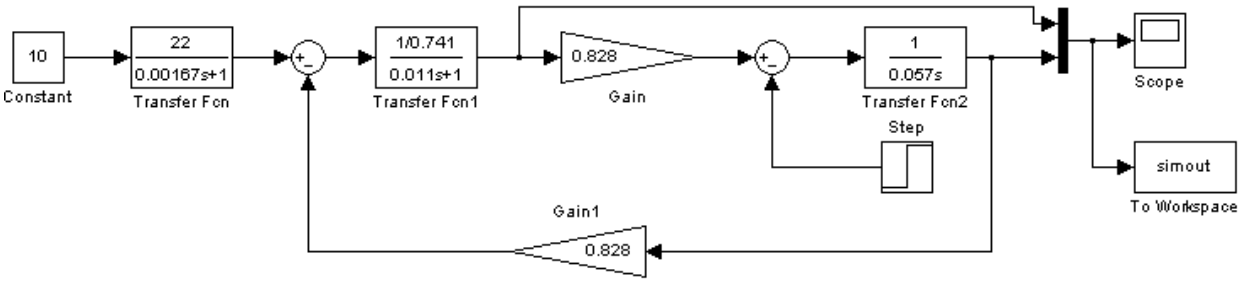

Рисунок 14 – Имитационная модель силовой части электропривода

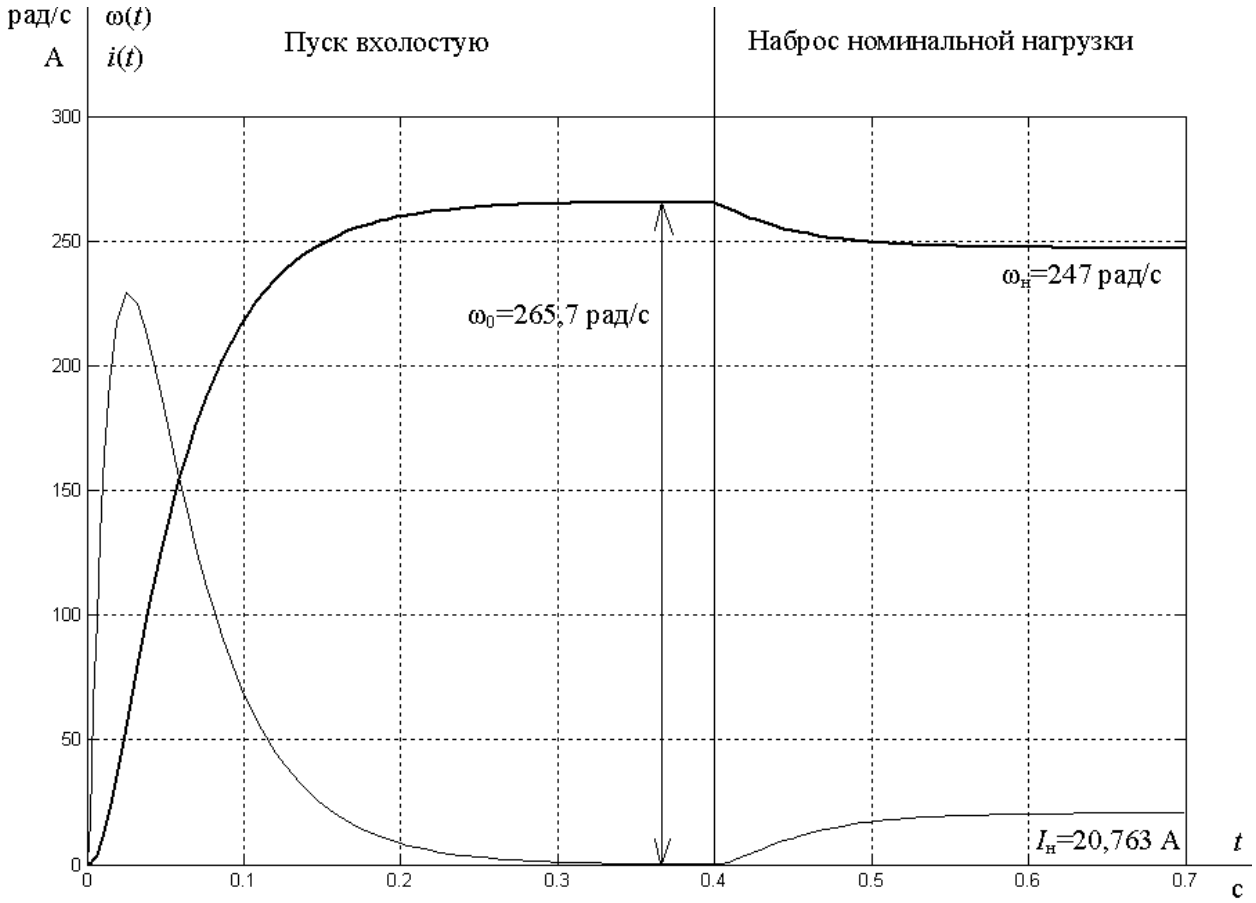

Рисунок 15 – Переходные процессы в силовом канале электропривода

Из графиков рисунка 15 видно, что имитационная модель работает адекватно, так как при пуске двигателя вхолостую скорость достигает установившегося значения скорости идеального холостого хода, а при набросе номинального момента нагрузки ток и скорость тоже принимают номинальные значения.

2.6 Синтез и разбор линеаризованной САУ РЭП

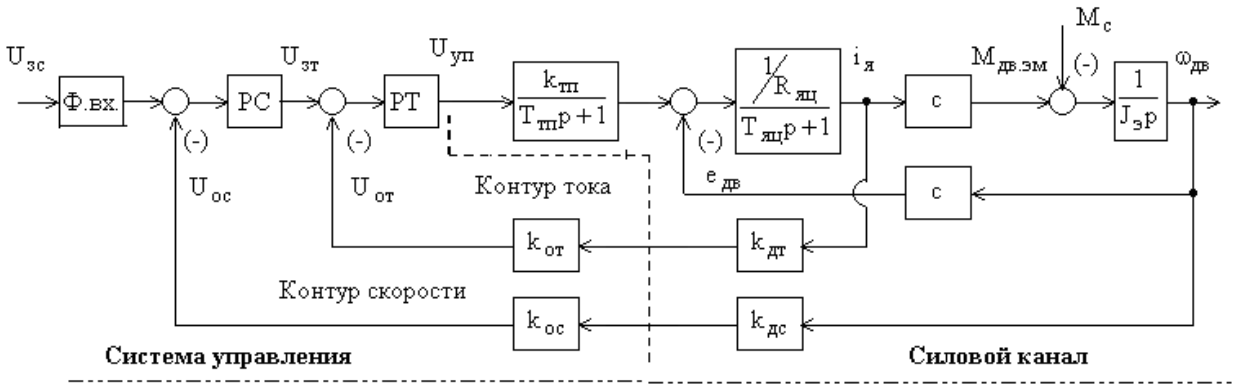

Рисунок 16 – Структурная схема линеаризованной САУ РЭП

2.7 Оптимизация контура тока

Оптимизируем внутренний контур тока на модульный оптимум (МО) при заторможенном двигателе ($\omega = 0$). При этом внутренняя обратная связь по ЭДС не влияет на процессы в контуре тока. Структурная схема контура тока представлена на рисунке 17.

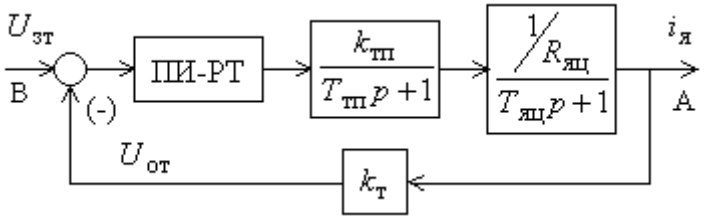

Рисунок 17 – Структурная схема контура тока

За малую постоянную времени контура тока принимаем постоянную времени тиристорного преобразователя:

$$T_{\mu\text{Т}} = T_{\text{тп}} = 0,00167 \text{ с.}$$

Коэффициент обратной связи по току:

$$k_{\text{т}} = \frac{U_{\text{рс.макс}}}{I_{\text{эп. макс}}} = \frac{10}{27,778} = 0,36 \frac{\text{В}}{\text{А}},$$

где $U_{\text{рс макс}} = 10 \text{ В}$ – максимальное значение напряжения регулятора скорости;

$I_{\text{эп. макс}} = \frac{M_{\text{С.МАКС}}}{c} = \frac{23}{0,828} = 27,778$ А – максимально допустимый кратковременный ток электропривода.

Принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\text{рт}}(p) = k_{\text{рт}} \cdot \frac{T_{\text{рт}} \cdot p + 1}{T_{\text{рт}} \cdot p}.$$

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{яц}} \cdot R_{\text{яц}}}{k_{\text{тп}} \cdot k_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{Т}}} = \frac{0,011 \cdot 0,741}{22 \cdot 0,36 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 0,308,$$

где $a_{\text{т}}$=2 – коэффициент оптимизации контура тока.

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{\text{рт}} = T_{\text{яц}} = 0,011 \text{ с}.$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

– установившаяся ошибка: $\Delta I_{\text{уст}} = 0$;

– перерегулирование: $\sigma = 4,3\%$;

– время первого согласования: $t_{\text{ру1}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu\text{т}} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$ с;

– время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия: $t_{\text{ру2}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu\text{т}} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$ с;

– полоса пропускания по модулю и фазе:

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0,71}{T_{\mu\text{т}}} = \frac{0,71}{0,00167} = 425,15 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

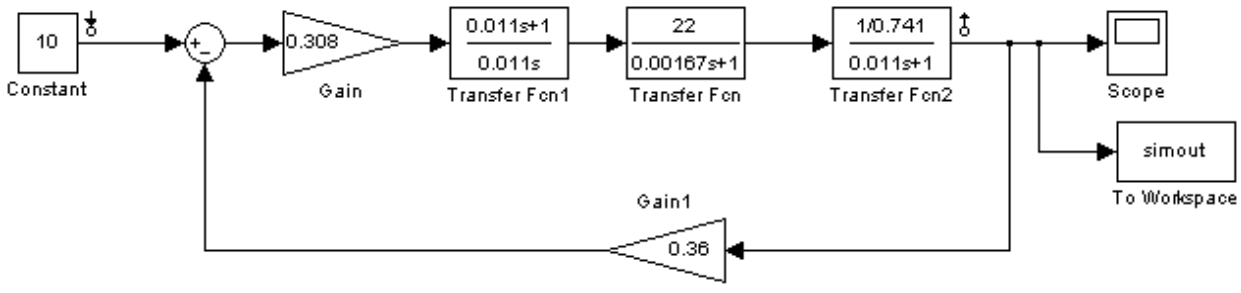

Рисунок 18 – Имитационная модель контура тока

Переходные процессы и частотные характеристики в контуре тока, настроенного на МО, представлены на рисунках 19 – 20.

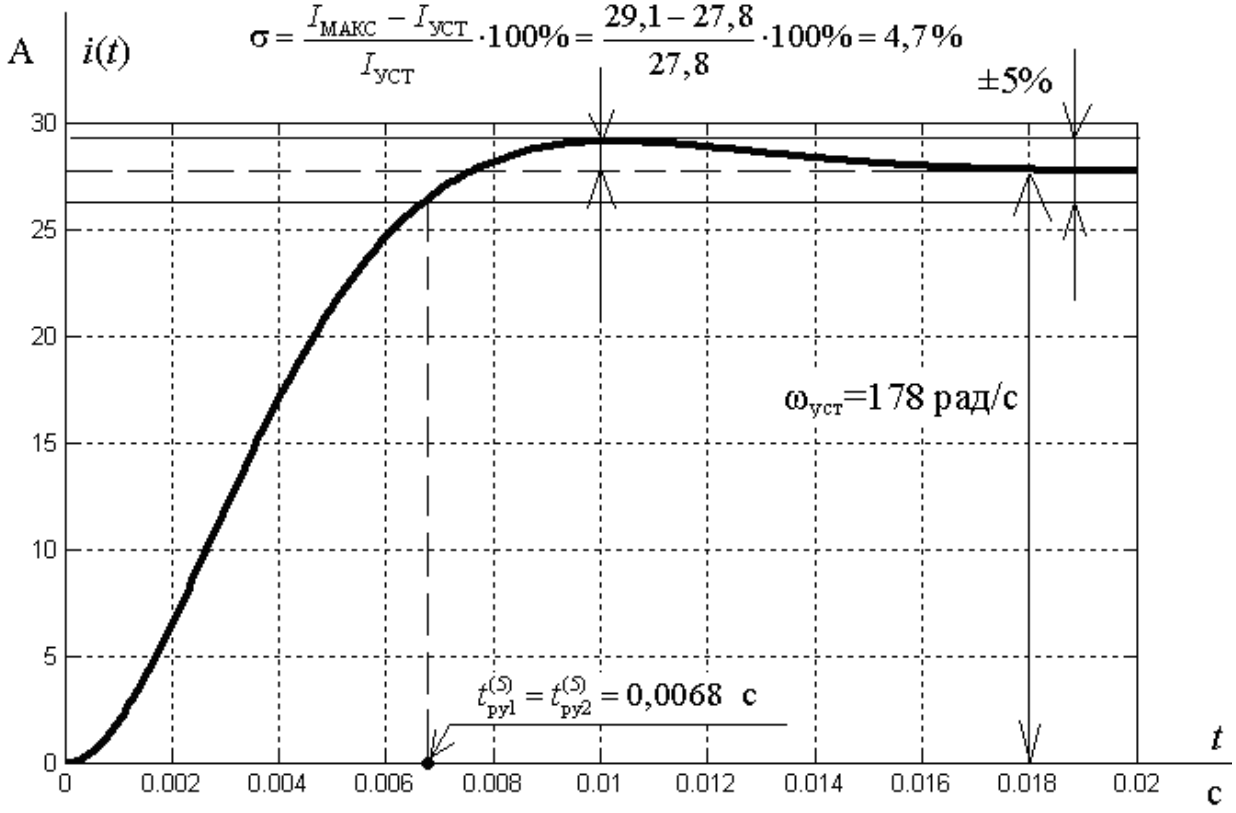

Рисунок 19 – Переходный процесс в контуре тока при $U_{ЗТ}$=10 В

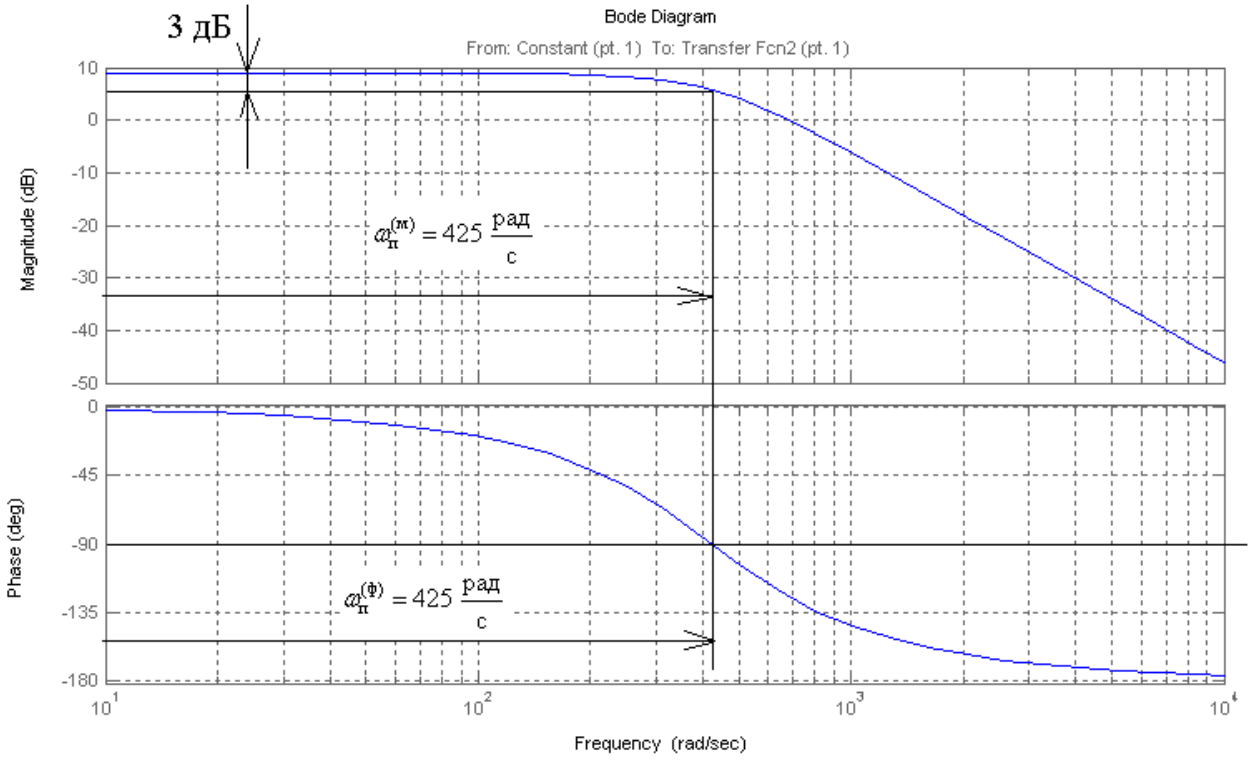

Рисунок 20 – ЛЧХ замкнутого контура тока

Совместим теоретические и экспериментальные показатели качества линеаризованной токовой петли в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели качества переходных процессов для управления линеаризованной токовой петлей, оптимизированные МО

$t_{\text{ру}1}^{(5)}$, с	$t_{\text{ру}2}^{(5)}$, с	σ,%	$\Delta I_{\text{уст}}$, А	$\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$
Ожидаемые показатели					
0,006847	0,006847	4,3	0	425,15	425,15
Результаты моделирования					
0,0068	0,0068	4,8	0	425	425

Сравнивая ожидаемые показатели качества переходного процесса в контуре тока, оптимизированного по МО, с результатами моделирования, можно сказать, что теоретические значения сошлись с полученными с небольшой погрешностью, связанной с графической обработкой результатов.

Контур тока, оптимизированный по МО, обладает астатизмом по управлению, так как установившаяся ошибка при действии ступенчатого управляющего воздействия равна нулю.

2.8 Построение контура скорости на модульный оптимум

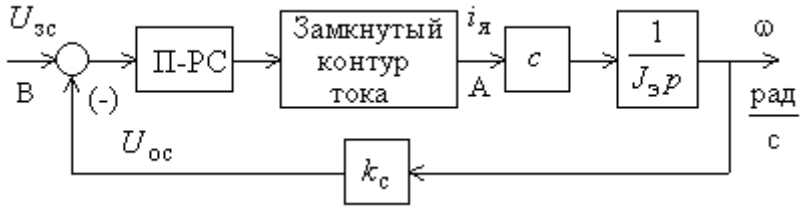

Рисунок 21 – Структурная схема контура скорости при оптимизации его на МО

Малая постоянная времени контура скорости:

$$T_{\mu \text{с}} = a_{\text{т}} \cdot T_{\mu \text{Т}} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 \text{ с}.$$

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_{\text{с}} = \frac{U_{\text{з.макс}}}{\omega_{\text{эп. макс}}} = \frac{10}{177,933} = 0,056 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

При настройке контура скорости на МО принимаем П-регулятор скорости с передаточной функцией:

$$W_{\text{рс}}(p) = k_{\text{рс}} = \frac{J_{\text{Э}} \cdot k_{\text{т}}}{c \cdot k_{\text{с}}} \cdot \frac{1}{a_{\text{с}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu \text{Т}}} = \frac{0,057 \cdot 0,36}{0,828 \cdot 0,056} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 66,249,$$

где $a_{\text{с}}$=2 – коэффициент оптимизации контура скорости.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости, настроенного по МО, при отработке ступенчатого управляющего воздействия:

– установившаяся ошибка: $\Delta\omega_{\text{у уст}} = 0$;

– перерегулирование: $\sigma = 8,1\%$;

– время первого согласования: $t_{\text{рy1}}^{(5)} = 7 \cdot T_{\mu \text{т}} = 7 \cdot 0,00167 = 0,012$ с;

– время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия: $t_{\text{рy2}}^{(5)} = 12 \cdot T_{\mu \text{т}} = 12 \cdot 0,00167 = 0,02$ с;

– полоса пропускания по фазе: $\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{0,35}{T_{\mu \text{т}}} = \frac{0,35}{0,00167} = 209,581 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

– полоса пропускания по модулю: $\omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0,5}{T_{\mu \text{т}}} = \frac{0,5}{0,00167} = 299,401 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

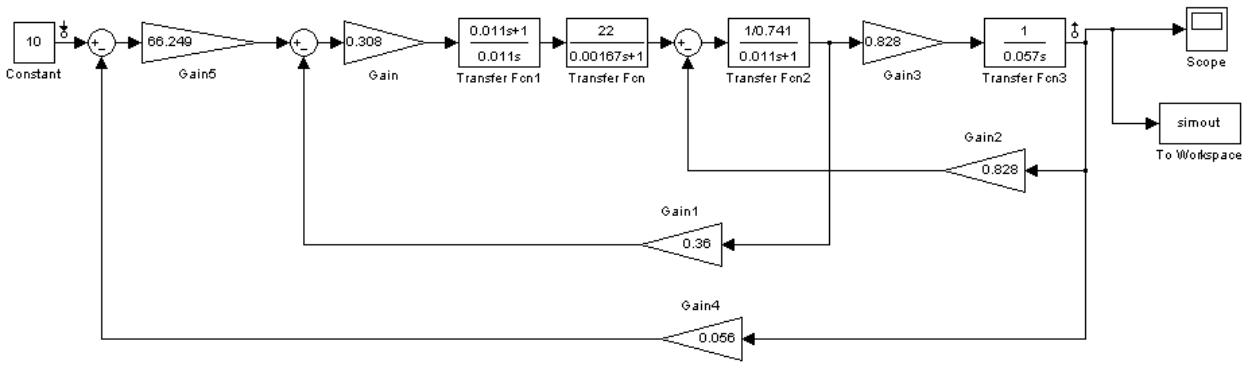

Рисунок 22 – Имитационная модель контура скорости, настроенного на МО

Переходные процессы и частотные характеристики контура скорости, настроенного на МО, представлены на рисунках 23 – 24.

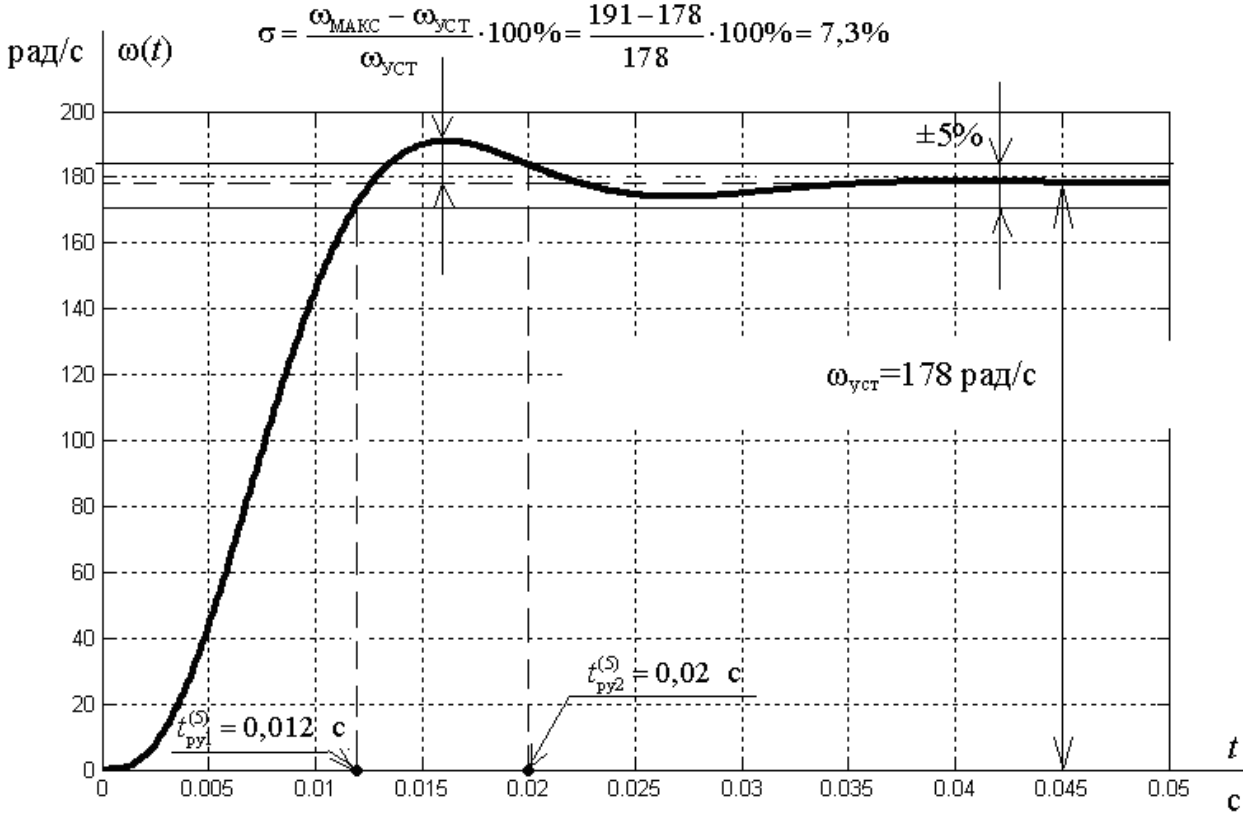

Рисунок 23 – Переходный процесс в контуре скорости, настроенном на МО при $U_{ЗС}$=10 В

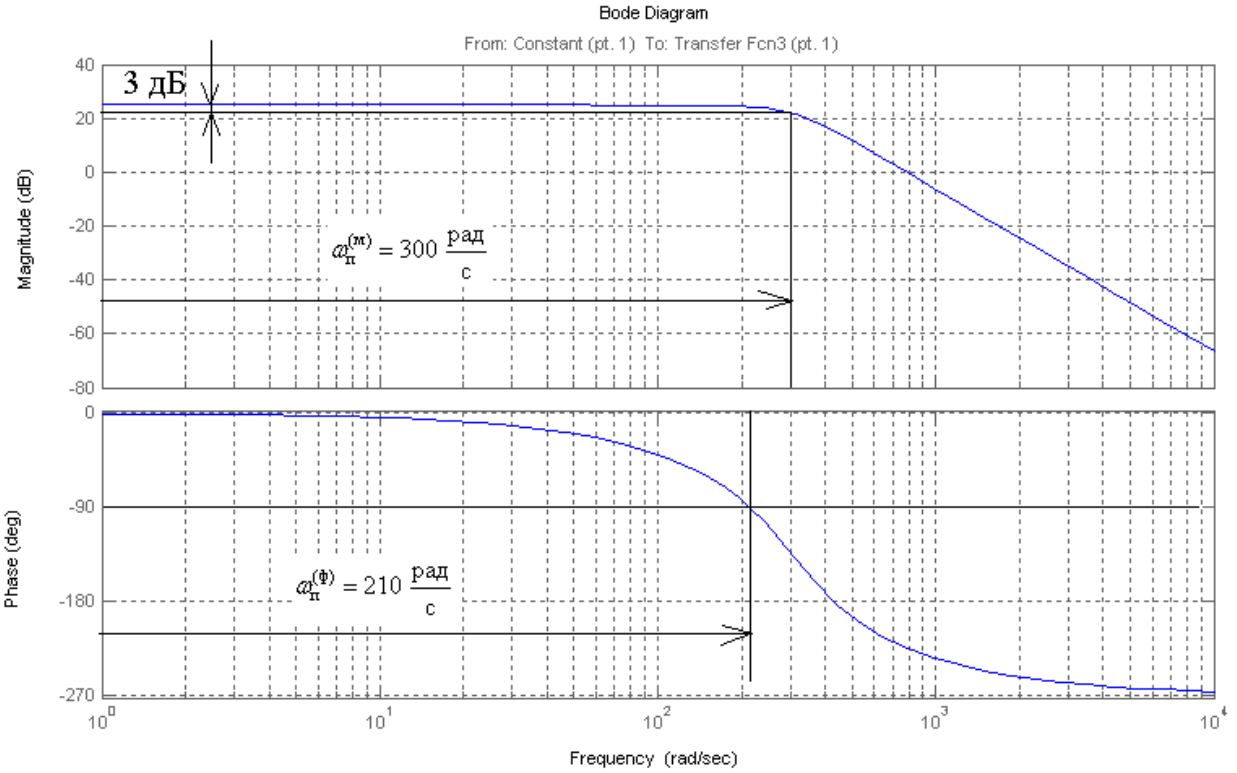

Рисунок 24 – ЛЧХ замкнутого контура скорости при настройке его на МО

Сведем теоретические и экспериментальные показания качества работы линеаризованного контура скорости, настроенного на МО, в таблицу 2.

Таблица 2 – Резульаты качества переходного процесса по управлению линеаризованного контура скорости, оптимизированного по МО

$t_{\text{ру}1}^{(5)}$, с	$t_{\text{ру}2}^{(5)}$, с	σ,%	$\Delta\omega_{\text{уст}}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$
Ожидаемые показатели					
0,012	0,02	8,1	0	209,581	299,401
Результаты моделирования					
0,012	0,02	7,3	0	210	300

Сравнивая полученные показатели качества переходных процессов с желаемыми, можно сказать, что они практически одинаковы. Контур скорости, оптимизированный по МО, является астатическим по управлению, так как при воздействии на контур ступенчатого управляющего сигнала установившаяся ошибка равна нулю.

2.9 Оптимизация контура скорости при симметричном оптимуме с входным фильтром

Структурная схема контура скорости при оптимизации его на СО представлена на рисунке 25.

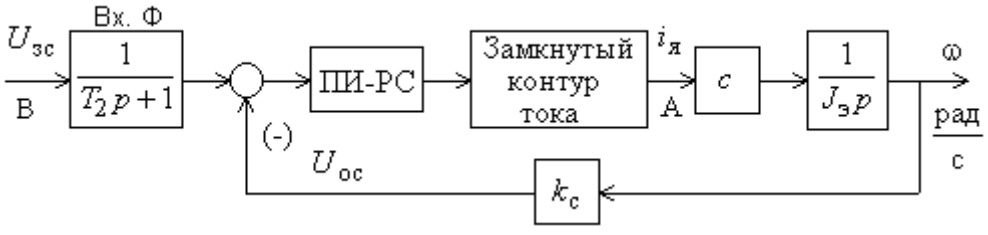

Рисунок 25 – Структурная схема контура скорости при оптимизации его на СО

Малая постоянная времени контура скорости:

$$T_{\mu\text{с}} = a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{Т}} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 \text{ с}.$$

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_{\text{с}} = \frac{U_{\text{з.макс}}}{\omega_{\text{эп. макс}}} = \frac{10}{177,933} = 0,056 \ \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

При настройке контура скорости на СО принимаем ПИ-регулятор скорости с передаточной функцией:

$$W_{\text{рс}}(p) = k_{\text{рс}} \cdot \frac{T_{\text{рс}} \cdot p + 1}{T_{\text{рс}} \cdot p}.$$

Коэффициент усиления ПИ-регулятора скорости:

$$k_{\text{рс}} = \frac{J_{\text{Э}} \cdot k_{\text{т}}}{c \cdot k_{\text{с}}} \cdot \frac{1}{a_{\text{с}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{Т}}} = \frac{0,057 \cdot 0,36}{0,828 \cdot 0,056} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 66,249.$$

Постоянная времени ПИ-регулятора скорости:

$$T_{\text{рс}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{Т}} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 = 0,013 \text{ с}.$$

Передаточная функция фильтра на входе:

$$W_{\text{ф.вх}}(p) = \frac{1}{T_2 \cdot p + 1}.$$

Постоянная времени фильтра:

$$T_2 = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{Т}} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 = 0,013 \text{ с}.$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости, настроенного на СО, при отработке ступенчатого управляющего воздействия:

– установившаяся ошибка: $\Delta\omega_{\text{у уст}} = 0$;

– перерегулирование: $\sigma = 6.2\%$;

– время первого согласования: $t_{\text{ру1}}^{(5)} = 13,6 \cdot T_{\mu\text{т}} = 13,6 \cdot 0,00167 = 0,023$ с;

– время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия: $t_{\text{ру2}}^{(5)} = 20,3 \cdot T_{\mu\text{т}} = 20,3 \cdot 0,00167 = 0,034$ с;

– полоса пропускания по фазе: $\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{0,18}{T_{\mu\text{т}}} = \frac{0,18}{0,00167} = 107,784 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

– полоса пропускания по модулю: $\omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0,284}{T_{\mu\text{т}}} = \frac{0,284}{0,00167} = 170,06 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

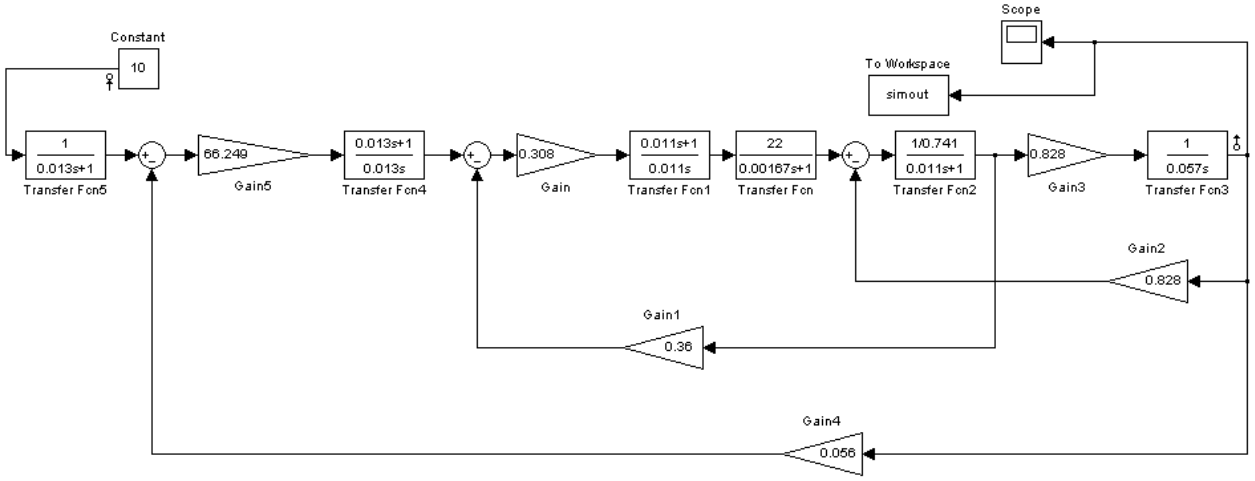

Рисунок 26 – Имитационная модель контура скорости, настроенного на СО, с фильтром на входе

Переходные и частотные характеристики контур скорости, настроенного на СО с входным фильтром, показаны на рисунках 27 – 28.

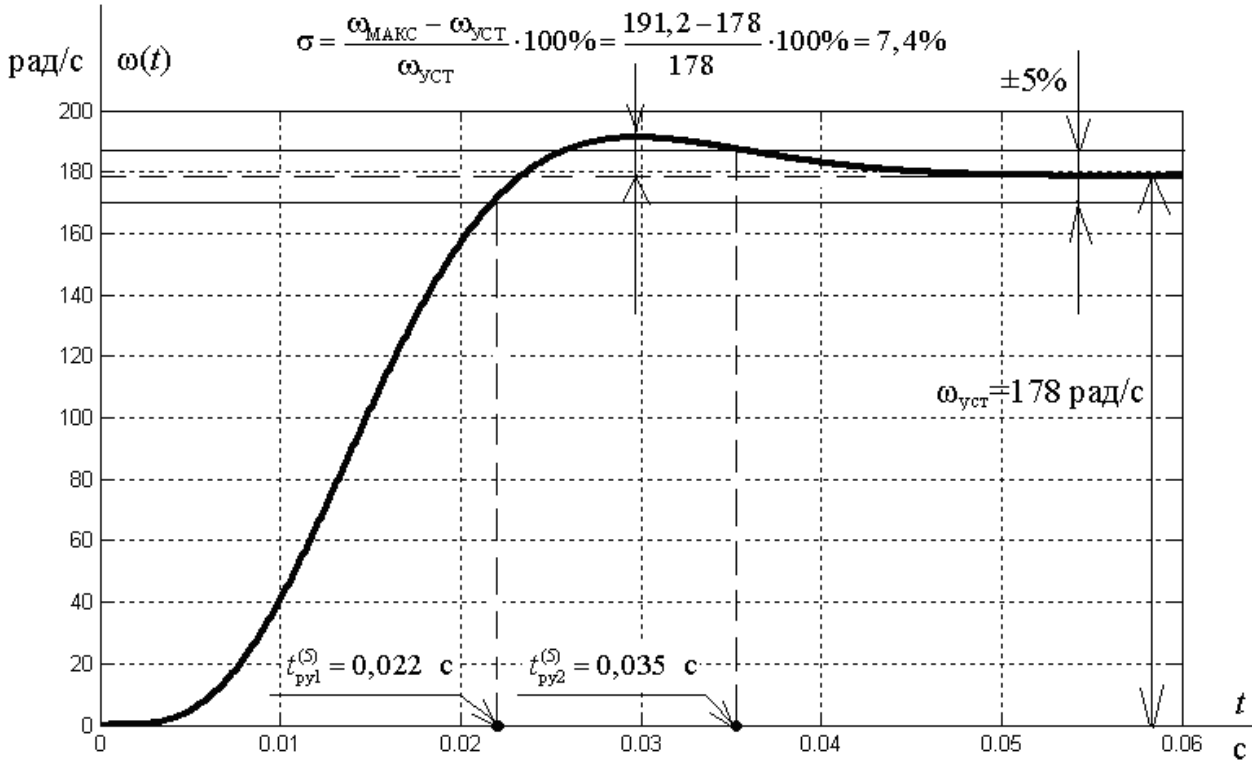

Рисунок 27 – Переходный процесс в контуре скорости, настроенный на СО с входным фильтром при $U_{ЗС}$=10 В

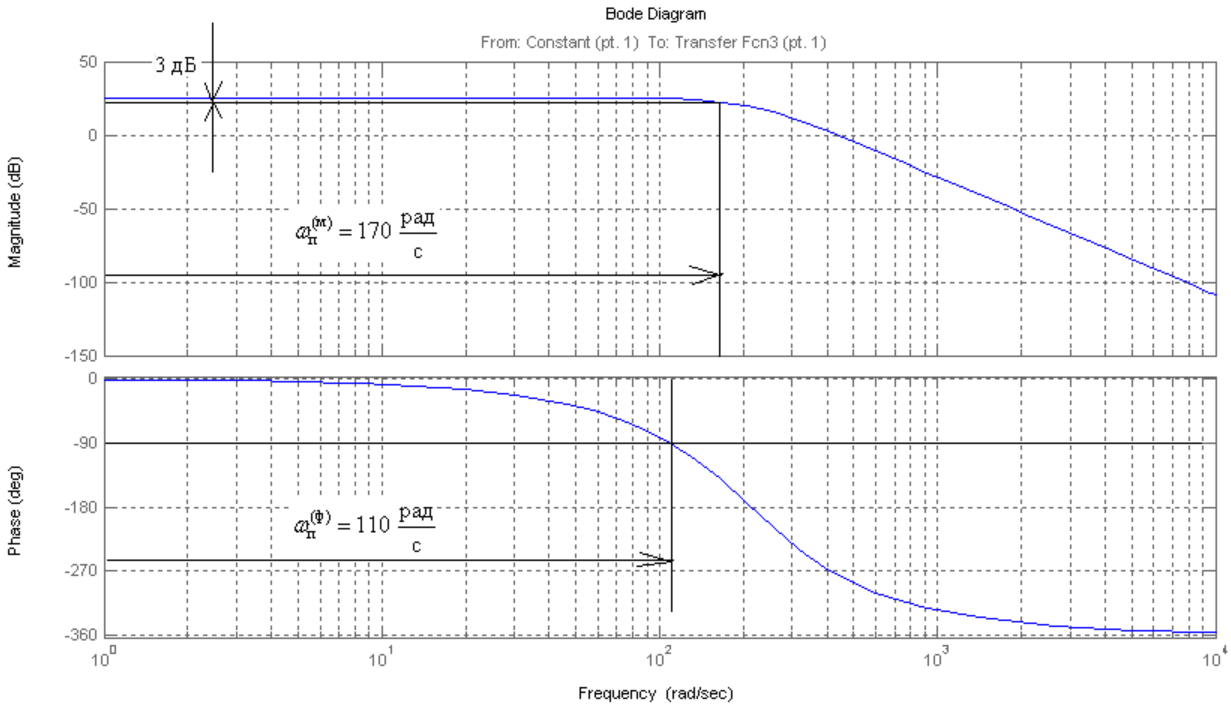

Рисунок 28 – ЛЧХ скорость с обратной связью, настроенная на СО, с входным фильтром

Таблица 3 – Качественные показатели переходного процесса

$t_{ру1}^{(5)}$, с	$t_{ру2}^{(5)}$, с	σ,%	$\Delta\omega_{уст}$, $\frac{рад}{с}$	$\omega_{п}^{(ф)}$, $\frac{рад}{с}$	$\omega_{п}^{(м)}$, $\frac{рад}{с}$
Ожидаемые показатели					
0,023	0,034	6,2	0	107,784	170,06
Результаты моделирования					
0,022	0,035	7,4	0	110	170

После сравнения ожидаемых значений показателей качества переходных процессов в контуре скорости, оптимизированного по СО, с результатами моделирования, можно сказать, что теоретические и полученные значения почти одинаковы с небольшой погрешностью.

Контур скорости, оптимизированный по СО, является астатическим по управлению, так как отрабатывает ступенчатый управляющий сигнал без установившейся ошибки.

2.10 Моделирование контура скорости, настроенного на СО, без фильтра на входе

Ожидаемые показатели качества работы контура без фильтра на входе:

– установившаяся ошибка $\Delta y_{\text{у уст}} = 0;$

– перерегулирование $\sigma = 43,4\%;$

– время первого вхождения в 5% зону

$$t_{\text{ру1}}^{(5)} = 2,9 \cdot T_{\mu\text{с}} = 2,9 \cdot 0,00334 = 0,009686 \text{ с};$$

– время окончательного вхождения в 5% зону

$$t_{\text{ру2}}^{(5)} = 14,7 \cdot T_{\mu\text{с}} = 14,7 \cdot 0,00334 = 0,049 \text{ с};$$

– полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0,85}{T_{\mu\text{с}}} = \frac{0,85}{0,00334} = 254,491 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– полоса пропускания по фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{0,59}{T_{\mu\text{с}}} = \frac{0,59}{0,00334} = 176,647 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

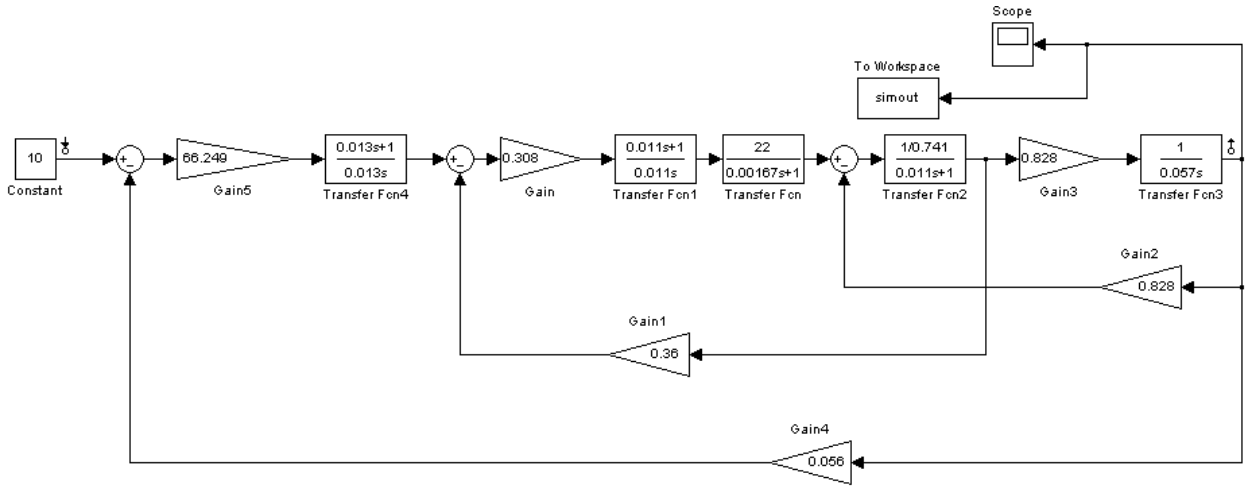

Рисунок 29 – Имитационная модель контура скорости, настроенного на СО, без фильтра на входе

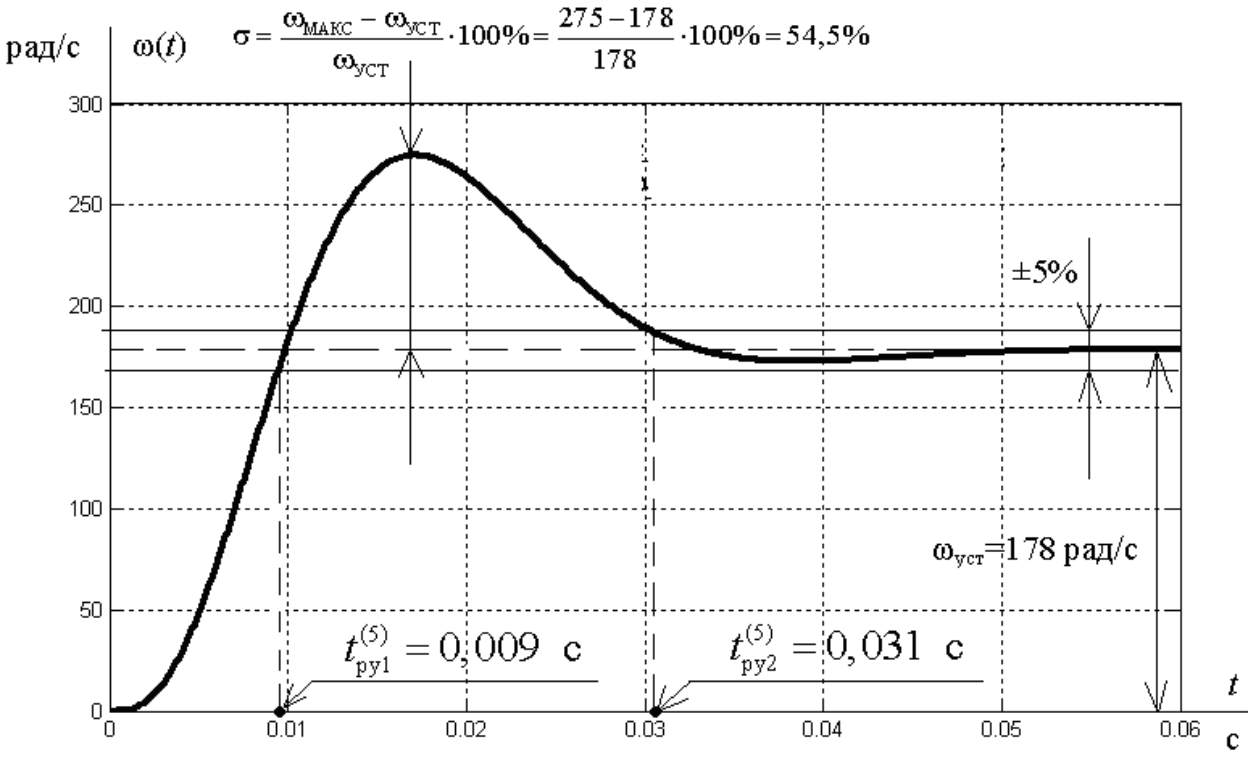

Рисунок 30 – Переходный процесс в контуре скорости, настроенном на СО без фильтра на входе при $U_{ЗС}$=10 В

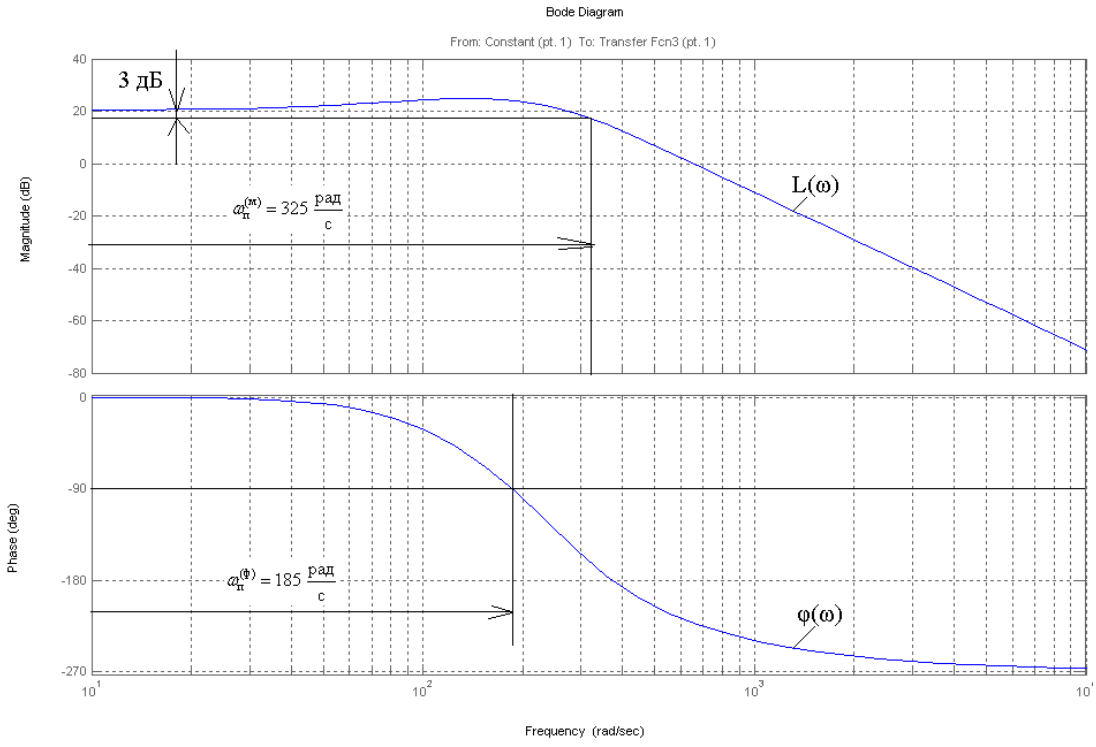

Рисунок 31 – ЛЧХ замкнутого контура скорости, настроенного на СО, без фильтра на входе

Таблица 4 – Показатели качества переходного процесса для контроля линеаризованного контура скорости, оптимизированного для СО, без наличия фильтра на входе

$t_{\text{ру}1}^{(5)}$, с	$t_{\text{ру}2}^{(5)}$, с	$\sigma, \%$	$\Delta\omega_{\text{уст}}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$
Ожидаемые показатели					
0,009686	0,049	43,4	0	176,647	254,491
Результаты моделирования					
0,009	0,031	54,5	0	185	325

При сопоставлении показателей моделирования контура скорости, настроенного на СО, видно, что контур регулирования скорости без апериодического фильтра на входе имеет гораздо большее перерегулирование, меньшее время переходного процесса и, соответственно, большие частоты пропускания по модулю и фазе, чем при установке фильтра на вход контура скорости.

2.11 Исследование нелинейных САУ электропривода. Структурная схема нелинейной САУ РЭП.

Анализ главных нелинейностей

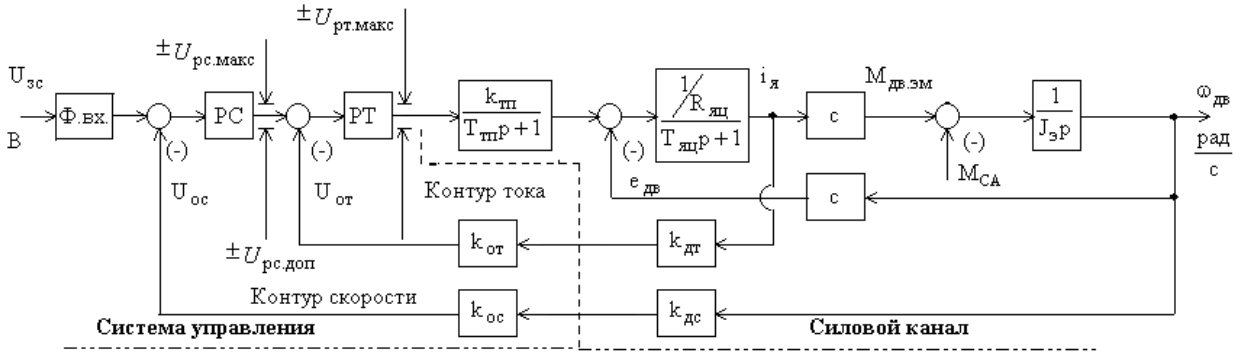

Рисунок 32 – Структурная схема нелинейной САУ РЭП

Основные нелинейности характеристик САУ РЭП:

– насыщение регулятора скорости $U_{\text{рс макс}} \le (10 \div 12)\,\text{В}$, принимаем $U_{\text{рс макс}} = 10\,\text{В}$;

– насыщение регулятора тока $U_{\text{рт макс}} \le (10 \div 12)\,\text{В}$, принимаем $U_{\text{рт макс}} = 10\,\text{В}$;

2.12 Имитационная модель нелинейной САУ РЭП

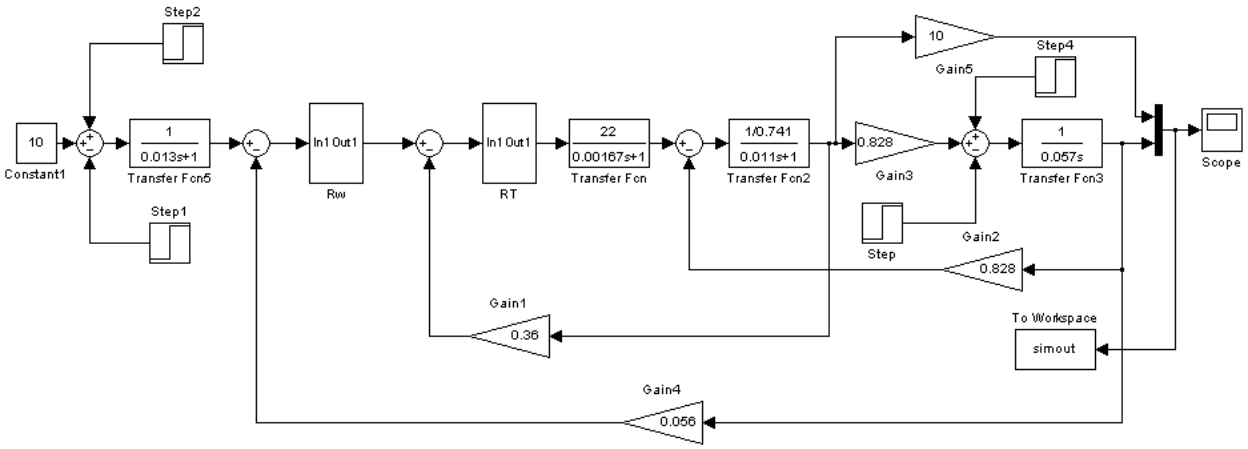

Рисунок 33 – Имитационная модель нелинейной САУ РЭП

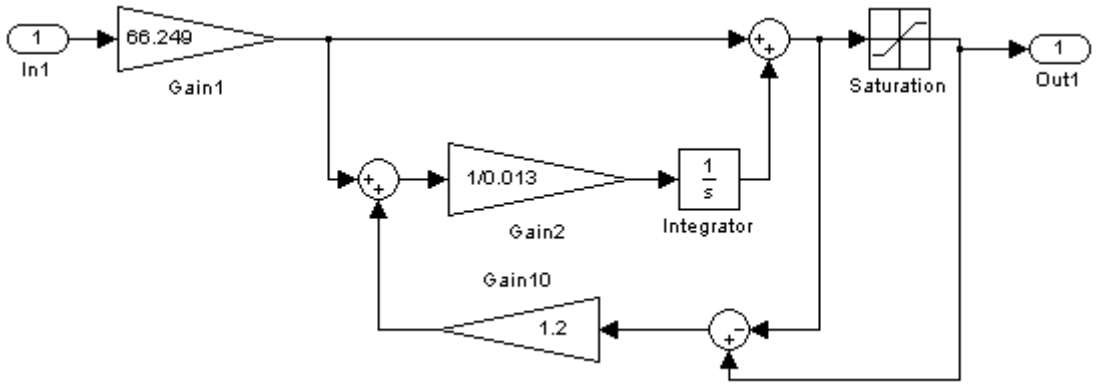

Рисунок 34 – Подсистема нелинейного регулятора скорости

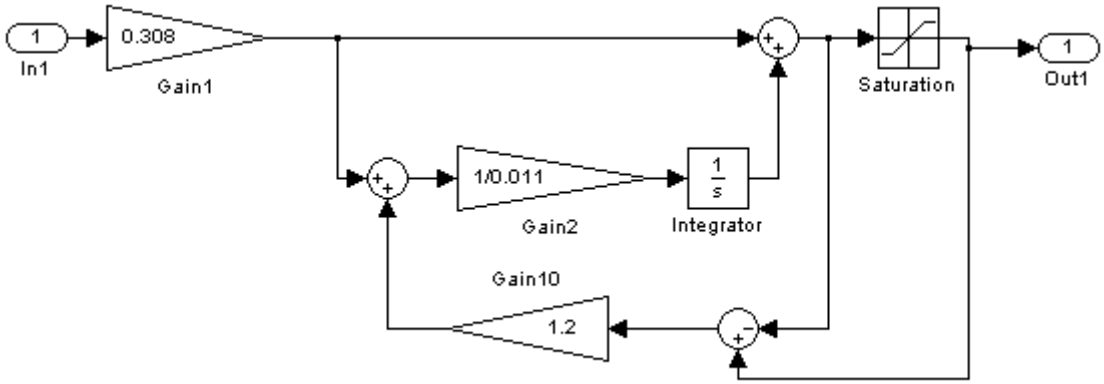

Рисунок 35 – Подсистема нелинейного регулятора скорости

Графики переходных процессов координат электропривода в различных динамических режимах работы электропривода представлены на рисунках 31–33. При различных напряжениях задания от минимальной $\omega_{\text{ЭП.МИН}} = 0,89 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ до максимальной $\omega_{\text{ЭП.МАКС}} = 177,933 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ скорости были произведены пуск вхолостую, наброс требуемой нагрузки $M_{\text{С.ДЛИТ}} = 12 \text{ Н} \cdot \text{м};$, сброс нагрузки и остановка электропривода.

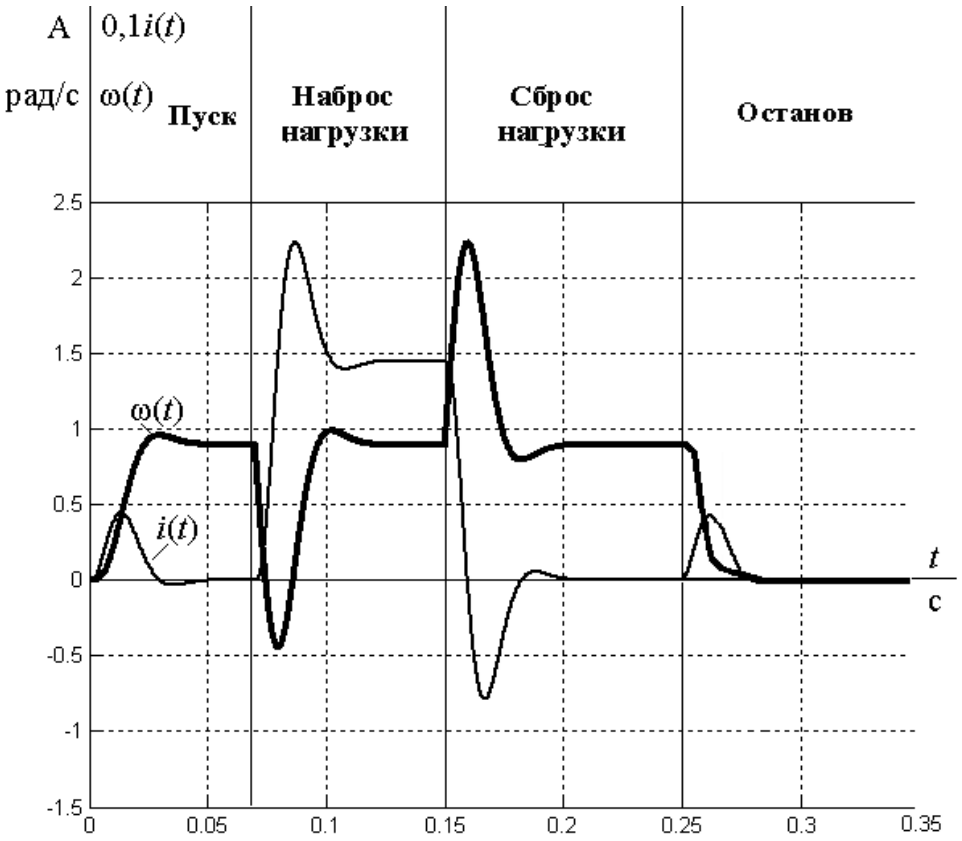

Рисунок 36 – САУ РЭП при $U_{ЗС}$=0,05 В

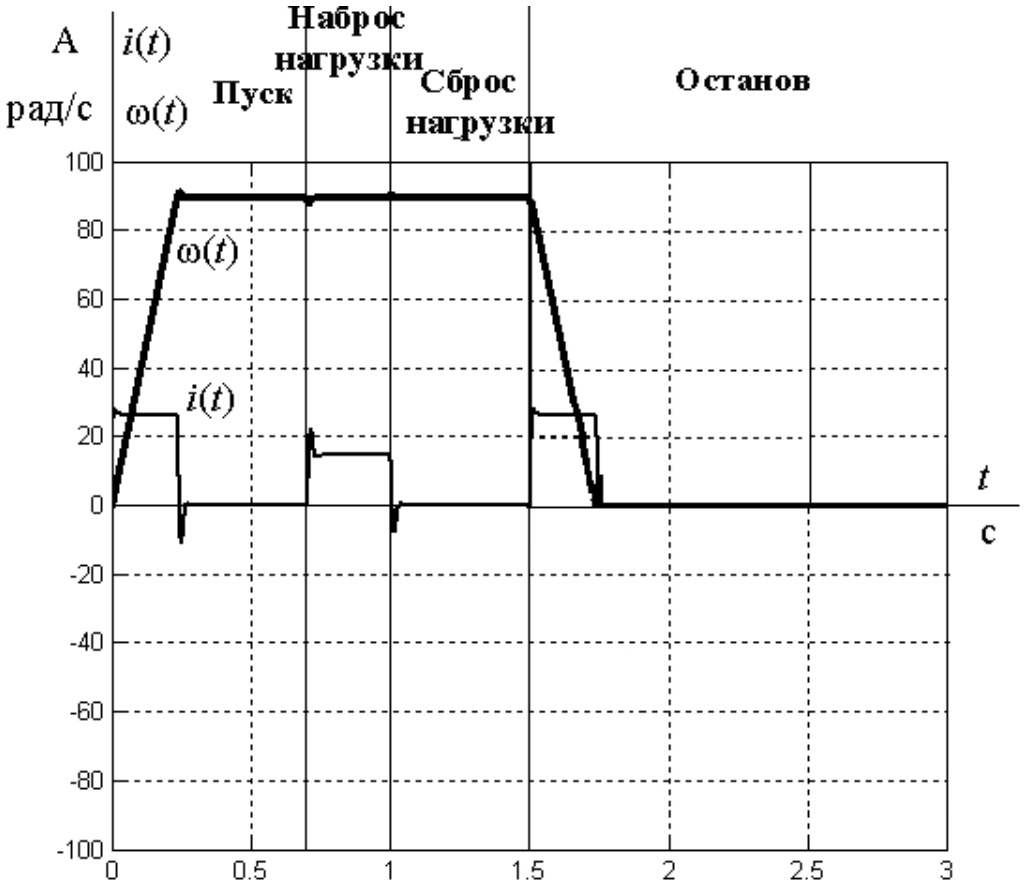

Рисунок 37 – САУ РЭП при $U_{ЗС}$=5 В

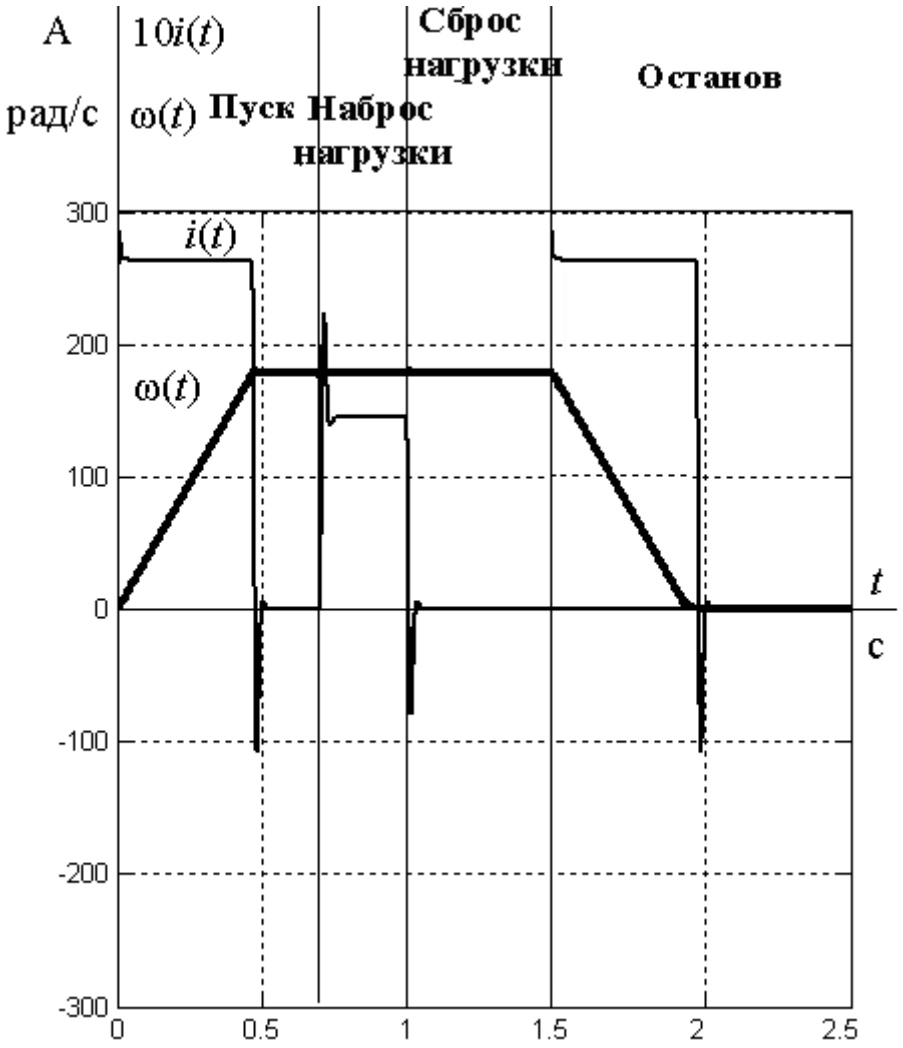

Рисунок 38 – САУ РЭП при $U_{ЗС}$=10 В

Из графиков видно, что при настройке минимальной скорости система ведет себя аналогично линейной, при увеличении входного напряжения длительность переходных процессов увеличивается, ток в переходных режимах ограничивается максимально допустимым уровнем $I_{\text{эп. макс}} = 27,778$ А.

3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов в работе над исследованием электропривода электрогидравлической рулевой рейки.

Данные мероприятия должны учитывать нормы, правила, инструкции, документы, закрепленные в нормативно правовых актах. Разработка системы регулируемого электропривода электрогидравлического усилителя рулевого управления электробуса процесс, требующий от персонала специальных навыков и технической подготовки для работы на специальном дорогостоящем оборудовании. ЭГУР – не простая электромеханическая система, имеющая в своем составе вращающиеся детали, находящиеся под давлением специальной жидкости и токоведущие кабели. Главной задачей улучшения условия труда является обеспечения безопасности труда, снижения уровня производственного травматизма, сохранение здоровья и жизни рабочего персонала. Для обеспечения безопасности труда необходимо строго выполнять требования техники безопасности, использовать средства индивидуальной защиты от вредных и опасных факторов появляющиеся при производственной деятельности.

3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

3.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства)

До работы на проектной установке допускаются только обученные и аттестованные лица не моложе 18 лет, имеющие профильное образование, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования. В соответствии со ст.104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного или технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдено в течение учетного периода продолжительностью 3 месяца отраслевая(межотраслевая) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличением учетного 70 периода для учета рабочего время таких работников, но не более чем 1 года. При этом продолжительность рабочего времени за отчетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

Согласна ст. 117 ТК РФ оператору предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в силу условий труда, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней.

3.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Территория предприятия и размещение на ней сооружений, зданий, производственных объектов должны соответствовать проекту, разработанному с учетом требований СП 18.13330.2011. Двигатели, оборудование и другие производственные объекты должны иметь надежное транспортное сообщение с базами материально – технического сообщения и местами дислокации основных производственных служб предприятия. Рабочие места, объекты, проезды и подходы к ним, проходы и переходы в темное время суток должны быть освещены. Искусственное освещение выполняется в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» и строительных норм и правил,

установленных СП 2.2.1.1312-03, ВНТП 01/87/04-84 и СП 52.13330.201. Открывать дверцы ограждений или снимать ограждения следует после полной остановки оборудования или механизма. Пуск оборудования или механизма разрешается только после установки на место и надежного закрепления всех съемных частей ограждения.

3.2. Производственная безопасность

К производственной безопасности, при исследовании электропривода, относятся организационные мероприятия и технические средства защиты от поражения электрическим током, защита от механических травм движущимися механизмами, подъёмно-транспортными средствами, обеспечение безопасности систем высокого давления, методы и средства обеспечения пожаровзрыво безопасности и т. д.

3.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, проектируемой производственной среды

Опасность для персонала представляет движение механизмов и узлов оборудования. Для предотвращения травматизма необходимо проводить инструктажи по ТБ. Определить маршруты безопасного прохода персонала к рабочим местам, с указанием их, используя соответствующие информационных таблички. Механизмы, выполняющие движущие либо вращающие функции должны быть обеспечены защитными кожухами, если не возможна установка их, выполняется ограждение опасного механизма.

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [1]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Источник фактора,	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	

наименование вида работ			
1) Монтаж, обслуживание и ремонт электроприво да 2) Работа с ЭВМ	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; [2,3, 15]; 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте; [2, 15]; 3. Неудовлетворительн ый микроклимат [2, 15]; 4. Повышенный уровень напряженности электромагнитного поля [2, 17].	1. Поражение электрически м током 2. Движущиеся машины и механизмы	СанПиН 2.2.1/2.1.1.127 8-03 СанПиН 2.2.2.542-96 СанПиН 2.2.2/2.4.1340- 03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548–96 СП 52.13330.2011 ГОСТ 30494- 2011

3.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

Основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является ЭВМ, возможность поражения электрическим током. Использование серверного оборудования может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы": ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке [4].

3.2.3 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, проводящиеся при разработке электродвигателя, сопровождающиеся шумом — это работа множества приводов и механизмов [2]. Для снижения шума необходимо применять различные методы коллективной защиты [3]:

1. Уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;

2. Рациональное размещение оборудования;

3. Борьба с шумом на путях его распространения, в том числе изменения направленности излучения шума;

4. Использование средств звукоизоляции, звукопоглощение и установка глушителей шума, в том числе акустическая обработка поверхностей помещения.

В таблице 6 представлены Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука.

Таблица 6 – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999г)

Рабочее место	Уровень звукового давления , дБА, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука эквивалентные уровни звука, дБА.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятия	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для снижения механического шума необходимо смазывать трущиеся места механизмов, проводить своевременный ремонт оборудования. Согласно [15] при обслуживании и ремонте уровень шума не более 80 дБА и соответствует нормам.

3.2.4 Вибрация

Одним из наиболее важных моментов в работе оборудования является его вибрация, в результате не отблансированых его узлов, элементов или особенности конструкции. В целом вибрация сказывается разрушающим характером. Для борьбы с вибрацией оборудования, к их элементам конструкции применять материалы, поглощающие вибрацию, в частности специальные сплавы, пластмассы, резины, вибродемпфирующие покрытия. Для поглощения общей вибрации оборудования использовать виброгасящие фундаменты [4].

3.2.5 Освещение

В процессе работы на персонал влияет фактор пониженного освещенности рабочего места. Неудовлетворительное освещение может искажать информацию, кроме того вызывать утомление всего организма в целом. Освещение должно обеспечивать работу без напряжения зрения. На площадках используется естественное, совмещенное и искусственное освещение. Для освещения помещений применяется газоразрядные лампы низкого и высокого давления – люминесцентные, натриевые, металлогенные, дуговые ртутные лампы. Освещение делятся на рабочее, аварийное, охранное. Рабочее включает в себя стационарное, местное, ремонтное освещение. Охранное освещение предусматривается по периметру производственной площадки. Ремонтное освещение необходимо запитать от источника пониженного напряжения 12- 42 В. При выполнение точных работ, следует использовать переносные светильники. В таблице представлены нормы освещенности рабочих поверхностей при искусственном освещении основных производственных зданий и площадок в нефтяной промышленности

Таблица 7 - Нормы освещенности рабочих поверхностей при искусственном освещении основных производственных зданий и площадок в нефтяной промышленности. (СНиП II – 4-79)

Наименование объекта	Освещенность (ЛК) при общем освещении лампами накаливания
Рабочая площадка	30
Роторный стол	100
Пульт и щит управления без измерительной аппаратуры (рычаги, рукоятки)	75
Пульт и щит управления с измерительной аппаратурой	150
Маршевые лестницы, переходы	10

Согласно [15] освещение при обслуживании и ремонте соответствует допустимым нормам.

3.2.6 Микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в рабочем кабинете, независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Рабочее место является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) [7]

В кабинете проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно [15] микроклимат при обслуживании и ремонте соответствует допустимым нормам.

3.2.7 Электробезопасность

Электропоражение персонала, работающего с электрооборудованием, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. Эксплуатация электродивагателя характеризуется с наличием напряжения в силовом кабеле.

Для обеспечения безопасности людей металлические части электроустановок, корпуса электрооборудования и приводное оборудование должны быть выполнены в соответствии с п. 1.5.14 настоящих Правил и заземлены, занулены в соответствии с требованиями ПУЭ [7]. Независимо от наличия электроустановок все металлоконструкции скважины должны иметь надежную металлическую связь между собой и заземлены на единый заземлитель (контур заземления скважины) [8].

Для защиты персонала от возможного поражения током необходимо, чтоб работы, связанные с монтажом (демонтаж) и его обслуживание допускается электротехнический персонал, знающих схемы подключения, прошедших обучения, стажировку, а также проверку знаний с присвоением квалификационной группы по электробезопасности [10].

3.2.8 Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола)

Монтаж (демонтаж) УЦЭН и дальнейшее обслуживание связанно с частыми подъемами персонала на различную высоту от поверхности земли(пола). Для исключения падения необходимо места прохода персонала оборудовать перилами, ограждением. Когда нет возможности оградить рабочии места то необходимо применять СИЗ (монтажные пояса, страховочные канаты).

3.2.9. Экологическая безопасность

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы [44]. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.
2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.
3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.
4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.
5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.

Получается специальной официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

3.3. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Работа электропривода связана с работой рулевой части автомобиля. Автомобиль в процессе эксплуатации выбрасывает вредные вещества, газы в окружающую атмосферу. Все это наносит большой вред живой природе, влияет на гидрологию, климат, условию жизни местного населения. Химические вещества, пыль, бытовые отходы заражают воздух, воду, почву воздействуют биопродуктивность водоемов и окружающей животный мир. Воздействие шума,

вибрации, динамическое воздействие на почву так же негативно сказывается на окружающию природу.

3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

3.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Разрушение в следствии воздействия техногенного характера;
2. Пожар на территории объекта;
3. Вмешательство сторонних лиц (теракт);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления.

Для исключения вероятности данного ЧС необходимо: на территории не хранить вещества химического и радиоактивного характера.

2. Пожар на территории объекта.

3. Вмешательство сторонних лиц (теракт)

Для снижения риска вероятности ЧС необходимо: проработать с персоналом методику снижения риска ЧС, действия при ЧС. На объекте необходимо учесть при проектировании средства доведения сигналов оповещения при ГО и ЧС до персонала. На объекте должно быть наличие дополнительного источника электропитания, запасов питьевой воды, запасных частей для оборудования.

3.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Опасным фактором для человека является открытый огонь, продукты горения токсичных продуктов, повреждение и обрушение здании, взрыв.

Для предотвращения пожара необходимо выполнять ряд профилактических мероприятий:

1. Предотвращать образование горючей среды.

2.Предотвращать образование в горючей среде источников зажигания.

3. Уменьшение объема горючей среды.

4. Контроль за исправностью электрооборудования.

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Кабинет должен быть оснащен первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники).

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ

На сегодняшний день перспективность технических разработок зависит от коммерческих показателей. Поэтому необходимо проводить оценку коммерческого потенциала.

Цель этого раздела заключается в определении экономических показателей проекта с точки зрения менеджмента и ресурсоэффективности.

Для выполнения данной цели нужно решить следующие задачи:

- проанализировать различные конкурентные технические решения;
- провести планирование технического проекта;
- рассчитать затраты на проектирование;

4.1. Анализ конкурентных технических решений

Со стороны ресурсосбережения и ресурсоэффективности анализ конкурентных технических решений дает возможность оценить сравнительную эффективность технического проекта и так же выявить направления для дальнейшего повышения.

Благодаря оценочной карте возможно провести данный анализ. В данном случае воспользуемся двумя вариантами конкурентных разработок. Так как в рамках производства возможны только эти варианты.

1 вариант: синхронный электропривод;

2 вариант: электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

Технические и экономические критерии, по которым сравнивались указанные варианты.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$Б_1$	$Б_2$	$К_1$	$К_2$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Производительность	0,2	4	4	0,8	0,8
2. Удобство в эксплуатации	0,1	2	4	0,2	0,4
3. Помехоустойчивость	0,05	5	5	0,25	0,25
4. Энергоэкономичность	0,1	4	3	0,4	0,3
5. Надежность	0,05	5	5	0,25	0,25
6. Уровень шума	0,05	3	4	0,15	0,2
7. Безопасность эксплуатации	0,05	3	3	0,15	0,15
8. Потери мощности	0,1	4	3	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,15	2	4	0,3	0,6
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	3	0,3	0,3
3. Затраты на обслуживание	0,05	3	3	0,15	0,15
Итого	**1**	**38**	**41**	**3,35**	**3,7**

Анализ конкурентных технических решений может быть найден по этой формуле:

$$К = \sum В_i \cdot Б_i,$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$В_i$ – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – балл i-го показателя.

Пример расчета:

$$К = \sum В_i \cdot Б_i = 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 = 0,45$$

Анализируя проделанные расчеты можно сделать вывод, что наиболее конкурентным в данном случае является вариант №2 (асинхронный электропривод с короткозамкнутым ротором).

Исходя из анализа видно, что слабыми сторонами относительно конкурентных разработок являются: энергоэкономичность и потери мощности. Сильными же сторонами являются: низкая цена, что почти вдвое ниже, уровень шума и так же удобство эксплуатации.

4.2 Планирование проведения работ технического проекта

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данной главе рассматривается группа процессов планирования, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения целей.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определим структуру и этапы работы в рамках проведения научного исследования;
- определим участников работы и распределим по видам работ;
- установим сроки выполнения работы;
- построим график Ганта.

Таблица 9 – Перечень работ и исполнителей

Основные этапы	***№ работы***	***Содержание работы***	***Должность исполнителя***
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания на ВКР	Руководитель
	2	Изучение задания и поиск литературы по теме	Инженер

Выбор способа расчета и его планирование	3	Составление календарного плана работ	Инженер
Расчет	4	Расчет параметров АД	Инженер
	5	Согласование результатов с руководителем	Руководитель
	6	Моделирование АД в среде MATLAB	Инженер
	7	Получение графиков переходных процессов	Инженер
	8	Анализ графиков переходных процессов	Инженер
Проверка расчетов руководителем	9	Проверка на правильность выполненных расчетов	Руководитель
	10	Исправление выявленных ошибок	Инженер
Обобщение и оценка полученных результатов	11	Анализ результатов, выводы	Инженер
Оформление отчета	12	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.3Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты обычно занимают большую часть стоимости разработки, поэтому нужно обязательно проводить определение трудоемкости работ каждого участника исследования.

Трудоемкость исследования определяется экспертным путем и зависит от множества факторов. Оценивается в человеко-днях и так же имеет вероятностный характер.

Определение ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожi}$ определяется по формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 * 1 + 2 * 2}{5} = 1.4$$

,

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения *i*-ой работы человеко-днях;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной *i*-ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной *i*-ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

По трудоемкости определяется продолжительность работ в рабочих днях. Так же допускается выполнение работы сразу несколькими исполнителями параллельно.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} = \frac{1.4}{1} = 1.4,$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-днях

$Ч_i$ – число исполнителей, которые выполняют параллельно одну и ту же работу на одном этапе, чел.

Рассчитанные показатели продолжительности работ приведены в таблице 3.

4.2.3Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, в котором работа представляется временными отрезками. Отрезки характеризуются сроками выполнения работы.

Для построения графика следует перевести длительность этапов проведения работ из рабочих дней в календарные. Для этого воспользуемся формулой:

$$T_{кi} = T_{рi} \cdot k_{кал} = 1,4 \cdot 1,48 = 2,1$$

где $T_{кi}$– продолжительность выполнения *i*-й работы в календарных днях;

$T_{рi}$ – продолжительность выполнения *i*-й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ $k_{кал}$– коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{I_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

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

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

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

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	***Исполнитель***	***Продолжительность работ***				
		t_{min}, ***чел-дн.***	t_{max}, ***чел-дн.***	$t_{ож}$, ***чел-дн.***	$T_р$, ***раб. дн***	$T_к$, ***кал. дн***
1	Руководитель	1	2	1,4	1,4	2
2	Инженер	5	7	5,8	2,9	5
3	Инженер	1	2	1,4	1,4	2

4	Инженер	7	14	9,8	9,8	15
5	Руководитель	1	2	1,4	1,4	2
6	Инженер	5	7	5,8	5,8	9
7	Инженер	5	7	5,8	5,8	9
8	Инженер	3	5	3,8	3,8	6
9	Руководитель	5	8	6,2	3,1	5
10	Инженер	7	14	9,8	9,8	15
11	Инженер	5	7	5,8	5,8	9
12	Инженер	14	16	14,8	14,8	22
Итого						101

Таблица 11 – Календарный план проведения НТИ

Этапы	***Вид работы***	***Исполнители***	t_k	***Февраль***	***Март***	***Апрель***	***Май***
1	Составление и утверждение задания на ВКР	Руководитель	2				
2	Изучение задания и поиск литературы по теме	Инженер	5				
3	Составление календарного плана работ	Инженер	2				
4	Расчет параметров АД	Инженер	15				
5	Согласование результатов с руководителем	Руководитель	2				
6	Моделирование АД в	Инженер	9				

	среде MATLAB																		
7	Получение графиков переходных процессов	Инженер	9																
8	Анализ графиков переходных процессов	Инженер	6																
9	Проверка на правильность выполненных расчетов	Руководитель	5																
10	Исправление выявленных ошибок	Инженер	15																
11	Анализ результатов, выводы	Инженер	9																
12	Составление пояснительной записки	Инженер	22																

- научный руководитель,

- студент

Итого количество затраченных рабочих дней на выполнение технического проекта для руководителя составляет 6 дней, а для инженера 60

4.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить реальное отражение всех расходов, которые связанны с выполнением проекта. При формировании бюджета НТИ используют следующие затраты:

- материальные затраты НТИ;
- амортизация
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.2.5 Расчет материальных затрат

Материальные затраты – это средства, которые прямо относятся на данный проект и полностью потребляются в его процессе.

Расчет материальных затрат приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед.руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
Бумага	лист	100	1	100
Картридж	шт	1	500	500
Ручка	шт	4	50	200

Карандаш	шт	2	10	20
Линейка	шт	2	2	4
Тетрадь	шт	1	40	40
Папка-скоросшиватель	шт	1	15	15
Итого:				879

4.2.6. Амортизация

Так же рассчитаем амортизацию компьютера по линейному методу. Предположим, что стоимость компьютера составляет 45000 рублей. Тогда воспользуемся следующими формулами:

$$H_A = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{3} * 100\% = 33.3$$

$$A = \frac{\text{стоимость} * H_A}{100\%} * \frac{I_{\text{дн}}}{365} = \frac{45000 * 33{,}3}{100\%} * \frac{101}{365} = 4146{,}5$$

4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата работника – это оплата сотрудникам, которые заняты над выполнением НТИ (так же премии и доплаты) и плюс дополнительная заработная плата:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}},$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) научного руководителя определяется по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} * T_р$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

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

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$$З_{дн} = \frac{З_м}{К}$$

где $З_м$ – месячная заработная плата работника, руб.;

К – количество рабочих дней в месяце:

Месячная заработная плата работника:

$$З_м = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_д) \cdot k_р,$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{тс}$);

$k_д$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{тс}$);

$k_р$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Рассчитаем месячную заработную плату работника ТПУ(на основании информации с сайта ТПУ):

$З_м = 31000 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 64480$ руб для руководителя.

Заработную плату студента будем рассчитывать, как для ассистента

$$З_м = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 35360 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата:

$З_{дн} = \frac{З_м}{К} = \frac{64480}{21} = 3070$ руб. (для руководителя)

$З_{дн} = \frac{З_м}{К} = \frac{35360}{21} = 1683$ руб. (для инженера)

Где *К* – количество рабочих дней в месяце

Рассчитаем основную заработную плату участников проекта:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Тр = 3070 \cdot 6 = 18420$$ руб. (для руководителя)

$З_{осн} = З_{дн} * Т_Р = 1683 * 60 = 100980$ руб. (для инженера)

4.3.1. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты на дополнительную зарплату исполнителей учитывают количество рассмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за всевозможные отклонения от нормальных условий труда , так же выплат, которые связаны с обеспечением различных гарантий и возможным компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы принимается равным 0,15.

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 18420 \cdot 0,15 = 2763$$ руб. (для руководителя)

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 100980 \cdot 0,15 = 15147$$ руб. (для инженера)

Основная заработная плата участников за выполнение технического проекта составляет 18420 рублей для руководителя и 100980 рублей для инженера. Зарплата напрямую зависит от количества затраченных рабочих дней, поэтому и выявилась такая разница в размере заработной платы. Дополнительная заработная плата составляет 2763 рубля для руководителя и, соответственно 15147 рублей для инженера. Среднедневная заработная плата составляет для руководителя 3070 и для инженера 1683 рубля. Среднедневная зарплата зависит

от оклада работника. Оклад руководителя выше и среднедневная зарплата так же больше.

4.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Обязательные отчисления устанавливаются законодательством РФ нормами органа государственного социального страхования, мед. страхования, пенсионного фонда от зарплат выплачиваемых работникам

Отчисления во внебюджетные фонды можно определить по следующей формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп})$$

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

Для образовательной и научной деятельности вводится пониженная ставка – 28 %

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	18420	2763
Студент	100980	15147
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,28	
Итого		
41193 руб.		

4.3.3.Накладные расходы

В накладные расходы входят прочие затраты, которые не попали в предыдущие расчеты: оплата за услуги связи, ксерокопирование и печать и т.д.

Их величину можно определить по формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$З_{накл} = (18420 + 2763 + 100980 + 15147 + 879 + 4146 + 41193) * 0{,}16 = 29364$ руб.

4.3.4. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 14.

Таблица 14 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	**Сумма, руб.**	**Доля в %**
Материальные затраты	879	0,41
Амортизация	4146	1,9
Затраты по основной заработной плате исполнительной темы	119400	56,1
Затраты по дополнительной заработной плате исполнительной темы	17910	8,4
Отчисления во внебюджетные фонды	41193	19,3
Накладные расходы	29364	13,8
Бюджет затрат	212892	100

4.4. Расчет капитальных вложений на реализацию проекта

Капитальные вложения включают:

- Затраты на предпроектные работы;
- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты;
- Затраты на пополнение оборотных средств.

Расчет капитальных вложений представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Бюджет капитальных вложений

	Общая Стоимость, руб.
I. Оборудование:	1896755
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I.Комплектный привод (6%)	113805,3
III. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)	40211,2
IV. Плановые накопления монтажной организации (6%) от II	6828,318
V. Сметная стоимость проектно конструкторских работ	109536
Всего затрат	2167135,818

4.4.1. Оценка сравнительной 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:

$$I_{\text{ф}}^{\text{р}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где $I_{\text{ф}}^{\text{р}}$ – интегральный финансовый показатель разработки,

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

Φ_{max}– максимальная стоимость исполнения проекта;

$Фр_i$ – стоимость i-го варианта исполнения включая ПНР ;

$\Phi_{p1} = \Phi_{max}$=23421 +113805 = 137226руб

Фр2=18475 +113805= 132280руб

Фр3= 20487 +113805= 134292 руб

Фmax– максимальная стоимость всего проекта

$$I_{\text{ф}}^{\text{р}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{137226}{137226} = 1$$

$$I_{\text{ф}}^{\text{р}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{max}} = \frac{132280}{137226} = 0{,}96$$

$$I_{\text{ф}}^{\text{р}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{max}} = \frac{134292}{137226} = 0{,}98$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется следующим образом:

ai$I_{pi} = \Sigma a_i \cdot b_i$

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

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы

где Исп.1 - электропривод постоянного тока с глубоким регулированием;

Исп.2 - электропривод переменного тока с частотным регулированием;

Исп.3 - электропривод постоянного тока с неглубоким регулированием и механическим редуктором

Таблица 16 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1.Способствует росту производительности труда пользователя	0,20	4	5	3
2.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,20	4	5	3
3.Помехоустойчивость	0,15	5	5	4
4.Энергосбережение	0,15	5	5	5
5.Надежность	0,20	3	4	3
6.Материалоемкость	0,10	3	4	3
ИТОГО	1	4	4,7	3,45

$$I_{p-\text{исп}1} = 4 \cdot 0{,}2 + 4 \cdot 0{,}2 + 5 \cdot 0{,}15 + 5 \cdot 0{,}15 + 3 \cdot 0{,}2 + 3 \cdot 0{,}1 = 4;$$

$$I_{p-\text{исп}2} = 5 \cdot 0{,}2 + 5 \cdot 0{,}2 + 5 \cdot 0{,}15 + 5 \cdot 0{,}15 + 4 \cdot 0{,}2 + 4 \cdot 0{,}1 = 4{,}7;$$

$$I_{p-\text{исп}3} = 3 \cdot 0{,}2 + 3 \cdot 0{,}2 + 4 \cdot 0{,}15 + 5 \cdot 0{,}15 + 3 \cdot 0{,}2 + 3 \cdot 0{,}1 = 3{,}45$$

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

$$\text{I}_{\text{исп}1} = \frac{I_{p-\text{исп}1}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4}{1} = 4$$

$$\text{I}_{\text{исп}2} = \frac{I_{p-\text{исп}2}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{4{,}7}{0{,}96} = 4{,}89$$

$$\text{I}_{\text{исп}3} = \frac{I_{p-\text{исп}3}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}}} = \frac{3{,}45}{0{,}98} = 3{,}52$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\text{Э}_{\text{ср}}$):

$$\text{Э}_{\text{ср}1} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.max}}} = \frac{4}{4{,}89} = 0{,}81$$

$$\text{Э}_{\text{ср}2} = \frac{I_{\text{исп.2}}}{I_{\text{исп.max}}} = \frac{4{,}89}{4{,}89} = 1$$

$$\text{Э}_{\text{ср}3} = \frac{I_{\text{исп.3}}}{I_{\text{исп.max}}} = \frac{3{,}52}{4{,}89} = 0{,}7$$

Таблица 17 – Сравнительная эффективность разработки

№п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,96	0,98
2	Интегральный показатель	4	4,7	3,45

	ресурсоэффективности разработки			
3	Интегральный показатель эффективности	4	4,89	3,52
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,8	1	0,7

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на второй вариант исполнения, как наиболее эффективный.

В ходе выполнения всех поставленных задач была произведена оценка конкурентоспособности трёх различных погружных электродвигателей. В результате данного анализа был выбран наиболее конкурентоспособный вариант, которым является асинхронный погружной электродвигатель, т.к. выигрывает по цене, габаритам, номинальному напряжению.

Также было осуществлено планирование работ, находящихся в рамках данного научного исследования, определены временные рамки и трудоемкость работ каждого из участников и составлен ленточный график проведения их работ в форме диаграммы Ганта. По результатам расчетов было установлено, что длительность работ для руководителя составляет 8 рабочих дней, а для инженера 41 рабочий день. Общий бюджет проекта НТИ составил 212892 рубля, который складывается из расходов на заработную плату работников (119400 руб.), отчисления во внебюджетные фонды (41193 руб.), материальные расходы (879 руб.), амортизацию (4146 руб.) и накладные расходы (29363 руб.).

Для сравнения финансовой и ресурсной эффективности произведен расчет таких показателей, как интегральный финансовый показатель разработки, интегральный показатель ресурсоэффективности разработки, интегральный показатель эффективности, сравнительная эффективность вариантов

исполнения. Полученные значения данных показателей подтвердили целесообразность эффективность выбранного варианта.

При использовании выбранного асинхронного электродвигателя повышается эффективность работы за счет уменьшения общего расхода на оборудование, повышения надежности и обеспечения безотказной, длительной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе был спроектирован регулируемый электропривод постоянного тока. Результатами работы явились обоснованные расчеты силовой части и разработка системы электрогидравлического усилителя рулевого управления электробуса.

Регулируемый электропривод имеет двухконтурную систему подчиненного регулирования основных координат – тока и скорости электропривода. В качестве силового преобразователя, поступающую непосредственно на обмотку якоря двигателя, выступает тиристорный преобразователь, выполненный по трехфазной мостовой схеме выпрямления. В процессе работы были выбраны двигатель постоянного тока, удовлетворяющий по мощности условиям технического задания, а также комплектный тиристорный преобразователь. Расчет разомкнутой системы электропривода доказал, что выбранный двигатель обеспечивает заданную область работы электропривода.

Последним пунктом исследований являлось моделирование нелинейной системы электропривода, которая по возможности полно отражает особенности работы привода с учетом ограничения координат электропривода на допустимом уровне. Учет нелинейностей системы приближает модель электропривода к реальной. Были исследованы переходные процессы в разных режимах работы (пуск, остановка, наброс и сброс нагрузки) при различных напряжениях задания на скорость (малых, средних и больших).

Спроектированный электропривод отвечает требуемым условиям технического задания. Обеспечена работа на максимальной скорости вращения 1700 об/мин при необходимой нагрузке $M_{\text{С.ДЛИТ}} = 12\ \text{Н}\cdot\text{м}.$ Благодаря ограничениям выходных напряжений регуляторов максимальный момент в переходных режимах не превышает $M_{\text{С.МАКС}} = 23\ \text{Н}\cdot\text{м}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П., Проектирования и исследования автоматизированных электроприводов. Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – 120 с.

2. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П., Проектирования и исследования автоматизированных электроприводов. Ч.4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – 152 с.

3. Мольцева О. П. Системы управления электроприводов.: учебное пособие / О. П. Мольцева, Л. С. Удут, Н. В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.

4. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.

5. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. –Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с

8. ТК РФ, Статья 221. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты.

9. ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

10. Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».

11. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.

12. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие. Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд – во ТПУ, 2008.

13. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

14. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты.

15. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.

16. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
17. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.
18. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011.
19. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
20. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
21. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.
22. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
23. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.