

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**  
**(РУТ (МИИТ))**



Рабочая программа дисциплины (модуля),  
как компонент образовательной программы  
высшего образования - программы бакалавриата  
по направлению подготовки  
15.03.06 Мехатроника и робототехника,  
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)  
Тимониным В.С.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Системы автоматического управления электроприводом ПСЖД**

Направление подготовки: 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Направленность (профиль): Электрооборудование и электропривод  
подвижного состава

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде  
электронного документа выгружена из единой  
корпоративной информационной системы управления  
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)  
ID подписи: 5214  
Подписал: заведующий кафедрой Пудовиков Олег  
Евгеньевич  
Дата: 27.06.2025

## 1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целью изучения дисциплины (модуля) является:

- формирование у студентов комплексных теоретических знаний и практических навыков в области проектирования, анализа, настройки и эксплуатации систем автоматического управления электроприводами подвижного состава железных дорог.

Задачами изучения дисциплины (модуля) являются:

- изучение принципов действия, структурных схем, функциональных элементов и алгоритмов работы современных САУ тяговым и вспомогательным электроприводом ПСЖД;
- освоение методов математического моделирования, анализа статических и динамических характеристик, устойчивости и качества процессов управления в САУ электропривода ПСЖД.
- формирование навыков расчета и выбора параметров регуляторов, синтеза законов управления для типовых систем управления электроприводами ПСЖД.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

**ПК-3** - Способен осуществлять выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок в области проектирования ПСЖД;

**ПК-5** - Способен осуществлять подготовку текстовой и графической частей эскизного и технического проектов электропривода и электрооборудования ПСЖД.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

**Знать:**

- принципы построения и функциональные схемы систем автоматического управления тяговым и вспомогательным электроприводом ПСЖД;
- принципы построения математических моделей элементов САУ электропривода;
- типовые законы регулирования и методы их настройки для контуров тока, скорости, положения.

**Уметь:**

- анализировать структурные схемы САУ электропривода ПСЖД и принципы их работы;
- рассчитывать параметры регуляторов тока, скорости и положения для заданных требований к динамике и точности;
- моделировать и анализировать статические и динамические характеристики САУ в программных средах.

**Владеть:**

- навыками расчета и проектирования систем подчиненного регулирования координат электропривода;
- методами настройки регуляторов для контуров управления тяговым приводом;
- технологиями моделирования САУ электропривода в цифровых средах с анализом переходных процессов.

**3. Объем дисциплины (модуля).****3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).**

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 7 з.е. (252 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

| Тип учебных занятий                                       | Количество часов |         |    |
|-----------------------------------------------------------|------------------|---------|----|
|                                                           | Всего            | Семестр |    |
|                                                           |                  | №6      | №7 |
| Контактная работа при проведении учебных занятий (всего): | 144              | 64      | 80 |
| В том числе:                                              |                  |         |    |
| Занятия лекционного типа                                  | 64               | 32      | 32 |
| Занятия семинарского типа                                 | 80               | 32      | 48 |

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 108 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля).

##### 4.1. Занятия лекционного типа.

| №<br>п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | <b>Введение в системы автоматического управления электроприводом ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Цели и задачи автоматического управления электроприводом ПСЖД; Особенности ПСЖД как объекта управления; Основные структуры систем управления электроприводом ПСЖД; Требования к системам управления ПСЖД (надежность, безопасность, энергоэффективность). |
| 2        | <b>Математические модели элементов САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Модели тяговых электродвигателей (ТЭД) постоянного и переменного тока; Модели преобразовательной техники (выпрямители, инверторы, регуляторы); Модели механической части (привод колесной пары, редуктор); Модели датчиков (скорости, тока, положения).              |
| 3        | <b>Типовые законы регулирования в САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Принципы П, ПИ, ПИД-регулирования; Выбор и расчет параметров регуляторов; Особенности реализации ПИД-регуляторов в цифровых системах; Применение ПИД-регуляторов для управления моментом и скоростью ТЭД.                                                             |
| 4        | <b>Системы подчиненного регулирования координат электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Принцип подчиненного регулирования; Каскадные структуры (контуры тока, скорости, положения); Синтез параметров регуляторов в каскадной структуре; Преимущества и недостатки подчиненного регулирования для ПСЖД.                                            |
| 5        | <b>Автоматическое управление пуском электроподвижного состава (ЭПС)</b><br>Рассматриваемые вопросы: Законы изменения тока и момента при пуске; Управление разгоном с ограничением тока и ускорения; Особенности пуска при различных схемах соединения ТЭД; Переходные процессы при пуске и их оптимизация.                                                      |
| 6        | <b>Автоматическое управление торможением электроподвижного состава (ЭПС)</b><br>Рассматриваемые вопросы: Виды электрического торможения (рекуперативное, реостатное); Законы управления тормозным моментом; Организация плавного перехода из режима тяги в режим торможения; Управление рекуперацией и ее стабилизация.                                         |
| 7        | <b>Регулирование скорости движения ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Задачи и структуры систем стабилизации скорости; Влияние внешних возмущений (уклон, кривые) на скорость; Методы компенсации возмущений; Точность поддержания скорости и ее зависимость от параметров САУ.                                                                               |
| 8        | <b>Управление моментом тягового электродвигателя</b><br>Рассматриваемые вопросы: Задачи регулирования момента; Методы управления моментом двигателей постоянного тока (изменение напряжения, потока); Векторные и скалярные методы                                                                                                                              |

| №<br>п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | управления моментом асинхронных и синхронных двигателей; Точность и быстродействие систем управления моментом.                                                                                                                                                                                                                      |
| 9        | <b>Управление возбуждением тяговых двигателей постоянного тока</b><br>Рассматриваемые вопросы: Способы регулирования магнитного потока; Системы автоматического ослабления поля (АОП); Критерии включения и отключения ступеней АОП; Влияние АОП на энергетические показатели и характеристики привода.                             |
| 10       | <b>Частотное управление асинхронным тяговым приводом (скалярное управление)</b><br>Рассматриваемые вопросы: Принцип частотного управления; Закон $U/f = \text{const}$ и его модификации; Ограничения скалярного управления; Применение скалярного управления на ПСЖД.                                                               |
| 11       | <b>Векторное управление асинхронным тяговым приводом</b><br>Рассматриваемые вопросы: Принципы векторного управления (ориентация по полю); Математические основы (преобразование координат); Системы прямого и косвенного векторного управления; Преимущества векторного управления для тяговых приводов ПСЖД.                       |
| 12       | <b>Векторное управление синхронным тяговым приводом</b><br>Рассматриваемые вопросы: Особенности управления СДПМ и СДВ; Методы ориентации (по положению ротора, по потокосцеплению); Управление моментом и потоком; Регулирование скорости и положения ротора.                                                                       |
| 13       | <b>Системы автоматического регулирования напряжения в контактной сети</b><br>Рассматриваемые вопросы: Причины колебаний напряжения в сети; Влияние колебаний напряжения на работу САУ электропривода; Методы стабилизации напряжения на входе преобразователя (регуляторы звена постоянного тока); Компенсация провалов напряжения. |
| 14       | <b>Автоматическое ограничение нежелательных режимов работы электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Защита от перегрузок по току и моменту; Защита от превышения скорости; Боксование и юз колесных пар                                                                                                                  |
| 15       | <b>Системы автоматического управления многоосными экипажами ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Особенности управления групповым приводом; Синхронизация работы нескольких двигателей; Распределение нагрузки между осями; Управление приводами тележек.                                                                           |
| 16       | <b>Адаптивные системы управления электроприводом ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Необходимость адаптации; Методы адаптации параметров регуляторов; Системы с эталонной моделью (МРС); Применение адаптивного управления для компенсации изменяющихся параметров привода и условий движения.                                    |
| 17       | <b>Нелинейные системы управления электроприводом ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Проявление нелинейностей в тяговом приводе; Методы синтеза нелинейных регуляторов (скользящие режимы); Применение нелинейных методов для повышения быстродействия и робастности.                                                              |
| 18       | <b>Цифровые системы управления электроприводом ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Архитектура цифровых САУ (микроконтроллеры, DSP, FPGA); Дискретизация непрерывных сигналов и законов управления; Особенности реализации цифровых регуляторов; Преимущества и проблемы цифрового управления.                                     |
| 19       | <b>Микропроцессорные устройства управления тяговым приводом</b><br>Рассматриваемые вопросы: Структура и функции микропроцессорных контроллеров; Программное обеспечение САУ; Алгоритмы управления в реальном времени; Интерфейсы связи (CAN, Ethernet).                                                                             |
| 20       | <b>Датчики в САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Типы датчиков (тока, напряжения, скорости/положения, температуры); Принципы действия, характеристики, точность; Особенности установки и эксплуатации на ПСЖД; Бессенсорные методы измерения.                                                                   |

| №<br>п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21       | <b>Исполнительные устройства САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Силовые полупроводниковые приборы (IGBT, IGCT, SiC); Приводы силовых ключей; Тяговые преобразователи (структура, управление); Системы охлаждения.                                                                                         |
| 22       | <b>Моделирование САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Цели и задачи моделирования; Инструменты моделирования (Matlab/Simulink, PLECS); Построение моделей тягового привода и САУ; Анализ устойчивости и качества переходных процессов.                                                                      |
| 23       | <b>Устойчивость систем автоматического управления электроприводом ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Понятие устойчивости; Критерии устойчивости (Гурвица, Найквиста, Михайлова); Анализ устойчивости типовых структур САУ электропривода; Пути обеспечения устойчивости.                                                    |
| 24       | <b>Качество процессов управления в САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Показатели качества (быстродействие, перерегулирование, статическая ошибка); Влияние параметров САУ на качество; Методы оценки качества (по переходной характеристике, частотным характеристикам); Оптимизация качества управления. |
| 25       | <b>Автоматическое управление рекуперативным торможением</b><br>Рассматриваемые вопросы: Условия эффективной рекуперации; Стабилизация напряжения в контактной сети при рекуперации; Управление моментом торможения при изменяющемся напряжении сети; Обеспечение плавности торможения.                                         |
| 26       | <b>Системы управления тяговым приводом высокоскоростного подвижного состава</b><br>Рассматриваемые вопросы: Особенности динамики высокоскоростного движения; Требования к точности и быстродействию САУ; Управление мощностью и силой тяги; Проблемы токосъема и электромагнитной совместимости.                               |
| 27       | <b>Системы управления приводами вспомогательных машин ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Типы вспомогательных приводов (компрессоры, вентиляторы, насосы); Задачи управления (поддержание давления, температуры, расхода); Методы управления (частотное регулирование); Энергосбережение.                                    |
| 28       | <b>Системы диагностики и технического обслуживания САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Методы встроенного контроля (VITE); Диагностика неисправностей элементов САУ; Прогнозирование остаточного ресурса; Системы сбора и анализа диагностических данных.                                                  |
| 29       | <b>Электромагнитная совместимость (ЭМС) САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Источники электромагнитных помех в тяговом приводе; Методы подавления помех (фильтры, экранирование, заземление); Нормы и стандарты по ЭМС для ПСЖД; Влияние ЭМС на работу датчиков и систем управления.                       |
| 30       | <b>Системы автоматического управления тяговым приводом в особых условиях</b><br>Рассматриваемые вопросы: Управление при пониженном сцеплении (гололед, дождь); Управление в горных условиях (длительные спуски/подъемы); Особенности управления в метро и на монорельсовых дорогах; Управление при аварийных ситуациях.        |
| 31       | <b>Тенденции развития САУ электропривода ПСЖД</b><br>Рассматриваемые вопросы: Применение широкозонных полупроводников (SiC, GaN); Развитие методов предиктивного и оптимального управления; Использование искусственного интеллекта и машинного обучения; Повышение уровня интеграции и миниатюризации систем управления.      |
| 32       | <b>Интеграция САУ тягового привода с общевагонными системами управления</b><br>Рассматриваемые вопросы: Взаимодействие с системой управления поездом (PIS, TMS); Обмен данными с системами безопасности (СКНБ, ЕКС); Участие в системе бортовой диагностики; Управление энергопотреблением всего поезда.                       |

#### 4.2. Занятия семинарского типа.

## Лабораторные работы

| №<br>п/п | Наименование лабораторных работ / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Снятие статических и динамических характеристик ТЭД постоянного тока<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально снимут и проанализируют механические, электромеханические и переходные характеристики ТЭД при различных схемах питания и управления, определят основные параметры двигателя.                                                                                     |
| 2        | Исследование работы контура тока якоря ТЭД постоянного тока<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально исследуют переходные процессы в контуре тока (разгон, торможение, наброс нагрузки), оценят влияние параметров ПИ-регулятора тока на быстродействие, перерегулирование и статическую ошибку.                                                                               |
| 3        | Исследование каскадной системы подчиненного регулирования скорости ТЭД постоянного тока (контуров тока и скорости)<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально изучат взаимодействие контуров тока и скорости, оценят влияние параметров ПИ-регулятора скорости на качество переходных процессов при изменении задания скорости и возмущающего момента.                           |
| 4        | Исследование системы автоматического ослабления поля (АОП) ТЭД постоянного тока<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально определяют моменты срабатывания ступеней АОП, исследуют влияние АОП на скоростные характеристики и энергетические показатели привода в различных режимах работы.                                                                                      |
| 5        | Исследование скалярного управления ( $U/f$ ) асинхронным тяговым двигателем (АТД)<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально снимут механические характеристики АТД при различных частотах, исследуют пусковые свойства, устойчивость работы и ограничения метода $U/f = \text{const}$ .                                                                                         |
| 6        | Исследование векторного управления асинхронным тяговым двигателем<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально изучат динамические характеристики АТД при векторном управлении (разгон, реверс, наброс момента), оценят точность регулирования момента и скорости, сравнят с результатами скалярного управления.                                                                   |
| 7        | Исследование режимов рекуперативного торможения АТД<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально изучат процесс перехода из двигательного режима в генераторный, исследуют стабилизацию напряжения звена постоянного тока (ЗПТ) при рекуперации, оценят эффективность передачи энергии.                                                                                            |
| 8        | Исследование работы системы стабилизации напряжения в звене постоянного тока (ЗПТ) преобразователя<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально исследуют влияние регулятора напряжения ЗПТ на стабильность напряжения при скачках нагрузки (пуск двигателя) и при рекуперативном торможении.                                                                                      |
| 9        | Исследование алгоритмов обнаружения и подавления боксования<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально смоделируют условия потери сцепления, исследуют работу алгоритма обнаружения боксования (по разности скоростей/токов двигателей) и эффективность различных методов его подавления (снижение момента, подпесок).                                                           |
| 10       | Исследование влияния параметров ПИД-регуляторов на качество переходных процессов в САУ электропривода<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально оценят влияние изменения коэффициентов пропорциональности ( $K_p$ ), интеграла ( $K_i$ ) и дифференциала ( $K_d$ ) регуляторов тока и скорости на время регулирования, перерегулирование, колебательность и статическую ошибку. |

| №<br>п/п | Наименование лабораторных работ / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11       | Исследование цифрового управления тяговым электроприводом на базе ПЛК<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты настроят и запрограммируют простейшие законы управления (ПИ-регулятор тока) на промышленном программируемом логическом контроллере (ПЛК), исследуют влияние периода дискретизации на качество управления.                                                                  |
| 12       | Исследование электромагнитной совместимости (ЭМС) преобразователя частоты<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально измеряют уровни кондуктивных электромагнитных помех на входе и выходе инвертора, исследуют эффективность входных и выходных фильтров для обеспечения соответствия нормам ЭМС.                                                                         |
| 13       | Исследование работы системы управления синхронным тяговым двигателем с постоянными магнитами (СДПМ)<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально изучат характеристики СДПМ при векторном управлении, исследуют особенности пуска, регулирования момента и скорости, оценят эффективность в тяговом режиме.                                                                  |
| 14       | Исследование тепловых режимов работы силовых модулей (IGBT) преобразователя<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально измеряют температуры кристаллов IGBT в различных режимах работы инвертора (разные токи, частоты переключения), оценят эффективность системы охлаждения.                                                                                             |
| 15       | Исследование бессенсорных методов определения скорости/положения ротора АД<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты экспериментально изучат и сравнят точность и диапазон работы различных бессенсорных алгоритмов (по ЭДС, по высокочастотному сигналу) при разных скоростях и нагрузках.                                                                                                |
| 16       | Комплексное исследование работы САУ тягового привода на стенде, имитирующем движение ПСЖД<br>В результате выполнения лабораторной работы студенты проведут комплексное тестирование САУ электропривода, имитируя движение по заданному профилю пути (разгон, движение с постоянной скоростью, преодоление уклона, торможение), оценят энергоэффективность, плавность хода и выполнение заданных режимов. |

### Практические занятия

| №<br>п/п | Тематика практических занятий/краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Расчет статических характеристик электропривода постоянного тока<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают и построят естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики ТЭД постоянного тока для различных схем питания и значений сопротивлений в цепи якоря и возбуждения.                        |
| 2        | Расчет параметров силового преобразователя для ТЭД постоянного тока<br>В результате выполнения практического задания студенты определят необходимые параметры (напряжение, ток, мощность) управляемого выпрямителя или импульсного преобразователя для питания ТЭД постоянного тока заданной мощности с учетом пусковых токов и требований к регулированию. |
| 3        | Расчет параметров ПИ-регулятора тока якоря ТЭД постоянного тока<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают коэффициенты усиления и постоянные времени ПИ-регулятора для контура тока якоря на основе заданных требований к быстродействию и перерегулированию.                                                                    |
| 4        | Расчет параметров ПИ-регулятора скорости в системе подчиненного регулирования (ТЭД ПТ)<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают параметры ПИ-регулятора                                                                                                                                                                         |



| №<br>п/п | Тематика практических занятий/краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | скорости для каскадной системы управления ТЭД постоянного тока, обеспечивающей требуемое качество переходного процесса при разгоне и торможении.                                                                                                                                                                                                                                 |
| 5        | Расчет параметров системы автоматического ослабления поля (АОП) ТЭД постоянного тока<br>В результате выполнения практического задания студенты определяют моменты (токи, скорости) переключения ступеней ослабления поля, рассчитают добавочные сопротивления в цепи возбуждения или коэффициенты ослабления для заданного диапазона регулирования скорости.                     |
| 6        | Расчет энергетических показателей электропривода постоянного тока при пуске и торможении<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают потери энергии в якоре, возбуждении и реостатах, а также оценим КПД привода и величину рекупируемой энергии (при наличии) для заданного цикла работы локомотива.                                                   |
| 7        | Расчет статических характеристик асинхронного тягового привода при скалярном управлении ( $U/f=\text{const}$ )<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают и построят механические характеристики АТД для различных частот питающего напряжения, определяют зоны устойчивой работы и критический момент.                                                |
| 8        | Расчет параметров преобразователя частоты для скалярного управления АТД<br>В результате выполнения практического задания студенты определяют требуемые выходные параметры инвертора (диапазон частот, напряжение, ток) и рассчитают закон изменения напряжения в функции частоты ( $U/f$ ) для заданного АТД с учетом ограничений.                                               |
| 9        | Расчет параметров регуляторов тока статора для векторного управления АТД<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают параметры ПИ-регуляторов тока в осях $d$ и $q$ для контуров подчиненного регулирования в системе векторного управления АТД.                                                                                                        |
| 10       | Расчет параметров регулятора скорости и потокосцепления ротора в векторном управлении АТД<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают параметры ПИ-регулятора скорости и регулятора потокосцепления ротора для системы векторного управления с ориентацией по полю ротора.                                                                              |
| 11       | Расчет момента и тока статора при векторном управлении АТД<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают задающие сигналы по току в осях $d$ и $q$ для обеспечения требуемого момента и поддержания номинального потокосцепления ротора при различных скоростях вращения.                                                                                 |
| 12       | Расчет параметров системы управления моментом синхронного тягового двигателя (СДПМ)<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают параметры регуляторов тока и моментобразующей составляющей тока статора ( $I_q$ ) для СДПМ с учетом его параметров (индуктивности, потока постоянных магнитов).                                                         |
| 13       | Расчет переходных процессов в контуре тока при пуске ЭПС<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают и построят графики изменения тока якоря (или статора) и скорости при пуске с ограничением тока для заданных параметров двигателя, момента инерции и момента нагрузки.                                                                              |
| 14       | Расчет параметров системы рекуперативного торможения (стабилизация напряжения звена постоянного тока)<br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают параметры регулятора напряжения в звене постоянного тока (ЗПТ) инвертора, обеспечивающего стабильное напряжение при рекуперации энергии в контактную сеть с заданными динамическими характеристиками. |

| №<br>п/п | Тематика практических занятий/краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15       | <b>Расчет тормозных характеристик и энергии рекуперации</b><br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают зависимость тормозного момента (силы) от скорости при рекуперативном торможении, определит максимальную рекуперлируемую мощность и энергию для заданного профиля пути.                                                                                      |
| 16       | <b>Расчет параметров системы обнаружения и подавления боксования</b><br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают пороговые значения ускорения оси или разности токов двигателей, при которых срабатывает алгоритм подавления боксования, и определяют параметры воздействия (снижение момента) для типовых условий сцепления.                                       |
| 17       | <b>Расчет статической ошибки регулирования скорости</b><br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают статическую ошибку поддержания скорости движения ЭПС при действии возмущающего момента (уклон) для системы с П- и ПИ-регуляторами скорости.                                                                                                                     |
| 18       | <b>Расчет коэффициента демпфирования механических колебаний в приводе</b><br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают параметры упруго-массовой модели привода (колесная пара-редуктор-двигатель) и оценят влияние коэффициентов регуляторов тока и скорости на демпфирование возможных колебаний.                                                                  |
| 19       | <b>Расчет оптимального закона управления разгоном ЭПС</b><br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают закон изменения ускорения (или момента) во времени при разгоне, минимизирующий потери энергии или время разгона при заданных ограничениях (ток, ускорение, скорость).                                                                                         |
| 20       | <b>Расчет параметров входного LC-фильтра преобразователя</b><br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают индуктивность и емкость входного фильтра тягового преобразователя для обеспечения требуемого уровня пульсаций тока, потребляемого из контактной сети, и соответствия нормам ЭМС.                                                                           |
| 21       | <b>Расчет теплового режима силовых полупроводниковых приборов (IGBT)</b><br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают средние и действующие токи через силовые ключи, потери мощности на проводящем IGBT и диоде, а также на переключениях для заданного режима работы инвертора и определяют требования к системе охлаждения.                                       |
| 22       | <b>Расчет коэффициента полезного действия (КПД) тягового электропривода</b><br>В результате выполнения практического задания студенты рассчитают КПД всего тягового привода (преобразователь + двигатель) для различных точек рабочей характеристики (скорость, момент) на основе заданных КПД составляющих и потерь.                                                                        |
| 23       | <b>Расчет требуемой тактовой частоты и разрядности ЦАП/АЦП для цифровой САУ</b><br>В результате выполнения практического задания студенты определяют минимально необходимую тактовую частоту микроконтроллера и разрядность ЦАП/АЦП для реализации заданных законов регулирования (ПИД) с требуемым быстродействием и точностью.                                                             |
| 24       | <b>Синтез и анализ простейшей САУ тягового привода в среде моделирования</b><br>В результате выполнения практического задания студенты создадут упрощенную модель САУ тягового привода (напр., контур тока ТЭД ПТ), рассчитают и введут параметры регуляторов, промоделируют переходные процессы (пуск, наброс нагрузки) и оценят качество регулирования (время, перерегулирование, ошибка). |

#### 4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

| №<br>п/п | Вид самостоятельной работы                                 |
|----------|------------------------------------------------------------|
| 1        | Текущая подготовка к лабораторным и практическим занятиям. |

| №<br>п/п | Вид самостоятельной работы             |
|----------|----------------------------------------|
| 2        | Изучение дополнительной литературы.    |
| 3        | Выполнение курсовой работы.            |
| 4        | Подготовка к промежуточной аттестации. |
| 5        | Подготовка к текущему контролю.        |

#### 4.4. Примерный перечень тем курсовых работ

1. Разработка системы подчиненного регулирования для ТЭД постоянного тока
2. Векторное управление асинхронным тяговым приводом с ориентацией по полю ротора
3. Оптимизация пуска электроподвижного состава с ограничением тока и ускорения
4. Система рекуперативного торможения с стабилизацией напряжения в ЗПТ
5. Адаптивная система управления тяговым приводом при изменяющемся сцеплении колеса с рельсом
6. Цифровая реализация ПИД-регулятора скорости на базе микроконтроллера
7. Управление синхронным двигателем с постоянными магнитами (СДПМ) для высокоскоростного подвижного состава
8. Система автоматического ослабления поля для ТЭД постоянного тока
9. Диагностика и прогнозирование отказов в САУ электропривода
10. Интеграция САУ тягового привода с системами управления поездом

#### 5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

| №<br>п/п | Библиографическое описание                                                                                                                                                                      | Место доступа                                                                                                                                       |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Замуруев, С. Н. Системы автоматического управления: Практикум : учебное пособие / С. Н. Замуруев, Е. А. Чистяков, А. П. Клопова. — Москва : РТУ МИРЭА, 2025. — 114 с. — ISBN 978-5-7339-2459-5. | URL:<br><a href="https://e.lanbook.com/book/493412">https://e.lanbook.com/book/493412</a><br>(дата обращения: 12.07.2025). -<br>Текст: электронный. |
| 2        | Шамшина, И. Г. Теория автоматического управления. Линейные непрерывные системы : учебное пособие / И. Г. Шамшина. — Находка : Дальрыбвтуз, 2022. — 144 с. — ISBN 978-5-88871-760-8.             | URL:<br><a href="https://e.lanbook.com/book/307436">https://e.lanbook.com/book/307436</a><br>(дата обращения: 12.07.2025).-<br>Текст: электронный.  |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                     |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | Ощепков, А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB / А. Ю. Ощепков. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 208 с. — ISBN 978-5-507-47207-9.                                                                                 | URL:<br><a href="https://e.lanbook.com/book/341180">https://e.lanbook.com/book/341180</a><br>(дата обращения: 12.07.2025). -<br>Текст: электронный. |
| 4 | Евстафьев, А. М. Определение параметров и качества регулирования системы автоматического управления тяговыми электродвигателями электровазов переменного тока : учебное пособие / А. М. Евстафьев, А. Я. Якушев. — Санкт-Петербург : ПГУПС, 2017. — 44 с. — ISBN 978-5-7641-1100-1. | URL:<br><a href="https://e.lanbook.com/book/111717">https://e.lanbook.com/book/111717</a><br>(дата обращения: 12.07.2025). -<br>Текст: электронный. |
| 5 | Бирюков, В. В. Автоматизированный тяговый электропривод : учебник / В. В. Бирюков. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 323 с. — ISBN 978-5-7782-3993-7.                                                                                                                                   | URL:<br><a href="https://e.lanbook.com/book/152145">https://e.lanbook.com/book/152145</a><br>(дата обращения: 12.07.2025). -<br>Текст: электронный. |

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Официальный сайт РУТ (МИИТ) (<https://www.miit.ru/>);

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru/>);

Образовательная платформа «Юрайт» (<https://urait.ru/>);

Общие информационные, справочные и поисковые системы «Консультант Плюс» (<http://www.consultant.ru/>), «Гарант» (<http://www.garant.ru/>);

«Техэксперт» — справочная система, предоставляющая нормативно-техническую, нормативно-правовую информацию (<https://docs.cntd.ru/>);

Электронно-библиотечная система издательства «Лань» (<http://e.lanbook.com/>);

Электронно-библиотечная система [ibooks.ru](http://ibooks.ru) (<http://ibooks.ru/>);

Главная книга (<https://glavkniga.ru/>).

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Microsoft Office (Word, Excel); MatLab Simulink; SimInTech; Codesys.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные компьютерной техникой, наборами демонстрационного оборудования и стендами для выполнения лабораторных работ.

9. Форма промежуточной аттестации:

Курсовая работа в 6 семестре.

Зачет в 6, 7 семестрах.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

старший преподаватель кафедры  
«Электропоезда и локомотивы»

Д.В. Назаров

Согласовано:

Заведующий кафедрой НТТС

П.А. Григорьев

Заведующий кафедрой ЭлЛ

О.Е. Пудовиков

Председатель учебно-методической  
комиссии

С.В. Володин