

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| Системы управления электроприводами запорно-регулирующей арматуры УДК 62-83:621.646:681.51 |

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 5Г5Б | Черепанова Екатерина Сергеевна | | |

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 | Мелик-Гайказян М.В. | К.Э.Н. | | 14.02.2019 |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------|---------------------------|---------|------------|
| Старший преподаватель | Фех А.И. | | | 25.02.2019 |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|--------------|---------------------------|---------|------|
| 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника | Тютеева П.В. | К.Т.Н. | | |

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) |
|-------------------------------------|---|
| Профессиональные компетенции | |
| P1 | Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем. |
| P2 | Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов. |
| P3 | Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты. |
| P4 | Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы. |
| P5 | Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники. |
| P6 | Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях. |
| Универсальные компетенции | |
| P7 | Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники |
| P8 | Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники. |
| P9 | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники. |
| P10 | Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности. |
| P11 | Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности. |
| P12 | Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники. |

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Тютеева П.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---------------------|
| бакалаврской работы |
|---------------------|

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|---------------------------------|
| 5Г5Б | Черепановой Екатерине Сергеевне |

Тема работы:

| | |
|--|------------------------|
| Системы управления электроприводами запорно-регулирующей арматуры | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | № 1161/с от 14.02.2019 |

| | |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | |
|--|--|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| Исходные данные к работе | 1. Параметры мотор-редуктора типа BG30-27/D09LA4-TF-ZW мощностью $P_{2н}=1,5$ кВт и синхронной скоростью $n_0=1500$ об/мин. 2. Диапазон регулирования скорости: 1:10. 3. Способ управления приводным двигателем – векторный. |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | 1. Обзор видов запорной арматуры. 2. Расчет параметров схемы замещения и естественных статических характеристик двигателя. 3. Проверка адекватности имитационной модели асинхронного двигателя 4. Оптимизация контуров регулирования векторной системы управления. |

| | |
|---|-------------------------------------|
| Перечень графического материала | |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Доцент, к.э.н., Мелик-Гайказян М.В. |
| Социальная ответственность | Старший преподаватель Фех А.И. |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| — | |

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

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 |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 5Г5Б | Черепанова Екатерина Сергеевна | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5Г5Б | Черепановой Екатерине Сергеевне |

| | | | |
|---------------------|-------------|---------------------------|---|
| Школа | ИШЭ | Отделение | ОЭЭ |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 13.03.02 «Электроэнергетика и Электротехника» |

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

| | |
|--|--|
| 1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): на зарплату, страховые отчисления, прочие и накладные расходы | Положение об оплате труда работников ТПУ Прайс-листы канцелярских товаров и услуг |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | 30,2 страховой взнос |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| 1. Оценка коммерческого потенциала технического проекта | Оценка потенциала и перспективности реализации ТП можно оценить с помощью SWOT-анализа и интегральной оценки ресурсоэффективности |
| 2. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП | Для составления графика работ по ТП используется оценка трудоёмкости работ. По полученным данным строится диаграмма Ганта. |
| 3. Формирование сметы затрат | Формирование сметы технического проекта: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы. |

Перечень графического материала

| |
|--------------------|
| 1. Матрица SWOT |
| 2. Диаграмма Ганта |

| | |
|---|----------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 14.02.19 |
|---|----------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна | к.э.н., доцент | | 14.02.19 |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|--------------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 5Г5Б | Черепанова Екатерина Сергеевна | | 14.02.19 |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|---------------------------------|
| 5Г5Б | Черепановой Екатерине Сергеевне |

| Школа | ИШЭ | Отделение | ОЭЭ |
|---------------------|-------------|---------------------------|--|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника |

Тема ВКР:

| Системы управления электроприводами запорно-регулирующей арматуры | |
|---|--|
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| 1. Характеристика объекта исследования и области его применения | В помещении присутствует искусственное и естественное освещение. Основное рабочее оборудование – система управления электропроводом |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | 1) ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности: 2) N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» 3) ГОСТ 12.2.032-78. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования». |
| 2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия | Поражение электрическим током, вращающимися элементами электропривода, опасность загорания (пожар), повышенный уровень шума, вибрации, микроклимат, освещение помещений. |
| 3. Экологическая безопасность: | вредные выбросы в атмосферу, вредные выбросы в литосферу, вредные выбросы в гидросферу. |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | Наиболее вероятное ЧС в здании в момент проведения исследования – пожар и электропоражение |

| | |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 14.02.2019 |
|--|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------------|------------------------|---------|------------|
| Старший преподаватель | Фех Алина Ильдаровна | | | 25.02.2019 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------------|
| 5Г5Б | Черепанова Екатерина Сергеевна | | 25.02.2019 |

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение электроэнергетики и электротехники

Период выполнения _____ весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

| |
|---------------------|
| бакалаврская работа |
|---------------------|

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | |
|--|--|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|-------------------------|--|------------------------------------|
| 10.09.2018 – 31.01.2019 | Работа с литературой: Обзор источников системы управления электроприводами запорно-регулирующей арматуры | 20 |
| 01.02.2019 – 15.03.2019 | Расчет основных параметров и характеристик двигателя | 25 |
| 16.03.2019 – 20.04.2019 | Разработка системы векторного управления асинхронным электроприводом | 25 |
| 22.04.2019 – 28.05.2019 | Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | 10 |
| 22.04.2019 – 28.05.2019 | Выполнение раздела «Социальная ответственность» | 10 |
| 31.05.2019 | Завершение оформления пояснительной записки | 10 |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Ланграф С.В. | К.Т.Н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|--------------|------------------------|---------|------|
| 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника | Тютеева П.В. | К.Т.Н. | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 77 страниц текста, 44 рисунков, 19 таблиц, 11 источников.

Ключевые слова: запорная арматура, асинхронный электропривод, векторное управление, переходные процессы.

Объектом исследования является асинхронный электропривод переменного тока для запорно-регулирующей арматуры.

Цель работы – исследовать основные характеристики регулируемого электропривода с векторным управлением.

В процессе исследования проводились расчет параметров асинхронного двигателя, его естественных статических характеристик, проверка адекватности рассчитанных параметров путём имитационного моделирования, синтез векторной системы управления.

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение | 11 |
| 1. Системы запорной арматуры..... | 12 |
| 1.1.Основные характеристики и виды трубопроводной арматуры | 12 |
| 1.2.Принципы работы трубопроводной арматуры с автоматическим управлением | 16 |
| 1.3.Основные характеристики и виды электропривода | 18 |
| 2. Расчет основных параметров и характеристик двигателя | 19 |
| 2.1.Расчет и выбор асинхронного электродвигателя..... | 19 |
| 2.2.Проверка адекватности имитационной модели асинхронного двигателя..... | 25 |
| 3. Разработка системы векторного управления асинхронным электроприводом..... | 29 |
| 3.1.Оптимизация контура тока | 29 |
| 3.2.Оптимизация контура потокосцепления ротора..... | 33 |
| 3.3.Оптимизация контура скорости..... | 36 |
| 3.4.Исследование нелинейной системы векторного управления | 39 |
| 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .. | 50 |
| 4.1.SWOT анализ проектировочной работы установки ВСМА..... | 50 |
| 4.2.Планирование технического проекта | 53 |
| 4.2.1.Структура работ в рамках технического проектирование | 53 |
| 4.2.2.Определение трудоемкости выполнения технического проекта..... | 55 |
| 4.2.3.Разработка графика проведения технического проекта..... | 58 |
| 4.3.Составление системы затрат на разработку технического проекта | 58 |
| 4.3.1.Расчет материальных затрат | 58 |

| | |
|--|----|
| 4.3.2.Расчет полной заработной платы исполнителей темы | 59 |
| 4.3.3.Отчисления во внебюджетные формы (страховые отчисления) | 60 |
| 4.3.4.Накладные расходы..... | 61 |
| 4.4.Формирование сметы затрат технического проекта..... | 61 |
| 4.5.Определение ресурсоэффективности проекта | 62 |
| 5. Социальная ответственность | 64 |
| 5.1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 64 |
| 5.2.Производственная безопасность | 66 |
| 5.3.Описание технологического процесса и рабочего места | 66 |
| 5.4.Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению | 67 |
| 5.5.Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению | 68 |
| 5.5.1.Шум и вибрации..... | 68 |
| 5.5.2.Микроклимат | 70 |
| 5.5.3.Освещение | 71 |
| 5.6.Экологическая безопасность | 72 |
| 5.7.Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 73 |
| Заключение | 75 |
| Список использованных источников | 77 |

Введение

В современном мире развитой экономической инфраструктуры трубы используются в строительстве трубопроводов для транспортировки нефти и газа, водо-и газоснабжающих систем, в машиностроении, а также для транспортировки химических и агрессивных веществ.

Широкая автоматизация производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства и быстрое развитие трубопроводного транспорта вызвали необходимость применения трубопроводных систем с автоматическим управлением. Для работы таких систем потребовались различные конструкции арматуры, предназначенные для разнообразных рабочих сред, различных температур и давлений, возникла необходимость применения приводов, действующих на основе использования электричества, сжатого воздуха, масла под давлением или энергии рабочей среды, перемещаемой по трубопроводу. К промышленной трубопроводной арматуре относятся устройства, устанавливаемые на трубопроводах и емкостях, обеспечивающие управление (отключение, регулирование, распределение, смешивание и др.) потоками рабочих сред путем изменения проходного сечения в рабочем органе конструкции. Арматура с автоматическим управлением в трубопроводной системе, работающей в режиме автоматического управления, выполняет роль исполнительного устройства, с помощью которого реализуются командные сигналы и назначается заданный режим работы системы. Каждая конструкция арматуры в общем случае содержит следующие основные элементы: корпус с присоединительными патрубками, крышку, рабочий орган, привод. Управление арматурой сводится к тому, чтобы установить рабочий орган в требуемое рабочее положение с помощью привода (ручного или механизированного) либо автоматически, под непосредственным воздействием рабочей среды.

1. Системы запорной арматуры

1.1. Основные характеристики и виды трубопроводной арматуры

Трубопроводная арматура (рисунок 1) – это механизм, предназначенный для регулирования потока среды, протекающей по трубопроводу, аппарату, агрегату или котлу. Регулирование происходит посредством полного или частичного перекрытия трубопровода (аппарата, агрегата, котла) или его части и позволяет распределять направления потоков, а также управлять характеристиками среды: давлением, составом, расходом, температурой и так далее [1].



Рисунок 1 – Трубопроводная арматура

По области применения различают пароводяную, газовую, нефтяную, энергетическую, химическую, судовую и резервуарную трубопроводную арматуру.

По функциональному назначению трубопроводная арматура делится на следующие классы: запорная, регулирующая, распределительная, предохранительная, защитная, фазоразделительная.

Разные виды запорной арматуры могут реализовывать идентичные функции. В основном используют несколько типов арматуры: задвижки, клапаны, краны и заслонки [1].

Рассмотрим подробнее типы трубопроводной арматуры [1].

1. Задвижка – это тип арматуры с затвором в виде листа, диска или клина, которые во время закрытия и открытия двигаются перпендикулярно оси потока среды, что хорошо видно на рисунке 2. Диаметр проходного отверстия задвижки бывает как равным диаметру трубопровода (полнопроходная задвижка), так и меньше его (суженная задвижка).

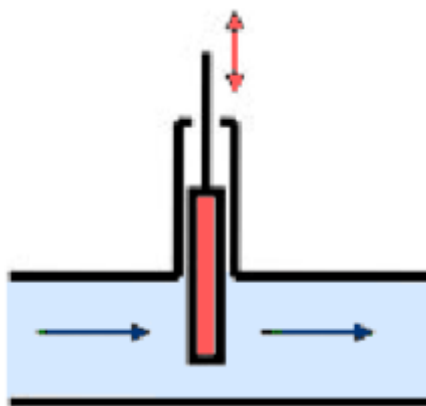


Рисунок 2 – Принцип работы задвижки

2. Клапан – это тип арматуры, у которой затвор выполнен в виде плоской или конусной тарелки, перемещающейся возвратно-поступательно вдоль центральной оси уплотнительной поверхности седла корпуса (рисунок 3).

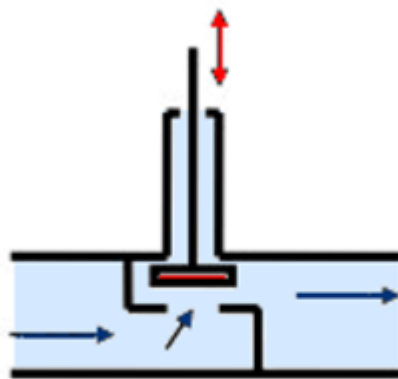


Рисунок 3 – Принцип работы клапана

3. Краны – это тип арматуры с затвором в виде тела вращения, ось которой ортогональна относительно оси потока рабочей среды (рисунок 4).

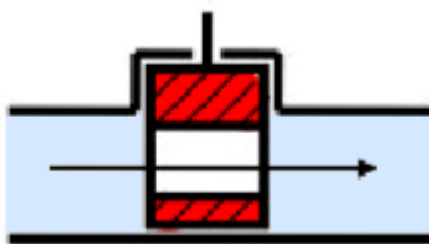


Рисунок 4 – Принцип работы крана

4. Заслонка – это тип арматуры с дисковым затвором. Диск в трубопроводе расположен вертикально и в закрытом положении перекрывает путь среде. В открытом положении диск повернут вдоль оси потока среды (рисунок 5). Этот тип арматуры не отличается высокой герметичностью, поэтому его ставят в системы с небольшим давлением и низких требованиях к непроницаемости рабочей среды.



Рисунок 5 – Принцип работы заслонки

5. Конденсатоотводчик – это тип запорной арматуры, необходимый для отвода конденсата.

Различают поплавковые, термостатические и термодинамические конденсатоотводчики. По принципу управления арматура делится на управляемую и автономную.

Арматура называется управляемой, когда она работает по заданному алгоритму, основываясь на данных, получаемых с приборов, и рабочим условиям.

Управляемая арматура бывает нескольких видов[1]:

1. С ручным приводом. Управляется вручную вращением вентиля, который передает движение через редуктор.
2. С механическим приводом. Данная арматура имеет привод, который приводит заслонку в движение через редуктор. Механический привод действует либо от постороннего источника энергии, либо использует энергию рабочей среды трубопровода. Привод может быть электрическим, пневматическим, гидравлическим или электромагнитным.
3. Под дистанционно расположенный привод. Этот вид арматуры управляется ручным либо механическим приводом на расстоянии при помощи передачи, состоящей из системы валов, подшипников, зубчатых колес и тросов.

Автономная арматура управляется под действием сил, создаваемых рабочей средой трубопровода без посторонних источников энергии.

Основные параметры трубопроводной арматуры делятся на эксплуатационные и конструкционно-монтажные. Эксплуатационные параметры включают в себя давление, температуру, пропускную способность, коррозионную стойкость, тип привода, требуемый крутящий момент для управления арматурой, время срабатывания и так далее.

В конструкционномонтажные параметры входят: условный диаметр прохода, габариты (длина и высота), масса, способ соединения с трубопроводом, конструктивные особенности и габариты присоединительных фланцев, число, диаметр и расположение отверстий на фланцах, разделка под приварку к трубопроводу и тому подобное.

Из всех перечисленных параметров особенно важно давление рабочей среды трубопровода или емкости. В данной работе из всех видов трубопроводной арматуры нас будет интересовать запорная арматура типа задвижка. Без задвижек немыслим ни один водопровод, нефтепровод или газопровод и так далее

1.2. Принципы работы трубопроводной арматуры с автоматическим управлением

Трубопроводные системы с автоматическим управлением получили широкое распространение в современном мире благодаря развитию автоматизации производственных процессов в различных отраслях производства и народного хозяйства. Различные рабочие среды, проходящие по трубопроводам, обладают разными характеристиками и параметрами: давление, температура и так далее. Вследствие этого было разработано множество видов приводов трубопроводной арматуры, работающих на основе использования электрической энергии, сжатого воздуха, масла, находящегося под давлением, или собственной энергии рабочей среды, двигающейся по трубопроводу[2].

Трубопроводная арматура с автоматическим управлением служит исполнительным устройством, реализующим командные сигналы и заданный режим работы системы.

Обобщенная конструкция арматуры состоит из следующих элементов:

1. Корпус с присоединительными патрубками.
2. Крышка.
3. Рабочий орган.
4. Привод.

Основная задача управления арматурой заключается в изменении положения рабочего органа в соответствии с управляющими командами. Установка положения осуществляется с помощью привода, механического или ручного, или производится автоматически под действием рабочей среды.

Рабочий орган включает в себя седло и затвор. Седлом называется уплотнительное кольцо, закрепленное неподвижно внутри корпуса арматуры. Затвор имеет форму диска или клина и движется относительно седла.

Если управление арматурой осуществляется в ручном режиме, то решение, когда и на сколько необходимо открывать затвор, принимает оператор. При автоматическом управлении положение затвора арматуры устанавливается автоматически. В случае, когда арматура имеет механизированный привод, регулирование положением затвора может осуществляться как оператором, путем нажатия на соответствующие кнопки, так и автоматически, исходя из показаний датчиков.

Трубопроводная арматура делится на автоматически управляемую арматуру прямого и непрямого действия. Арматура прямого действия осуществляет управление рабочим органом непосредственным воздействием на него энергии рабочей среды, а арматура непрямого действия осуществляет управление под действием командного сигнала, поступающего с приборов автоматизированной системы управления (АСУ) [2].

Так как в данной работе используется запорная арматура типа задвижка, рассмотрим подробнее задвижки с электроприводом, то есть арматуру непрямого действия.

В большинстве случаев автоматизация управления задвижками реализуется с помощью электроприводов. Это объясняется тем, что электрическая энергия широко распространена и доступна. Электропривод позволяет делать большое число оборотов при открытии или закрытии задвижки и создает момент для необходимого усилия прижатия затвора. В основном электроприводом комплектуются задвижки с выдвижным (Рисунок 6) и невыдвижным (Рисунок 7) шпинделем.

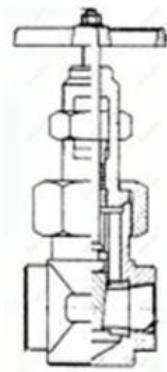


Рисунок 6 - Задвижка с выдвижным шпинделем

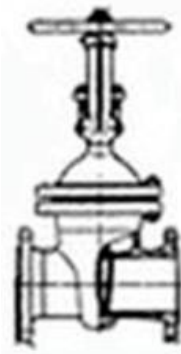


Рисунок 7 - Задвижка с невыедвинным шпинделем

1.3. Основные характеристики и виды электропривода

В зависимости от вида редуктора приводы бывают червячные, планетарные, цилиндрические, кулисно-винтовые, сложные (включают в себя два и более типа передач). На рисунке 8 показана запорная арматура с электроприводом. На электроприводы устанавливаются двигатели переменного тока, либо двигатели постоянного тока.

По принципу действия ограничительно силового устройства (ОСУ) могут быть фрикционные, фрикционно-кулачковые, электромеханические, электромагнитные, электрические, электронные.

В зависимости от величины и вида перемещения выходного элемента приводы делят на многооборотные, неполноповоротные и прямоходные.

Рассмотрим основные преимущества электроприводов в сравнении с пневмоприводами и гидроприводами. Главное достоинство электрического привода заключается в том, что он подходит для управления любыми видами и типами трубопроводной арматуры, возможность объединять арматуры в сеть и управлять ими централизованно на расстоянии. Электропривод подойдет как для маленьких, так и для самых больших задвижек, клапанов и так далее. Монтаж арматуры с электроприводом прост, так как для подвода энергии необходимо протянуть провод с одним видом энергии. В отличие от остальных приводов, он может монтироваться на расстоянии от арматуры. Этот вид привода так же имеет преимущества в обслуживании, так как его можно легко снять при неисправности и заменить на время ремонта. Но

электропривод также имеет и недостатки. Детали этих приводов достаточно быстро изнашиваются. Вследствие этого они нуждаются в частом обслуживании и тщательном уходе[2].



Рисунок 8 – Запорная арматура с электроприводом

Наиболее простым, дешевым и надежным является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Электроприводы запорной арматуры рассчитаны для работы в кратковременном режиме с небольшой продолжительностью включения. Питание электродвигателей осуществляется от сети переменного тока частотой 50 или 60 Гц, напряжением от 220 до 660 В. Кратковременный режим – режим, при котором за время работы двигателя не достигается установленная температура всех его частей. По окончании этого времени машина останавливается на достаточно длительное время, за которое она охлаждается до температуры, не более чем на 2°С превышающей температуру окружающей среды [3].

2. Расчет основных параметров и характеристик двигателя

2.1. Расчет и выбор асинхронного электродвигателя

Объектом регулирования выступает мотор-редуктор BG30-27/D09LA4-TF-ZW со следующими параметрами асинхронной машины:

$P_n = 1,5$ кВт – номинальная мощность двигателя;

$U_{1H}=380$ В – номинальное линейное напряжение;

$U_{1\phi}=220$ В – фазное напряжение;

$n_0=1500$ об/мин – синхронная частота вращения;

$n_H=1400$ об/мин – номинальная частота вращения;

$\eta_H=0,92$ – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos \varphi_H=0,8$ – коэффициент мощности;

$k_i = \frac{I_{\Pi}}{I_H}=5$ о.е. – кратность пускового тока;

$k_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{M_H}=2$ о.е. – кратность пускового момента;

$k_{\max} = \frac{M_K}{M_H}=2,2$ о.е. – кратность максимального момента;

$J_{дв}=0,036$ кг·м² – динамический момент инерции.

Номинальная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 1400}{30} = 146,533 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}} = \\ = \sqrt{\frac{2,363^2 - (0,75 \cdot 3,088 \cdot (1 - 0,067) / (1 - 0,75 \cdot 0,067))^2}{1 - (0,75 \cdot (1 - 0,067) / (1 - 0,75 \cdot 0,067))^2}} = 0,944 \text{ А},$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,8 \cdot 0,92} = 3,088 \text{ А}$ – номинальный ток

статора двигателя;

$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,784 \cdot 0,92} = 2,363 \text{ А}$ – ток статора двигателя

при частичной нагрузке;

$\eta_{p*} = \eta_H = 0,92$ – КПД при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_H = 0,98 \cdot 0,8 = 0,784$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_H = 0,75$ – коэффициент загрузки двигателя;

$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1400}{1500} = 0,067$ – номинальное скольжение двигателя.

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения:

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,067 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,067 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,067 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,333 \text{ о.е.}$$

В первом приближении принимаем $\beta = 1$.

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{IH}} = 1 + \frac{0,944}{2 \cdot 5 \cdot 3,088} = 1,031;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,067)}{2 \cdot 1,031 \cdot 2,2 \cdot 1500} = 19,924.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{19,924}{\left(1 + \frac{1}{0,333}\right) \cdot 1,031} = 4,833 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,031 \cdot 4,833 \cdot 1 = 4,981 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,333^2} - 1^2} = 2,828.$$

Тогда сопротивление короткого замыкания:

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 2,828 \cdot 1,031 \cdot 4,833 = 14,088 \text{ Ом.}$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей[4].

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{2\text{н}} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 14,088}{1,031} = 7,929 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1\text{н}} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 14,088 = 5,917 \text{ Ом.}$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_{\text{м}} &= \sqrt{\left(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - R_1 \cdot I_{1\text{н}} \right)^2 + \left(U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}} - X_{1\text{н}} \cdot I_{1\text{н}} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(220 \cdot 0,8 - 4,981 \cdot 3,088 \right)^2 + \left(220 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} - 5,917 \cdot 3,088 \right)^2} = 198,806 \text{ В.} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu\text{н}} = \frac{E_{\text{м}}}{I_0} = \frac{198,806}{0,944} = 208,378 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям C_1 , R'_2 и $X_{\text{кн}}$ определим критическое скольжение:

$$s_{\text{к1}} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \frac{1,031 \cdot 4,833}{\sqrt{4,981^2 + 14,088^2}} = 0,333.$$

Для построения естественной механической характеристики двигателя определим критический момент машины в двигательном режиме:

$$M_{\text{к}} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157 \cdot 1,031 \cdot \left[4,981 + \sqrt{4,981^2 + 14,088^2} \right]} = 22,509 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Задаваясь диапазоном скольжения от 1 до 0, строим механическую характеристику асинхронного двигателя по формуле Клосса:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + a \cdot s_K)}{\frac{s_K}{s} + \frac{s}{s_K} + 2 \cdot a \cdot s_K},$$

где $a = \frac{R_1}{R'_2} = \frac{4,981}{4,833} = 1,031.$

Тогда расчетное выражение для механической характеристики примет следующий вид:

$$M(s) = \frac{2 \cdot 22,509 \cdot (1 + 1,031 \cdot 0,333)}{\frac{0,333}{s} + \frac{s}{0,333} + 2 \cdot 1,031 \cdot 0,333}.$$

Номинальный момент по формуле Клосса:

$$M_H = \frac{2 \cdot 22,509 \cdot (1 + 1,031 \cdot 0,333)}{\frac{0,333}{0,067} + \frac{0,067}{0,333} + 2 \cdot 1,031 \cdot 0,333} = 10,316 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя представлена на рисунке 9.

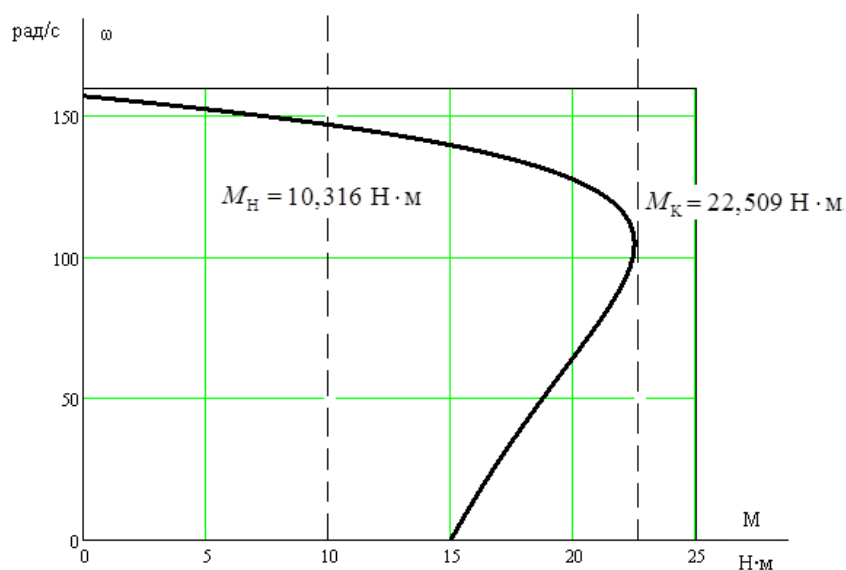


Рисунок 9 – Механическая характеристика двигателя

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя представляет интерес также электромеханическая характеристика, отражающая зависимость тока статора от скорости. Полагая ток намагничивания I_0 реактивным ($I_{0A}=0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора можно найти по формуле:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + (I_2'(\omega))^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_2(\omega)} = \\ = \sqrt{0,944^2 + (I_2'(\omega))^2 + 2 \cdot 0,944 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_2(\omega)},$$

где

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(4,981 + \frac{4,833}{157 - \omega}\right)^2 + 14,088^2}}; \\ \sin \varphi_2(\omega) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{14,088}{\sqrt{\left(4,981 + \frac{4,833}{157 - \omega}\right)^2 + 14,088^2}}.$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до ω_0 , строим электромеханическую характеристику асинхронного двигателя по формулам для токов обмоток статора и ротора. Электромеханическая характеристика двигателя приведена на рисунке 10.

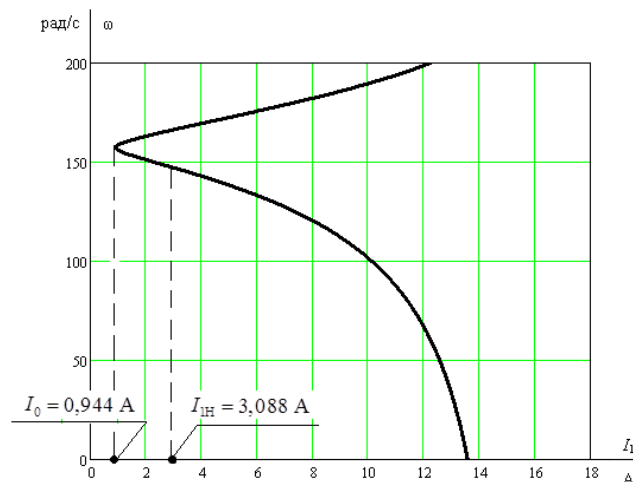


Рисунок 10 – Электромеханическая характеристика двигателя

2.2. Проверка адекватности имитационной модели асинхронного двигателя

Для моделирования асинхронного двигателя воспользуемся структурной схемой в двухфазной неподвижной системе координат.

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{5,917}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,019 \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенная к статорной:

$$L'_{\sigma 2} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{7,929}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,025 \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{208,378}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,663 \text{ Гн.}$$

Полная индуктивность цепи статора:

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_{\mu} = 0,019 + 0,663 = 0,682 \text{ Гн.}$$

Полная индуктивность цепи ротора:

$$L'_2 = L'_{\sigma 2} + L_{\mu} = 0,025 + 0,663 = 0,689 \text{ Гн.}$$

Рассчитаем коэффициенты структурной схемы:

$$K_r = \frac{L_{\mu}}{L'_2} = \frac{0,663}{0,689} = 0,962;$$

$$L_e = L_1 - \frac{L_{\mu}^2}{L'_2} = 0,682 - \frac{0,663^2}{0,689} = 0,044 \text{ Гн};$$

$$R_e = R_1 + R'_2 \cdot K_r^2 = 4,981 + 4,833 \cdot 0,962^2 = 9,454 \text{ Ом};$$

$$A_r = \frac{R'_2}{L'_2} = \frac{4,833}{0,689} = 7,015.$$

Переход от трехфазной системы напряжений

$$\begin{cases} U_A(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_B(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t - 120^\circ) \\ U_C(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t + 120^\circ) \end{cases}$$

к неподвижной двухфазной

$$\begin{cases} U_{\alpha}(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_{\beta}(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \cos(314 \cdot t) \end{cases}$$

осуществляется с помощью прямого преобразования Кларка:

$$U_{\alpha}(t) = U_A(t); \quad U_{\beta}(t) = \frac{U_A(t) + 2 \cdot U_B(t)}{\sqrt{3}}.$$

Модуль и угол поворота вектора потокосцепления рассчитываются по формулам:

$$|\Psi_r| = \sqrt{\Psi_{r\alpha}^2 + \Psi_{r\beta}^2}; \quad \theta_{\Psi_r} = \arctg\left(\frac{\Psi_{r\beta}}{\Psi_{r\alpha}}\right).$$

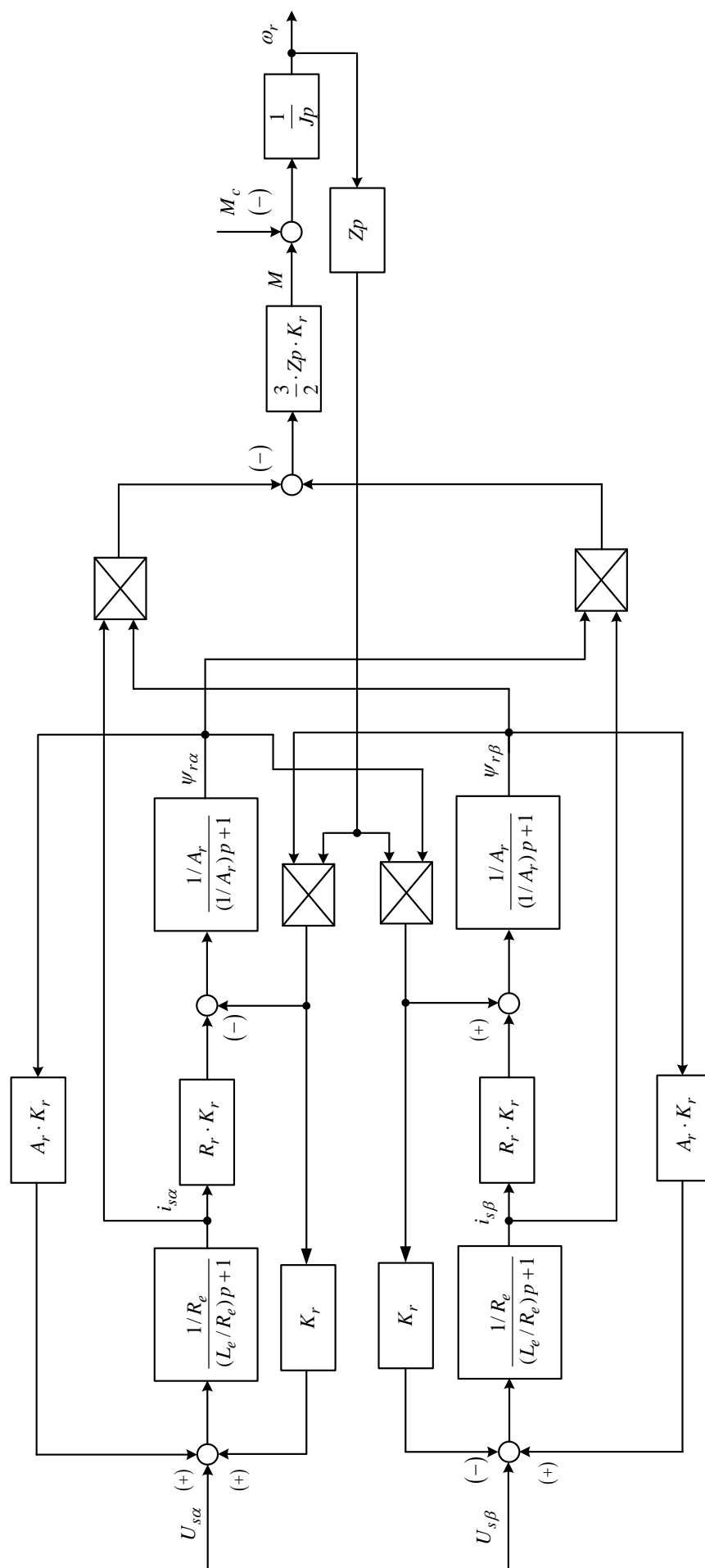


Рисунок 11 – Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

m-файл параметров модели:

%Параметры двигателя

```
f=50;
Rs=4.981;
Rr=4.833;
Ls_=5.917/(2*pi*f);
Lr_=7.929/(2*pi*f);
Lm=208.378/(2*pi*f);
p=4;
J=0.036;
Ls=Ls_+Lm;
Lr=Lr_+Lm;
zp=p/2;
Kr=Lm/Lr;
Re=Rs+Rr*Kr^2;
Le=Ls-Lm^2/Lr;
Uamp=220*sqrt(2);
Ar=Rr/Lr;
Wref=2*pi*f;
```

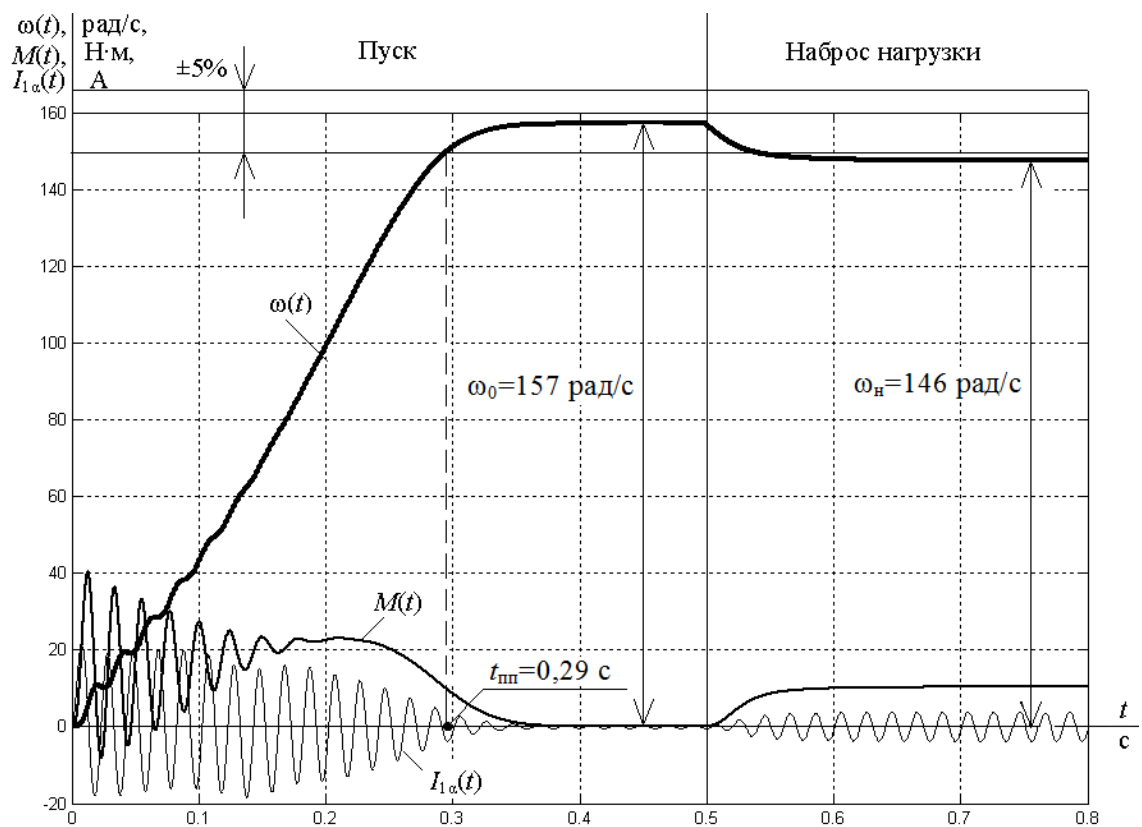


Рисунок 15 – Переходные процессы в АД при прямом пуске вхолостую и набросе номинальной нагрузки

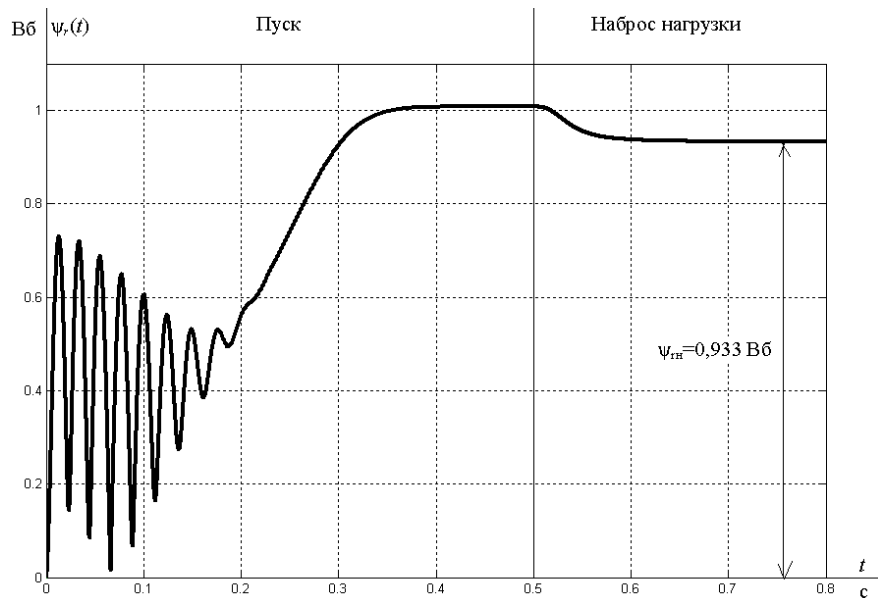


Рисунок 16 – Переходный процесс модуля потокосцепления ротора АД при прямом пуске вхолостую и набросе номинальной нагрузки

Из графиков переходных процессов видно, что имитационная модель асинхронного двигателя в двухфазной неподвижной системе координат адекватна, так как при пуске вхолостую частота вращения двигателя принимает значение синхронной частоты $\omega_0=157$ рад/с, а при набросе номинального момента устанавливается на значении номинальной скорости $\omega_n=146$ рад/с.

3. Разработка системы векторного управления асинхронным электроприводом

3.1. Оптимизация контура тока

Структурная схема контура регулирования составляющей тока статора i_{sx} представлена на рисунке 17.

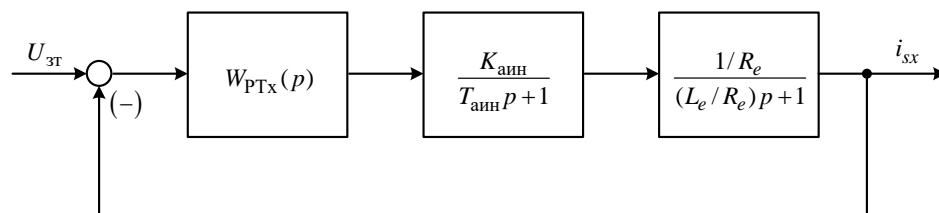


Рисунок 17 – Структурная схема контура регулирования составляющей тока статора i_{sx}

Автономный инвертор напряжения представлен в схеме как апериодическое звено первого порядка с коэффициентом передачи $K_{\text{аин}}=1$ и постоянной времени $T_{\text{аин}}=0,0001$ с.

Контур тока настраиваем на модульный оптимум. В этом случае принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией:

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

Принимаем малую некомпенсируемую постоянную времени контура тока равной постоянной времени автономного инвертора напряжения:

$$T_{\text{мт}}=T_{\text{аин}}=0,0001 \text{ с.}$$

Коэффициент передачи регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{L_e}{K_{\text{аин}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\text{аин}}} = \frac{0,044}{1 \cdot 2 \cdot 0,0001} = 220.$$

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{\text{рт}} = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,044}{9,454} = 0,004654 \text{ с.}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

- установившаяся ошибка: $\Delta I_{\text{уст}} = 0$;
- перерегулирование: $\sigma = 4,3\%$;
- время первого согласования: $t_{\text{ру1}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\text{мт}} = 4,1 \cdot 0,0001 = 0,0004 \text{ с}$;
- время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия: $t_{\text{ру2}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\text{мт}} = 4,1 \cdot 0,0001 = 0,0004 \text{ с}$;
- полоса пропускания по модулю и фазе:

$$\omega_{\text{п}}^{(\phi)} = \omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0,71}{T_{\text{мт}}} = \frac{0,71}{0,0001} = 7100 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Имитационная модель замкнутого контура тока представлена на рисунке 18.

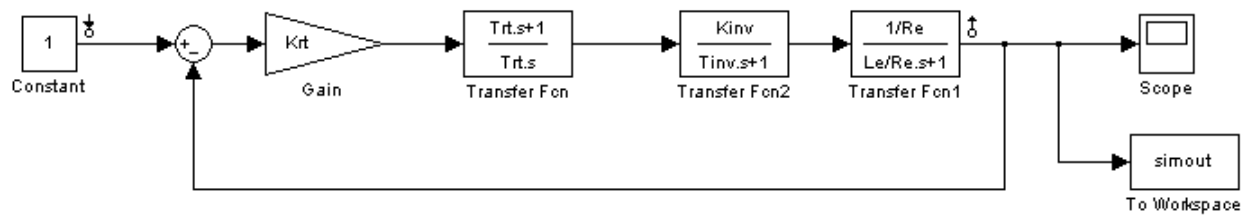


Рисунок 18 – Имитационная модель замкнутого контура тока

m-файл параметров контура тока:

```
Kinv=1;
Tinv=1/10000;
Re=9.454;
Le=0.044;
Te=Le/Re;
Krt=220;
Trt=Te;
```

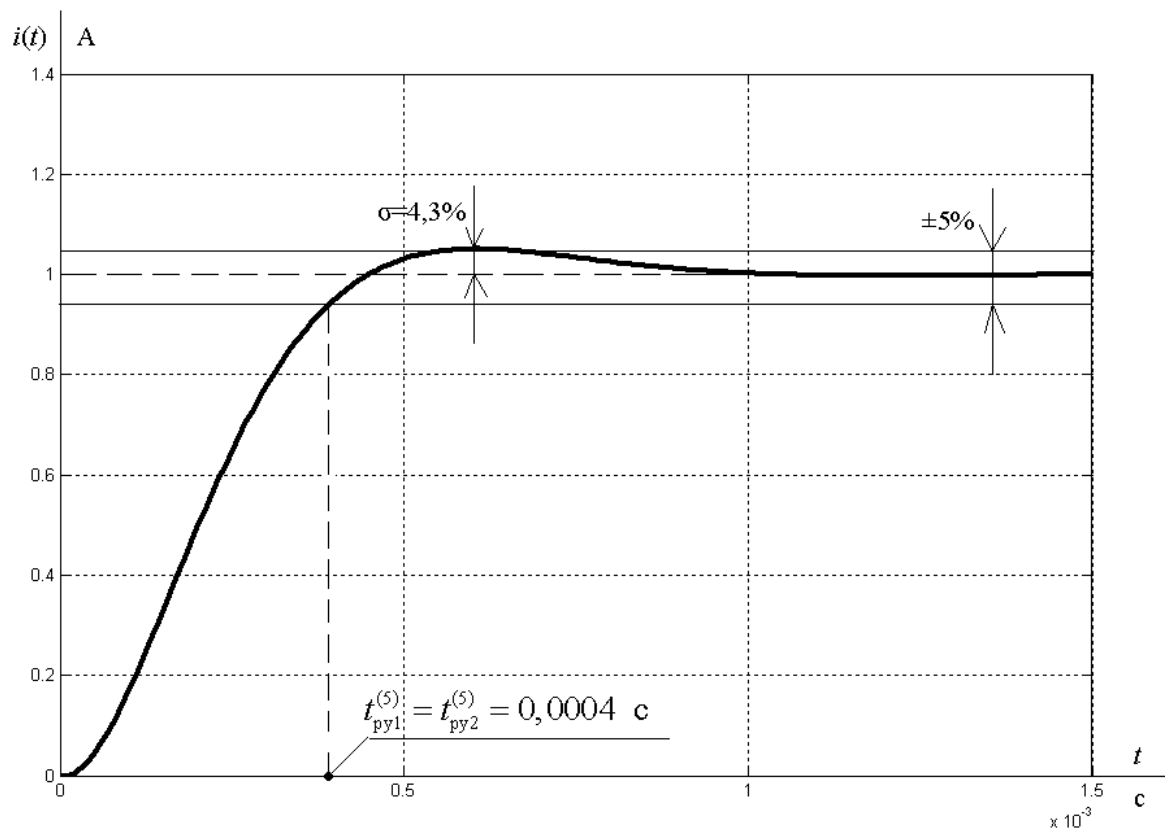


Рисунок 19 – Переходный процесс в контуре тока

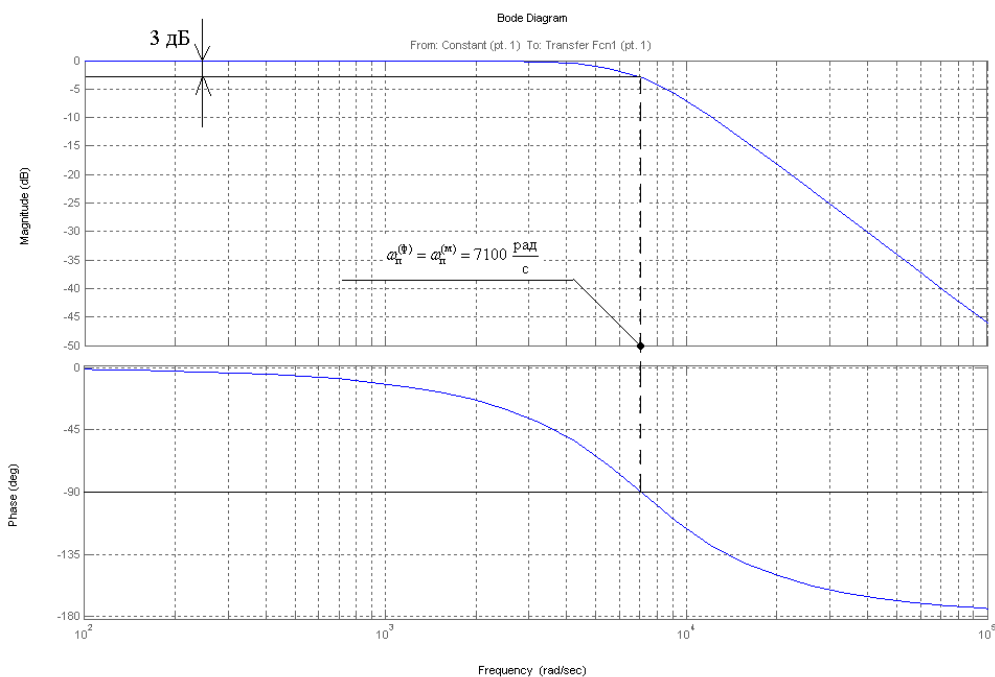


Рисунок 20 – ЛЧХ замкнутого контура тока

Сведем теоретические и экспериментальные показатели качества работы линеаризованного контура тока в таблицу 1.

Таблица 1 – Показатели качества переходных процессов по управлению линеаризованного контура тока, оптимизированного по МО

| $t_{\text{py}1}^{(5)}, \text{с}$ | $t_{\text{py}2}^{(5)}, \text{с}$ | $\sigma, \%$ | $\Delta I_{\text{уст}}, \text{А}$ | $\omega_n^{(\phi)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ | $\omega_n^{(m)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ |
|----------------------------------|----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--|---|
| Ожидаемые показатели | | | | | |
| 0,0004 | 0,0004 | 4,3 | 0 | 7100 | 7100 |
| Результаты моделирования | | | | | |
| 0,0004 | 0,0004 | 4,3 | 0 | 7100 | 7100 |

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

Контур регулирования составляющей тока статора i_{sy} аналогичен по своей структуре контуру, полученному в результате вышеприведенной оптимизации.

3.2. Оптимизация контура потокосцепления ротора

Структурная схема контура потокосцепления ротора представлена на рисунке 21.

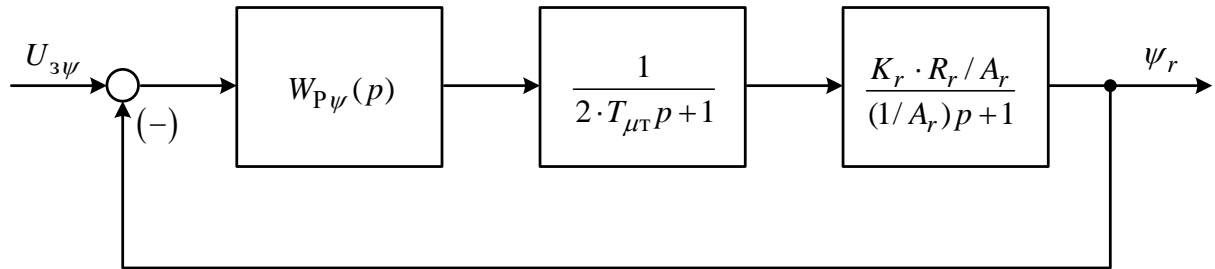


Рисунок 21 – Структурная схема контура потокосцепления ротора

Внутренний оптимизированный контур тока представлен усеченной передаточной функцией:

$$W_{\text{з.к.т.}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu\Gamma} \cdot p + 1}.$$

Контур потокосцепления ротора настраиваем на модульный оптимум. В этом случае принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией:

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

Коэффициент передачи регулятора потокосцепления ротора:

$$k_{\text{р}\psi} = \frac{1}{K_r \cdot R_r \cdot a_{\Pi} \cdot a_{\Gamma} \cdot T_{\mu\Gamma}} = \frac{1}{0,962 \cdot 4,833 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,0001} = 537,71.$$

Постоянная времени регулятора потокосцепления ротора:

$$T_{\text{р}\Gamma} = \frac{1}{A_r} = \frac{1}{7,015} = 0,143 \text{ с.}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура потокосцепления ротора:

- установившаяся ошибка: $\Delta\psi_{\text{уст}} = 0$;
- перерегулирование: $\sigma = 8,14\%$;
- время первого согласования: $t_{\text{pyl}}^{(5)} = 7 \cdot T_{\mu\Gamma} = 7 \cdot 0,0001 = 0,0007 \text{ с}$;

- время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего воздействия: $t_{py2}^{(5)} = 12 \cdot T_{\mu r} = 12 \cdot 0,0001 = 0,0012 \text{ с}$;
- полоса пропускания по модулю:

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0,5}{T_{\mu r}} = \frac{0,5}{0,0001} = 5000 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

- полоса пропускания по фазе:

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0,35}{T_{\mu r}} = \frac{0,35}{0,0001} = 3500 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Имитационная модель замкнутого контура потокосцепления ротора представлена на рисунке 22.

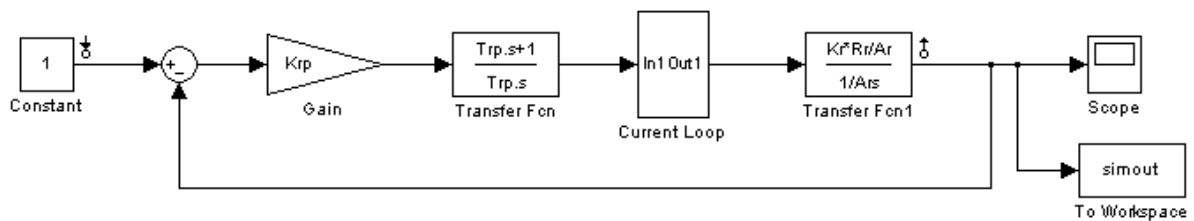


Рисунок 22 – Имитационная модель замкнутого контура потокосцепления ротора

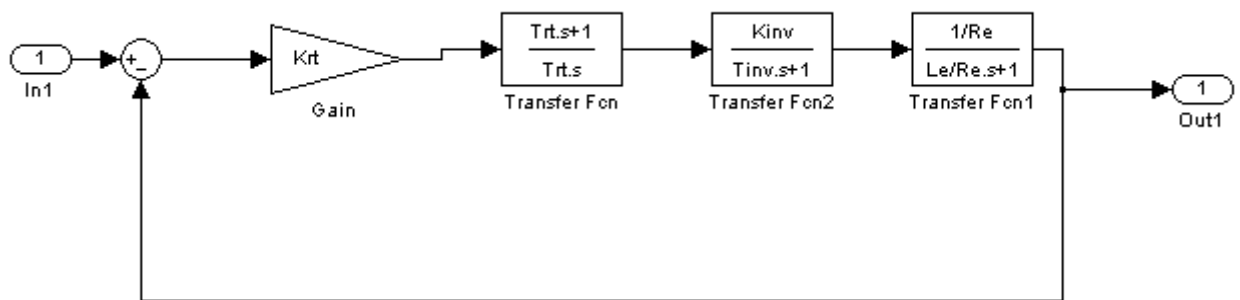


Рисунок 23 – Имитационная модель подсистемы «Current Loop»

m-файл параметров модели:

```
Kinv=1;
Tinv=1/10000;
Re=9.454;
Le=0.044;
Te=Le/Re;
Krt=220;
Trt=Te;
Kr=0.962;
Ar=7.015;
```

$R_r=4.833;$
 $K_{rp}=537.71;$
 $T_{rp}=1/Ar;$

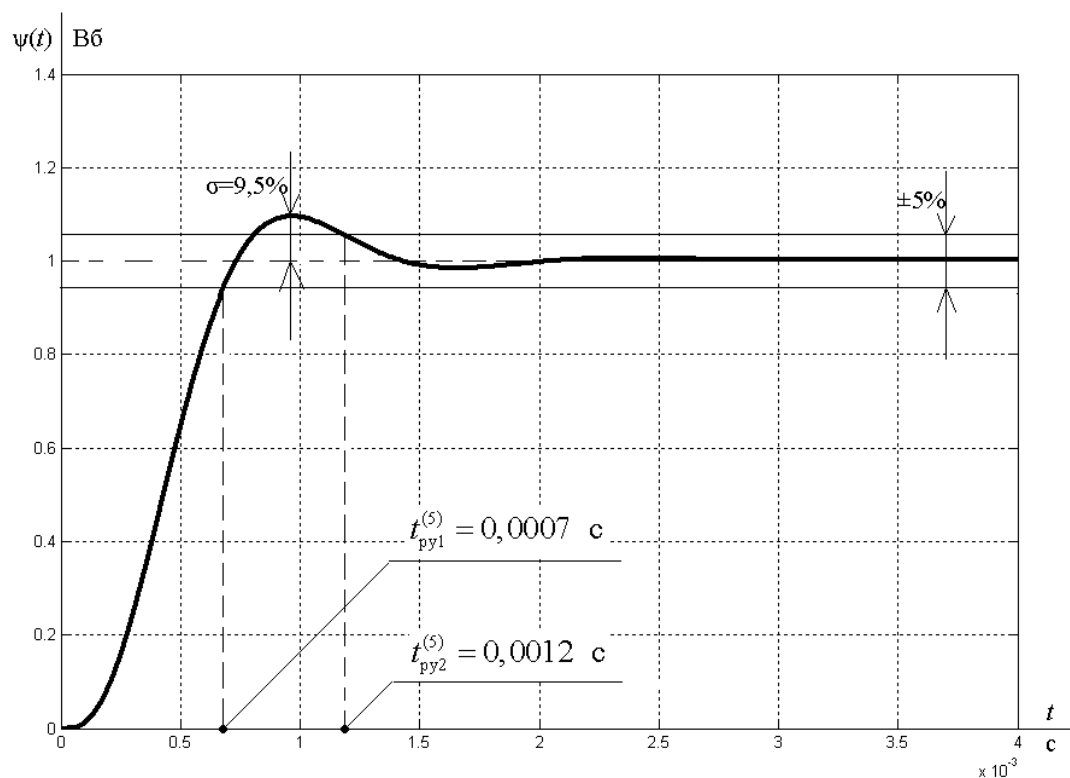


Рисунок 24 – Переходный процесс в контуре потокосцепления ротора

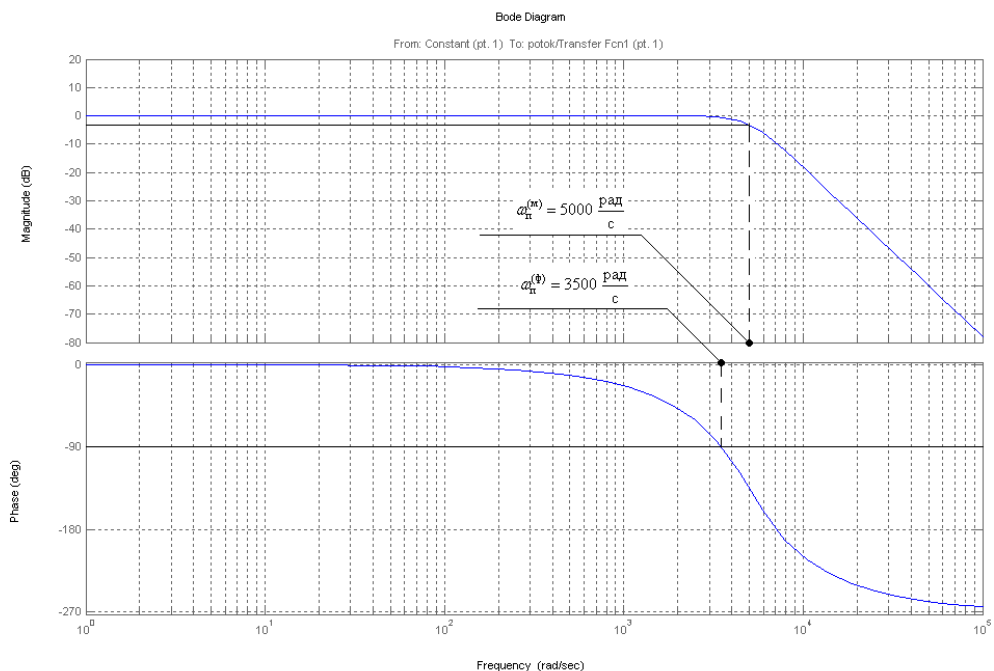


Рисунок 25 – ЛЧХ замкнутого контура потокосцепления ротора

Сведем теоретические и экспериментальные показатели качества работы линеаризованного контура тока в таблицу 2.

Таблица 2 – Показатели качества переходных процессов по управлению
линеаризованного контура потокосцепления, оптимизированного по МО

| | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------------------------------|---|---|
| $t_{\text{py1}}^{(5)}, \text{с}$ | $t_{\text{py2}}^{(5)}, \text{с}$ | $\sigma, \%$ | $\Delta\psi_{\text{уст}}, \text{Вб}$ | $\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ | $\omega_{\text{п}}^{(\text{м})}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ |
| Ожидаемые показатели | | | | | |
| 0,0007 | 0,0012 | 8,14 | 0 | 3500 | 5000 |
| Результаты моделирования | | | | | |
| 0,0007 | 0,0012 | 9,5 | 0 | 3500 | 5000 |

Сравнивая ожидаемые показатели качества переходного процесса в контуре потокосцепления, оптимизированного по МО, с результатами моделирования, можно сказать, что теоретические значения сошлись с полученными с допустимой погрешностью.

3.3. Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости представлена на рисунке 26.

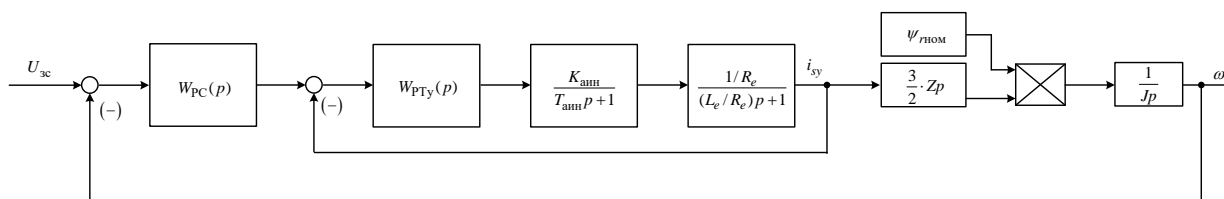


Рисунок 26 – Структурная схема контура скорости

Контур скорости настраиваем на симметричный оптимум. В этом случае принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией:

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

Для уменьшения влияния работы контура потокоцепления на динамику контура скорости принимаем малую некомпенсируемую постоянную времени контура скорости:

$$T_{\mu\text{C}} = 32 \cdot T_{\mu\text{T}} = 32 \cdot 0,0001 = 0,0032 \text{ c.}$$

Для величины малой некомпенсируемой постоянной времени в контуре скорости принято значение $T_{\text{ис}} = 32T_{\text{иГ}}$, что гораздо больше чем при

оптимизации контура управления потокосцеплением. Данное положение приводит к снижению быстродействия в контуре скорости с одной стороны, но позволяет уменьшить взаимное влияние между контурами скорости и потокосцепления с другой [5].

Коэффициент передачи регулятора скорости

$$k_{pc} = \frac{J \cdot 98}{1,5 \cdot z_p \cdot \psi_{2H} \cdot a_c \cdot 1024 \cdot T_{\mu T}} = \frac{0,036 \cdot 98}{1,5 \cdot 2 \cdot 0,933 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot 0,0001} = 1,539.$$

Постоянная времени регулятора скорости:

$$T_{pc} = 98 \cdot T_{\mu T} = 98 \cdot 0,0001 = 0,0098 \text{ с.}$$

Для уменьшения перерегулирования контура скорости, настроенного на симметричный оптимум, на вход контура устанавливаем фильтр (апериодическое звено первого порядка) с постоянной времени:

$$T_{вх.ф} = 32 \cdot 4 \cdot T_{\mu T} = 32 \cdot 4 \cdot 0,0001 = 0,013 \text{ с.}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости с фильтром на входе:

- установившаяся ошибка: $\Delta \omega_{уст} = 0$;
- перерегулирование: $\sigma = 8,1\%$;
- время первого согласования: $t_{py1}^{(5)} = 7 \cdot T_{\mu c} = 7 \cdot 0,0032 = 0,022 \text{ с}$;
- время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия: $t_{py2}^{(5)} = 12 \cdot T_{\mu c} = 12 \cdot 0,0032 = 0,038 \text{ с}$;
- полоса пропускания по модулю:

$$\omega_{\pi}^{(м)} = \frac{0,5}{T_{\mu c}} = \frac{0,5}{0,0032} = 156,25 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

- полоса пропускания по фазе:

$$\omega_{\pi}^{(ф)} = \frac{0,36}{T_{\mu c}} = \frac{0,36}{0,0032} = 112,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Имитационная модель замкнутого контура скорости представлена на рисунке 27.

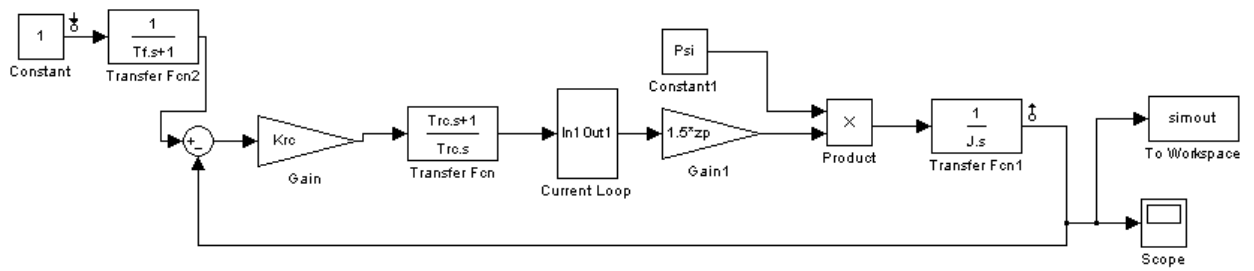


Рисунок 27– Имитационная модель замкнутого контура скорости

m-файл параметров модели:

```
Kinv=1;
Tinv=1/10000;
Re=9.454;
Le=0.044;
Te=Le/Re;
Krt=220;
Trt=Te;
Kr=0.962;
Ar=7.015;
Rr=4.833;
Krp=537.71;
Trp=1/Ar;
Psi=0.933;
J=0.036;
zp=2;
Krc=1.539;
Trc=0.0098;
Tf=32*4*Tinv;
```

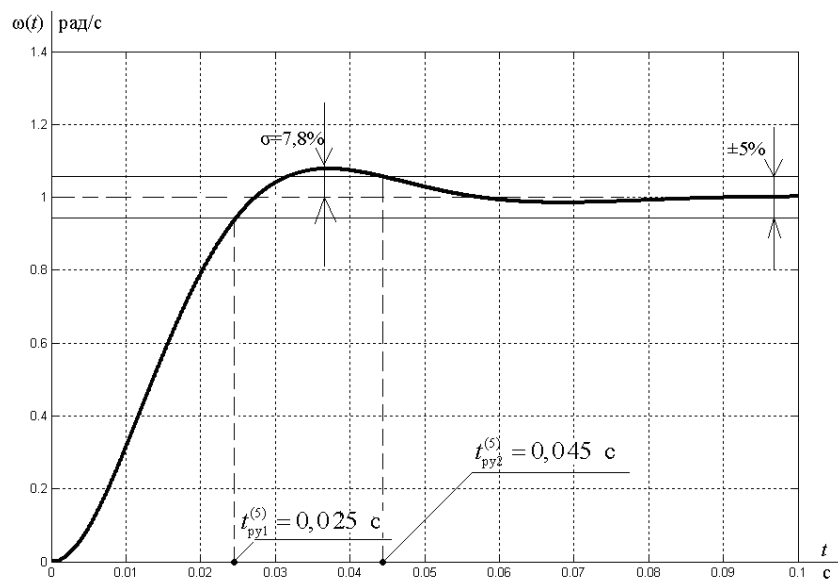


Рисунок 28 – Переходный процесс в контуре скорости

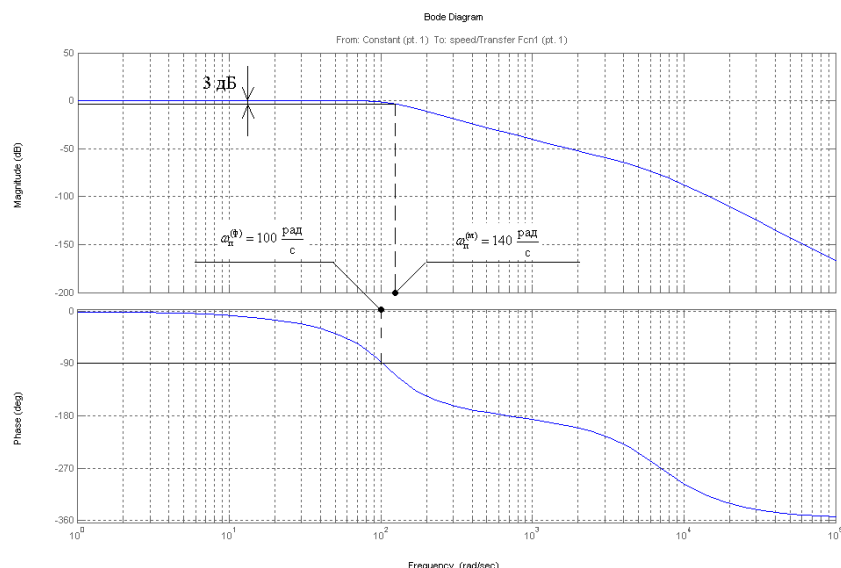


Рисунок 29 – ЛЧХ замкнутого контура скорости

Сведем теоретические и экспериментальные показатели качества работы линеаризованного контура тока в таблицу 3.

Таблица 3 – Показатели качества переходных процессов по управлению линеаризованного контура скорости, оптимизированного по СО

| $t_{\text{py1}}^{(5)}, \text{с}$ | $t_{\text{py2}}^{(5)}, \text{с}$ | $\sigma, \%$ | $\Delta\omega_{\text{уст}}, \text{рад/с}$ | $\omega_{\text{п}}^{(\Phi)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ | $\omega_{\text{п}}^{(M)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ |
|----------------------------------|----------------------------------|--------------|---|---|--|
| Ожидаемые показатели | | | | | |
| 0,022 | 0,038 | 8,1 | 0 | 112,5 | 156,25 |
| Результаты моделирования | | | | | |
| 0,025 | 0,045 | 7,8 | 0 | 100 | 140 |

Сравнивая ожидаемые показатели качества переходного процесса в контуре скорости, оптимизированного по СО с фильтром на входе, с результатами моделирования, можно сказать, что теоретические значения сошлись с полученными с допустимой погрешностью.

3.4. Исследование нелинейной системы векторного управления

Структурная схема нелинейной САУ РЭП с использованием модели двигателя в неподвижной системе координат представлена на рисунке 28.

Так как система управления может быть создана только во вращающейся системе координат, а реальные токи и напряжения – это токи и напряжения в неподвижной системе координат. В связи с этим регуляторы

координат электропривода и модель двигателя в неподвижной системе координат необходимо согласовать посредством координатных преобразователей. Преобразование координат из неподвижной системы координат во вращающуюся и наоборот производят путем применения прямого и обратного преобразований Парка соответственно:

$$\left. \begin{aligned} i_x &= i_\alpha \cos \theta + i_\beta \sin \theta \\ i_y &= -i_\alpha \sin \theta + i_\beta \cos \theta \end{aligned} \right\},$$

$$\left. \begin{aligned} i_\alpha &= i_x \cos \theta - i_y \sin \theta \\ i_\beta &= i_x \sin \theta + i_y \cos \theta \end{aligned} \right\}.$$

На структурной схеме рисунка 28 эти преобразования осуществляются блоками ПКП (прямой преобразователь координат) и ОКП (обратный преобразователь координат).

Блок ВП (вычислитель потока) рассчитывает модуль и угол поворота вектора потокосцепления ротора, используя информацию о проекциях вектора потокосцепления на оси α и β неподвижной системы координат. Расчет производится по следующим формулам:

$$|\psi_2| = \sqrt{\psi_{2\alpha}^2 + \psi_{2\beta}^2};$$

$$\theta_{\psi_2} = \arctg \left(\frac{\psi_{2\beta}}{\psi_{2\alpha}} \right).$$

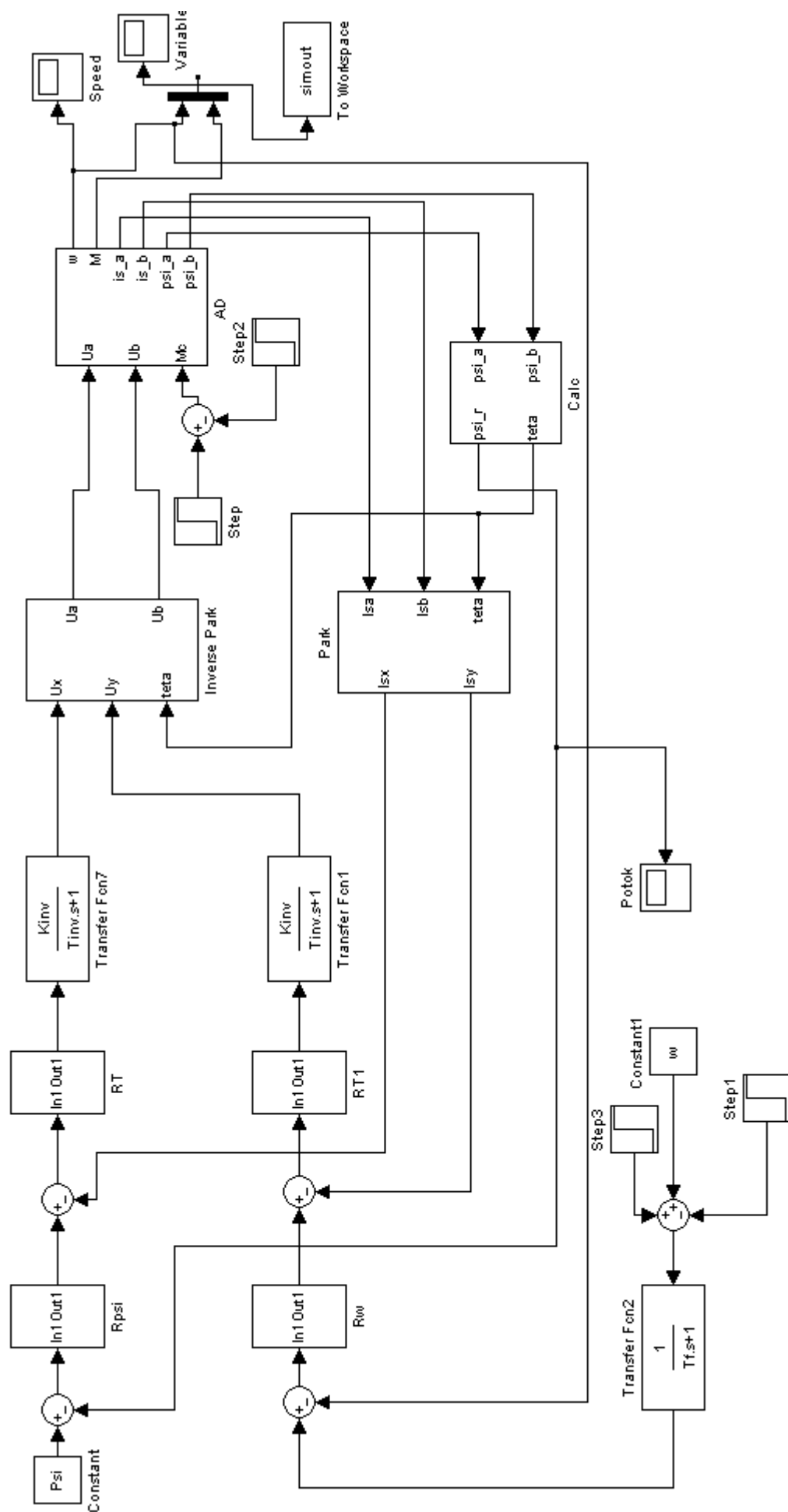


Рисунок 31 – Имитационная модель нелинейной САУ РЭП в программной среде MATLAB Simulink

Структурная схема асинхронного двигателя в неподвижной системе координат и его имитационная модель в программной среде MATLAB Simulink (блок АД на рисунке 30) представлены ранее на рисунках 11 и 12 соответственно.

Нелинейностями в представленном электроприводе являются ограничения на выходе регуляторов. Введение ограничений обусловлено необходимостью ограничения максимальной амплитуды напряжения обмоток АД, ограничения токов в статорных обмотках АД, а также ограничения момента на валу двигателя. Ограничения регуляторов имеют следующие значения:

$$U_X = 0,312 \cdot U_{\max} = 0,312 \cdot U_{\text{amp}} = 0,312 \cdot \sqrt{2} \cdot 220 = 97,072;$$

$$U_Y = 0,95 \cdot U_{\max} = 0,95 \cdot U_{\text{amp}} = 0,95 \cdot \sqrt{2} \cdot 220 = 295,571;$$

$$I_X = 1,5 \cdot I_{\text{amp}} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,088 = 6,551;$$

$$I_Y = 2 \cdot I_{\text{amp}} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,088 = 8,734.$$

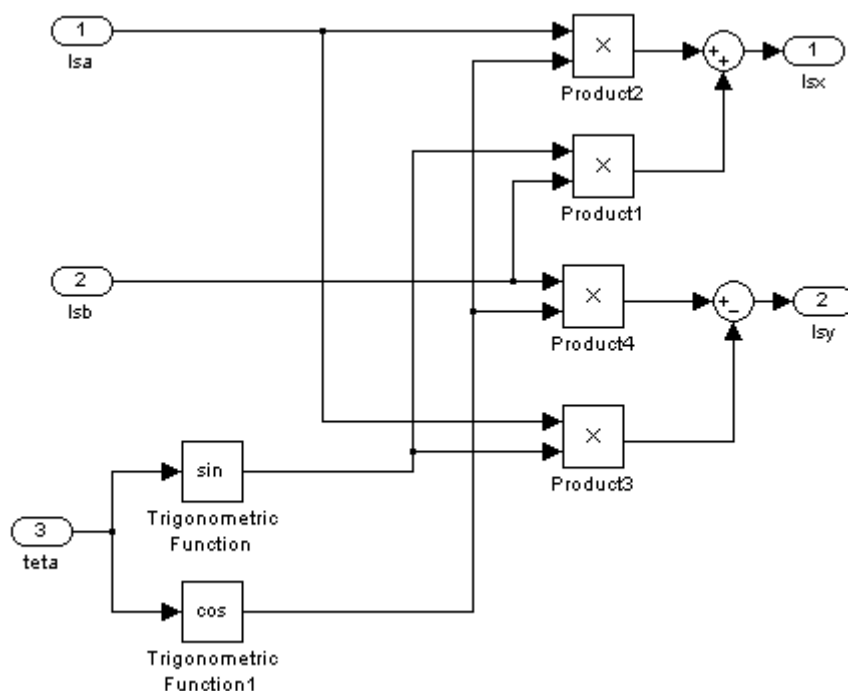


Рисунок 32 – Подсистема «Park»

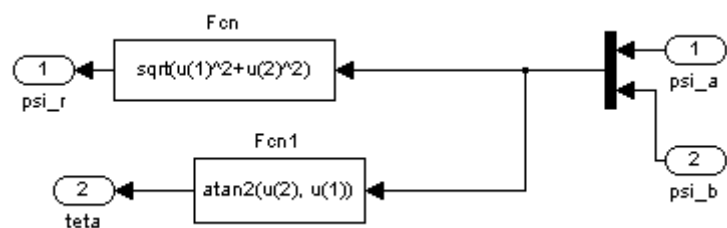


Рисунок 33 – Подсистема «Calc»

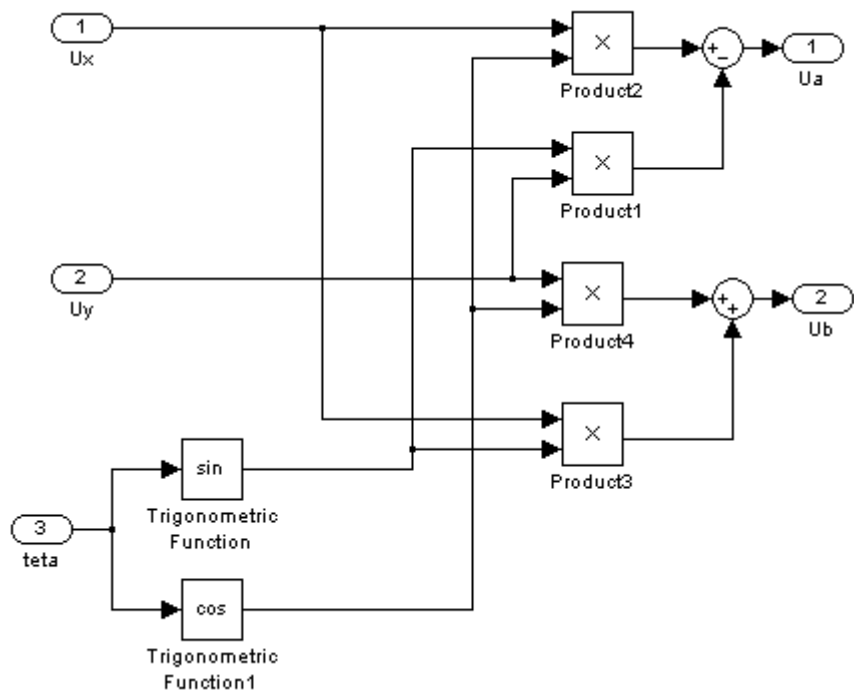


Рисунок 34 – Подсистема «Inverse Park»

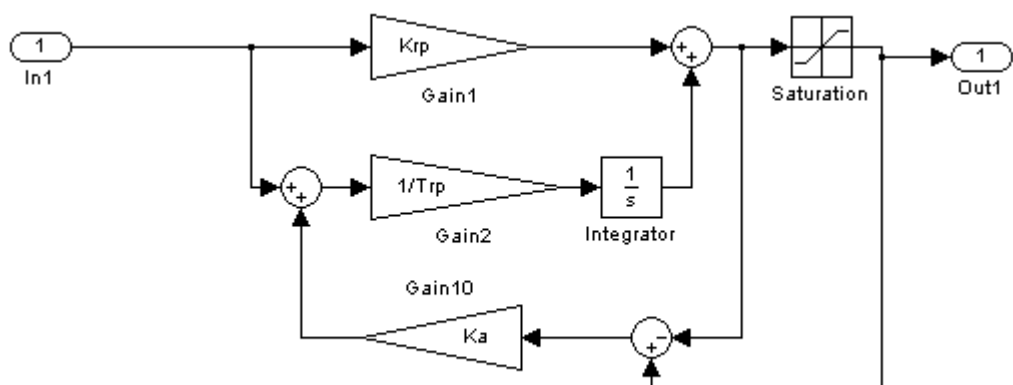


Рисунок 35 – Подсистема «Rpsi»

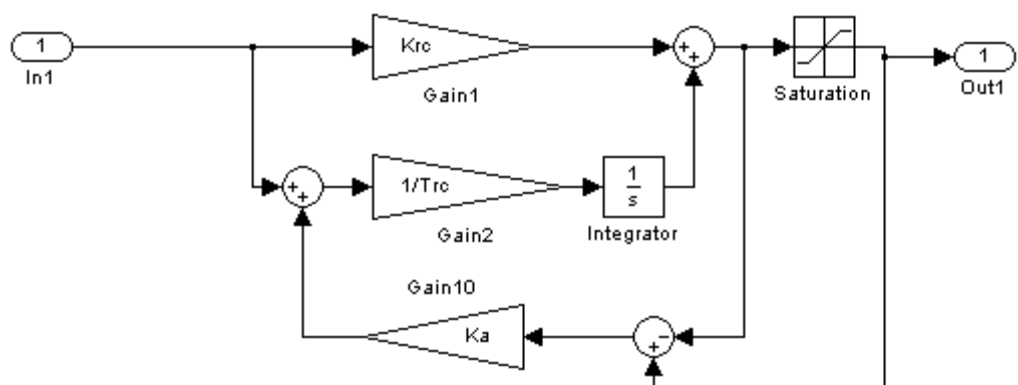


Рисунок 36– Подсистема «Rw»

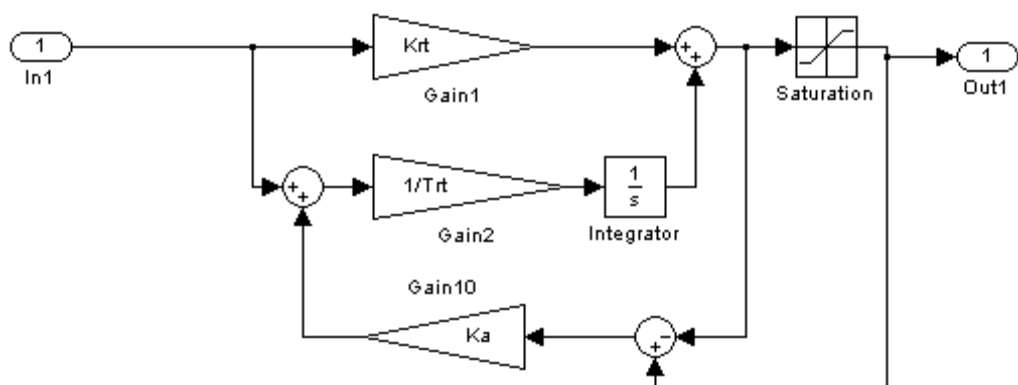


Рисунок 37 – Подсистема «RT»

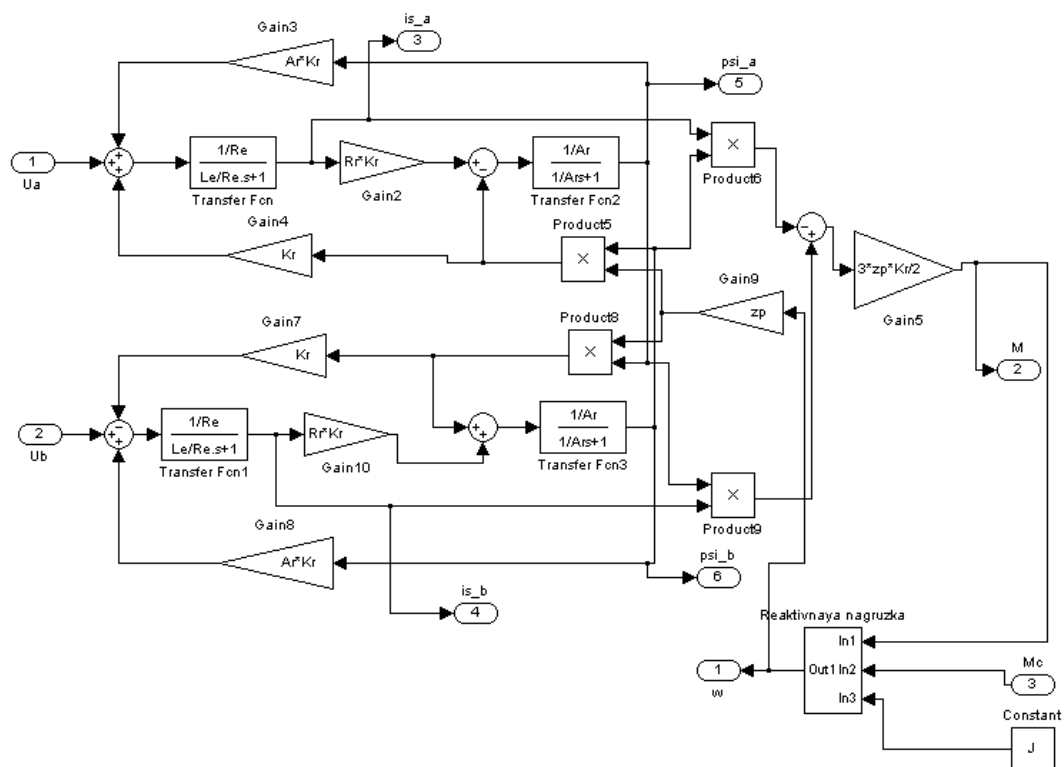


Рисунок 38 – Подсистема «AD»

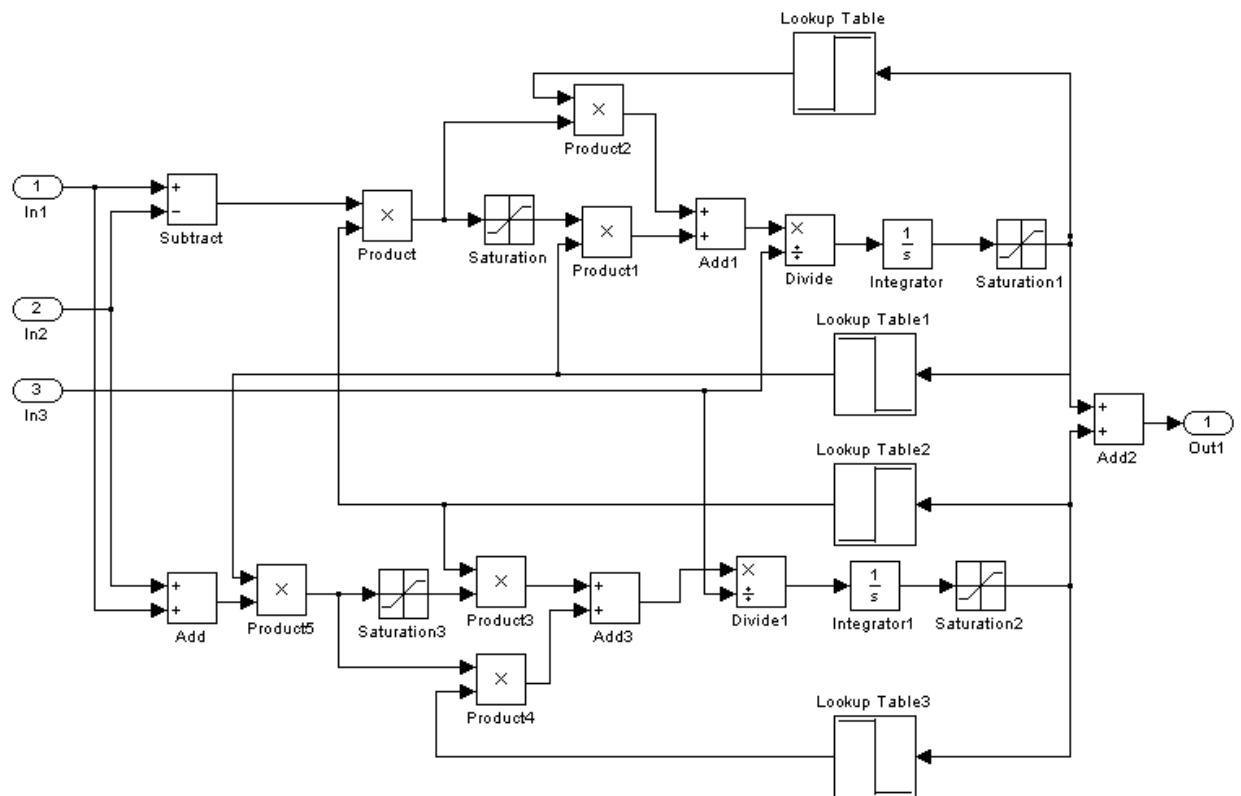


Рисунок 39 – Подсистема «Reaktivnaya nagruzka»

Протокол вводимых параметров:

%Параметры двигателя

```
n=1400;
w=pi*n/30;
f=50;
Rs=4.981;
Rr=4.833;
Ls_=5.917/(2*pi*f);
Lr_=7.929/(2*pi*f);
Lm=208.378/(2*pi*f);
p=4;
J=0.036;
Ls=Ls_+Lm;
Lr=(Lr_+Lm);
zp=p/2;
In=3.088;
Kr=Lm/Lr;
Re=Rs+Rr*Kr^2;
Le=Ls-Lm^2/Lr;
Uamp=220*sqrt(2);
Iamp=In*sqrt(2);
Ar=Rr/Lr;
```

```

Wref=2*pi*f;
Psi=0.933;
%Параметры системы управления
Kinv=1;
finv=10000;
Tinv=1/finv;
Te=Le/Re;
Krt=(Te*Re)/(2*Tinv*Kinv);
Trt=Te;
Krp=1/(2*2*Kr*Rr*Tinv);
Trp=1/Ar;
Krc=(98*J)/(1.5*zp*8*1024*Tinv*Psi);
Trc=98*Tinv;
Tf=32*4*Tinv;
%Нелинейности
Ux=0.312*Uamp;
Uy=0.95*Uamp;
Ix=1.5*Iamp;
Iy=2*Iamp;
Imax=2*Iamp;
Umax=Uamp;
Ka=2;
%шаг интегрирования
h=0.0001;

```

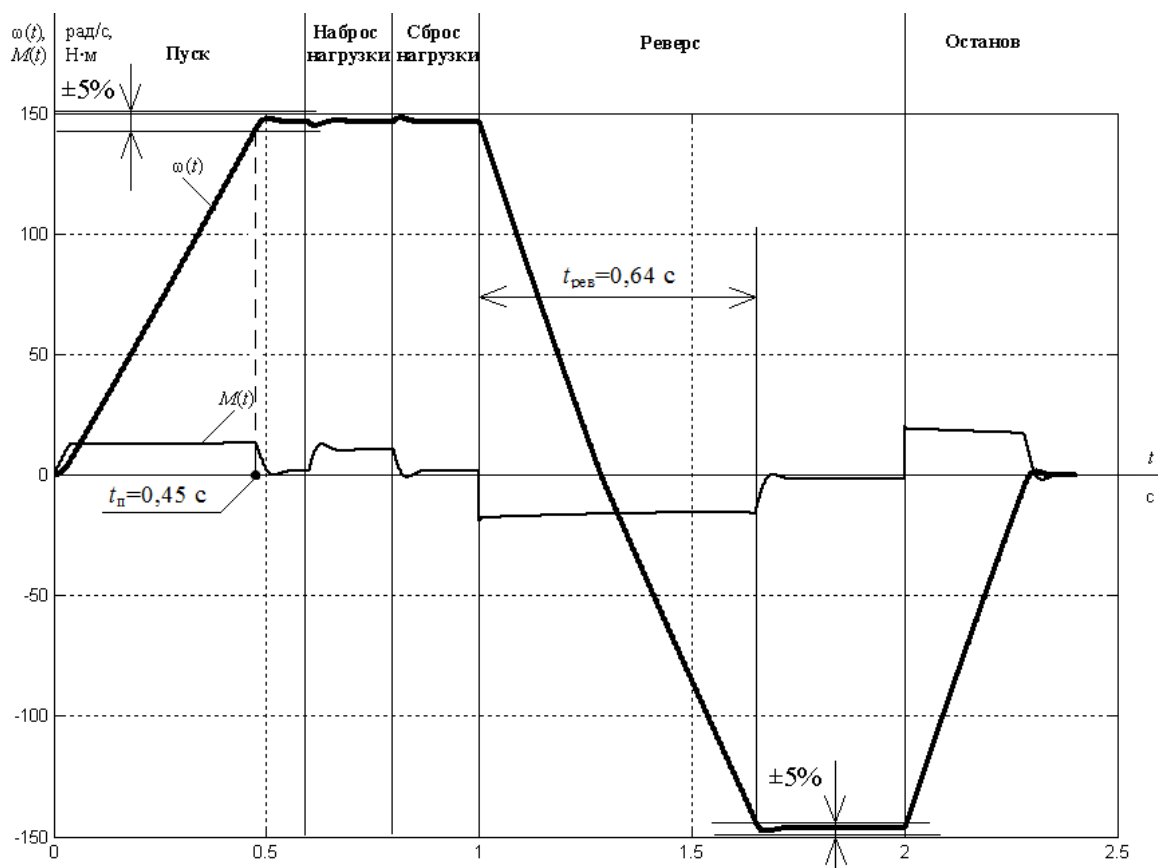


Рисунок 40 – Переходные процессы скорости и момента в асинхронном

электроприводе при $\omega_{\text{ЭП макс}} = \omega_{\text{ДВ.Н}} = 146,533 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

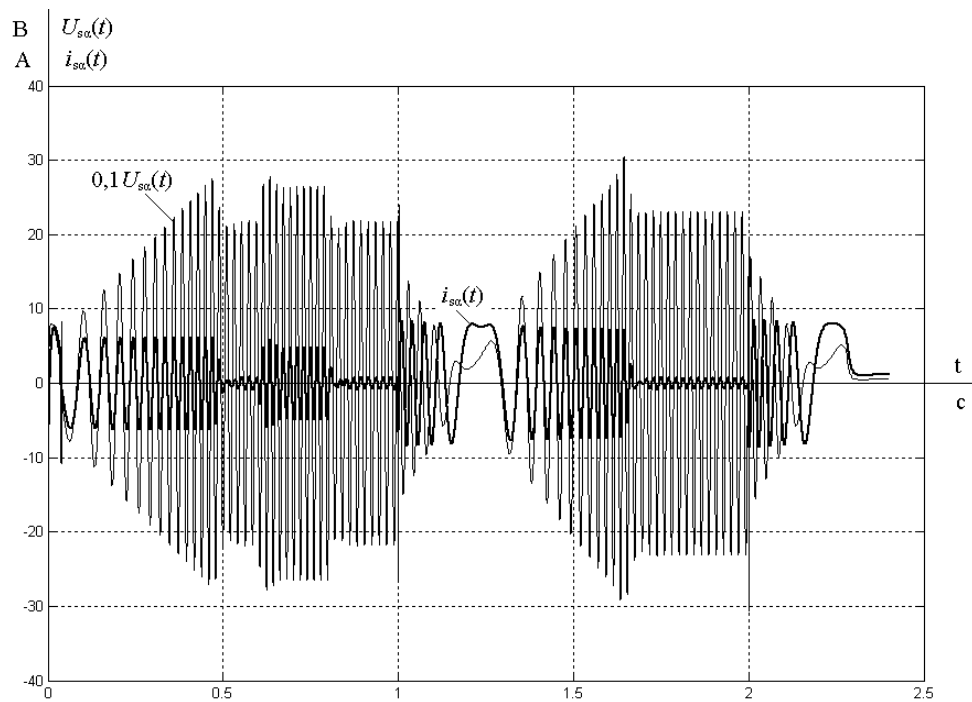


Рисунок 41 – Переходные процессы статорных тока и напряжения фазы А в

асинхронном электроприводе при $\omega_{\text{ЭП макс}} = \omega_{\text{ДВ.Н}} = 146,533 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

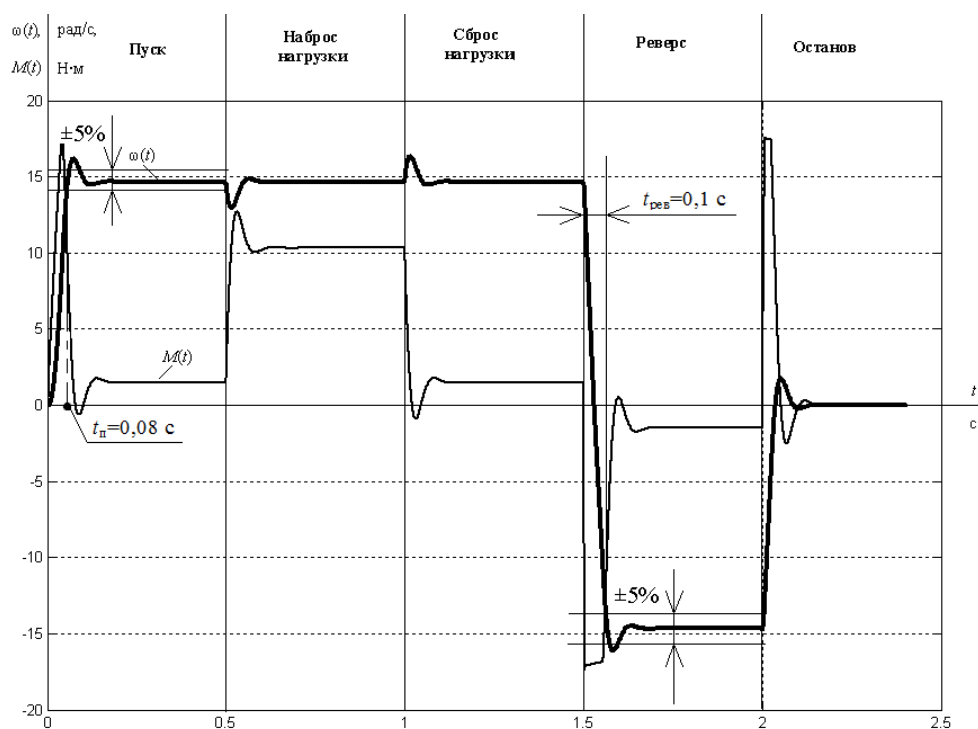


Рисунок 42 – Переходные процессы скорости и момента в асинхронном электроприводе при $\omega_{\text{эл}} = 0,1\omega_{\text{дв.н}} = 14,65 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

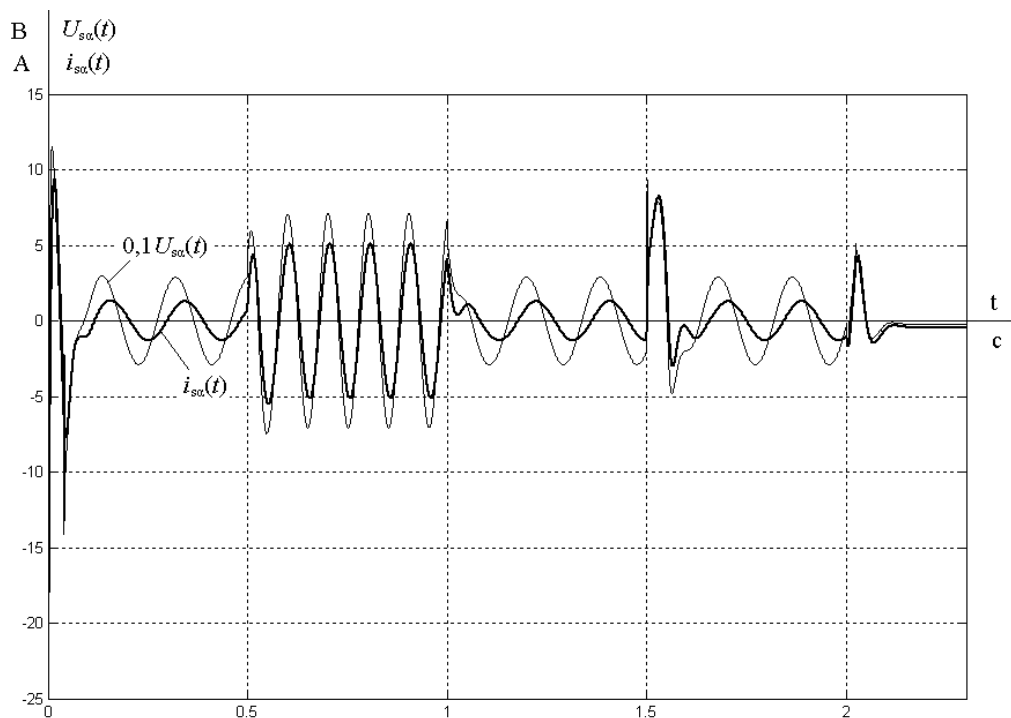


Рисунок 43 – Переходные процессы статорных тока и напряжения фазы А в асинхронном электроприводе при $\omega_{\text{эл}} = 0,1\omega_{\text{дв.н}} = 14,65 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

Из полученных графиков видно, что при минимальном задании на скорость характер процессов в электроприводе такой же, как в случае

линеаризованной системы. Показатели качества регулирования незначительно изменились по сравнению с линейным контуром скорости в связи с учетом координатных преобразований, внутренних перекрестных обратных связей двигателя, влиянием переходных процессов в контуре потокосцепления ротора на динамику контура скорости.

При максимальном задании на скорость увеличилось время регулирования, уменьшилось перерегулирование по скорости. В переходных режимах происходит ограничение электромагнитного момента АД в связи с насыщением нелинейных регуляторов.

Результаты моделирования нелинейной системы векторного управления асинхронным электроприводом доказали адекватность созданной имитационной модели.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного является определение экономического проектирования электропривода запорно-регулирующей арматуры.

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа проектировочной работы установки ВСМА
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсной эффективности технического проектаэффективности проекта.

4.1. SWOT анализ проектировочной работы установки ВСМА

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта [6].

Применительно к проектируемой ВСМА, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 4.

Таблица 4 - Матрица SWOT

| | Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии. С2. Простота конструкции С3. Простота установки С4. Отсутствие необходимости в техническом обслуживании С5. Объединение эффективных методов обработки | Слабые стороны проекта: Сл1. Постоянное потребление электроэнергии Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл3. Необходимость нахождения источника переменного тока рядом с местом работы |
|---|---|---|
| Возможности: В1. Повышения качества продукции В2. Автоматизация технологического процесса В3. Снижение затрат на транспортировку готовой продукции В4. Снижение затрат на техническом обслуживании | В1С2С3С5; В2С1С4; В3С2С3; В4С1С4. | В3Сл2; В4Сл1Сл2Сл3. |

| | | |
|--|---------|--------------|
| Угрозы: | | |
| У1. Отсутствие спроса на технологии производства | У1С5; | У1Сл1Сл2Сл3; |
| У2. Ограничения на экспорт технологии | | У2Сл1; |
| У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции | У3С2С3; | У3Сл1Сл3; |
| У4. Угрозы выхода из строя сложного рабочего органа | У4С2С4. | У4Сл1Сл3. |

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [6].

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 5 и 6, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей

| Возможности | Сильные стороны проекта | | | | |
|-------------|-------------------------|-----|-----|----|----|
| | С1 | С2 | С3 | С4 | С5 |
| В1 | - | + | + | - | + |
| В2 | + | - | - | + | - |
| В3 | - | + | + | - | - |
| В4 | + | - | - | + | - |
| | Слабые стороны проекта | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | - | - |
| В1 | - | - | - | | |
| В2 | - | - | - | | |
| В3 | - | + | - | | |
| В4 | + | + | + | | |

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз

| Угрозы | Сильные стороны проекта | | | | |
|--------|-------------------------|-----|-----|----|----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| У1 | - | - | - | - | + |
| У2 | - | - | - | - | - |
| У3 | - | + | + | - | - |
| У4 | - | + | - | + | - |
| | Слабые стороны проекта | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | - | - |
| У1 | + | + | + | | |
| У2 | + | - | - | | |
| У3 | + | - | + | | |
| У4 | + | - | + | | |

Решением слабым сторон будет наличие высококвалифицированного персонала, связанных с программированием, моделированием и технической эксплуатацией трансформаторов.

Устранением угроз будет финансирование электросетевыми хозяйствами в создание новых и модернизации существующих энергообъектов.

Проанализировав SWOT-анализ технического проекта, можно сделать вывод, что сильные стороны и возможности, уравновешивают угрозы.

4.2. Планирование технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования установки ВСМА.

4.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 7:

№ 1 – Составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Математическое моделирование установки ВСМА – выбор конфигурации электрической схемы, выбор электрооборудования и электроники;

№ 4 – Проведение расчетов режимов работы – расчет электрических характеристик;

№ 5 – Проектирование схемы электрического подключения устройства ВСМА;

№ 6 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 7 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 8 - Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите и защиту проекта

№9 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации и ответного слова, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 7 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|---|-------|--|---------------------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение технического задания | Научный руководитель |
| Выбор направления технического проектирования установки | 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Дипломник |
| Расчеты и проектирование установки ВСМА | 3 | Математическое моделирование | Дипломник |
| | 4 | Расчет рабочих характеристик | Дипломник, научный руководитель |
| | 5 | Проектирование схемы электрического подключения | Дипломник, научный руководитель |
| Обобщение и оценка результатов | 6 | Оценка эффективности полученных результатов | Дипломник, Научный руководитель |
| Оформление отчета по техническому проектированию | 7 | Составление пояснительной записки | Дипломник |
| | 8 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | Научный руководитель |
| Сдача выпускной квалификационной работы | 9 | Подготовка к защите ВКР | Дипломник, Научный руководитель |

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости t_{oji} используется следующая формула [6]:

$$t_{oji} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (84)$$

где t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – 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.

В таблице 8 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 8 – Временные показатели проведения проекта

| № | Название работы | Трудоемкость работ, дни | | | | | | Длительность работ, раб. дн. | |
|---|--|-------------------------|-----------|--------------|-----------|--------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| | | t_{\min} , | | t_{\max} , | | $t_{ож\bar{c}i}$, | | | |
| | | Науч. рук-ль | Дипломник | Науч. рук-ль | Дипломник | Науч. рук-ль | Дипломник | Науч. рук-ль | Дипломник |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | - | 2 | - | 2 | - | 2 | - | 2 |
| 3 | Математическое моделирование | - | 25 | - | 32 | - | 27,8 | - | 28 |
| 4 | Расчет рабочих характеристик | 1 | 25 | 1 | 32 | 1 | 27,8 | 1 | 28 |
| 5 | Проектирование схемы электрического подключения | 1 | 30 | 1 | 34 | 1 | 31,6 | 1 | 32 |
| 6 | Оценка эффективности полученных результатов | 1 | 3 | 1 | 7 | 1,4 | 4,6 | 1 | 5 |
| 7 | Составление пояснительной записки | - | 7 | - | 14 | - | 9,8 | - | 10 |
| 8 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | 2 | - | 3 | - | 2,4 | - | 3 | - |
| 9 | Сдача и защита выпускной квалификационной работы | 1 | 2 | 3 | 2 | 1,4 | 2 | 2 | 2 |

Примечание: минимальное t_{\min} и максимальное время t_{\max} получены на основе экспертных оценок.

| № | Вид работ | Исп-ли | T_{pi} , раб. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------------|---------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|
| | | | | Февр. | | Март | | | Апрель | | | Май | | | Июнь | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель | 1 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Дипломник | 2 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Математическое моделирование | Дипломник | 28 | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 4 | Расчет рабочих характеристик | Руководитель | 1 | | | | ■ | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 28 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 5 | Проектирование схемы электрического подключения | Руководитель | 1 | | | | | | | ■ | | | | | | |
| | | Дипломник | 32 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| 6 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | ■ | | |
| | | Дипломник | 5 | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 7 | Составление пояснительной записки | Дипломник | 10 | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 8 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | Руководитель | 3 | | | | | | | | | | | | | ■ |
| 9 | Сдача и защита выпускной квалификационной работы | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 2 | | | | | | | | | | | | | ■ |

4.2.3. Разработка графика проведения технического проекта

По условиям раздела, перечень графических материалов включает в себя график Ганта, это наиболее удобный и при этом наглядный способ иллюстрации графика работ. Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный график, на котором работы по теме проекта представляются расположенными во времени отрезками, ограниченными сроками начала и окончания выполнения работ.

На основе таблицы 8 строим план-график проведения работ (таблица 9)

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 13 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая второй декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 108 дня. Из них:

107 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

9 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

4.3. Составление сметы затрат на разработку технического проекта

Смета затрат включает в себя следующие статьи :

- материальные затраты;
- полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.3.1. Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Канцелярский мир”.

Таблица 10 – Материальные затраты

| Наименование | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, руб. |
|--------------|------------|----------------------|-------------------------------|
| Бумага | 200 | 3 | 600 |
| Ручка | 1 | 35 | 35 |
| Папка | 1 | 60 | 60 |
| Калькулятор | 1 | 565 | 565 |
| Флеш-карта | 1 | 540 | 540 |
| Итого | | | 1800 |

4.3.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как [6]:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле [ссылка]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 11.

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | Заработная плата по тарифной ставке, руб. | Районная доплата, руб. | Месячный должностной оклад, руб. | Среднедневная заработная плата работника, руб. | Продолжительность работ, раб. дн. | Основная заработная плата, руб. |
|------------------------|---|------------------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|
| Руководитель | 33664 | 10099,2 | 43763,2 | 1683,2 | 9 | 15149,0 |
| Дипломник | 12300 | 3690,0 | 15990,0 | 615 | 107 | 65805,0 |
| Итого $Z_{осн}$, руб. | | | | | | 80954,0 |

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15) [6].

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет полной заработной платы

| Исполнители | Коэффициент дополнительной заработной платы | Основная заработная плата одного работника, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. | Полная заработанная плата, руб., руб. |
|-------------------------------|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Руководитель | 0,15 | 15149,0 | 2272,4 | 17421,4 |
| Дипломник | 0,12 | 65805,0 | 7897,0 | 73702,0 |
| Итого $Z_{\text{осн}}$, руб. | | 80954,0 | 10169,4 | 91123,4 |

4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (80954,0 + 10169,4) = 27519,3 \text{руб.}$$

4.3.4. Накладные расходы

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

4.4. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [6].

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Смета затрат технического проекта

| Наименование статьи | Сумма, тыс. руб. | Структура затрат, % |
|---|------------------|---------------------|
| 1. Материальные затраты ТП | 1,8 | 1,3 |
| 2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы | 91,1 | 63,5 |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды | 27,5 | 19,2 |
| 4. Накладные расходы | 226,0 | 16,0 |
| 5. Итого | 143,0 | 100,0 |

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 107 раб. дней для инженера и 9 для руководителя. Составлен календарный

график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 143,0 тыс. руб., из которых основная часть (63,5 %) приходится на оплату труда исполнителей.

4.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [6]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (86)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к электрооборудованию:

1. Экономичность: оптимизация затрат на основные рабочие органы установки на стадии проектирования приводит к их увеличению на доли процентов, но в долгосрочной перспективе речь идет об экономии значительных средств.

2. Гибкость: возможность модернизации установки и использование её в различных сферах деятельности.

3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического.

4. Обеспечение надлежащего уровня производительности: производительность, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 13109-97.

5. Надежность: бесперебойная работоспособность рабочего органа в пределах допустимых показателей его производительности и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и

адаптивного по конструкции техническим характеристикам элеткроборудования.

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня производительности в технологических процессах.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии | Весовой коэффициент | Балльная оценка разработки |
|--|---------------------|----------------------------|
| 1. Экономичность | 0,15 | 4 |
| 2. Гибкость | 0,10 | 4 |
| 3. Безопасность | 0,15 | 5 |
| 4. Обеспечение надлежащего уровня производительности | 0,20 | 5 |
| 5. Надежность | 0,20 | 5 |
| 6.Простота и удобство в эксплуатации | 0,05 | 5 |
| 7.Энергоэффективность | 0,15 | 4 |
| Итого: | 1,00 | |

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит [6]:

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,15 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и производительности позволяют судить об эффективности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность технологического процесса цементирования буровых скважин путем улучшения качества и экономичности при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации

5. Социальная ответственность

Целью данного раздела является обеспечение безопасности и экологичности помещения, в котором система управления электроприводом запорно-регулирующей арматуры. Будет рассматриваться обеспечение необходимых условий труда в лаборатории 253 8-го корпуса НИ ТПУ (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы трудового законодательства изложены в документе «Трудовой кодекс Российской Федерации». Согласно данному документу, виды специальных норм трудового права представляют собой следующее:

- Нормы-льготы, предоставляют дополнительные гарантии трудовых прав;

- Нормы-приспособления, подстраивают общие нормы к данным условиям труда;
- Нормы-изъятия, ограничивают общие права.

Особенности трудового законодательства, применительные к условиям выполнения исследовательской деятельности, изложенного в данной работе, дифференцируются в соответствии с условиями труда: тяжесть и вредность труда, климатические условия, прочие особенности труда...

Согласно «ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», место для работы за ПК и взаиморасположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При обустройстве рабочего места инженера, необходимо соблюсти основные условия: выбрать наилучшее местоположение оборудования и обеспечить свободное рабочее пространство.

Высота рабочей поверхности должна находиться в пределах 680-760 мм. Высота поверхности с клавиатурой должна быть примерно 650 мм. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола расположена в пределах 420-550 мм. Сиденье должно быть мягким, передний край закругленным, а спинка – регулируемой. Положение монитора определяется расстоянием считывания (0,6...0,7 м.) и углом считывания (20°). Также необходимо предусмотреть возможность регулирования монитора согласно. Рабочее место пользователя компьютера следует оборудовать подставкой для ног. Пример представлен на рисунке 44 .

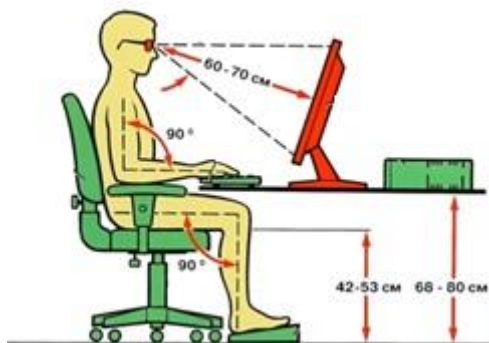


Рисунок 44 – Пример правильного расположения работника за ПК

5.2. Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при эксплуатации частотно-регулируемого электропривода.

Таблица 15 - Возможные опасные и вредные факторы

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|---|----------------|------------------|------------------|--|
| | Разрабо тка | Изготов ление | Эксплуа тация | |
| 1. Высокие уровни шума | | + | + | Требования к параметрам шума устанавливает СП 51.13330.2011. Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96 Производственная вибрация устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.566–96. ПУЭ, утвержденный министром энергетики России от 08..07.2002, №204, Глава 1.7. |
| 2. Отклонение показателей микроклимата | + | + | + | |
| 3. Сильные вибрации | | + | + | |
| 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны | | + | + | |
| 5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | + | + | + | СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение |

5.3. Описание технологического процесса и рабочего места

Технологический процесс разработки и проверки система управления электроприводом запорно-регулирующей арматуры заключается в следующем:

- Ознакомление и анализ литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике.
- Компьютерное моделирование системы управления.
- Анализ полученных результатов моделирования.
- Проверка разрабатываемой системы управления на реальном двигателе.
- Анализ полученных результатов проверки.

В описанном технологическом процессе основным оборудованием является:

- исследуемый асинхронный двигатель;
- шкаф диагностики и управления;
- преобразователь частоты;
- пользовательский компьютер;
- монитор.

5.4. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Опасными производственными факторами при системе управления электроприводом запорно-регулирующей арматуры являются: [7]

- поражения электрическим током;
- вращающиеся элементы электропривода;
- опасность загорания (пожара);

Поражение электрическим током персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок, рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

5.5. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

При эксплуатации механизмов перемещения необходимо учитывать наличие и возможность воздействия следующих вредных факторов: [7]

- повышенный уровень шума и вибрации;
- повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны и производственных помещений;
- недостаточной освещенности;
- пониженной температуры воздуха в производственных помещениях и сооружениях;

Не допускается применение в организациях вредных веществ, материалов, продукции, товаров, а также оказание услуг, для которых не разработаны методики и средства метрологического контроля, токсикологическая (санитарно-гигиеническая, медико-биологическая) оценка которых не проводилась.

5.5.1. Шум и вибрации

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Источниками звуков и шумов являются вибрирующие тела. При этом учащается пульс, дыхание, повышается

артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Источником производственного шума и вибрации являются насосы, вентиляторы, фильтры. Для защиты от шума по СанПиН [2.2.4/2.1.8.562 – 96] и вибрации по СанПиН [2.2.4/2.1.8.566 – 96] предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;
- установка звукоизолирующих кабин;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука и звукового давления на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 16[10].

Таблица 16 – Допустимые уровни звукового давления

| Помещения, рабочие места | Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | Уровни звука и эквивалентн ые уровни звука, дБА |
|---|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|---|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Помещения для инженерно-технического персонала цехов и служб | 79 | 70 | 68 | 58 | 55 | 52 | 50 | 49 | 60 |
| Помещения для размещения шумного оборудования | 94 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 70 | 80 |
| Мастерские механические и по ремонту оборудования с собственными источниками шума | 99 | 92 | 86 | 83 | 80 | 78 | 76 | 74 | 85 |
| Комнаты мастеров механической мастерской, мастеров по ремонту оборудования | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 | 65 |

Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий представлены в таблице 17[9].

Таблица 17 – Допустимые величины вибрации

| Амплитуда колебаний вибрации, мм | Частота вибрации, Гц | Скорость колебательных движений, см/с | Ускорение колебательных движений, см/с ² |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------------------|---|
| 0,6-0,4 | До3 | 1,12-0,76 | 22-14 |
| 0,4-0,15 | 3-5 | 0,76-0,46 | 14-15 |
| 0,15-0,05 | 5-8 | 0,46-0,25 | 15-13 |
| 0,05-0,03 | 8-15 | 0,25-0,28 | 13-27 |
| 0,03-0,009 | 15-30 | 0,28-0,17 | 27-32 |
| 0,009-0,007 | 30-50 | 0,17-0,22 | 32-70 |
| 0,007-0,005 | 50-75 | 0,22-0,23 | 70-112 |
| 0,005-0,003 | 75-100 | 0,23-0,19 | 112-120 |

Приведенные нормы одинаковы для горизонтальных и вертикальных вибраций. Для снижения воздействия вибрирующих машин и оборудования на организм человека применяются следующие меры и средства:

- замена инструмента или оборудования с вибрирующими рабочими органами на невибрирующие в процессах, где это возможно;
- применение виброизоляции вибрирующих машин относительно основания (например, применение рессор, резиновых прокладок, пружин, амортизаторов);
- использование дистанционного управления в технологических процессах (например, использование телекоммуникаций для управления транспортом из соседнего помещения).

5.5.2. Микроклимат

Микроклимат (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения) и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны должны быть в пределах санитарно-гигиенических норм, что обеспечивается:

- а) при незначительных перегревах воздуха и умеренных выбросах паров, газов, аэрозоля - применением организованной естественной вентиляции;
- б) при значительных уровнях теплового воздействия и выбросов загрязнителей - устройством принудительной вентиляции, обеспечивающей

снижение температуры воздуха и концентрации загрязнителей до допустимых пределов притоком свежего воздуха в рабочую зону.

Источники интенсивных выбросов загрязнителей должны оборудоваться местной вытяжной вентиляцией непосредственно от них.

При невозможности достижения нормативных показателей микроклимата воздуха рабочей зоны должна обеспечиваться защита работников средствами индивидуальной защиты и т.д..

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата

| Период Год | Категория работы | Температура, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, не более м/с |
|--------------------------|---------------------|--------------------|--|--|
| Холодный и переходный | легкая | 20-23 | 60-40 | 0,2 |
| Теплый | легкая | 22-25 | 60-40 | 0,2 |

5.5.3. Освещение

Неудовлетворительное освещение может исказить информацию, кроме того, оно вызывает утомление всего организма в целом. Освещение должно обеспечивать выполнение работы без напряжения зрения. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы[11]. Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Нормируемый показатель искусственного и естественного освещения по п.191 составляет 150 лк

5.6. Экологическая безопасность

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения.

Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях. При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной сортировки складируют в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным

требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

5.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации при эксплуатации электропривода механизма перемещения: возникновение пожара (загорания) и электропоражение.

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреват большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного участка. Согласно классификации производств по пожарной опасности рассматриваемая лаборатория относится к классу Б (наличие горючих волокон или пыли рассматриваемого участка): источником взрыва может послужить короткое замыкание или из - за нарушения электроизоляции. Кроме взрывоопасных зон имеется пожароопасная зона класса П-П. Для этих зон используется специальное оборудование во взрывозащищенном или пожаро-защищенном исполнении. Использование электрооборудование во взрыво-пожарозащищенном исполнении – одно из направлений профилактики, другое направление установка систем взрыва и пожаро-сигнализации. Такие системы должны быть установлены на объектах, где воздействие опасных факторов взрыва и пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Участок должен быть оснащен такой системой, которая включает систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний. Выбор систем взрывоподавления и пожаротушения для участка требует специального рассмотрения и расчетов.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей, организация внештатной пожарной дружины.

Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы был спроектирован и исследован асинхронный электропривод задвижки на базе мотор-редуктора BG30-27/D09LA4-TF-ZW.

В ходе выполнения работы по заданным техническим параметрам мотор-редуктора были рассчитаны параметры схемы замещения, произведено моделирование прямого пуска двигателя с целью проверки адекватности рассчитанных параметров.

Также произведена оптимизация контуров регулирования векторной системы управления, получены графики переходных процессов, доказывающие правильность настройки регуляторов.

Разработанный электропривод полностью соответствует требованиям технического задания.

В результате выполнения раздела ВКР «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, воздействующие на научного сотрудника, в момент выполнения его работы. Были предложены основные меры по профилактике и ликвидации воздействий пагубных факторов на организм человека.

Отталкиваясь от всего вышесказанного в данном разделе, можно прийти к выводу, что, с точки зрения эффективности трудовой деятельности работника, правильная организация рабочего места играет колоссальную роль. Правильные условия труда способствуют повышению эффективности и производительности работ научного сотрудника, в то же время обеспечивая его безопасность.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- анализ конкурентных решений показал, что наиболее конкурентным вариантом является преобразователь частоты, т.к. выигрывает по цене, энергопотреблению, диапазону регулирования скорости, удобству в эксплуатации и помехоустойчивости.
- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,4 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Список литературы

1. Гуревич Д.Ф., Трубопроводная арматура: Справочное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, ленинградское отделение, 1981. – 368 с.
2. Гуревич Д.Ф., Заринский О.Н., Косых С.И. и др., Трубопроводная арматура с автоматическим управлением: Справочник. – Л.: Машиностроение, ленинградское отделение, 1981. – 320 с.
3. Ковчин С. А., Сабинин Ю. А., Теория электропривода – СПб: Энергоатомиздат, 2000. – 496 с.
4. Ланграф С.В. Асинхронный моментный электропривод с векторным управлением для имитации усилий запорной арматуры магистральных нефтепроводов: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.09.03; Томский политехнический университет; науч. рук. Р. Ф. Бекишев. – Защищена 30.05.2007 г. – Томск, 2007. – 163 с.
5. Чернышев А.Ю., Чернышев И.Ю., Дементьев Ю.Н., Электропривод переменного тока: Учебное пособие. - Томск,Изд-во ТПУ 2009.- 58 с
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно – методическое пособие // И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тихватулина, З.В. Криницина; Томский политехнический университет.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.-36с
7. ГОСТ 12.0.003–74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
8. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда.
9. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
10. СНиП П-12-77. Защита от шума.
11. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.