**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИШЭ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.С. Матвеев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 г.

**ПРОГРАММА кандидатского экзамена**

ПРИЕМ **2024 г.**

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ **очная**

|  |
| --- |
| **2.4.2. Электротехнические комплексы и системы** |
|  |  |
| Уровень образования | Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации |
| Курс | 2 | семестр | **4** |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| И.о. заведующего кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры |  | А.С. Сайгаш |
| Руководитель программы аспирантуры (ПА) |  | Г.И. Однокопылов |

2024 г.

1. **Общие положения**

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, составили ключевые проблемы современного состояния и прогнозирование развития электроэнергетической отрасли.

Направления исследований по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы:

1. Анализ роли и места энергетики в современном мире. Исчерпаемость энергетических ресурсов, техногенная нагрузка на биосферу, политические и социальные угрозы. Невозобновляемое энергетическое сырьё. Повышение эффективности и расширение базы в ресурсных секторах ТЭК. Термоядерная энергетика. Водородная энергетика. Прямое преобразование различных видов энергии в электрическую энергию. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на производительность механизмов и агрегатов.
2. Тенденции развития и требования к современным электроизоляционным материалам. Проблемы передачи большой электрической мощности. Перспективы развития кабельных линий постоянного напряжения. Обеспечение безопасности и экологичности электротехнических устройств изоляционные материалы. Материалы, использующиеся в электротехнических устройствах. Требования к электротехническим изделиям в ЕС и РФ. Разработка научных основ использования высоких напряжений для технологических процессов, конструирования оборудования для технологий, использующих высокое напряжение.
3. Механическая часть силового канала электропривода. Основные законы механики электропривода. Обобщенные расчетные схемы механической части электропривода. Уравнения движения связанных масс электропривода при постоянном и переменном передаточном числе, радиусе приведения и инерционных массах. Динамические характеристики жесткого механического звена, многомассовой механической системы. Механическая часть электропривода как объект управления. Структурные схемы и передаточные функции.
4. Уравнения и структурные схемы электромеханического преобразователя с независимым возбуждением. Каналы управления полем и цепью якоря, их особенности. Режимы работы, динамические свойства. Математическое описание процессов электромеханического преобразования энергии в асинхронном и синхронном двигателе. Статические характеристики и динамические свойства асинхронного электромеханического преобразователя при питании от источника напряжения и при питании от источника тока.
5. Динамические свойства электропривода при жестких механических связях. Устойчивость установившегося режима. Понятие о демпфирующей способности электропривода с упругой связью. Переходные процессы электропривода и методы их анализа. Энергетика электропривода и основы выбора мощности электропривода. Способы снижения потерь. Методы эквивалентирования по нагреву различных режимов работы электропривода.
6. Введение в теорию электромеханического преобразования энергии.
7. Базовые законы и уравнения электромеханического преобразования энергии, схемы замещения.
8. Типы электромеханических преобразователей энергии.
9. Основные функции и структуры автоматического управления электроприводом. 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.
10. Системы управления электроприводами постоянного и переменного тока. Особенности построения систем управления асинхронными и синхронными двигателями. Системы с машинами двойного питания. Структура управления специальным приводами (тяговые, крановые, муфтовые и т.п.). Управление электроприводами с линейными двигателями. Стабилизирующие системы управления электроприводами. Защита от перегрузок и аварийных режимов.
11. Типовые узлы и типовые САУ, поддерживающие постоянство заданных переменных, 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. Адаптивные системы автоматического управления и принципы их управления. Алгоритмы адаптации в электроприводах.
12. Составление моделей на основе схем замещения. Дифференциальные уравнения в нормальной форме Коши. Разностные уравнения. Модели в пространстве состояний. Наблюдатель полного порядка (наблюдатель Люенбергера). Синтез наблюдателя в пространстве состояний. Векторные функции Ляпунова и обеспечение асимптотической устойчивости наблюдателя. Синтез, моделирование, исследование параметрической робастности. Фильтр Калмана.
13. Синтез и моделирование электроприводов с нечеткими регуляторами (НР). Составление базы знаний. Настройка терм. Сравнение динамики классического электропривода (ЭП) с динамикой ЭП с НР. Синтез гибридного НР и моделирование асинхронного электропривода с гибридным НР. Сравнение динамики классического ЭП с динамикой ЭП с НР. Адаптивное управление механизмами с отрицательным вязким трением механической системы.
14. Искусственные нейронные сети как нейроэмуляторы в бездатчиковых асинхронных электроприводах. Структуры и методы обучения искусственных нейронных сетей (ИНС). Генетические алгоритмы как инструмент глобальной оптимизации. Восстановление (динамическая идентификация) не измеряемых переменных ЭП на основе ИНС. Искусственные нейронные сети как нейроконтроллеры в ЭП с параметрическими возмущениями. Адаптивные регуляторы. Нейроконтроллеры. Параметрические возмущения. Синтез и модельное исследование динамических режимов ЭП с нейроконтроллерами.
15. Синергетические регуляторы в ЭП. Синтез и моделирование. Примеры применения метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР). Процедура синтеза системы управления ЭП по методу АКАР. Анализ качества динамических процессов. Энергосберегающее управление. Метод АКАР в электроприводах переменного тока. Анализ качества динамических процессов. Энергосберегающее управление.
16. Исполнительные двигатели в системах электропривода.
17. Теоретические основы функционирования электрических и электронных аппаратов.
18. Функциональная схема современного автоматизированного технологического комплекса. Технические средства комплексов. Энергетические сети. Информационные сети. Режимы работы технологического оборудования и электроприводов. Взаимосвязанные электромагнитные подсистемы. Взаимосвязанные механические подсистемы. Алгоритмы управления электроприводов.
19. Типовые автоматизированные электроприводы. Унифицированные системы электропривода. Блочно-модульные принципы комплектования автоматизированных электроприводов. Электропривод переменного тока. Электропривод постоянного тока. Модернизация современных систем электропривода постоянного тока производственных механизмов.
20. Электропривод механизмов циклического действия с активным моментом на валу. Механизмы одноконцевого действия (подъемные лебедки экскаваторов и кранов, конусов и зондов доменной печи и т.п.) и механизмы двухконцевого действия (подъемники, лифты и т.п.). Регулирование координат, ограничение механических перегрузок. Особенности систем управления электроприводов. Примеры электроприводов механизмов циклического действия, управляемых оператором.
21. Электропривод механизмов циклического действия с реактивным характером нагрузки. Механизмы инерционного типа (экскаваторы, антенны, мосты и тележки кранов), продольно-строгальные и плоскошлифовальные станки, прокатные станы. Нагрузочные диаграммы, приемы расчета мощности приводного двигателя, требования к электроприводу и выбор его типа. Особенности регулирования координат. Общие вопросы выбора систем управления электроприводов таких механизмов. Типовые структуры комплектных регулируемых электроприводов общепромышленного назначения и электроприводов механизмов циклического действия, управляемых оператором.
22. Электропривод механизмов позиционного типа с переменной по характеру изменения нагрузкой. Механизмы точного позиционирования (лифты, подъемники, обрабатывающие центры, роботы, нажимные винты и т.п.). Факторы, влияющие на точность останова. Выбор системы управления электропривода. Примеры электроприводов механизмов циклического действия с цикловой автоматизацией и с позиционной автоматизацией.
23. Электропривод механизмов автоматического слежения. Особенности проектирования следящих электроприводов. Электроприводы механизмов подачи с числовым программным управлением. Электроприводы главного движения станков токарной и сверлильной групп и т.п. Нагрузочные диаграммы. Особенности статических и динамических режимов. Требования к регулированию координат. Электроприводы для автоматизации технологических процессов.
24. Электропривод механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от скорости. Механизмы центробежного типа. Эксплуатационные характеристики. Способы регулирования производительности. Системы с потерей энергии скольжения и возвратом ее в сеть (каскадные схемы). Вопросы экономии электрической энергии. Выбор типа электропривода. Примеры электроприводов и автоматизации технологических процессов.
25. **Содержание и структура кандидатского экзамена**

**Современное состояние и перспективы развития энергетической и электротехнической отраслей**

Проблемы энергетики и электротехники:

Роль и место энергетики в современном мире; краткая характеристика трёх основных проблем энергетики: исчерпаемость энергетических ресурсов, техногенная нагрузка на биосферу, политические и социальные угрозы.

Невозобновляемое энергетическое сырьё. Углеводородное сырьё и уголь, сырьевая база атомной энергетики, повышение эффективности и расширение базы в ресурсных секторах ТЭК.

Термоядерная энергетика на основе реакторов с магнитным и инерционным удержанием плазмы; водородная энергетика; прямое преобразование различных видов энергии в электрическую энергию.

Качество электрической энергии. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на производительность механизмов и агрегатов. Электромагнитная совместимость приемников электрической энергии с питающей сетью. Средства улучшения показателей качества электроэнергии.

Проблема ресурсоэффективности в электротехнике.

Основные тенденции развития и применения устройств силовой электроники в электротехнических комплексах.

Перспективные электроизоляционные материалы и кабельные изделия для энергетики и электротехники. Тенденции развития и требования к современным электроизоляционным материалам.

Проблемы передачи большой электрической мощности. Перспективы развития кабельных линий постоянного напряжения.

Обеспечение безопасности и экологичности электротехнических устройств: негорючие, безгалогенные изоляционные материалы. Не распространяющие горения пластмассы и композиционные материалы. Негорючие материалы. Безгалогенные материалы. Фторопласты. Альтернатива нефтяным маслам. Материалы, использующиеся в электротехнических устройствах.

Требования к электротехническим изделиям в ЕС и РФ.

Проблема применения современных электроизоляционных материалов: сшитый полиэтилен, безгалогенные и негорючие полимерные композиции, термоэластопласты.

**Теория электропривода и электромеханического преобразования энергии**

Механическая часть силового канала электропривода. Основные законы механики электропривода. Обобщенные расчетные схемы механической части электропривода. Уравнения движения связанных масс электропривода при постоянном и переменном передаточном числе, радиусе приведения и инерционных массах.

Динамические характеристики жесткого механического звена, многомассовой механической системы. Механическая часть электропривода как объект управления. Структурные схемы и передаточные функции.

Обобщенное математическое описание динамических процессов электромеханического преобразования энергии. Исходные уравнения. Координатные и фазные преобразования уравнений обобщенной электрической машины. Комплексная форма записи уравнений.

Уравнения и структурные схемы электромеханического преобразователя с независимым возбуждением. Каналы управления полем и цепью якоря, их особенности. Естественные и искусственные статические электромеханические и механические характеристики. Влияние реакции якоря на магнитную систему электродвигателя.

Уравнения и структурные схемы электромеханического преобразователя энергии последовательного возбуждения. Естественные и искусственные статические электромеханические и механические характеристики. Их анализ и влияние параметров. Режимы работы, динамические свойства. Особенности электромеханического преобразователя энергии со смешанным возбуждением.

Уравнения и характеристики асинхронных и синхронных электромеханических преобразователей. Математическое описание процессов электромеханического преобразования энергии в асинхронном и синхронном двигателе.

Статические характеристики и динамические свойства асинхронного электромеханического преобразователя при питании от источника напряжения и при питании от источника тока. Шаговый режим работы синхронного электромеханического преобразователя.

Обобщенная структурная схема в электромеханической системе с линеаризованной механической характеристикой. Динамические свойства электропривода с линейной механической характеристикой при жестких механических связях. Устойчивость установившегося режима. Понятие о демпфирующей особенности электропривода с упругой связью.

Переходные процессы электропривода и методы их анализа. Электромеханические переходные процессы электропривода с линейной механической характеристикой при неизменной частоте вращения холостого хода, электромеханические переходные процессы электропривода с линейной механической характеристикой при частоте вращения холостого хода, изменяемой во времени.

Структурные схемы электропривода постоянного тока. Энергетика электропривода и основы выбора мощности электропривода. Потери энергии при пуске, реверсе и торможении электропривода. Способы снижения потерь. Выбор мощности электропривода.

Нагрузочные диаграммы электроприводов и методы их построения. Номинальные режимы работы двигателей. Паспортные данные как основа выбора двигателя.

Методы эквивалентирования по нагреву различных режимов работы электропривода. Расчет мощности и выбор двигателей по нагреву и перегрузочной способности при различных режимах работы. Выбор мощности резисторов и преобразователей.

Введение в теорию электромеханического преобразования энергии.

Базовые законы и уравнения электромеханического преобразования энергии, схемы замещения. Типы электромеханических преобразователей энергии.

**Автоматическое управление электроприводов**

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. Системы с машинами двойного питания.

Структура управления специальными электроприводами (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 микро ЭВМ для индивидуального и группового управления электроприводами технологических объектов и транспортных средств. Адаптивные системы автоматического управления и принципы их управления. Алгоритмы адаптации в электроприводах.

**Моделирование в электроприводе и в электромеханике**

Составление моделей на основе схем замещения. Дифференциальные уравнения в нормальной форме Коши. Разностные уравнения. Модели в пространстве состояний. Модели электрических машин, используемые в электроприводе. Наблюдатель полного порядка (наблюдатель Люенбергера). Синтез наблюдателя в пространстве состояний. Векторные функции Ляпунова и обеспечение асимптотической устойчивости наблюдателя. Синтез, моделирование, исследование параметрической робастности. Фильтр Калмана.

Синтез и моделирование электроприводов с нечеткими регуляторами (НР). Синтез НР и моделирование следящего электропривода постоянного тока с НР. Составление базы знаний. Настройка терм. Сравнение динамики классического электропривода (ЭП) с динамикой ЭП с НР. Синтез и моделирование электроприводов с гибридными НР. Синтез гибридного НР и моделирование асинхронного электропривода с гибридным НР. Составление базы знаний. Настройка терм. Сравнение динамики классического ЭП с динамикой ЭП с НР. Адаптивное управление механизмами с отрицательным вязким трением. Модель механической системы с отрицательным вязким трением. Синтез НР для ЭП с механизмом вязкого трения и проверка качества динамики такого ЭП на основе моделирования.

Искусственные нейронные сети как нейроэмуляторы в бездатчиковых асинхронных электроприводах. Структуры и методы обучения искусственных нейронных сетей (ИНС). Генетические алгоритмы как инструмент глобальной оптимизации. Восстановление (динамическая идентификация) не измеряемых переменных ЭП на основе ИНС. Искусственные нейронные сети как нейроконтроллеры в ЭП с параметрическими возмущениями. Адаптивные регуляторы. Нейроконтроллеры. Параметрические возмущения. Синтез и модельное исследование динамических режимов ЭП с нейроконтроллерами.

Синергетические регуляторы в ЭП. Синтез и моделирование. Примеры применения метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР). Метод АКАР в электроприводах постоянного тока. Процедура синтеза системы управления ЭП по методу АКАР. Анализ качества динамических процессов. Энергосберегающее управление. Метод АКАР в электроприводах переменного тока. Процедура синтеза системы управления ЭП по методу АКАР. Анализ качества динамических процессов. Энергосберегающее управление.

**Электрические машины и системы электроприводов общепромышленных механизмов и технологических комплексов их проектирование**

Исполнительные двигатели в системах электропривода.

Теоретические основы функционирования электрических и электронных аппаратов.

Функциональная схема современного автоматизированного технологического комплекса. Технические средства комплексов. Энергетические сети. Информационные сети. Режимы работы технологического оборудования и электроприводов. Взаимосвязанные электромагнитные подсистемы. Взаимосвязанные механические подсистемы. Алгоритмы управления электроприводов.

Типовые автоматизированные электроприводы. Унифицированные системы электропривода. Блочно-модульные принципы комплектования автоматизированных электроприводов. Электропривод переменного тока. Электропривод постоянного тока. Модернизация современных систем электропривода постоянного тока производственных механизмов.

Электропривод механизмов циклического действия с активным моментом на валу. Механизмы одноконцевого действия (подъемные лебедки экскаваторов и кранов, конусов и зондов доменной печи и т.п.) и механизмы двухконцевого действия (подъемники, лифты и т.п.). Особенности нагрузочных диаграмм. Требования к электроприводу. Регулирование координат, ограничение механических перегрузок. Выбор типа электропривода. Особенности систем управления электроприводов. Примеры электроприводов механизмов циклического действия, управляемых оператором.

Электропривод механизмов циклического действия с реактивным характером нагрузки. Механизмы инерционного типа (экскаваторы, антенны, мосты и тележки кранов), продольно-строгальные и плоскошлифовальные станки, прокатные станы. Нагрузочные диаграммы, приемы расчета мощности приводного двигателя, требования к электроприводу и выбор его типа. Особенности регулирования координат. Общие вопросы выбора систем регулирования электроприводов рассматриваемых механизмов. Примеры типовых структур и комплектных регулируемых электроприводов общепромышленного назначения и электроприводов механизмов циклического действия, управляемых оператором.

Электропривод механизмов позиционного типа с переменной по характеру изменения нагрузкой. Механизмы точного позиционирования (лифты, подъемники, обрабатывающие центры, роботы, нажимные винты и т.п.). Факторы, влияющие на точность останова. Выбор системы управления электропривода. Примеры электроприводов механизмов циклического действия с цикловой автоматизацией и с позиционной автоматизацией.

Электропривод механизмов автоматического слежения (копировальные станки, антенны связи и слежения и т.п.). Точность слежения. Особенности проектирования следящих электроприводов. Электроприводы механизмов подачи с числовым программным управлением. Примеры: конвейеры, рольганги, эскалаторы, канатные дороги, технологические линии по обработке непрерывных материалов, главные движения станков токарной и сверлильной групп и т.п. Нагрузочные диаграммы. Особенности статических и динамических режимов. Требования к регулированию координат. Выбор типа электропривода. Типовые схемы управления. Примеры электроприводов и автоматизации технологических процессов.

Электропривод механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от скорости. Механизмы центробежного типа (насосы, компрессоры, вентиляторы, дымососы, гребные винты, центробежные пилы). Эксплуатационные характеристики. Способы регулирования производительности. Системы с потерей энергии скольжения и возвратом ее в сеть (каскадные схемы). Вопросы экономии электрической энергии. Выбор типа электропривода. Типовые схемы управления. Примеры электроприводов и автоматизации технологических процессов.

**Дополнительная часть программы кандидатского экзамена,**

**включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже:

* методы адаптивного и оптимального управления сложными нелинейными динамическими объектами;
* математическое и алгоритмическое обеспечение дискретных электромеханических систем;
* разработка интеллектуальных систем управления технологическими процессами и промышленным оборудованием;
* исследование специальных режимов работы электромеханических преобразователей энергии и разработка научных основ по их совершенствованию;
* разработка методов анализа и синтеза безредукторных электроприводов колебательного движения на базе электрических машин переменного тока;
* разработка подходов, методов алгоритмов и программ, обеспечивающих требуемые показатели качества электромеханических преобразователей энергии при режимах прерывистого перемещения;
* управление процессов электромеханического преобразования энергии;
* идентификация параметров и состояния электроприводов;
* снижение динамических нагрузок в механических передачах средствами регулируемого электропривода;
* оптимальное по быстродействию управление динамическими системами;
* синтез и реализация современных методов оптимального управления в программируемых логических контроллерах;
* моделирование и синтез автоматических теплоэнергетических объектов;
* разработка и исследование наблюдателя угловой скорости для асинхронных электроприводов в системе ТРН-АД;
* отказоустойчивость и живучесть систем электромеханики.
* проектирование специальных электрических машин переменного тока, оптимизация конструкции и параметров регулируемых электроприводов.
1. **Методические указания по процедуре проведения**

**и оценивания кандидатского экзамена**

**Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена**

К кандидатскому экзамену допускаются:

* аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
* соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами профильного ОЭЭ ИШЭ, на базе которой ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

*Требования к оформлению*. Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

*Структура реферата включает* титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

*Титульный лист* является первым листом реферата и заполняется по образцу.

*Содержание* включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной* *части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках.

 *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

**Проведение кандидатского экзамена**

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн.

Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в отделении / НОЦ. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **% выполнения заданий** **экзамена** | **Экзамен, балл** | **Соответствие** **традиционной оценке** | **Определение оценки** |
| 90%÷100% | 18 ÷ 20 | «Отлично» | Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному |
| 70% - 89% | 14 ÷ 17 | «Хорошо» | Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов |
| 55% - 69% | 11 ÷ 13 | «Удовл.» | Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов |
| 0% - 54% | 0 ÷ 10 | «Неудовл.» | Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям |

1. **Рекомендуемая литература**

**Основная литература**

1. Бурман, А. П. Основы современной энергетики: в 2 т. Том 2. Современная электроэнергетика: учебник для вузов: в 2 т. / - Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. – ISBN 978-5-383-01338-0 – Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013380.html> (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: по подписке.
2. Овчаренко, Н. И. Автоматика энергосистем: учебник для вузов / Н. И. Овчаренко; под ред. чл.-корр. РАН, докт. Техн. наук, проф. А.Ф. Дьякова – Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. – ISBN 978-5-383-00975-8 – Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009758.html> – (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: по подписке.
3. Важов, В. Ф. Техника высоких напряжений: учебник / В. Ф. Важов, В. А. Лавринович. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 262 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-16-010565-9. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1086750> (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: по подписке.
4. Агафонов, А. И. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие / А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, Н. Б. Джазовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. — 300 с. — ISBN 978-5-9729-0505-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/148384> (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: по подписке.
5. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / И. П. Копылов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 828 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11700-4. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/445920> (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: по подписке.
6. Жуловян, В. В. Электрические машины: электромеханическое преобразование энергии: учебное пособие для вузов / В. В. Жуловян. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 425 с. – (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04292-4. – Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/453145> (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: по подписке.
7. Разработка моделей элементов и систем автоматизированного электропривода в среде Matlab R2017b: учебно-методическое пособие / В. Б. Терехин, С. Н. Кладиев, А. С. Ивашутенко, В. М. Рулевский; Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа энергетики Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – URL: <https://koha.lib.tpu.ru/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=346072> (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
8. Чернышев, А. Ю. Электропривод переменного тока: учебник для вузов / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И. А. Чернышев. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 215 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-06846-7. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/563451> (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: свободный.
9. *Сипайлова, Н. Ю.* Электрические и электронные аппараты. Проектирование : учебник для вузов / Н. Ю. Сипайлова. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 167 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-17165-5. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/561301> (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: свободный.
10. Линейные системы в теории автоматического управления: учебное пособие / А. А. Шилин [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет Томск: Изд-во ТПУ, 2019. 178 с.: ил. URL: <https://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2019/m057.pdf>. (дата обращения: 14.04.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

 **Дополнительная литература:**

1. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода. М.: Изд-во МЭИ, 2000.
2. Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Учебное пособие / Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН, 2001. - 520 с.
3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1981.
4. Поздеев А.А. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно регулируемых асинхронных электроприводах. Чебоксары.: Изд-во Чуваш. .гос. ун-та, 1998.
5. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Высш. шк., 1990.
6. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Изд. Центр. «Академия», 2006, 272 с.
7. Белов М.П. Инжиниринг Электроприводов и систем автоматизации: Учебное пособие / М.П. Белов, О.И. Земантов, А.Е. Козярук и др.: под ред. В.А. Новикова, Л.Н. Чернигова. – М.: Изд. Центр «Академия», 2006. -368 с.
8. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1987.
9. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1998.
10. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы. – Учебное пособие. – Томск, ТПУ, 2011. – 206 с.
11. Терехин В. Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (MatLab 7.0.1): учебное пособие / В. Б. Терехин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). - Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 292 с.
12. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для студентов вузов / В. Я. Ротач. – 4-е изд., стер. – Москва: Изд-во МЭИ, 2007. – 400 с.
13. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на персональном компьютере. – СПб.: КОРОНА принт, 2010. – 256 с.
14. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0: Учебное пособие - СПб.: КОРОНА, 2001. - 320 с.: ил.
15. Хрущев, Ю. В. Электроэнергетические системы и сети. Электромеханические переходные процессы : учебное пособие для вузов / Ю. В. Хрущев, К. И. Заподовников, А. Ю. Юшков ; Томский политехнический университет. – Москва : Юрайт, 2020. – 153 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-02713-6.
16. Проектирование электрических аппаратов: Учебник для вузов/Г. Н. Александров, В. В. Борисов, Г. С. Каплан и др,: Под ред. Г. Н. Александрова. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. 540 с.