

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Тюменский индустриальный университет»**

Институт промышленных технологий и инжиниринга

**УТВЕРЖДАЮ**  
И.о. директора ИПТИ

 С.А. Зак  
«20» декабря 2024 г.

**ПРОГРАММА**  
**кандидатского экзамена**

**«Специальная дисциплина Электротехнические комплексы и системы»**  
**(технические науки)**

Научная специальность 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры электроэнергетики  
Протокол № 4 от «20» декабря 2024 г.

Заведующий кафедрой  Г.А. Хмара  
(подпись)

**Программу разработал:**

В.В. Сушков, профессор кафедры  
электроэнергетики, д-р техн. наук,  
профессор

  
(подпись)

## 1. Цель экзамена

Цель кандидатского экзамена – проверка сформированности у аспирантов/ соискателей ученой степени кандидата наук (далее – соискатель) компетенций, позволяющих осуществлять планирование и проведение научных исследований в области электротехнических комплексов и систем на основе, углубленного изучения теории системных исследований по общим закономерностям преобразования, накопления, передачи и использования электрической энергии и электротехнической информации.

Экзаменуемый должен продемонстрировать/показать:

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

- Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

- Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.

- Способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности.

- Способность самостоятельно осваивать и применять новые системы компьютерной математики и системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга, овладевать современными языками программирования и разрабатывать оригинальные пакеты прикладных программ и проводить с их помощью расчеты электротехнических устройств, обеспечивающих оптимальные режимы работы.

- Способность овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по электродинамическим процессам в электротехнических устройствах, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов.

## 2. Содержание программы

### Раздел 1. Теория электропривода

Функции, выполняемые общепромышленным и тяговым приводом, и его обобщенные функциональные схемы. Характеристики электромеханического преобразователя энергии и его математическое описание в двигательном и тормозном режимах. Обобщенная электрическая машина как основной компонент электропривода. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока, асинхронных, синхронных и шаговых двигателей. Механические устройства. Нагрузка двигателя. Сопряжение двигателя с рабочим механизмом (редукторы, муфты). Гистерезисная муфта, гистерезисный электромагнитный тормоз.

Математические модели и структурные схемы электромеханических систем с электродвигателями разных типов.

Установившиеся режимы работы электропривода. Частотный и спектральный анализ. Учет упругих звеньев и связей. Учет нелинейностей. Построение адекватных моделей с использованием компьютерных технологий.

Переходные процессы в электроприводах. Линейные и нелинейные системы, передаточные и переходные функции электропривода. Примеры формирования оптимальных переходных процессов при разгоне и торможении электропривода с учетом процессов в рабочем механизме.

Обобщенный алгоритм компьютерного моделирования линейных или нелинейных систем автоматизированного электропривода; представление и обработка результатов моделирования.

Регулирование координат электропривода. Характеристика систем электроприводов: управляемый преобразователь-двигатель постоянного тока, преобразователь частоты - асинхронный двигатель, преобразователь частоты - синхронный двигатель, системы с шаговыми двигателями, системы с вентильными двигателями, системы с линейными двигателями и сферы их применения. Основные характеристики приборных систем электроприводов. Гистерезисный электропривод с преобразователями частоты и напряжения, с управлением возбуждением приводного гистерезисного электродвигателя и регулированием намагниченности его ротора.

Следящие электроприводы. Многодвигательные электромеханические системы. Тяговые электроприводы.

Выбор типа и мощности электродвигателя, обоснование структуры, типа и мощности преобразователя. Основные этапы эскизного и рабочего проектирования электропривода.

## Раздел 2. Автоматическое управление электроприводом

Основные функции и структуры автоматического управления электроприводом. Типовые, функциональные схемы и типовые системы, осуществляющие автоматический пуск, стабилизацию скорости, реверс и остановку электродвигателей. Синтез систем с контактными и бесконтактными элементами. Принципы выбора элементной базы.

Общие вопросы теории замкнутых систем автоматического управления электроприводом (САУ) при заданном рабочем механизме.

Методы анализа и синтеза замкнутых, линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных САУ. Применение методов вариационного исчисления и пакетов прикладных программ для ПЭВМ.

Системы управления электроприводами постоянного и переменного тока. Типовые структуры систем управления асинхронными и синхронными двигателями. Особенности построения систем управления асинхронными и синхронными двигателями. Особенности построения систем управления электроприводов с тиристорными преобразователями. Системы с машинами двойного питания. Структура управления специальными приводами (тяговые,

крановые, муфтовые и т.п.). Управление электроприводами с линейными двигателями.

Управление электроприводами при наличии редуктора и упругой связи двигателя с механизмом. Стабилизирующие системы управления электроприводами. Защита от перегрузок и аварийных режимов.

Типовые узлы и типовые САУ, поддерживающие постоянство заданных переменных. Типовые узлы и типовые следящие САУ непрерывного и дискретного действия. Оптимальные и инвариантные САУ. Анализ и синтез следящих САУ с учетом стохастических воздействий. Цифровые САУ. Электроприводы в робототехнических комплексах и гибких автоматизированных производствах. Применение микропроцессоров и микроЭВМ для индивидуального и группового управления электроприводами технологических объектов и транспортных средств.

Адаптивные системы автоматического управления и принципы их управления. Алгоритмы адаптации в электроприводах.

Надежность и техническая диагностика электроприводов.

Раздел 3. Теория и принципы работы комплексных узлов электрооборудования

Научные основы и принципы работы наиболее распространенных комплектных узлов электрооборудования (по отраслям). Преобразователи напряжения, в том числе: генераторы и электромашинные преобразователи, управляемые вентильные преобразователи постоянного и переменного тока в постоянный, инверторы, непосредственные преобразователи частоты переменного тока и др.

Основные принципы построения систем и комплектных узлов общепромышленного электрооборудования и электрооборудования неавтономных и автономных стационарных и подвижных объектов. Контакторно-резисторные и электронные узлы систем управления электрическим подвижным составом и их особенности.

Контактные и бесконтактные узлы систем управления электродвигателями постоянного и переменного тока, работающие в непрерывных, релейных и импульсных режимах. Особенности проектирования. Элементная база силовых цепей электрооборудования (контакты, резисторы, силовые полупроводниковые приборы).

Раздел 4. Электрооборудование для электроснабжения промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства

Классификация источников, приемников и преобразователей электрической энергии. Электрические нагрузки и закономерности изменения их во времени (по отраслям). Использование теории случайных процессов для представления основных параметров нагрузки. Основы теории прогнозирования и динамики потребления электрической энергии. Тяговые

подстанции и их принципиальные особенности; типы тяговых подстанций электротранспорта.

Принципы расчета электрических сетей и систем электрооборудования.

Выбор систем и схем электроснабжения. Современные методы оптимизации систем электроснабжения, критерии оптимизации. Характерные схемы электроснабжения. Выбор напряжения в системах электроснабжения (по отраслям). Сокращение числа трансформаций и выбор числа трансформаций.

Блуждающие токи и коррозия подземных сооружений. Защита от блуждающих токов.

Определение токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов защиты. Принципы автоматического повторного включения.

Технико-экономические расчеты в системах электроснабжения (по отраслям) и использование для этих целей современных компьютерных технологий. Теория интерполяции и аппроксимации; методы приближения функций в расчетах по электротехническим комплексам и системам.

Теория надежности и техническая диагностика в электроснабжении и преобразовании электрической энергии (по отраслям). Теория малых выборок, и ее использование в практике расчетов.

Компенсация реактивной мощности. Основные направления развития компенсирующих устройств.

Заземление электроустановок, молниезащита промышленных, транспортных и сельскохозяйственных сооружений, жилых и культурно бытовых зданий.

Допустимые перегрузки элементов преобразовательных подстанций в системах электроснабжения; прогнозирование перегрузок.

Электрический баланс в системах электроснабжения городов, объектов сельского хозяйства, промышленных предприятий и подвижных объектов.

Методика расчета потерь мощности в системах электроснабжения.

Нормирование энергопотребления.

Раздел 5. Качество электрической энергии

Показатели качества электрической энергии. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на производительность механизмов и агрегатов (по отраслям). Электромагнитная совместимость приемников электрической энергии с питающей сетью.

Средства улучшения показателей качества электроэнергии. Компенсация реактивной мощности в электроприводах и системах электроснабжения.

Основные направления развития компенсирующих устройств.

### **3. Примерный перечень вопросов для подготовки к кандидатскому экзамену**

1. Теория электропривода. Функции, выполняемые общепромышленными тяговым приводом, и его обобщенные



функциональные схемы.

2. Характеристики электромеханического преобразователя энергии и его математическое описание в двигательном и тормозном режимах.

3. Обобщенная электрическая машина как основной компонент электропривода.

4. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока, асинхронных, синхронных и шаговых двигателей. Механические устройства.

5. Нагрузка двигателя. Сопряжение двигателя с рабочим механизмом (редукторы, муфты). Гистерезисная муфта, гистерезисный электромагнитный тормоз. Математические модели и структурные схемы электромеханических систем с электродвигателями разных типов.

6. Установившиеся режимы работы электропривода. Частотный и спектральный анализ. Учет упругих звеньев и связей.

7. Учет нелинейностей.

8. Построение адекватных моделей с использованием компьютерных технологий.

9. Переходные процессы в электроприводах. Линейные и нелинейные системы, передаточные и переходные функции электропривода.

10. Примеры формирования оптимальных переходных процессов при разгоне и торможении электропривода с учетом процессов в рабочем механизме. Обобщенный алгоритм компьютерного моделирования линейных или нелинейных систем автоматизированного электропривода; представление и обработка результатов моделирования.

11. Регулирование координат электропривода.

12. Характеристика систем электроприводов: управляемый преобразователь-двигатель постоянного тока, преобразователь частоты - асинхронный двигатель, преобразователь частоты - синхронный двигатель, системы с шаговыми двигателями, системы с вентильными двигателями, системы с гистерезисными двигателями, системы с линейными двигателями и сферы их применения.

13. Основные характеристики приборных систем электроприводов.

14. Следящие электроприводы. Многодвигательные электромеханические системы.

15. Тяговые электроприводы.

16. Вентильный электропривод на базе магнитоэлектрических и индукторных машин с обмоткой возбуждения и с самовозбуждением.

17. Гистерезисный электропривод с преобразователями частоты и напряжения, с управлением возбуждением приводного гистерезисного электродвигателя и регулированием намагниченности его ротора.

18. Выбор типа и мощности электродвигателя, обоснование структуры, типа и мощности преобразователя. Основные этапы эскизного и рабочего проектирования электропривода.

19. Автоматическое управление электроприводом. Основные функции и структуры автоматического управления электроприводом.

20. Типовые, функциональные схемы и типовые системы, осуществляющие автоматический пуск, стабилизацию скорости, реверс и остановку электродвигателей.

21. Синтез систем с контактными и бесконтактными элементами. Принципы выбора элементной базы. Общие вопросы теории замкнутых систем автоматического управления электроприводом (САУ) при заданном рабочем механизме.

22. Методы анализа и синтеза замкнутых, линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных САУ.

23. Применение методов вариационного исчисления и пакетов прикладных программ для ПЭВМ.

24. Системы управления электроприводами постоянного и переменного тока. Типовые структуры систем управления асинхронными и синхронными двигателями.

25. Особенности построения систем управления асинхронными и синхронными двигателями.

26. Особенности построения систем управления электроприводов с тиристорными преобразователями.

27. Системы с машинами двойного питания.

28. Структура управления специальными приводами (тяговые, крановые, муфтовые и т.п.).

29. Электроприводы механизмов с большими моментами инерции.

30. Электроприводы в режиме синхронного вала.

31. Многодвигательные электроприводы.

32. Управление электроприводами с линейными двигателями.

33. Управление электроприводами при наличии редуктора и упругой связи двигателя с механизмом.

34. Стабилизирующие системы управления электроприводами.

35. Защита от перегрузок и аварийных режимов.

36. Типовые узлы и типовые САУ, поддерживающие постоянство заданных переменных.

37. Типовые узлы и типовые следящие САУ непрерывного и дискретного действия.

38. Оптимальные и инвариантные САУ.

39. Анализ и синтез следящих САУ с учетом стохастических воздействий.

40. Цифровые САУ. Электроприводы в робототехнических комплексах и гибких автоматизированных производствах.

41. Электроприводы в системах, реализующих мехатронные технологии. Применение микропроцессоров и микроЭВМ для индивидуального и группового управления электроприводами технологических объектов и транспортных средств.

42. Адаптивные системы автоматического управления и принципы их управления. Алгоритмы адаптации в электроприводах.



43. Надежность и техническая диагностика электроприводов.
44. Теория и принципы работы комплексных узлов электрооборудования. Научные основы и принципы работы наиболее распространенных комплектных узлов электрооборудования (по отраслям).
45. Преобразователи напряжения, в том числе: генераторы и электромашинные преобразователи, управляемые вентильные преобразователи постоянного и переменного тока в постоянный, инверторы, непосредственные преобразователи частоты переменного тока и др.
46. Основные принципы построения систем и комплектных узлов общепромышленного электрооборудования и электрооборудования неавтономных и автономных стационарных и подвижных объектов.
47. Контакторно-резисторные и электронные узлы систем управления электрическим подвижным составом и их особенности.
48. Контактные и бесконтактные узлы систем управления электродвигателями постоянного и переменного тока, работающие в непрерывных, релейных и импульсных режимах. Особенности проектирования.
49. Электрооборудование для электроснабжения промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства
50. Классификация источников, приемников и преобразователей электрической энергии.
51. Основы теории прогнозирования и динамики потребления электрической энергии.
52. Тяговые подстанции и их принципиальные особенности; типы тяговых подстанций электротранспорта.
53. Принципы расчета электрических сетей и систем электрооборудования. Выбор систем и схем электроснабжения.
54. Современные методы оптимизации систем электроснабжения, критерии оптимизации. Характерные схемы электроснабжения.
55. Выбор напряжения в системах электроснабжения (по отраслям).
56. Сокращение числа трансформаций и выбор числа трансформаций.
57. Блуждающие токи и коррозия подземных сооружений.
58. Защита от блуждающих токов. Определение токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов защиты.
59. Принципы автоматического повторного включения.
60. Технико-экономические расчеты в системах электроснабжения (по отраслям) и использование для этих целей современных компьютерных технологий.
61. Теория интерполяции и аппроксимации; методы приближения функций в расчетах по электротехническим комплексам и системам.
62. Теория надежности и техническая диагностика в электроснабжении и преобразовании электрической энергии (по отраслям).
63. Теория малых выборок, и ее использование в практике расчетов.
64. Заземление электроустановок, молниезащита промышленных,

транспортных и сельскохозяйственных сооружений, жилых и культурно бытовых зданий.

65. Допустимые перегрузки элементов преобразовательных подстанций в системах электроснабжения; прогнозирование перегрузок.

66. Электрический баланс в системах электроснабжения городов, объектов сельского хозяйства, промышленных предприятий и подвижных объектов.

67. Методика расчета потерь мощности в системах электроснабжения.

68. Нормирование энергопотребления.

69. Качество электрической энергии.

70. Показатели качества электрической энергии.

71. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на производительность механизмов и агрегатов (по отраслям).

72. Электромагнитная совместимость приемников электрической энергии с питающей сетью.

73. Средства улучшения показателей качества электроэнергии.

74. Компенсация реактивной мощности в электроприводах и системах электроснабжения.

75. Основные направления развития компенсирующих устройств.

3.1. Форма проведения кандидатского экзамена - устно. По билетам. В билете три вопроса: первый – из разделов 1 и 2, второй – из разделов 3 и 4, третий – из раздела 5.

3.2. Критерии оценивания степени полноты и качества освоения программы

Оценка	Критерии оценки
«Отлично»	экзаменуемый обнаруживает глубокое, полное знание содержания учебного материала, понимание сущности рассматриваемых явлений и закономерностей, принципов и теорий; умение выделять существенные связи в рассматриваемых явлениях, давать точное определение основным понятиям, связывать теорию с практикой, решать прикладные задачи. Он аргументирует свои суждения, грамотно владеет профессиональной терминологией, связно излагает свой ответ
«Хорошо»	экзаменуемый обнаруживает достаточное владение учебным материалом, в том числе понятийным аппаратом; демонстрирует уверенную ориентацию в изученном материале, возможность применять знания для решения практических задач, но затрудняется в приведении примеров. При ответе допускает отдельные неточности
«Удовлетворительно»	экзаменуемый излагает основное содержание учебного материала, но раскрывает материал неполно, непоследовательно, допускает неточности в определении

	понятий, не умеет доказательно обосновать свои суждения
«Неудовлетворительно»	экзаменуемый демонстрирует разрозненные бессистемные знания, не выделяет главное и второстепенное, допускает ошибки в определении понятий, беспорядочно, неуверенно излагает материал, не может применять знания для решения практических задач в соответствии с требованиями программы или вообще отказывается от ответа

#### 4. Учебно-методическое и информационное обеспечение программы

4.1. Перечень рекомендуемой литературы представлен в Приложении 1.

4.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

- Электронный каталог/Электронная библиотека ТИУ (<http://webirbis.tsogu.ru/>);
- База данных «ЭБС ЛАНЬ» ([www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com));
- «Образовательная платформа ЮРАЙТ» «Электронного издательства ЮРАЙТ» ([www.urait.ru](http://www.urait.ru));
- Научная электронная библиотека «eLIBRARY.RU» (<http://elibrary.ru/>);
- Цифровой образовательный ресурс IPRsmart (<http://www.iprbookshop.ru/>);
- Научно-техническая библиотека ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина» (<http://elib.gubkin.ru/>);
- Научно-техническая библиотека ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (<http://bibl.rusoil.net>);
- Научно-техническая библиотека ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет» (<http://lib.ugtu.net/books>);
- Электронно-библиотечная система «Консультант студента» (<http://www.studentlibrary.ru>);
- Национальная электронная библиотека (НЭБ) (<https://rusneb.ru/>).

## Список рекомендуемой литературы

Программа кандидатского экзамена «Специальная дисциплина Электротехнические комплексы и системы» (технические науки)

Шифр и наименование научной специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы

№ п/п	Название издания, автор, издательство, вид издания, год издания	Количество экземпляров в БИК	Наличие электронного варианта в ЭБС (+/-)
1	Лысова, Ольга Александровна. Регулируемые электроприводы основных механизмов нефтегазодобывающего комплекса : монография / О. А. Лысова, В. П. Фрайштетер. - Тюмень : ТИУ, 2019. - 260 с. : рис. - URL: <a href="https://clck.ru/3EmJvJ">https://clck.ru/3EmJvJ</a> . - Режим доступа: для автор. пользователей. - Электронная библиотека ТИУ.	11+ЭР*	+
2	Устойчивость промышленных электротехнических систем = Stability of the industrial electrotechnical systems : монография / М. С. Ершов, А. В. Егоров, А. А. Трифонов ; дар. РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. - М. : Недра, 2010. - 319 с. : ил. - (Национальный исследовательский университет). - Библиогр.: с. 316-317 (24 назв.). - 500 экз.. - ISBN 978-5-8365-0372-7 : 650.00 р. - Текст : непосредственный. + URL: <a href="http://elib.gubkin.ru/content/17076">http://elib.gubkin.ru/content/17076</a>	12+ЭР*	+
3	Федоров, Владимир Кузьмич. Оптимизация проектирования структуры и состава электротехнических систем с распределённой генерацией : монография / В. К. Федоров, Е. Н. Леонов ; ТИУ. - Тюмень : ТИУ, 2021. - 188 с. : ил. - URL: <a href="https://clck.ru/3EhZaH">https://clck.ru/3EhZaH</a> . - Режим доступа: для автор. пользователей. - Электронная библиотека ТИУ.	4+ЭР*	+
4	Электропривод типовых производственных механизмов : учебное пособие для вузов / Ю. Н. Дементьев, В. М. Завьялов, Н. В. Кояин, Л. С. Удут. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 403 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06847-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <a href="https://urait.ru/bcode/540898">https://urait.ru/bcode/540898</a>	ЭР*	+
5	Чернышев, А. Ю. Электропривод переменного тока : учебное пособие для вузов / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И. А. Чернышев. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 215 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06846-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <a href="https://urait.ru/bcode/539535">https://urait.ru/bcode/539535</a>	ЭР*	+

ЭР\* – электронный ресурс доступный через Электронный каталог/Электронную библиотеку ТИУ <http://webportal.tsogu.ru/>

Согласовано:

