

**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                                                                    |  |
|--------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Следящий электропривод постоянного тока дверей пассажирского транспорта</b> |  |
| УДК 681.513.3:629.4.023.17                                                     |  |

Студент

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 5Г5Б   | Якель Дмитрий Андреевич |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Однокопылов И.Г. | к.т.н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО                 | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Мелик-Гайказян М.В. | к.э.н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель ООП                                  | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------------------------------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| 13.03.02<br>Электроэнергетика и<br>электротехника | Тютеева П.В. | к.т.н.                    |         |      |

**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) Тютева 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   | Якелю Дмитрию Андреевичу |

Тема работы:

|                                                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Системы управления электроприводами запорно-регулирующей арматуры</b> |  |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                              |  |

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b>                                               | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Параметры мотор-редуктора типа Dunkermotoren GR63x55 мощностью <math>P_{2н}=100</math> Вт и скоростью <math>n_0=3350</math> об/мин.</li><li>2. Способ управления приводным двигателем – ШИМ управления.</li></ol>                                                                                     |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Обзор широтно – импульсного преобразователя.</li><li>2. Расчет параметров ДПТ НВ и естественных статических характеристик двигателя.</li><li>3. Построение переходных процессов в MathCad</li><li>4. создание имитационной модели ДПТ НВ в среде Matlab Simulink и проверка ее адекватности</li></ol> |

|                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                    | 5. Оптимизация контуров регулирования на МО<br>6. Создание имитационной модели электропривода дверей пассажирского транспорта в среде Matlab Simulink<br>7. Оценка эффективности созданной модели |
| <b>Перечень графического материала</b>                                                             |                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Раздел</b>                                                                                      | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                    | Доцент, к.э.н., Мелик-Гайказян М.В.                                                                                                                                                               |
| Социальная ответственность                                                                         | Старший преподаватель Фех А.И.                                                                                                                                                                    |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>            |                                                                                                                                                                                                   |
|                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                   |

|                                                                                                 |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Однокопылов И.Г. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 5Г5Б   | Якель Дмитрий Андреевич |         |      |

**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: | 13.06.2019 |
|------------------------------------------|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)           | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 16.04.2019    | Выбор преобразовательного устройства                            | ...                                |
| 24.04.2019    | Синтез линейной САУ РЭП                                         | ...                                |
| 06.05.2019    | Создание имитационной модели следящего электропривода           |                                    |
| 10.05.2019    | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение |                                    |
| 20.05.2019    | Социальная ответственность                                      |                                    |
| 26.05.2019    | Оформление пояснительной записки                                |                                    |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Однокопылов И.Г. | к.т.н.                 |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Руководитель ООП                               | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------------------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| 13.03.02<br>Электроэнергетика и электротехника | Тютеева П.В. | к.т.н.                 |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|               |                          |
|---------------|--------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>               |
| 5Г5Б          | Якелю Дмитрию Андреевичу |

|                            |             |                                  |                                           |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Школа</b>               | <b>ИШЭ</b>  | <b>Отделение (НОЦ)</b>           | <b>Электроэнергетики и электротехники</b> |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавриат | <b>Направление/специальность</b> | Электроэнергетика и электротехника        |

Тема ВКР:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Электропривод постоянного тока дверей пассажирского транспорта</b>                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения                                                                                                                                                 | Объектом исследования является испытательная лаборатория электрооборудования. Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. В помещении присутствует искусственное и естественное освещение. Основное рабочее оборудование - ПЭВМ. |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b><br>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства<br>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | 1. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.<br>2. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».<br>3. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.                  |
| <b>2. Производственная безопасность</b><br>– анализ выявленных вредных и опасных факторов;<br>обоснование мероприятий по снижению воздействия                                                                                                                                  | Необходимо проанализировать основные вредные и опасные факторы в машинном зале:<br>– электромагнитное поле<br>– несоответствие нормам условий микроклимата<br>– освещение<br>– поражение электрическим током                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу;</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу;</li> </ul>                                         | Необходимо рассмотреть негативное влияние машинного зала на окружающую среду, а именно: <ul style="list-style-type: none"> <li>– гидросферу;</li> <li>– литосферу;</li> <li>– атмосферу.</li> </ul> |
| <b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> </ul> разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; | Рассматриваются наиболее типичные ЧС, которые могут возникнуть в машинном зале: <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожар;</li> <li>– взрыв</li> </ul>                                         |

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 14.02.2019 |
|-------------------------------------------------------------|------------|

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 5Г5Б   | Якель Дмитрий Андреевич |         |      |

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

Студенту:

| Группа | ФИО                      |
|--------|--------------------------|
| 5Г5Б   | Якелю Дмитрию Андреевичу |

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

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|                                                                  |                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого потенциала<br>технического проекта       | Оценка потенциала и перспективности<br>реализации ТП можно оценить с<br>помощью SWOT-анализа и интегральной<br>оценки ресурсоэффективности                   |
| 2. Планирование и формирование графика работ<br>по реализации ТП | Для составления графика работ по ТП<br>используется оценка трудоёмкости<br>работ. По полученным данным строится<br>диаграмма Ганта.                          |
| 3. Формирование сметы затрат                                     | Формирование сметы технического<br>проекта:<br>- материальные затраты;<br>- заработная плата;<br>- отчисления во внебюджетные фонды;<br>- 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,<br>звание | Подпись | Дата     |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------|---------|----------|
| Доцент    | Мелик-Гайказян<br>Мария Вигеновна | к.э.н., доцент            |         | 14.02.19 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата     |
|--------|-------------------------|---------|----------|
| 5Г5Б   | Якель Дмитрий Андреевич |         | 14.02.19 |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 69 с., 37 рис., 17 табл., 29 источников.

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

Объектом исследования является следящий электропривод постоянного тока дверей пассажирского транспорта.

Цель работы – изучение системы управления электродвигателя постоянного тока при работе от датчиков положения вала ротора, как количества меток энкодера влияет на точность регулирования электропривода.

В процессе исследования проводились выбор преобразовательного устройства, расчет параметров электродвигателя, расчет статических характеристик и построение графиков переходных процессов, проверка адекватности расчетов путем имитационного моделирования, синтез контуров тока, скорости и положения, синтез нелинейной САУ РЭП с управлением от широтно – импульсного преобразователя.

Для выполнения работы была использована программная среда «Matlab», а также пакет Microsoft Office.



|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                               | 4  |
| 1.1. ОБЗОР УСТРОЙСТВА «АС – SERVO 200» .....                                                 | 5  |
| 1.1.1. Технические характеристики «АС –Servo 200» .....                                      | 5  |
| 1.1.2. Работа устройства .....                                                               | 7  |
| 1.1.3. Принцип работы ШИП .....                                                              | 8  |
| 1.1.4. Выбор закона управления.....                                                          | 13 |
| 1.2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ .....                                                       | 15 |
| 1.2.1. Паспортные данные двигателя.....                                                      | 15 |
| 1.3. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....                                        | 16 |
| 1.4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В<br>ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ.....                           | 17 |
| 1.4.1. Расчет переходных процессов в MathCad.....                                            | 17 |
| 1.5. СИНТЕЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ РЭП .....                                                    | 19 |
| 1.5.1. Расчет параметров силовой цепи .....                                                  | 19 |
| 1.5.2. Построение математической модели электродвигателя .....                               | 19 |
| 1.5.3. Система подчиненного регулирования частоты вращения ДПТ НВ ..                         | 21 |
| 1.5.4. Настройка ПИ – регулятора тока на модульный оптимум .....                             | 22 |
| 1.5.5. Настройка регулятора скорости на МО .....                                             | 24 |
| 1.5.6. Исследование нелинейной САУ электропривода .....                                      | 27 |
| 1.5.7. Исследование имитационной модели нелинейной САУ РЭП.....                              | 27 |
| 1.6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДВЕРЕЙ<br>ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В MATLAB SIMULINK ..... | 30 |
| 1.6.1. Генерация ШИМ .....                                                                   | 31 |
| 1.6.2. Расчет скорости с сигнала энкодера .....                                              | 33 |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.6.3. Переходные процессы в электроприводе пассажирского транспорта                   | 35 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ОСНОВНОЙ ЧАСТИ .....                                                     | 37 |
| 2. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....                                                     | 38 |
| Введение .....                                                                         | 38 |
| 2.1. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....                  | 38 |
| 2.2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....                                                | 40 |
| 2.2.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов.....                         | 40 |
| 2.3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ .....                                                       | 41 |
| 2.4. НЕСООТВЕТСТВИЕ НОРМАМ УСЛОВИЙ МИКРОКЛИМАТА .....                                  | 43 |
| 2.4.1. Отклонение показателей микроклимата .....                                       | 43 |
| 2.5. НЕСООТВЕТСТВИЕ НОРМАМ ОСВЕЩЕНИЯ.....                                              | 44 |
| 2.6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.....                                                            | 45 |
| 2.7. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....                                                  | 47 |
| 2.8. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....                                       | 48 |
| ВЫВОД ПО РАЗДЕЛУ .....                                                                 | 49 |
| 3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....               | 50 |
| 3.1. SWOT-АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ДВЕРЕЙ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ..... | 50 |
| 3.2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА.....                                       | 53 |
| 3.2.1 Планирование технического проекта .....                                          | 53 |
| 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....                                   | 55 |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.3 Построение графика работ .....                                                                             | 57 |
| 3.3. СОСТАВЛЕНИЕ СМЕТЫ ЗАТРАТ НА РАЗРАБОТКУ<br>ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАССАЖИРСКОГО<br>ТРАНСПОРТА ..... | 60 |
| 3.3.1 Расчет материальных затрат.....                                                                            | 60 |
| 3.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....                                              | 62 |
| 3.3.3 НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ.....                                                                                     | 63 |
| 3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА .....                                                              | 64 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                                                                             | 67 |

## **Введение**

Электропривод – энергосиловое устройство для приведения в движение машин и механизмов. Состоит из источника энергии, передаточного механизма и управляющей аппаратуры.

Электропривод один из самых энергоемких потребителей и преобразователей энергии, потребляет энергию только при движении и может использоваться с двигателем любого типа. На сегодняшний день электропривод получил широкое распространение в различных областях техники. Его компактность в связке с доступностью источника энергии позволяют применять его во всех отраслях на основных и вспомогательных операциях.

Пассажирский транспорт не является исключением. Применение регулируемого электропривода постоянного тока для приведения в движение дверей имеет ряд преимуществ по сравнению с пневмоприводами:

1. Низкое потребление электроэнергии
2. Стабильная скорость работы
3. Высокая точность работы
4. Точное позиционирование и плавное регулирование
5. Высокий КПД
6. Простота автоматизации
7. Низкий уровень шума
8. Стабильная работа при высоких и низких температурах
9. Простота конструкции

**Объектом исследования** является двигатель постоянного тока с постоянными магнитами (датчик положения ротора).

**Предметом исследования** являются цифровые системы управления ДПТ с постоянными магнитами

**Целью работы** является изучение системы управления электродвигателя постоянного тока при работе от датчиков положения вала

ротора, как количества меток энкодера влияет на точность регулирования электропривода.

**Методы исследования.** Для выполнения поставленной цели применялся теоретический метод исследования. Теоретическое исследование основано на методах имитационного моделирования.

Практическая значимость результатов ВКР. Результаты данной работы применяются для оптимизации системы управления сервоконтроллера на базе АС – Servo 200, разработанного НПФ «Мехатроника ПРО»

Задачи выпускной квалификационной работы:

- Определить необходимое преобразовательное устройство для электропривода постоянного тока и описать его основные функции и параметры
- Выбрать закон коммутации транзисторных ключей выбранного преобразовательного устройства
- Создание кинематической схемы дверей пассажирского транспорта и расчет механических параметров
- Расчет параметров двигателя
- Определение параметров силовой цепи
- Синтез и анализ линеаризованной САУ РЭП
- Создание и исследование имитационной модели системы управления электропривода

## **1.1. Обзор устройства «АС – Servo 200»**

### **1.1.1. Технические характеристики «АС –Servo 200»**

Контроллер сервопривода (сервоконтроллер) АС-Servo-200 НПФМ.421417.005 , предназначен для управления синхронными и BLDC электродвигателями, является полноценной Российской разработкой [1].

К сервоконтроллеру предусмотрено подключение следующих датчиков

1) инкрементальный энкодер – для получения сигнала скорости вращения с вала электродвигателя или выходного вала механизма;

2) внешний абсолютный энкодер с интерфейсом SSI, который может быть установлен на выходном валу рабочего органа.

В сервоконтроллере реализованы следующие аппаратные защиты:

- защита силовых ключей инвертора от сквозного тока;
- защита от короткого замыкания – максимально-токовая;

В штатное ПО сервоконтроллера встроены следующие программные защиты [1]:

- от превышения тока нагрузки (время-токовая защита);
- защита силовых ключей инвертора от перенапряжений в звене постоянного тока;
- защита силовых ключей инвертора от перегрева;
- защита от пониженного напряжения силового питания;
- от обрыва фаз силовой сети или чрезмерного понижения напряжения сети;
- от обрыва одной или нескольких фаз электродвигателя.

Основные технические параметры AC – Servo 200 представлены в таблице 1.

| Параметр                                       | описание                                |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Питание                                        | Исполнение AC-Servo-200:<br>18-100 VDC  |
| Основные типы двигателей                       | Двигатель постоянного тока              |
| Допустимый выходной ток (действующее значение) | Длительный 12 А<br>Кратковременный 25 А |
| Интерфейс датчиков обратной связи              | Инкрементальный энкодер 5 В             |

|  |                                                                                                |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | SSI (синхронно – последовательный интерфейс)<br>Датчики Холла 5В<br>Синусно-косинусный энкодер |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 1.1.2. Работа устройства

Сервоконтроллер представляет собой электронное устройство предназначенное для управления и защиты трёхфазным синхронным электродвигателем. На разъем ХТ1 подаётся постоянное напряжение в диапазоне, зависящем от исполнения сервоконтроллера. К разъему ХТ2 подключается электродвигатель [1].

При динамическом торможении возможны три способа утилизации генерируемой энергии:

использование аккумуляторных батарей для питания сервоконтроллера. Генерируемая энергия поглотится аккумулятором;

использование тормозного резистора. Этот вариант, только при не продолжительных и редких режимах динамического торможения без отдачи энергии в бортовую сеть;

использование внешнего тормозного резистора. При частых и продолжительных режимах динамического торможения необходимо вместо установленного тормозного резистора подключить более мощный тормозной резистор, подходящей мощности.

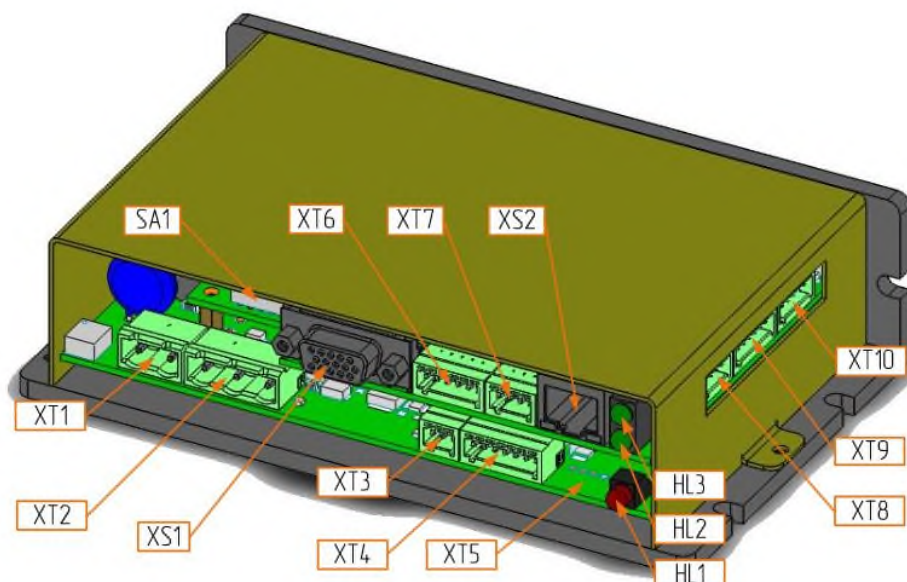


Рисунок 1 - Расположение разъемов.

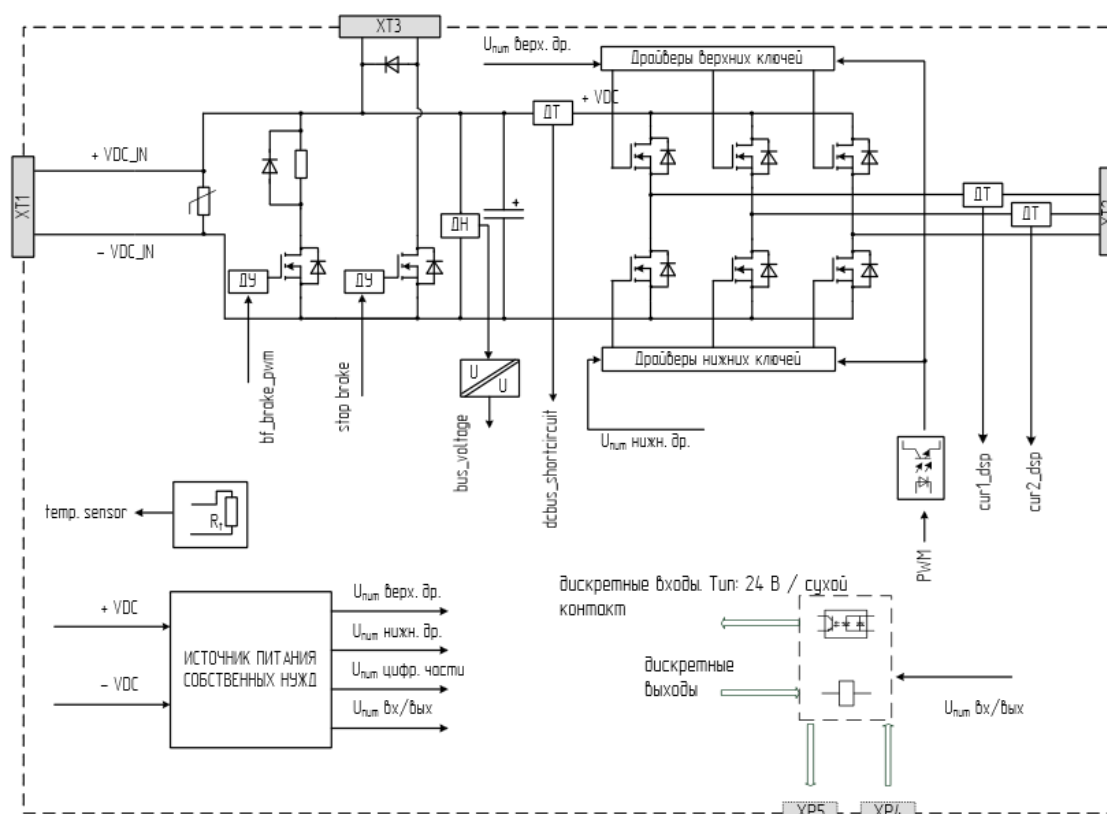


Рисунок 2 – Функциональная схема силовой платы

### 1.1.3. Принцип работы ШИП

Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) связывают источник постоянного тока с двигателем постоянного тока. Они должны обладать следующими свойствами [2]:



- двусторонней проводимостью энергии между источником питания и исполнительным двигателем, являющимся нагрузкой преобразователя, для обеспечения его работы во всех квадрантах механической характеристики;
- малым и не зависящим от тока выходным сопротивлением для получения механических характеристик, близких к естественным, и, в конечном счете, для получения хороших статических и динамических характеристик электропривода;
- жесткой внешней характеристикой и малой инерционностью, высоким КПД, достаточной перегрузочной способностью для обеспечения необходимых форсировок в переходных режимах работы привода;
- высокой помехозащищенностью и надежностью, малой массой и габаритами, отсутствием влияния на сеть.

Упрощенная принципиальная схема ШИП представлена на рисунке 3. Она содержит четыре транзисторных ключа ТК1-ТК4. В диагональ моста образованного транзисторными ключами включена нагрузка, эквивалентная двигателю постоянного тока с регулированием по цепи якоря.

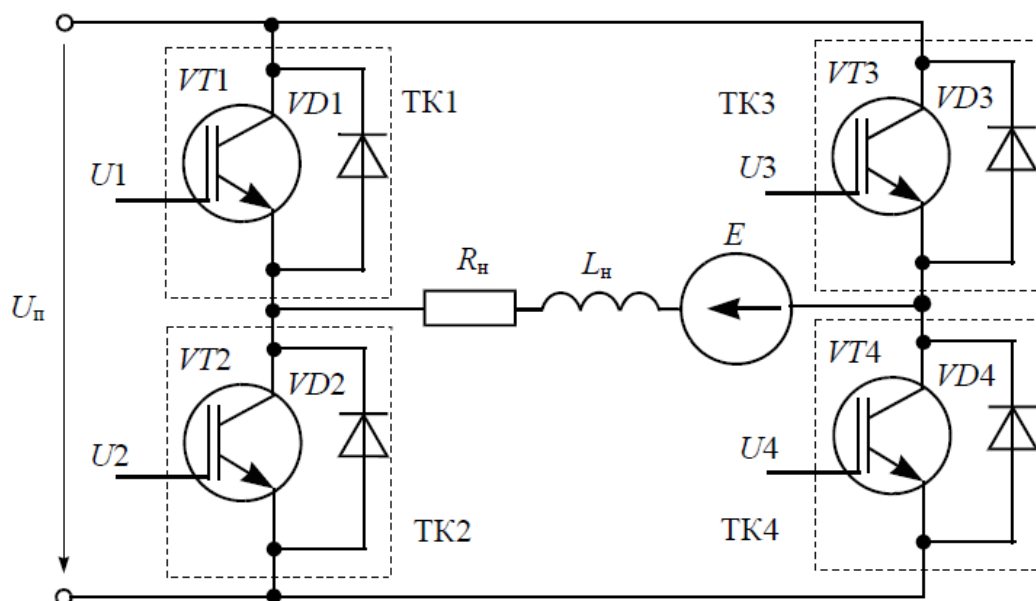


Рисунок 3 – Принципиальная схема ШИП.

Наиболее простой способ управления ШИП по цепи якоря – симметричный, когда в состоянии переключения находятся все четыре транзистора моста, а напряжение на выходе ШИП представляет собой знакопеременные импульсы, длительность которых регулируется входным сигналом. Преимуществом симметричного метода управления является простота реализации и отсутствие зоны нечувствительности в регулировочной характеристике. К недостаткам относят двухполярное напряжение на нагрузке и связанные с этим повышенные пульсации тока нагрузки [2].

Временные диаграммы ШИП при симметричном способе управления приведены на рисунке 4. При включении диагонали моста  $VT1$ ,  $VT4$  и выключении  $VT2$ ,  $VT3$ , образуется цепь  $+U_n$ ,  $VT1$ ,  $J_n$ ,  $L_n$ ,  $E$ ,  $VT4$ ,  $-U_n$  для протекания тока нагрузки. К нагрузке в этом интервале прикладывается напряжение, а ток увеличивается от  $I_{\min}$  до  $I_{\max}$ . На транзисторах  $VT2$ ,  $VT3$  напряжение равно  $U_n$ . Это напряжение является отрицательным для диодов  $VD2$ ,  $VD3$ , и ток через них равен 0. При включении диагонали  $VT2$ ,  $VT3$  и выключении  $VT1$ ,  $VT4$  ток, поддерживаемый индуктивностью нагрузки, продолжает протекать в том же направлении по цепи  $-U_n$ ,  $VD2$ ,  $R_n$ ,  $L_n$ ,  $E$ ,  $VD3$ ,  $+U_n$ , в которой ток нагрузки протекает навстречу э.д.с. и источнику питания. На этом интервале напряжение на нагрузке изменяет знак, а ток уменьшается [2].

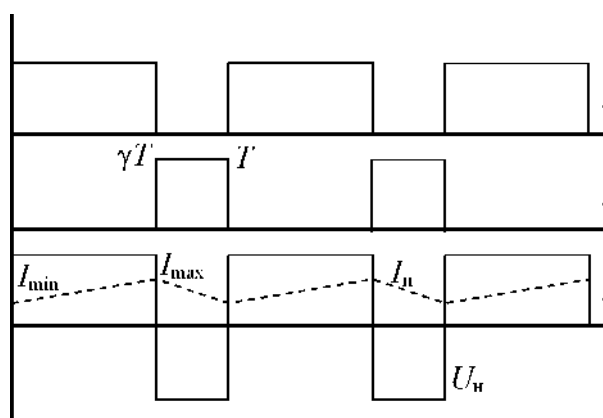


Рисунок 4 – Временные диаграммы ШИП.

Несимметричное управления представлено на рисунке 4. В этом случае переключаются транзисторные ключи фазной группы  $VT3$  и  $VT4$ , транзисторный ключ  $VT1$  постоянно открыт и насыщен, а ключ  $VT2$  постоянно закрыт. Транзисторные ключи  $VT3$  и  $VT4$  переключаются в противофазе, обеспечивая протекание тока якоря от противо – ЭДС двигателя. При это на выходе ШИП формируются однополярные импульсы и среднее напряжение на выходе равно нулю, когда относительная продолжительность включения одного из нижних по схеме (схема) транзисторов  $\gamma_0 = 0$ .

Недостатком данного способа управления является то, что верхние по схеме ключи ( $VT1$ ,  $VT3$ ) по току загружены больше чем нижние.

Поочередный способ управления. Здесь при любом знаке входного сигнала в состоянии переключения находятся все четыре транзисторных ключа моста, при этом частота переключения каждого из них в два раза меньше частоты напряжения на выходе. Управляющие напряжения транзисторных ключей одной фазы моста  $VT1$ ,  $VT2$  и  $VT3$ ,  $VT4$  постоянно находятся в противофазе; при этом ключи переключаются через период выходного напряжения  $T$ . Этим достигаются одинаковые условия работы полупроводниковых приборов в мостовой схеме.

При некотором знаке входного сигнала управляющие импульсы  $u_1$ ,  $u_4$  длительностью  $t = (1 + \gamma)T$  подаются на диагонально расположенные транзисторные ключи (рисунок 3) со сдвигом на полпериода, а управляющие импульсы  $u_2$ ,  $u_3$  длительностью  $t = (1 - \gamma)T$ , также со сдвигом на полпериода, подаются на транзисторы противоположной диагонали ( $VT1$ ,  $VT3$ ). В этом случае на интервале нагрузка подключена к источнику питания с помощью диагонально расположенных ключей, а на интервале  $(1 - \gamma)T$  нагрузка закорочена с помощью верхних или нижних транзисторных ключей. При изменении знака входного сигнала порядок управления диагональными ключами изменяется на противоположный. При поочередном управлении на

нагрузке формируются однополярные импульсы длительностью  $T$ , пропорциональной сигналу на входе.

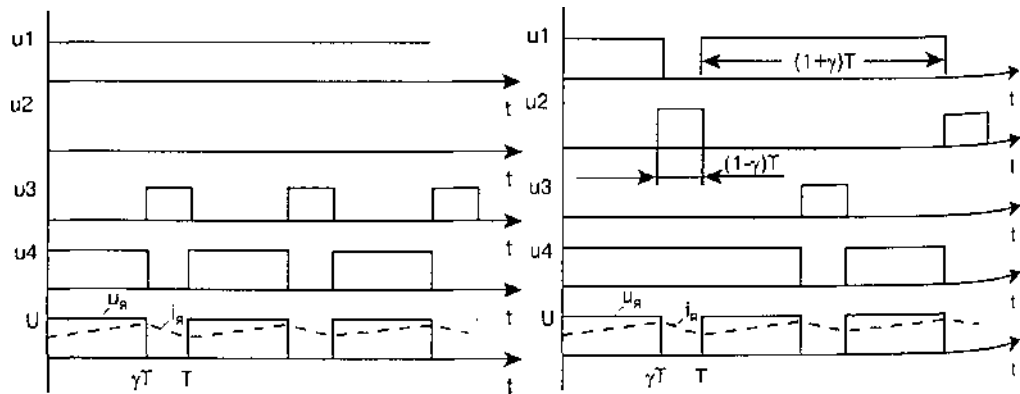


Рисунок 5 – а) ассиметричное управление б) поочередное управление.

Обобщенная функциональная схема управления транзисторным ШИП изображена на рисунке 5. Генератор пилообразного напряжения (ГПН), тактируемый генератором импульсов (Г), вырабатывает пилообразное напряжение. Схема сравнения (СС) представляет собой релейный элемент, который переключается с плюса на минус и обратно, в момент равенства  $U_{ГПН} = U_{упр}$ . Для управления ШИП распределитель импульсов (РИ) имеет прямой и инверсные выходы. Эти импульсы, усиленные усилителем (У), поступают на базы транзисторов диагоналей моста в противофазе (рисунок 6) [4].

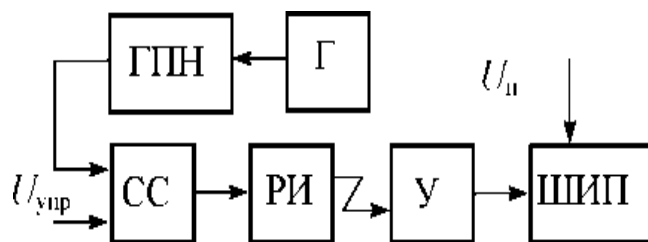


Рисунок 5 – Функциональная схема ШИП

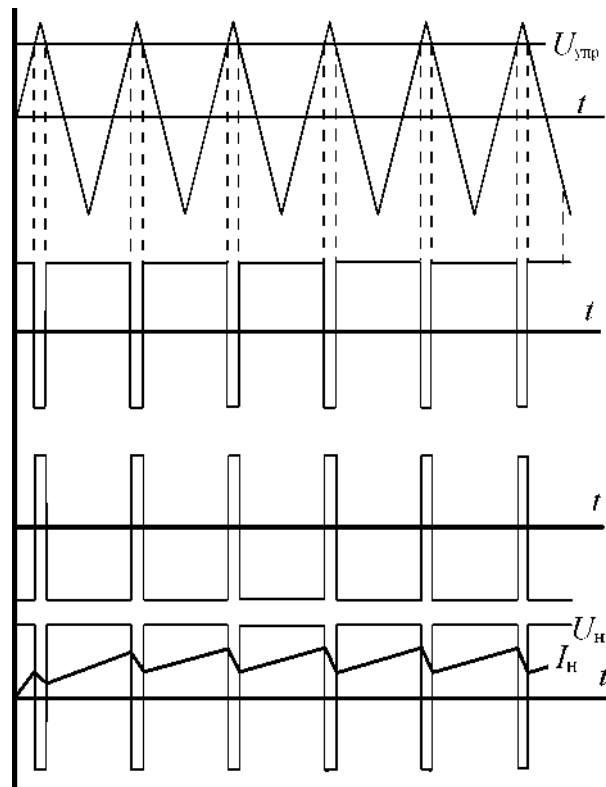


Рисунок 6 – Управляющие импульсы.

#### 1.1.4. Выбор закона управления

Закон управления выбирается исходя из технической реализации устройства. Так как в устройстве используются транзисторные ключи с п – каналом, то для того чтобы держать затвор транзистора в открытом состоянии необходимо подавать на него повышенное напряжение.

Одним из решений для подачи повышенного напряжения на затвор транзистора является использование драйверов International Rectifier с бутстрэпной схемой для верхнего плеча (рисунок 7).

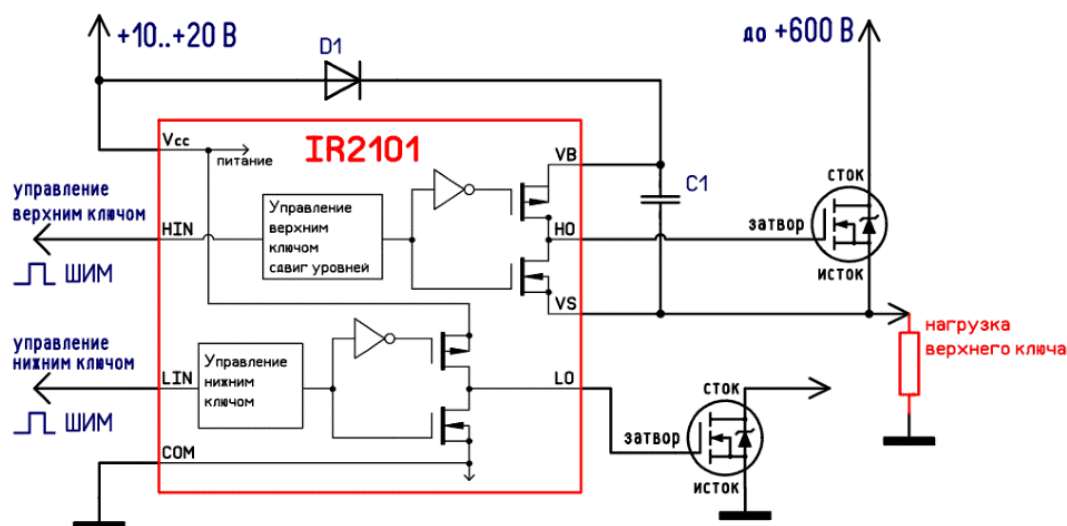


Рисунок 7 – Схема подключения драйвера.

Нижний ключ работает по следующему принципу: выход LO в зависимости от логического уровня на входе LIN подключается либо к линии питания Vcc, что обеспечивает заряд затвора управляемого транзистора, либо к "земле" (com) что обеспечивает его разряд.

Управление для нижнего ключа имеет ряд особенностей. Схема имеет два дополнительных входа: VS и VB. Вход VS соединяется с истоком n-канального транзистора, а в такой схеме включения исток обращён к нагрузке. Когда на входе HIN низкий уровень, выход HO соединяется с входом VS и затвор разряжается. Напряжение же для заряда затвора берётся со входа VB. Очевидно, что когда транзистор открыт, напряжение на входе VB должно превышать напряжение питания, чтобы поддерживать затвор открытым.

Чтобы обеспечить повышенное напряжение и используется как раз та самая бутстрэпная схема, представляющая из себя диод D1 и конденсатор C1 [5].

В тот момент, когда верхний ключ закрыт, конденсатор C1 заряжается через диод D1 и нагрузку, подключенную к транзистору. Когда же транзистор открыт, этот конденсатор своим зарядом обеспечивает повышенное напряжение на входе VB.

При использовании данной схемы заряд конденсатора со временем теряется на токи утечки, а значит схема должна работать в импульсном режиме, чтобы конденсатор успевал подзаряжаться. Исходя из того, что необходимо держать нижние ключи открытыми для зарядки конденсатора выбирается симметричный способ управления ШИП.

## 1.2. Расчет параметров двигателя

### 1.2.1. Паспортные данные двигателя

В комплекте с AC –Servo 200 используется двигатель постоянного тока Dunkermotoren Gr 63x55, паспортные данные которого приведены в таблице 2.

Таблица 2 – паспортные данные ДПТ

| Параметр                                        | Единицы измерения |                    |
|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Номинальное напряжение<br>$U_n$                 | $B$               | 24                 |
| Номинальный ток $I_n$                           | $A$               | 4,9                |
| Номинальный момент $M_n$                        | $Hm$              | 0,27               |
| Номинальная скорость $n_n$                      | $Об/мин$          | 3350               |
| Скорость холостого хода                         | $Об/мин$          | 3650               |
| Номинальная мощность $\omega$                   | $Bm$              | 100                |
| Горячее сопротивление<br>обмотки якоря $R_{оя}$ | $Ом$              | 0,48               |
| Индуктивное сопротивление<br>обмотки якоря $L$  | $мГн$             | 1,5                |
| Пусковой ток $I_0$                              | $A$               | 40                 |
| Инерция ротора                                  | $кг \cdot м^2$    | $75 \cdot 10^{-6}$ |

Рассчитываем параметры электродвигателя [6].

Номинальная угловая частота вращения электродвигателя:

$$\omega = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 3350}{30} = 350,8 \text{ } c^{-1}$$

КПД электродвигателя:

$$\eta = \frac{P_H}{U_n I_n} = \frac{100}{24 \cdot 4,9} = 0,85$$

Активное сопротивление обмотки якоря в горячем состоянии:

$$R_{гор} = 1,24(R_{оя} + R_{он}) = 1,24(0,48 + 0,03) = 0,6 \text{ Ом}$$

Коэффициент связи:

$$c = \frac{U_n - R I_n}{\omega} = \frac{24 - 0,6 \cdot 4,9}{350,8} = 0,06$$

Номинальный электромагнитный момент:

$$M_\gamma = c I_n = 0,06 \cdot 4,9 = 0,294 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальный момент:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega} = \frac{100}{350,8} = 0,285 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

### 1.3. Статические характеристики электродвигателя

Уравнения статических характеристик ДПТ НВ получаются из исходных дифференциальных

$$\begin{cases} U = R_{дв} \cdot i(t) + L_{дв} \cdot \frac{di(t)}{dt} + c \cdot \omega(t) \\ c \cdot i(t) - M_C = J_{дв} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} \end{cases}$$

при времени, стремящемся к бесконечности  $t \rightarrow \infty$ , то есть, приравнявая производные к нулю  $\frac{d}{dt} \rightarrow 0$ :

$$\begin{cases} U = R_{дв} \cdot i + c \cdot \omega \\ M - M_C = 0 \end{cases}.$$

Откуда следует, что в установившемся режиме работы двигателя электромагнитный момент будет равен моменту нагрузки  $M_{уст} = M_C$ , а уравнение статической электромеханической характеристики:



$$\omega(i) = \frac{U - R_{\text{ДВ}} \cdot i}{c}.$$

Статическая механическая характеристика может быть получена из электромеханической при подстановке  $i = M / c$ :

$$\omega(M) = \frac{U}{c} - \frac{R_{\text{ДВ}} \cdot M}{c^2}.$$

Расчёт естественной (при номинальных параметрах ДПТ) характеристики двигателя dunkermotoren gr63x55:

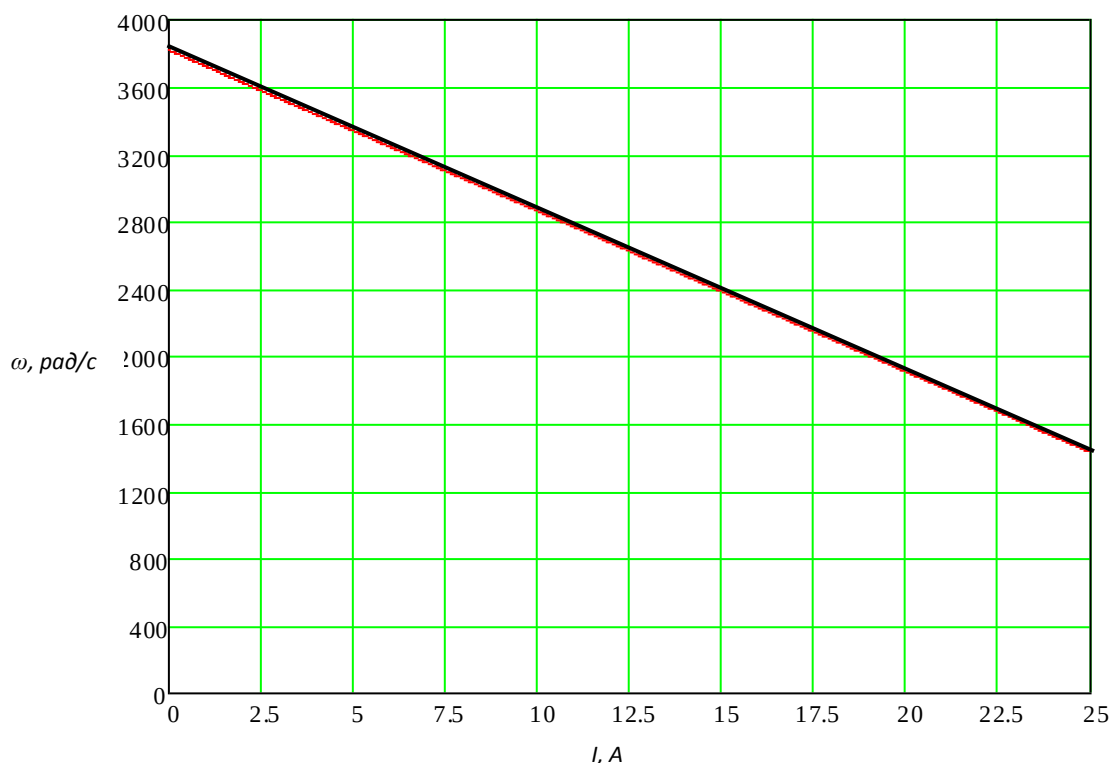


Рисунок 8 – Статические характеристики электродвигателя.

## 1.4. Моделирование переходных процессов в электродвигателе

### 1.4.1. Расчет переходных процессов в MathCad

Воспользуемся численным методом Эйлера для для решения СДУ и построения характеристик переходных процессов в двигателе [7].

Алгоритм метода Эйлера в MathCad:

$$\begin{pmatrix} t_{k+1} \\ i_{k+1} \\ \omega_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_k + h \\ i_k + h \cdot \left( \frac{U}{L} - \frac{R}{L} \cdot i_k - \frac{c}{L} \cdot \omega_k \right) \\ \omega_k + h \cdot \left( \frac{c}{J} \cdot i_k - \frac{Mc(t_k)}{J} \right) \end{pmatrix}$$

Переходные процессы при решении методом Эйлера представленных на рисунках 9 и 10.

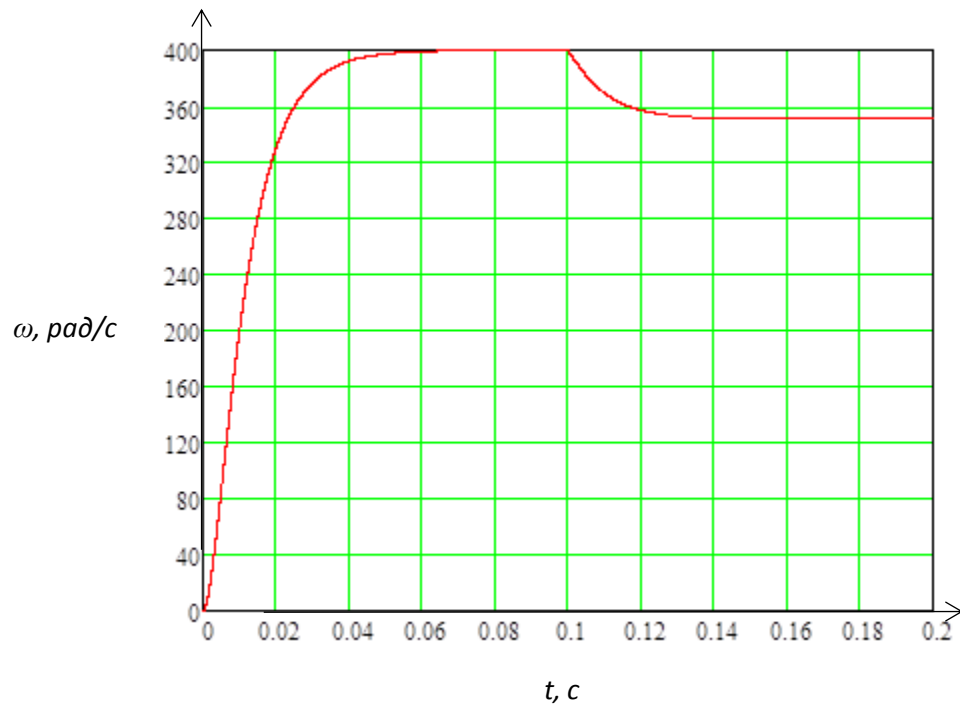


Рисунок 9 - Переходные процессы по скорости.

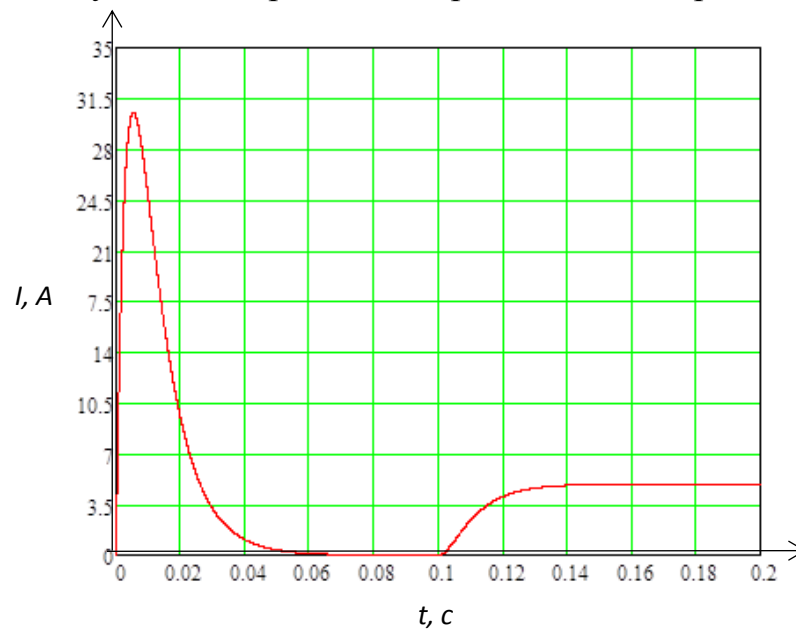


Рисунок 10 – Переходный процесс тока.

## 1.5. Синтез линейризованной САУ РЭП

### 1.5.1. Расчет параметров силовой цепи

Индуктивность в цепи якоря [6]:

$$L_{яц} = L_{\partial в} + 0,2L_{\partial в} = 0,0015 + 0,2 \cdot 0,0015 = 0,0018 \text{ Гн}$$

Сопротивление в цепи якоря:

$$R_{яц} = R_{\text{сop}} = 0,6 \text{ Ом}$$

Электромагнитная постоянная времени цепи якоря:

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0,0018}{0,6} = 0,003 \text{ с}$$

Эквивалентный момент инерции принимается следующий:

$$J_{\text{э}} = 2J = 2 \cdot 75 \cdot 10^{-6} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Постоянная времени преобразователя:

$$T_{np} = \frac{1}{2 \cdot F_{\text{ком}}} = \frac{1}{2 \cdot 20000} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$$

где  $F_{\text{ком}}$  частота работы коммутации ШИП равная 20кГц.

Коэффициент усиления преобразователя:

$$K_{np} = \frac{c \cdot 1,5 \cdot \omega}{1} = \frac{0,06 \cdot 1,5 \cdot 350,8}{1} = 31,57$$

### 1.5.2. Построение математической модели электродвигателя

Возьмем следующую систему уравнений двигателя:

$$\begin{cases} U = R_{\text{дв}} \cdot i(t) + L_{\text{дв}} \cdot \frac{di(t)}{dt} + c \cdot \omega(t) \\ c \cdot i(t) - M_c = J_{\text{дв}} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} \end{cases}$$

Применим к ней прямое преобразование Лапласа с нулевыми начальными условиями:

$$\begin{cases} U(p) = R_{\text{дв}} \cdot I(p) + L_{\text{дв}} \cdot p \cdot I(p) + c \cdot \omega(p) \\ c \cdot I(p) - M_c(p) = J_{\text{дв}} \cdot p \cdot \omega(p) \end{cases}$$

Сгруппируем слагаемые в первом уравнении:

$$\begin{cases} U(p) = I(p) \cdot (R_{\text{дв}} + L_{\text{дв}} \cdot p) + c \cdot \omega(p) \\ c \cdot I(p) - M_c(p) = J_{\text{дв}} \cdot p \cdot \omega(p) \end{cases}$$

Для составления структурной схемы выражаем из одного операторного уравнения изображение якорного тока, а из второго – угловую частоту вращения вала двигателя, при этом в полученных уравнениях должны фигурировать операции деления на оператор Лапласа:

$$\begin{cases} I(p) = \frac{U(p) - c \cdot \omega(p)}{R_{\text{дв}} + L_{\text{дв}} \cdot p} = [U(p) - c \cdot \omega(p)] \cdot \frac{1}{R_{\text{дв}} + L_{\text{дв}} \cdot p} \\ \omega(p) = \frac{c \cdot I(p) - M_c(p)}{J_{\text{дв}} \cdot p} = [c \cdot I(p) - M_c(p)] \cdot \frac{1}{J_{\text{дв}} \cdot p} \end{cases}$$

Начнём составлять структурную схему ДПТ НВ, начиная с первого уравнения, в котором присутствует изображение входного напряжения.

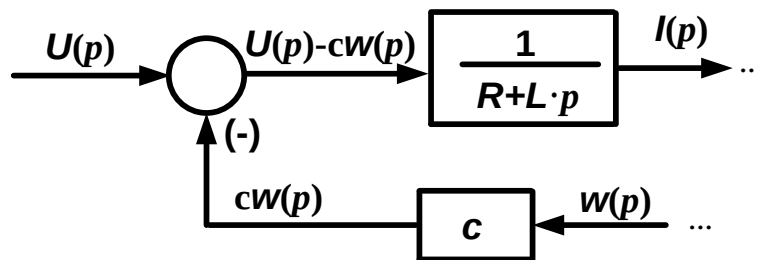


Рисунок 11

Используя второе оставшееся уравнение для скорости, строим окончательный вариант структурной схемы.

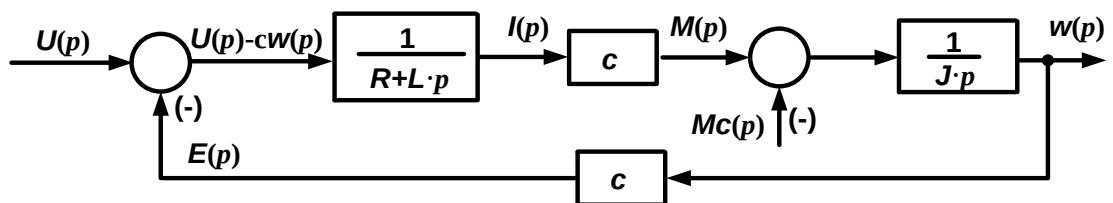


рисунок 12

Производим имитационное моделирование полученной структурной схемы, представленной на рисунке 13, в программной среде MATLAB Simulink, используя параметры двигателя, принятые ранее при моделировании в MathCAD.

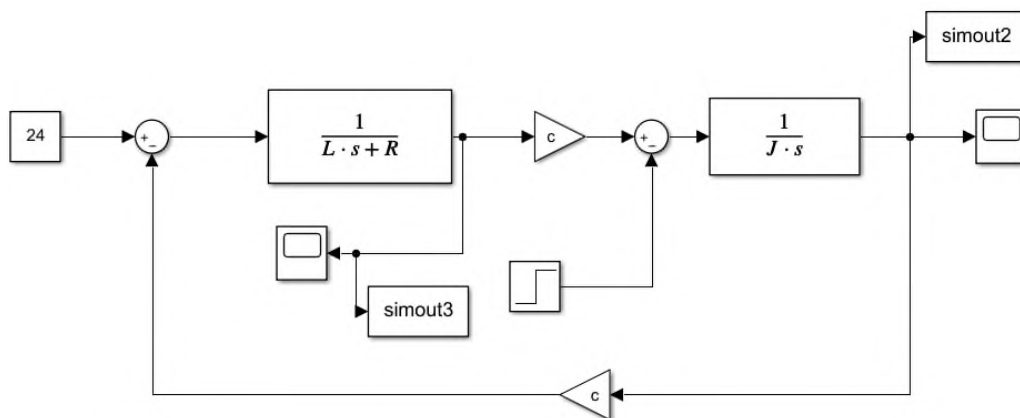


Рисунок 13 – Имитационная модель электродвигателя.

Результаты имитационного моделирования, представленных на рисунке 14, полностью совпадают с решением дифференциальных уравнений в среде MathCAD, что позволяет утверждать о правильности составленной структурной схемы двигателя.

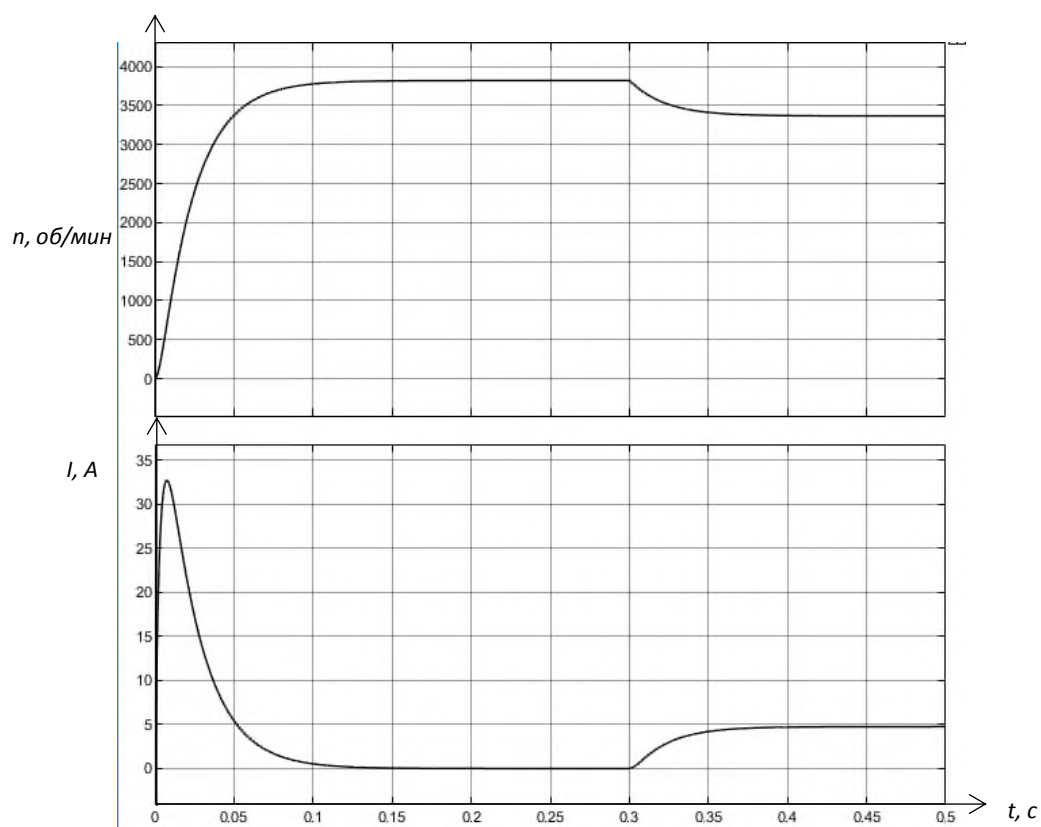


Рисунок 14 – Переходные процессы скорости и тока в электродвигателе, полученные имитационным моделированием.

### 1.5.3. Система подчиненного регулирования частоты вращения ДПТ НВ

Системы подчиненного регулирования предназначены для автоматического регулирования и стабилизации выходной координаты замкнутой системы управления. В случае электропривода постоянного тока в качестве выходной переменной выступает частота вращения вала двигателя.

Система автоматического регулирования скорости двигателя постоянного тока обычно выполняется по двухконтурной структуре с отрицательными обратными связями по току и скорости (рисунок 15).

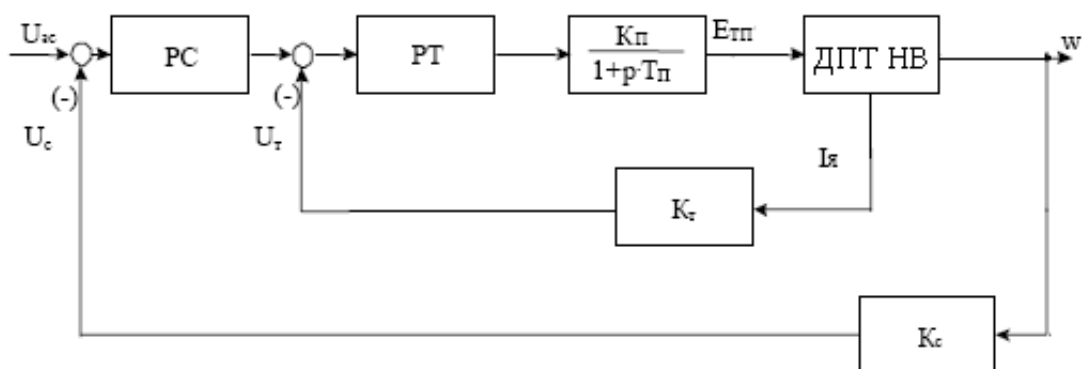


Рисунок 15 – Схема системы подчинённого регулирования ДПТ НВ.

Подобная структура системы управления получила название «подчиненная», так как в ней один из контуров (внутренний контур тока якоря) подчиняется внешнему контуру регулирования скорости двигателя.

Оптимизацию контуров регулирования (настройку коэффициентов регуляторов) проводят последовательно от внутреннего к внешнему.

#### 1.5.4. Настройка ПИ – регулятора тока на модульный оптимум

Оптимизацию контура тока будем проводить по методике представленной в [6].

В системе электропривода с отсутствующей положительной обратной связью по скорости, обратная связь по ЭДС двигателя не учитывается при оптимизации контура тока, что соответствует работе электродвигателя с заторможенным валом.

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 16.

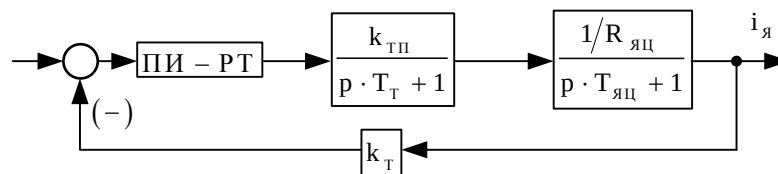


Рисунок 16 – Структурная схема контура тока при заторможенном вале электродвигателя.

Рассчитываем коэффициенты регуляторов.

Малая постоянная времени контура тока:

$$T_{\mu t} = T_{np} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$$

Коэффициент обратной связи по току:

$$K_{ток} = \frac{1}{I_{\max}} = \frac{1}{25} = 0,04$$

Где  $I_{\max}$  максимальный ток преобразователя частоты равный 25 А.

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$K_{ус.ток} = \frac{T_{яц} R_{яц}}{K_{np} K_{ток} a_m T_{\mu t}} = \frac{0,003 \cdot 0,6}{31,57 \cdot 0,04 \cdot 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}} = 28,5$$

Имитационная модель контура тока, созданная в среде Matlab Simulink, представлена на рисунке 17.

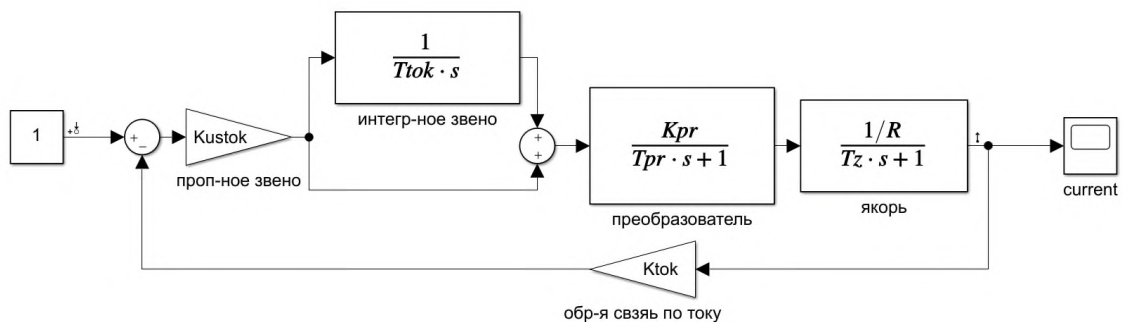


Рисунок 17 – Имитационная модель контура тока.

Ожидаемые показатели качества:

$$t_{PY1}^{(5)} = 4,1 T_{\mu ток} = 4,1 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} = 0,0001 \text{ с} - \text{ время первой реакции}$$

$$t_{PY2}^{(5)} = t_{PY1}^{(5)} = 0,0001 \text{ с} - \text{ время второй реакции}$$

$$\sigma = 4,32\% - \text{ перерегулирование}$$

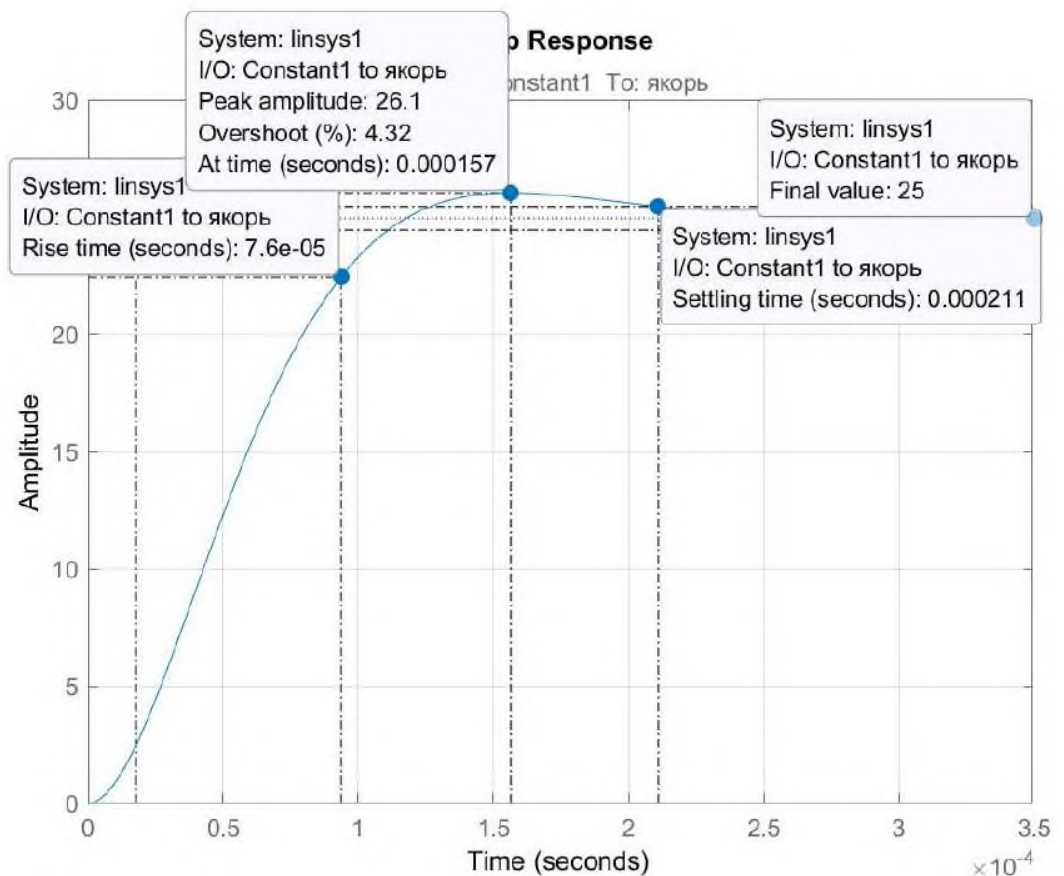


Рисунок 18 – Переходный процесс оптимизированного на МО контура тока при управляющем воздействии равном 1.

Показатели качества имитационной модели:

$t_{PY1}^{(5)} = 0,000157$  с - время первой реакции

$t_{PY2}^{(5)} = t_{PY1}^{(5)} = 0,000157$  с - время второй реакции

$\sigma = 4,32\%$  - перерегулирование

Ожидаемые и имитационные результаты настройки регулятора тока на МО совпали.

### 1.5.5. Настройка регулятора скорости на МО

Оптимизация контура скорости проводится по той же методике, что и оптимизация контура тока.



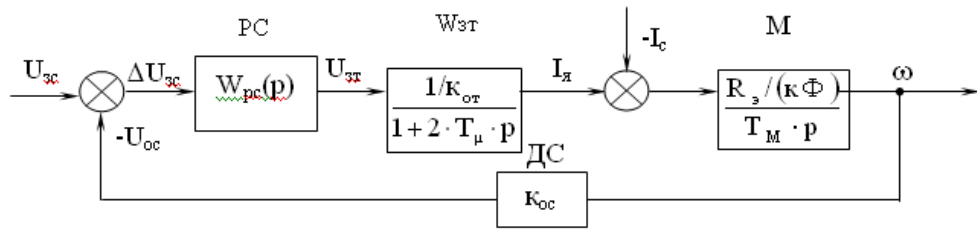


Рисунок 19 – Структурная схема П-регулятора скорости настроенного на МО.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_c = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{350,8} = 2,851 \cdot 10^{-3}$$

Коэффициент усиления регулятора скорости:

$$K_{yc.c} = \frac{J_s K_{ток}}{c K_c 4 T_{ток}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,04}{0,06 \cdot 2,851 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 0,003} = 2,92$$

Постоянная времени регулятора скорости:

$$T_c = 8 \cdot T_{ток} = 8 \cdot 0,003 = 0,024 \text{ с}$$

Модель созданная в среде Matlab Simulink представлена на рисунке

20.

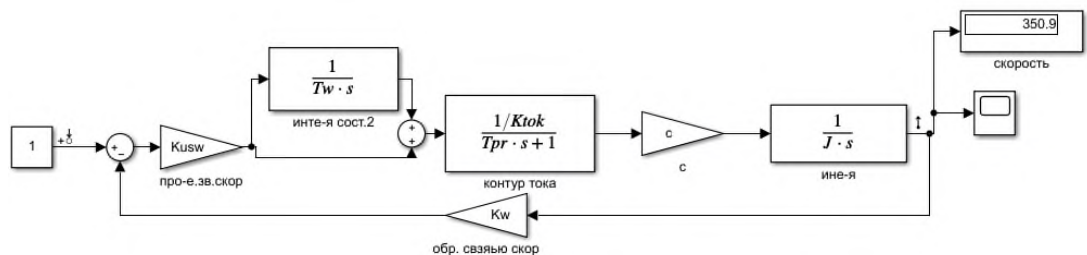


Рисунок 20 – Имитационная модель контура скорости.

Ожидаемые показатели качества:

$$t_{PY1}^{(5)} = 7T_{\mu ток} = 7 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} = 0,000175 \text{ с} - \text{время первой реакции}$$

$$t_{PY2}^{(5)} = 12T_{\mu т} = 12 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} = 0,0003 \text{ с} - \text{время второй реакции}$$

$$\sigma = 8,1\% - \text{перерегулирование}$$

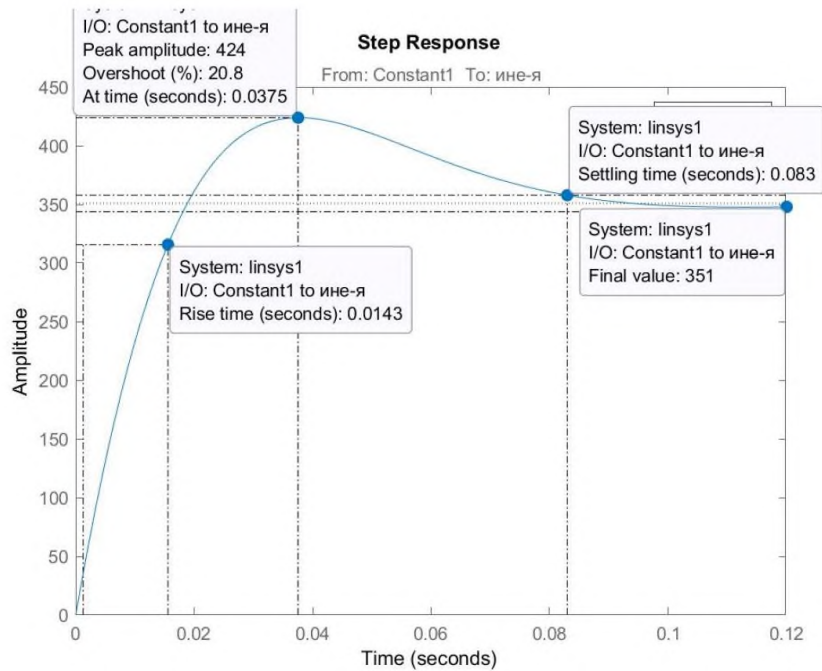


Рисунок 21 – Переходный процесс в контуре скорости.

Показатели качества имитационной модели:

$$t_{PY1}^{(5)} = 0,0131 \text{ с} - \text{время первой реакции}$$

$$t_{PY2}^{(5)} = 0,157 \text{ с} - \text{время второй реакции}$$

$$\sigma = 20,8\% - \text{перерегулирование}$$

Результаты показателей качества регулирования, таких как перерегулирование и время реакций, имитационного моделирования и ожидаемые сильно разнятся, в виду допущений принятых при оптимизации контура скорости: контур тока представлен в виде апериодического звена первого порядка, ЭДС двигателя не учитывается.

Для того чтобы снизить перерегулирование ставим на входе регулятор апериодический фильтр (рисунок 22).

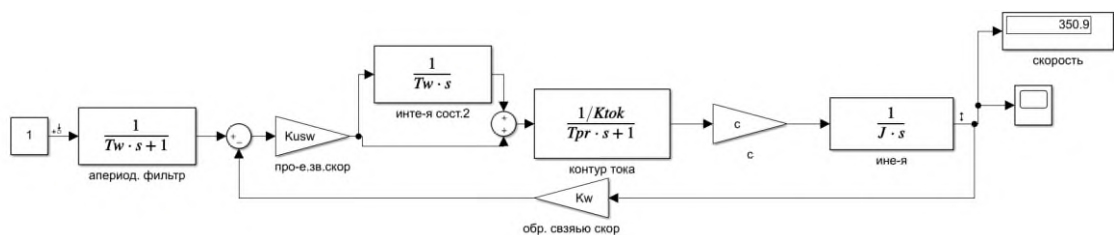


Рисунок 22 – ПИ – регулятор скорости с апериодическим фильтром на входе.

Как видно из рисунка 23 время первой и второй реакции увеличилось, а перерегулирование значительно снизилось до 4,32%.

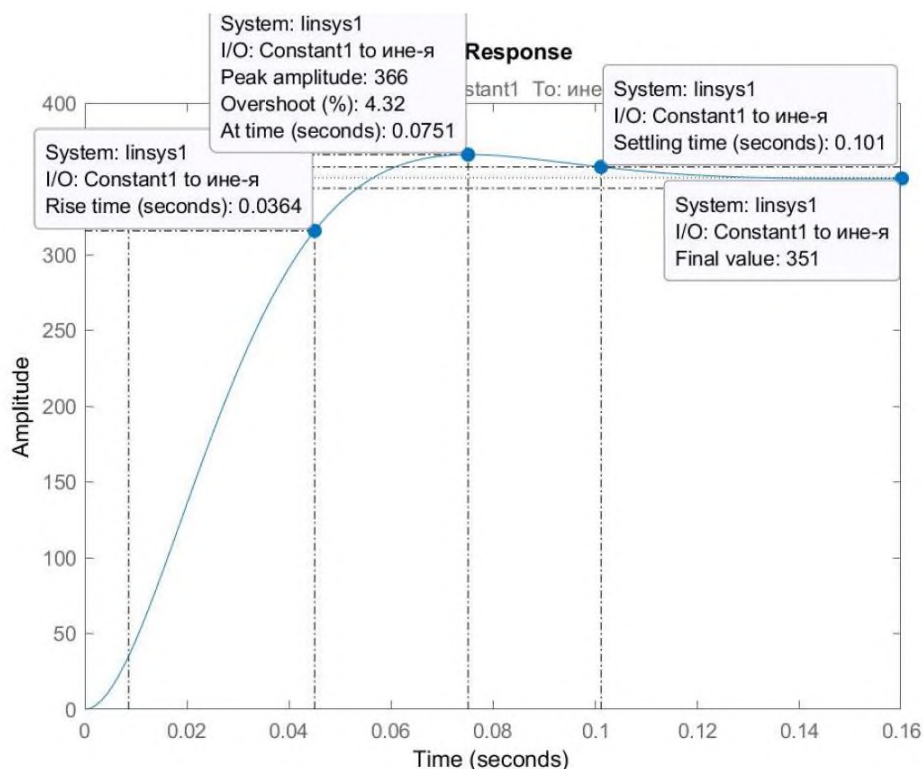


Рисунок 23 – Переходный процесс в контуре скорости с апериодическим фильтром

### 1.5.6. Исследование нелинейной САУ электропривода

Основные нелинейности характеристик элементов САУ РЭП [6]:

- Насыщение регуляторов тока и скорости
- Характеристика устройства постоянного токоограничения. Реализованного с помощью ограничения выходного напряжения регулятора скорости.

### 1.5.7. Исследование имитационной модели нелинейной САУ РЭП

Создаем в среде Matlab Simulink имитационную модель электропривода с использованием ПИ-регуляторов скорости и тока оптимизированных на МО. [8]

Модель нелинейной САУ электропривода изображена на рисунке 24.



На рисунках 26 и 27 изображены нелинейные регуляторы скорости и тока [9], насыщение которых регулируется блоком saturation.

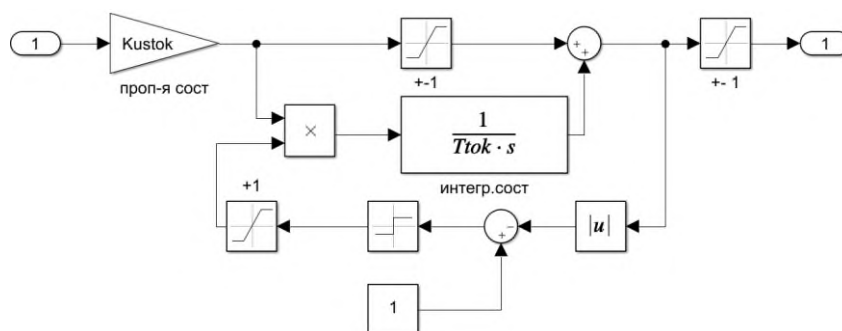


Рисунок 26 – Нелинейный регулятор скорости

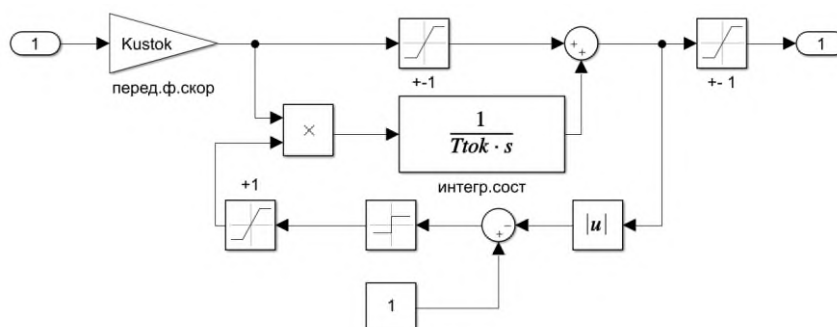


Рисунок 27 – Нелинейный регулятор тока

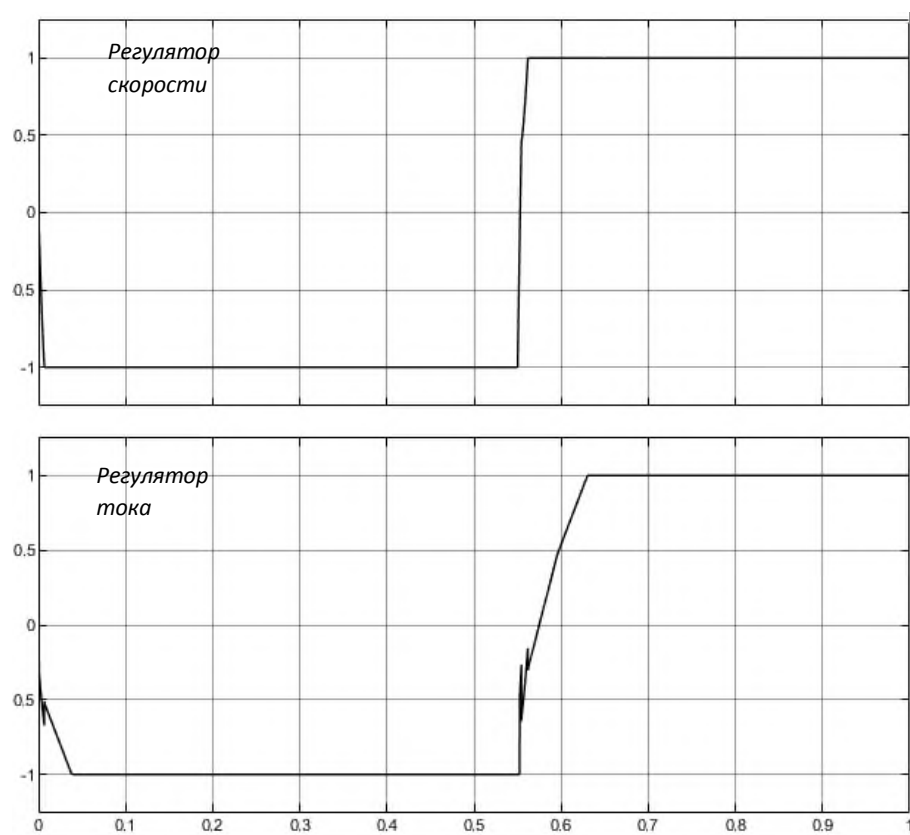


Рисунок 28 – Регуляторы в насыщении

## 1.6. Моделирование электропривода дверей пассажирского транспорта в Matlab Simulink

При моделировании электропривода дверей пассажирского транспорта необходимо учесть ряд особенностей реального объекта:

- Управление осуществляется от микроконтроллера, что вносит дискретность в сигналы обратных связей;
- Для обратной связи по скорости и положению применяется инкрементный энкодер с 12 точками;
- Реальные транзисторные ключи имеют мертвое время (пауза между включениями).

Модель электропривода созданная в Matlab Simulink изображена на рисунке 29. В модель добавлен контур положения настроенный на модульный оптимум с П – регулятором для отслеживания положения вала. Контур положения имеет следующие значения коэффициентов:

Коэффициент редуктора

$$K_m = \frac{360 \cdot 60}{i} = \frac{360 \cdot 60}{1} = 34395,5,$$

где  $i$  передаточное число редуктора равное 1, так как необходимо определять положение вала электродвигателя, а не рабочей машины.

Коэффициент обратной связи :

$$K_p = 4K_{\partial n},$$

$$\text{где } K_{\partial n} = \frac{n_{\partial}}{360 \cdot 60} = \frac{12}{360 \cdot 60} = 0,55 \cdot 10^{-3}, \quad n_{\partial} = 12 - \text{ количество меток}$$

энкодера.

Малая постоянная времени:

$$T_n = T_c = 0,003 \text{ с}$$

Модель представляет собой нелинейную САУ с обратными связями по току и скорости, силовыми транзисторными ключами и источником напряжения 24 В.

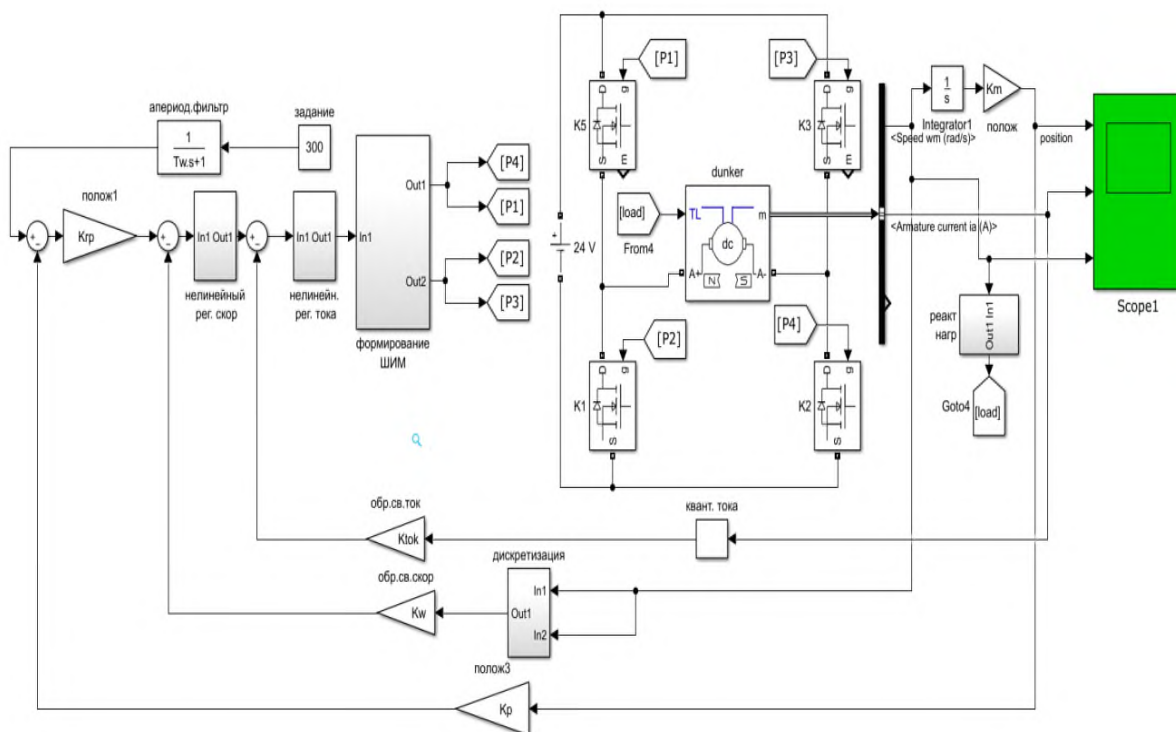


Рисунок 29 – Модель электропривода пассажирского транспорта в Matlab Simulink

### 1.6.1. Генерация ШИМ

Формирование сигнала поступающего на силовые ключи происходит в подсистеме «формирование ШИМ». Модель подсистемы представлена на рисунке 30. Здесь сигнал поступающий с выхода регулятора тока на вход подсистемы разделяется на два сигнала, один из которых смещается по амплитуде вверх, а другой вниз, затем оба сигнала накладываются на треугольный сигнал (рисунок 33), который формируется блоком «Tringle generator», в результате чего между импульсами возникает задержка (рисунок 32) равная мертвому времени транзисторов. Далее сигналы идут на выходы подсистемы и подаются на транзисторные стойки через блоки «goto» (рисунок 31).

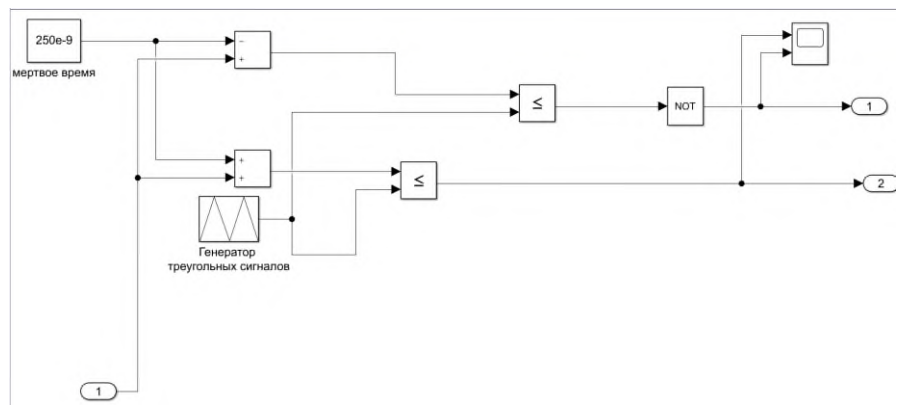


Рисунок 30 – Подсистема формирования ШИМ

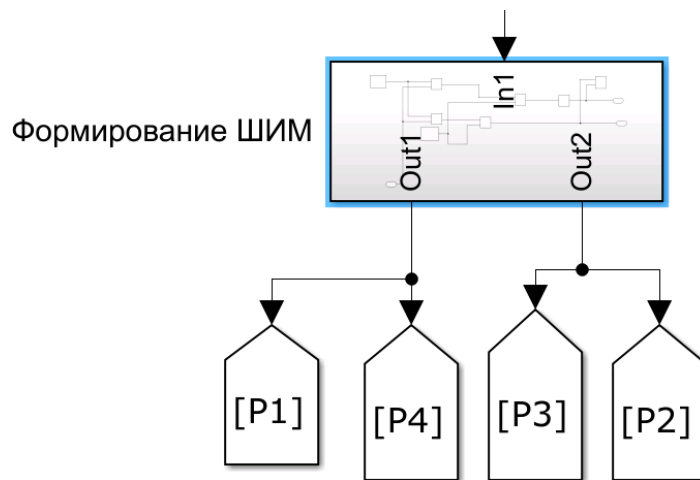


Рисунок 31 – Выход сигналов подсистемы на силовые ключи

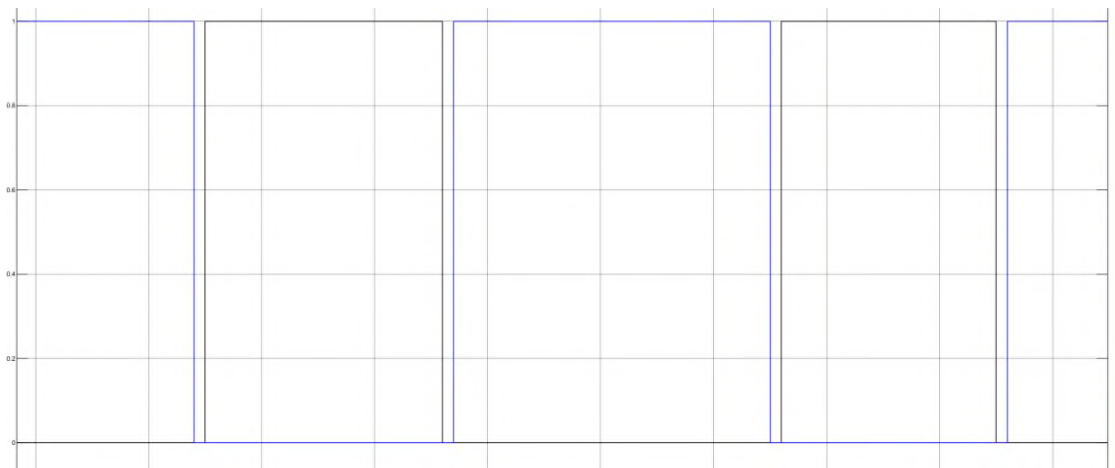


Рисунок 32 – Мертвое время между при коммутации транзисторных ключей



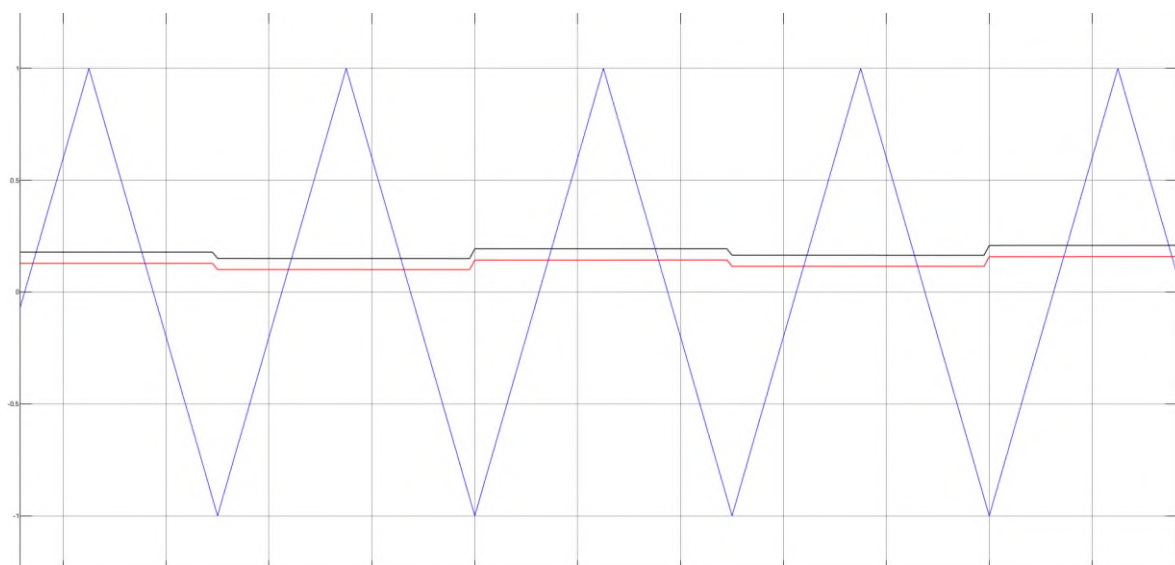


Рисунок 33 – Треугольный сигнал

### 1.6.2. Расчет скорости с сигнала энкодера

Скорость с энкодера рассчитывается следующим методом: При повороте вала двигателя с энкодера приходит импульс, и в микроконтроллере срабатывает прерывание таймера, далее вычисляет разница  $\Delta t$  (рисунок 34) между двумя прерываниями (время между двумя соседними импульсами) и высчитывается количество оборотов вала

двигателя в минуту по следующей формуле  $n = \frac{60}{\Delta t \cdot m}$ , где  $m$  количество

меток энкодера. На основе этого метода был реализован расчет периода дискретизации скорости в подсистеме «дискретизация», модель системы представлена на рисунке 35. Период дискретизации изменяется динамически в зависимости от величины скорости. Рассчитанный период дискретизации и скорость по обратной связи поступает на блок S-function builder «kvantaizer», в котором прописан следующий код:

```
unsigned static timer = 0;
timer++;
if (timer >= quantity[0]*20000)
{
    y0[0] = speed[0];
    timer = 0;
}
```

Здесь переменная «quantity» равняется периоду дискретизации, при достижении переменной «timer» значения равного quantity·20000, на выходе

блока S-function builder будет значения скорости равное текущему значению периода дискретизации.

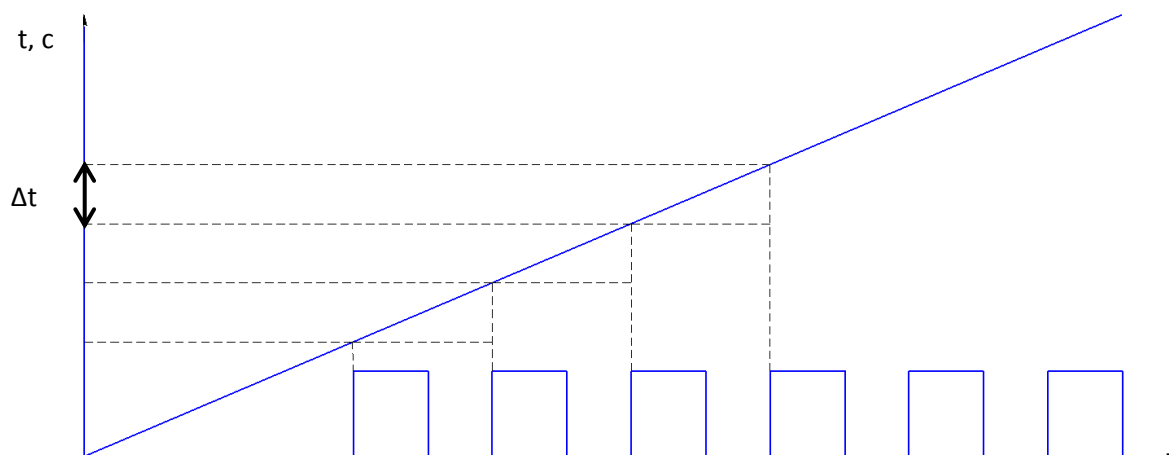


Рисунок 34 – Счетчик импульсов сигнала энкодера

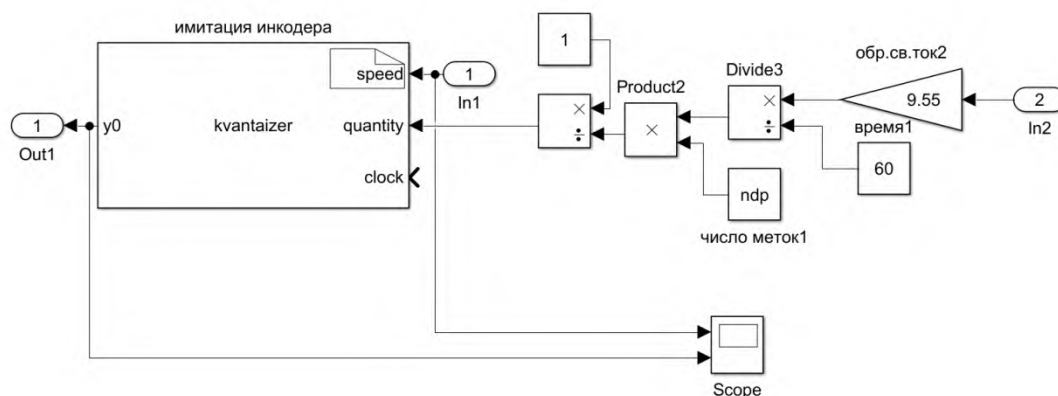


Рисунок 35 – Подсистема «дискретизация»

На рисунке 36 представлен результат дискретизации скорости. Из графика видно, что с ростом скорости частота дискретизации повышается.

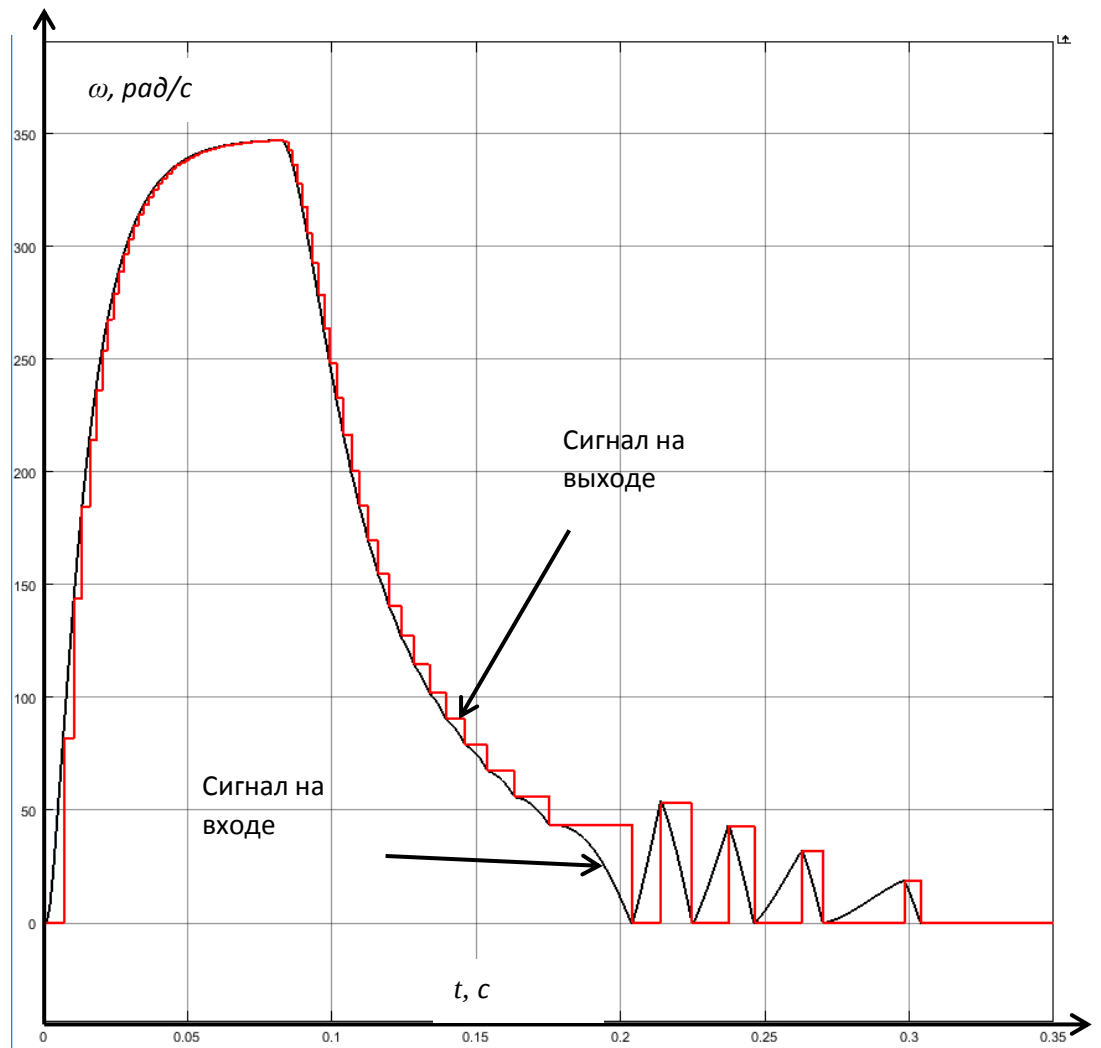


Рисунок 36 – Кривые скоростей

### 1.6.3. Переходные процессы в электроприводе пассажирского транспорта

После того как особенности реального объекта учтены строятся графики переходных процессов электропривода (рисунок 37).

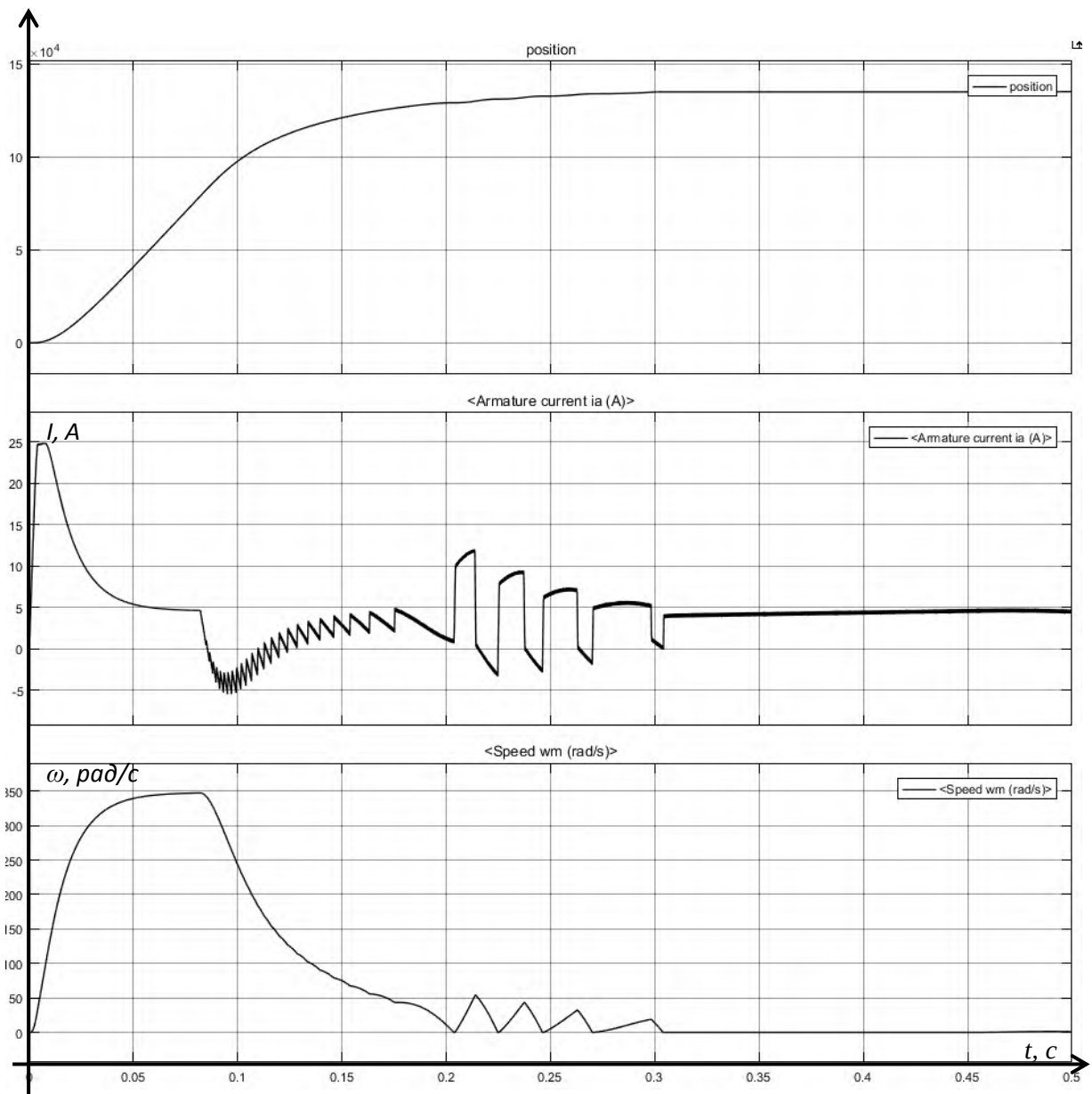


Рисунок 37 – Графики переходных процессов при движении  
электродвигателя в заданную позицию

Из графиков переходных процессов видно, что установившиеся значения тока и скорости соответствуют номинальным параметрам двигателя, что свидетельствует об адекватности созданной модели. Так же по графикам переходным процессов можно сделать вывод, что система обладает высоким быстродействием, время переходного процесса составляет 0,1.

### **Заключение по основной части**

В данной выпускной квалификационной работе была разработана имитационная модель следящего электропривода постоянного тока дверей пассажирского транспорта на основе сервоконтроллера AC – Servo 200 в среде Matlab Simulink.

Полученные результаты имитационного моделирования говорят об адекватности созданной модели и об её высоких показателях качества регулирования. Данная модель может быть полезна в дальнейших исследованиях электропривода, для оценки характера эффективности электропривода при различных условиях работы.

## **2. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Целью данного раздела является обеспечение безопасности и экологичности испытательной лаборатории электрооборудования НПФ Мехатроника - ПРО, в которой исследуется электропривод постоянного тока дверей пассажирского транспорта. В процессе проведения исследования происходит следующее: изучение теоретических материалов по дисциплинам электропривод и электрические машины, разработка и создание математической модели электропривода в компьютерной среде «Matlab», обработка и анализ результатов, полученных в процессе моделирования. Лаборатория площадью 71,6 м<sup>2</sup>, имеет 4 рабочих места с лабораторными установками и 2 персональных компьютера. В лаборатории работают заведующий лабораторией и лаборант.

Будет рассматриваться обеспечение необходимых условий труда (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности. Основным рабочим оборудованием для исследования электропривода является ПК с использованием программных средств. Логично будет рассмотреть соответствующие работе с ПК вредные и опасные производственные факторы, а также технику безопасности при работе с компьютером.

### **2.1. 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 компоновки рабочей зоны инженера следует учитывать следующие организационные мероприятия [11]:

- Обеспечить высоту рабочей поверхности в пределах 680-760 мм, высоту поверхности с клавиатурой примерно 650 мм;
- Рабочее место с ПЭВМ, при работе, вызывающей значительное умственное напряжение, рекомендуется изолировать перегородками от других работников в помещении;
- Конструкция рабочего стола должна позволять осуществить оптимальное расположение необходимых предметов труда и оборудования, согласно требованиям, предъявляемым к рабочему процессу;

- Конструкция рабочего стула должна обеспечивать удобное положение тела человека в момент осуществления работ на рабочем месте. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола расположена в пределах 420-550 мм. При выполнении длительных работ с ПЭВМ рабочий стул должен обеспечивать возможность изменения позы с целью минимизации статического напряжения в позвоночном отделе опорно-двигательного аппарата.

## 2.2. Производственная безопасность

### 2.2.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» основные вредные и опасные факторы в испытательной лаборатории представлены в таблице 3 [12].

Таблица 3 - Возможные опасные и вредные факторы

| Факторы<br>(ГОСТ 12.0.003-2015)                                                                                | Этапы работ    |                  |                  | Нормативные<br>документы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                | Разрабо<br>тка | Изготов<br>ление | Эксплуа<br>тация |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1. Электромагнитное поле                                                                                       |                | +                | +                | Электромагнитные поля в производственных условиях" [13]. СанПиН 2.2.4.548-96 « Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [14]. ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты [15]. СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [16]. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011 [17]. ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [18]. |
| 2. Отклонение показателей микроклимата                                                                         | +              | +                | +                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны                                                                     |                | +                | +                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи , замыкание которой может произойти через тело человека |                | +                | +                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5. Механические повреждения                                                                                    |                | +                | +                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |



## 2.3. Электромагнитное поле

Величина магнитного поля характеризуется напряженностью ( $H$ , А/м), а величина электрического поля – напряженностью ( $E$ , В/м).

### 2.3.1. Электрическое поле промышленной частоты

Источником электрических полей являются токоведущие части действующих электроустановок (электродвигатели, токопроводы и др.).

Различают следующие виды воздействия [15]:

1. непосредственное воздействие, проявляющееся при пребывании в электрическом поле;
2. воздействие электрических разрядов (импульсного тока), возникающий при прикосновении человека к изолированным от земли конструкциям;
3. воздействие тока, проходящего через человека.

Нормы на предельно допустимые напряженности электрического поля (ЭП) на промышленной частоте для персонала установлены в ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты [15]:

- $E \geq 25$  кВ/м – пребывание в ЭП без средств защиты не допускается;
- $20 < E < 25$  кВ/м – пребывание в ЭП не более 10 минут;
- при  $5 < E \leq 20$  кВ/м допустимое время пребывания в ЭП вычисляют по формуле:

$$T, \text{ часов} = (50 / E) - 2;$$

- $E \leq 5$  кВ/м – пребывание в ЭП допускается в течение полного рабочего дня.

Если напряженность электрического поля превышает предельно допустимые уровни, должны быть приняты меры по ее снижению. Основными видами средств коллективной защиты от воздействия электрического поля промышленной частоты являются экранирующие

устройства – составная часть электрической установки, предназначенная для защиты персонала от действия электрического поля.

### 2.3.2. Магнитное поле промышленной частоты

Магнитное поле имеет место в электроустановках всех классов напряжения. Его интенсивность выше вблизи работающих высоковольтных электродвигателей, а также в распределительном устройстве собственных нужд 6–10 кВ и вблизи них [15].

Магнитное поле промышленной частоты (МП ПЧ) со значениями плотности магнитного потока, превышающими 0,3–0,4 мкТл, в условиях продолжительного воздействия является канцерогенным фактором окружающей среды. Также реакция организма на магнитное поле имеет неспецифический характер. Воздействие магнитного поля приводит к развитию нейродегенеративных болезней и неврологических расстройств.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) магнитного поля установлены в СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях" и приведены в таблице 4 [15].

Таблица 4 – Предельно допустимые уровни магнитного поля

| Время пребывания (ч) | Допустимые уровни МП Н (А/м)/В (мкТл) при воздействии |           |
|----------------------|-------------------------------------------------------|-----------|
|                      | локальном                                             |           |
| общем                |                                                       |           |
| <1                   | 1600/2000                                             | 6400/8000 |
| 2                    | 800/1000                                              | 3200/4000 |
| 4                    | 400/500                                               | 1600/2000 |
| 8                    | 80/100                                                | 800/1000  |

Обеспечение защиты работающих от неблагоприятного влияния МП осуществляется путем проведения организационных и технических мероприятий.

К организационным относятся мероприятия, обеспечивающие соблюдение требований ограничения продолжительности пребывания персонала под воздействием МП, и организация рабочих мест на расстояниях от токоведущих частей оборудования, обеспечивающих соблюдение ПДУ.

К техническим относятся мероприятия, снижающие уровни МП на рабочих местах путем экранирования источников МП или рабочих мест. Экранирование должно осуществляться посредством материалов с высокой относительной магнитной постоянной или активных экранов.

## **2.4. Несоответствие нормам условий микроклимата**

### **2.4.1. Отклонение показателей микроклимата**

Микроклимат (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения) и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны должны быть в пределах санитарногигиенических норм, что обеспечивается ГОСТ 12.1.005-97ССБТ. В лаборатории применяется [14]:

- а) при незначительных перегревах воздуха и умеренных выбросах паров, - применение организованная естественная вентиляция;
- б) при значительных уровнях теплового воздействия и выбросов загрязнителей - устройство принудительной вентиляции, обеспечивающее снижение температуры воздуха и концентрации загрязнителей до допустимых пределов притоком свежего воздуха в рабочую зону.

При невозможности достижения нормативных показателей микроклимата воздуха рабочей зоны должна обеспечиваться защита работников системами местного кондиционирования, воздушного душирования, средствами индивидуальной защиты, регламентом трудового процесса. Оптимальные и допустимые нормы микроклимата представлены в таблице 5.

**Таблица 5 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата**

| Период года | Категория работ | Температура воздуха, °С                             |                                                     | Температура поверхностей, t°С | Относительная влажность воздуха, φ% | Скорость движения воздуха, м/с |                             |
|-------------|-----------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|             |                 | Диапазон ниже оптимальных величин t° <sub>онм</sub> | Диапазон выше оптимальных величин t° <sub>онм</sub> |                               |                                     | Если t° < t° <sub>онм</sub>    | Если t° > t° <sub>онм</sub> |
| Холодный    | 1б              | 19,0 - 20,9                                         | 23,1 - 24,0                                         | 18,0 - 25,0                   | 15 - 75                             | 0,1                            | 0,2                         |
| Теплый      | 1б              | 20,0 - 21,9                                         | 24,1 - 28,0                                         | 19,0 - 29,0                   | 15 - 75                             | 0,1                            | 0,3                         |

## **2.5. Несоответствие нормам освещения**

Рациональное освещение производственных рабочих мест испытательной лаборатории имеет большое значение для выполнения персоналом своих функциональных обязанностей в условиях, когда на большом количестве рабочих мест отсутствует естественное освещение. В испытательной лаборатории предусматривается естественное, совмещенное и искусственное освещение. Для освещения применяются, как правило, прожекторы с металлогалогенными лампами и с натриевыми лампами.

Характеристика зрительной работы на рассматриваемом объекте относится к работе высокой точности. Согласно СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения с характеристиками зрительных работ представлены в таблице 6 [16].

**Таблица 6 – Взаимосвязь нормируемых параметров естественного и  
искусственного освещения**

| Характеристика зрительной работы                   | Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм | Разряд зрительной работы | Подразряд зрительной работы | Относительная продолжительность зрительной работы, % | Освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк | Средний КЕО при верхнем или боковом освещении, % | Минимальный КЕО при боковом освещении, % |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1                                                  | 2                                                          | 3                        | 4                           | 5                                                    | 6                                                                                  | 7                                                | 8                                        |
| Различение объектов при фиксированной линии зрения |                                                            |                          |                             |                                                      |                                                                                    |                                                  |                                          |
| Высокой точности                                   | 0,3-0,5                                                    | Б                        | 1                           | ≥70                                                  | 300                                                                                | 3,0                                              | 1,2                                      |
|                                                    |                                                            |                          | 2                           | <70                                                  | 200                                                                                | 2,5                                              | 1,0                                      |

## **2.6. Электрический ток**

В испытательной лаборатории присутствует опасность поражения электрическим током. Электрический ток, проходя через живой организм, производит [17]:

- термическое (тепловое) действие, которое выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, крови, нервных волокон и т.п.;
- электролитическое (биохимическое) действие – выражается в разложении крови и других органических жидкостей, вызывая значительные нарушения их физико-химических составов;
- биологическое (механическое) действие – выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма, сопровождается непроизвольным судорожным сокращением мышц (в том числе сердца, лёгких).

Рассматриваемый объект – испытательная лаборатория относительно категории помещений по поражению электрическим током относится к особо

опасному помещению. Условиями, создающими повышенную опасность являются:

- а) особая сырость;
- б) химически активная или органическая среда;
- в) токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);
- г) высокая температура (выше 35 °С).

По правилам охраны труда существуют допустимые расстояния до токоведущих частей под напряжением, приближение к которым на расстояние менее указанных не допускается. Данные допустимые расстояния представлены в таблице 7 [18]. Так как объектом является испытательная лаборатория с напряжением до 1 кВ, то приведем информацию только для класса напряжения до 1 кВ.

Таблица 7 – Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением.

| Напряжение, кВ | Расстояние от людей и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м | Расстояние от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| до 1           | Не нормируется (без прикосновения)                                                              | 1                                                                                                                                         |

К средствам защиты, используемые в электроустановках, относят [8]:

- изолирующие оперативные штанги, изолирующие съемники для операций с предохранителями, указатели напряжения для определения наличия напряжения;
- изолирующие лестницы, изолирующие площадки, изолирующие тяги, захваты и инструмент с изолированными рукоятками;
- резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки;
- переносные заземления;

- временные ограждения, предупредительные плакаты, изолирующие колпаки и накладки;
- защитные очки, брезентовые рукавицы, фильтрующие и изолирующие противогазы, предохранительные пояса, страхующие канаты.

## 2.7. Экологическая безопасность

Работа в испытательной 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 -ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели 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) [19]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать 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.

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).

## **2.8. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К основным видам возможных ЧС техногенного характера в испытательной лаборатории относятся: пожары и взрывы.

Наиболее типичным ЧС являются пожары и взрывы. Наиболее часто происходит взрыв электродвигателя из – за внутренних коротких замыканий и тем самым горение его масла, также возникают электрические дуги, которые могут привести к возгоранию близлежащих объектов.

Источником инициирования взрыва согласно ГОСТ 12.1.010 – 76 являются [20]:

- открытое пламя, горящие и раскаленные тела;
- электрические разряды;



- искры от удара и трения;
- ударные волны;
- электромагнитные и другие излучения.

Предотвращение возникновения источника инициирования взрыва должно быть обеспечено:

- предотвращением нагрева оборудования до температуры самовоспламенения взрывоопасной среды;
- применением материалов, не создающих при соударении искр, способных инициировать взрыв взрывоопасной среды; применением средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов, токов замыкания на землю и т. д.;
- применением быстродействующих средств защитного отключения, возможных электрических источников инициирования взрыва;
- ограничением мощности электромагнитных и других излучений.

### **Вывод по разделу**

В результате выполнения раздела ВКР «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, воздействующие на инженера, в момент выполнения его работы в испытательной лаборатории электрооборудования. Были предложены основные меры по профилактики 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 инженера, в то же время обеспечивая его безопасность.

### **3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работ по проектированию электропривода дверей пассажирского транспорта;
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

#### **3.1. SWOT-анализ электропривода постоянного тока дверей пассажирского транспорта**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта [28].

Применительно к проектируемому электроприводу дверей пассажирского транспорта, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы [28].

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 8.

Таблица 8 - Матрица SWOT

|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                       | <b>Сильные стороны проекта:</b><br>С1 Высокая надежность продукции<br>С2 Квалифицированный персонал<br>С3 Принципиальна новая конструкция<br>С4 Качественные материалы<br>С5 Качество обработки | <b>Слабые стороны проекта:</b><br>Сл1 Продукция не испытана в работе<br>Сл2 Консерватизм потребителей<br>Сл3 Организация систем продаж<br>Сл4 Аварийные ситуации<br>Сл5 Дорогое оборудования |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Новый вид продукции<br>В2. Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий<br>В3. Рост рынка<br>В4. Региональные продажи<br>В5. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы. | В1С1С2С3С4С5;<br>В2С1С3С5;<br><br>В3С1;<br>В4С1;<br><br>В5С4.                                                                                                                                   | В1Сл1Сл3;<br><br><br><br><br>В3Сл3Сл4;<br>В4Сл3Сл4.                                                                                                                                          |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Конкурентная активность<br>У2 Экономическая угроза<br>У3 Внешние угрозы (налоги, контроль)<br>У4 Отсутствие спроса на новые технологии<br>У5 Сбой в работе с поставщиками.                      | У1С1С3;<br>У2С4;<br><br>У3С4;<br><br>У4С3С4.                                                                                                                                                    | У1Сл2Сл3;<br><br>У2Сл2Сл3Сл5;<br><br><br>У4Сл2Сл3;<br><br>У5Сл5.                                                                                                                             |

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность электропривода, 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) [28].

Таблица 9 – Интерактивная матрица возможностей

| Возможности | Сильные стороны проекта |     |     |     |     |
|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
|             | C1                      | C2  | C3  | C4  | C5  |
| B1          | +                       | +   | +   | +   | +   |
| B2          | +                       | -   | +   | -   | +   |
| B3          | +                       | -   | -   | -   | -   |
| B4          | +                       | -   | -   | -   | -   |
| B5          | -                       | -   | -   | +   | -   |
|             | Слабые стороны проекта  |     |     |     |     |
|             | Сл1                     | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 |
| B1          | +                       | -   | +   | -   | -   |
| B2          | -                       | -   | -   | -   | -   |
| B3          | -                       | -   | +   | +   | -   |
| B4          | -                       | -   | +   | +   | -   |
| B5          | +                       | -   | -   | -   | -   |

Таблица 10 – Интерактивная матрица угроз

| угрозы | Сильные стороны проекта |     |     |     |     |
|--------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
|        | C1                      | C2  | C3  | C4  | C5  |
| Y1     | +                       | -   | +   | -   | -   |
| Y2     | -                       | -   | -   | +   | -   |
| Y3     | -                       | -   | -   | +   | -   |
| Y4     | -                       | -   | +   | +   | -   |
| Y5     | -                       | -   | -   | -   | -   |
|        | Слабые стороны проекта  |     |     |     |     |
|        | Сл1                     | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 |
| Y1     | -                       | +   | +   | -   | -   |
| Y2     | -                       | +   | +   | -   | +   |
| Y3     | -                       | -   | -   | -   | -   |
| Y4     | -                       | +   | +   | -   | -   |
| Y5     | -                       | -   | -   | -   | +   |

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 9 и 10, показывает, что самая сильная сторона проекта - это надежность продукции, она является основой для пребывания на рынках продаж. Высокое качество выпускаемой продукции позволяет предприятию быть конкурентно способным. Имеются угрозы ввиду новой неиспытанной в работе продукции, а также угрозы со стороны конкурентов, что может негативно сказаться на реализации проекта.

### 3.2. Организация работ 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 разработки ВКР.

#### 3.2.1 Планирование технического проекта

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения технического проекта, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                      | № раб. | Содержание работ                                                  | Должность исполнителя   |
|-------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Разработка технического задания     | 1      | Составление и утверждение технического задания                    | Руководитель            |
| Выбор направления проведения работ  | 2      | Подбор и изучение литературных данных по теме                     | Инженер                 |
|                                     | 3      | Выбор направления исследований                                    | Руководитель            |
|                                     | 4      | Календарное планирование работ по теме                            | Инженер                 |
| Проведение расчетов и экспериментов | 5      | Расчет параметров двигателя                                       | Руководитель<br>Инженер |
|                                     | 6      | Проведение теоретических расчетов                                 | Руководитель<br>Инженер |
|                                     | 7      | Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов           | Руководитель<br>Инженер |
|                                     | 8      | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими моделями | Руководитель<br>Инженер |
| Обобщение и оценка результатов      | 9      | Оценка эффективности полученных результатов                       | Руководитель<br>Инженер |

|                                                       |    |                                                                              |                         |
|-------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Оформление отчета по выполненной работе               | 10 | Разработка экономического Раздела                                            | Инженер                 |
|                                                       | 11 | Разработка раздела БЖД                                                       | Инженер                 |
|                                                       | 12 | Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации) | Инженер                 |
|                                                       | 13 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем                     | Руководитель            |
|                                                       | 14 | Устранение недочетов и ошибок                                                | Инженер                 |
|                                                       | 15 | Повторная проверка ВКР                                                       | Руководитель            |
| Подготовка к защите выпускной квалификационной работы | 16 | Размещение ВКР в Web-среде университета                                      | Инженер                 |
|                                                       | 17 | Подготовка к защите ВКР                                                      | Руководитель<br>Инженер |
| Защита ВКР                                            | 18 | Защита ВКР                                                                   | Инженер                 |

В приведенной выше таблице 11 номерам работ соответствуют следующие виды работ:

1. Составление и утверждения технического задания – включение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;
2. Подбор и изучение материалов по теме технического задания – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;
3. Выбор направления исследований – подбор методик и программных сред для исследования модели электропривода;
4. Календарное планирование работ по теме – составление расписания проведения основных работ технического проекта;
5. Расчет параметров двигателя – электромагнитный расчет двигателя;
6. Проведение теоретических расчетов и обоснований – расчет коэффициентов регуляторов САУ РЭП;
7. Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов – создание имитационных моделей, проведение экспериментов с реальным объектом;

8. Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими моделями – сравнение графиков переходных процессов, полученных имитационным моделированием с экспериментальными;
9. Оценка эффективности полученных результатов – оценка полученных регулировочных и энергетических характеристик электропривода;
10. Разработка экономического раздела – выполнение SWOT- анализа, планирование работ по реализации технического проект, составление сметы затрат;
11. Разработка раздела БЖД;
12. Оформление пояснительной записки – оформление записки согласно методическим указаниям по подготовке и защите ВКР;
13. Проверка выпускной квалификационной работы руководителем – проверка разделов пояснительной записки;
14. Устранение недочетов и ошибок – исправление ошибок и недочетов, указанных руководителем;
15. Повторная проверка ВКР – проверка и подписание ВКР руководителем;
16. Размещение ВКР в Web-среде университета;
17. Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации и доклада для защиты ВКР перед комиссией;
18. Защита ВКР.

### **3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ**

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 значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула [29]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

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

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

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

В таблице 12 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 12 – Временные показатели проведения технического проекта

| № | Название работы                                | Трудоёмкость работ, раб. дн. |         |                       |         |                |         | Длительность Работ, раб. дн |         |
|---|------------------------------------------------|------------------------------|---------|-----------------------|---------|----------------|---------|-----------------------------|---------|
|   |                                                | Минимально возможная         |         | Максимально возможная |         | Ожидаемая      |         |                             |         |
|   |                                                | рук-ль проекта               | Инженер | рук-ль проекта        | Инженер | рук-ль проекта | Инженер | рук-ль проекта              | Инженер |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | 1                            | -       | 1                     | -       | 1              | -       | 1                           | -       |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме           | -                            | 4       | -                     | 6       | -              | 4,8     | -                           | 5       |
| 3 | Выбор направления исследований                 | 1                            | -       | 1                     | -       | 1              | -       | 1                           | -       |
| 4 | Календарное планирование работ по теме         | -                            | 1       | -                     | 2       |                | 1,4     | -                           | 2       |
| 5 | Расчет параметров двигателя                    | 1                            | 9       | 1                     | 11      | 1              | 9,8     | 1                           | 10      |
| 6 | Проведение теоретических расчетов              | 1                            | 14      | 1                     | 16      | 1              | 14,8    | 1                           | 15      |
| 7 | Построение макетов и проведение экспериментов  | 1                            | 14      | 1                     | 16      | 1              | 14,8    | 1                           | 15      |



|    |                                                                         |   |    |   |    |   |      |   |    |
|----|-------------------------------------------------------------------------|---|----|---|----|---|------|---|----|
| 8  | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями | 1 | 10 | 1 | 12 | 1 | 10,8 | 1 | 11 |
| 9  | Оценка эффективности полученных результатов                             | 1 | 8  | 1 | 10 | 1 | 8,8  | 1 | 9  |
| 10 | Разработка экономического раздела                                       | - | 10 | - | 13 | - | 11,2 | - | 12 |
| 11 | Разработка раздела БЖД                                                  | - | 10 | - | 13 | - | 11,2 | - | 12 |
| 12 | Составление пояснительной записки                                       | - | 6  | - | 10 | - | 7,6  | - | 8  |
| 13 | Проверка ВКР руководителем                                              | 1 | -  | 1 | -  | 1 | -    | 1 | -  |
| 14 | Устранение недочетов и исправление ошибок                               | - | 1  | - | 1  | - | 1    | - | 1  |
| 15 | Повторная проверка и утверждение ВКР                                    | 1 | -  | 1 | -  | 1 | -    | 1 | -  |
| 16 | Размещение ВКР в Web-среде университета                                 | - | 1  | - | 1  | - | 1    | - | 1  |
| 17 | Подготовка к защите                                                     | 1 | 6  | 1 | 10 | 1 | 7,6  | 1 | 8  |
| 18 | Защита ВКР                                                              | - | 1  | - | 1  | - | 1    | - | 1  |

### 3.2.3 Построение графика работ

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными по времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

На основе таблицы 11 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках

технического проекта на основе таблицы 12 с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Диаграмма Ганта представлена в таблице 12.

Таблица 12 – план график выполнения работ

| №  | Вид работ                                                               | Исп-ли       | Т <sub>р</sub> ,<br>раб.<br>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 ТЗ                                            | Руководитель | 1                               | ■                                  |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 2  | Подбор и изучение материалов по теме                                    | Инженер      | 5                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 3  | Выбор направления исследований                                          | Руководитель | 1                               | ■                                  |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 4  | Календарное планирование работ по теме                                  | Инженер      | 2                               |                                    | ■ |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 5  | Расчет параметров двигателя                                             | Руководитель | 1                               |                                    | ■ |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
|    |                                                                         | Инженер      | 10                              |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 6  | Проведение теоретических расчетов                                       | Руководитель | 1                               |                                    |   | ■    |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
|    |                                                                         | Инженер      | 15                              |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 7  | Построение макетов и проведение экспериментов                           | Руководитель | 1                               |                                    |   |      | ■ |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
|    |                                                                         | Инженер      | 15                              |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 8  | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями | Руководитель | 1                               |                                    |   |      |   |   | ■      |   |   |     |   |   |      |   |
|    |                                                                         | Инженер      | 11                              |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 9  | Оценка эффективности полученных результатов                             | Руководитель | 1                               |                                    |   |      |   |   |        | ■ |   |     |   |   |      |   |
|    |                                                                         | Инженер      | 9                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 10 | Разработка экономического раздела                                       | Инженер      | 12                              |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 11 | Разработка раздела БЖД                                                  | Инженер      | 12                              |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 12 | Составление пояснительной записки                                       | Инженер      | 8                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 13 | Проверка ВКР                                                            | Руководитель | 1                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   | ■    |   |
| 14 | Исправление ошибок                                                      | инженер      | 1                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   | ■    |   |
| 15 | Повторная проверка ВКР                                                  | Руководитель | 1                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   | ■    |   |
| 16 | Размещение ВКР в Web-среде университета                                 | Инженер      | 1                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   | ■    |   |
| 17 | Подготовка к защите                                                     | Руководитель | 1                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      | ■ |
|    |                                                                         | Инженер      | 8                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |
| 18 | Защита ВКР                                                              | Инженер      | 1                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      | ■ |

Составлен план технического проекта, в котором разработан календарный план. Общее содержание работ для проведения исследования составило 18 позиций [28].

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 115 дней.

110 дней – продолжительность выполнения работ инженера;

10 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

### **3.3. Составление сметы затрат на разработку электропривода постоянного тока пассажирского транспорта**

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

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

#### **3.3.1 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:

$$З_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

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

$Ц_i$  – 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”. Материальные затраты представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Материальные затраты

| Наименование   | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, руб. |
|----------------|------------|-------------------|----------------------------|
| Бумага         | 150        | 3                 | 450                        |
| Ручка          | 2          | 63                | 126                        |
| Папка          | 1          | 55                | 55                         |
| Калькулятор    | 1          | 475               | 475                        |
| Флеш-карта     | 1          | 600               | 600                        |
| скоросшиватель | 1          | 90                | 90                         |
| степлер        | 1          | 130               | 130                        |
| Итого          |            |                   | 1926                       |

Расчет полной заработной платы исполнителей темы

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

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

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

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.

дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_d},$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{допл}}$  – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$  – районная доплата, руб.;

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители  | Тарифная ставка, руб. | Районный коэффициент, руб | Месячная заработанная плата, руб | Дневная заработанная плата, руб. | Кол-во рабочих дней | Основная заработанная плата, руб. |
|--------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Руководитель | 33664                 | 10100                     | 43763                            | 1683                             | 10                  | 16830                             |
| Инженер      | 12300                 | 3690                      | 15990                            | 615                              | 110                 | 67650                             |
| Итого        |                       |                           |                                  |                                  |                     | 84480                             |

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) [29].

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет полной заработной платы

| Исполнители  | $k_{\text{доп}}$ | Основная заработанная плата, тыс. руб. | Дополнительная заработанная плата, тыс. руб. | Полная заработанная плата, тыс. руб. |
|--------------|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|
| Руководитель | 0,15             | 16,8                                   | 2,5                                          | 19,3                                 |
| Инженер      | 0,12             | 67,6                                   | 8,1                                          | 75,8                                 |
| Итого        |                  | 85,4                                   | 10,6                                         | 95,1                                 |

### 3.3.2 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.

Затраты на социальные отчисления равны 30,2% от затрат на заработную плату:

$$З_{с.о} = З_{полн} \cdot 30,2\%$$

Рассчитываем затраты на социальные нужды (отчисления):

$$З_{с.о} = 95 \cdot 0,302 = 28,7 \text{ тыс. руб.}$$

### 3.3.3 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.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общей суммы затрат.

Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [29].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Смета затрат технического проекта

| Наименование статьи                                     | Сумма, тыс. руб. | Структура затрат, % |
|---------------------------------------------------------|------------------|---------------------|
| 1. Материальные затраты ТП                              | 1,9              | 1,2                 |
| 2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы | 95,1             | 63,7                |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды                     | 28,7             | 19,1                |
| 4. Накладные расходы                                    | 24,3             | 16,0                |
| 5. Итого                                                | 150,0            | 100,0               |

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 115 рабочих дней. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 150 тыс.руб, из которых основная часть (64%) приходится на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы [29].

### **3.4. Определение ресурсоэффективности проекта**

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [29]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

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:

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.

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

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

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



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

Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам элеткроборудования.

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

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии                   | Весовой коэффициент | Балльная оценка разработки |
|----------------------------|---------------------|----------------------------|
| 1. Надежность              | 0,25                | 5                          |
| 2. Безопасность            | 0,25                | 5                          |
| 3. Энергосбережение        | 0,20                | 4                          |
| 4. Помехоустойчивость      | 0,15                | 4                          |
| 5. Удобство в эксплуатации | 0,15                | 4                          |
| Итого                      | 1,00                |                            |

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит [29]:

$$I_{pi} = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 = 4,5$$

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 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 (4,5 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет разработать эффективный электропривод постоянного тока, который имеет высокие показатели производительности, низкое энергопотребление, компактность, а также высокую надежность и безопасность

### Список используемых источников

1. Описание и технические характеристики сервоконтроллеров [электронный ресурс]: <http://www.mechatronica-pro.com/ru/catalog/servocontroller/2617> (дата обращения 14.04.2019)
2. Шутов Е.А., Обухов С.Г. Силовые преобразователи электроэнергии:
3. Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2004. – 60 с.
4. Быстродействующие электроприводы постоянного тока с широтно-импульсными преобразователями / М. Е. Гольц [и др.]. — Москва: Энергоатомиздат, 1986. — 184 с.
5. Бутстрэпная схема драйверов управления силовыми ключами [электронный ресурс]: <https://www.drive2.ru/b/1170149/> (дата обращения 14.04.2019)
6. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 3 Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
7. Глазырин А. С., Ляпунов Д. Ю., Слащёв И. В., Ляпушкин С. В. Методы и средства автоматизации профессиональной деятельности. Ч. 1: Учебное пособие / Под общ. ред. А. С. Глазырина. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 200 с.
8. Герман-Галкин, С.Г. Силовая электроника : лабораторные работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин. — СПб.: Корона принт, 2009. — 304 с.
9. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями / С. Г. Герман-Галкин, В. Д. Лебедев, Б. А. Марков, Н. И. Чичерин. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. — 244 с.
10. Герман-Галкин, С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink : учебник / С. Г. Герман-Галкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 443 с.

- 11.ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
- 12.ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- 13.СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях».
- 14.СанПиН 2.2.4.548-96 « Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
- 15.ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты».
- 16.СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».
- 17.ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.
- 18.Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011.
- 19.Постановление города Томска от 11.11.2009 № 1110 "Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования "Город Томск".
- 20.ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования».
- 21.ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
- 22.N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».
- 23.Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие. Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд – во ТПУ, 2008.
- 24.ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- 25.ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

- 26.ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами.  
Термины и определения
- 27.НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
- 28.Экономика и организация производства в дипломных проектах. Учеб. Пособие для машиностроительных вузов / Под общей ред. К.М. Великанова. – 4-у издание перераб. И доп. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256.
- 29.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В.Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. –36с