

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт энергетических исследований Российской академии наук
(ИНЭИ РАН)

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 2.4.2**

Электротехнические комплексы и системы

КВАЛИФИКАЦИЯ: Исследователь. Преподаватель-исследователь

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ: очная

Москва – 2022

ПРОГРАММА
вступительного испытания по специальной дисциплине для поступающих на
обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направленность (специальность) — 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

1. Общие положения

Настоящая программа вступительного испытания по специальной дисциплине составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Прием вступительных испытаний регламентирован Правилами приема на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН).

2. Цели вступительных испытаний

Выявление специальных знаний, полученных в процессе получения высшего образования в специалитете и(или) магистратуре, научного потенциала и объективной оценки способностей лиц, поступающих в аспирантуру.

3. Выставление оценок по результатам выполнения экзаменационных заданий.

Вступительный экзамен проводится в устной форме на русском языке.

По итогам экзамена выставляется оценка по шкале «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Пересдача вступительных экзаменов не допускается. Результаты вступительных испытаний в аспирантуру действительны в течение календарного года.

4. Программа вступительных испытаний.

Программа вступительных экзаменов в аспирантуру ИНЭИ РАН по специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы.

4.1. Электрический привод и автоматика

Расчетные схемы механической части электропривода (ЭП), типовые

статические нагрузки, уравнение движения. Механическая часть ЭП как объект управления, механические переходные процессы, динамические нагрузки ЭП. Обобщенная электрическая машина, электромеханическая связь ЭП, координатные и фазные преобразования переменных обобщенной машины. Динамика обобщенной разомкнутой электромеханической системы (ЭМС): математическое описание разомкнутых ЭМС, динамические свойства ЭП с линейной механической характеристикой, статическая устойчивость, демпфирование упругих механических колебаний, переходные процессы ЭП и методы их анализа. Электроприводы на базе двигателей постоянного тока (независимого, последовательного, смешанного возбуждения), асинхронных двигателей (АД), синхронных двигателей (СД), вентильных

двигателей (ВД): математическое описание процессов преобразования энергии, естественные и искусственные характеристики, способы регулирования координат ЭП и их техническая реализация, показатели регулирования.

Выбор мощности ЭП: потери энергии в установившихся и переходных режимах работы, нагревание и охлаждение двигателей, нагрузочные диаграммы ЭП, номинальные режимы работы двигателей, методы проверки двигателей. Основные показатели способов регулирования двигателей, обобщенная система «управляемый преобразователь – двигатель», принцип подчиненного регулирования координат ЭП, стандартные настройки контуров регулирования. Регулирование момента (тока) и скорости электроприводов постоянного и переменного тока: техническая реализация, функциональные и структурные схемы, статические характеристики, применение регуляторов и особенности настройки подчиненных контуров регулирования, динамические показатели.

Особенности частотного регулирования скорости АД: виды и техническая реализация преобразователей частоты, типовые частотные законы управления и статические характеристики, системы скалярного управления, принцип ориентирования по полю двигателя при частотном управлении, системы векторного управления. Регулирование положения: автоматическое регулирование положения по отклонению, особенности настройки контура регулирования, точный останов, понятие следящего ЭП. Релейно-контакторные схемы управления двигателями (РКСУ): электрические схемы и способы анализа РКСУ, принципы управления и типовые узлы, примеры выполнения РКСУ. Дискретные логические системы управления (ДЛСУ) движением ЭП: математическое описание ДЛСУ, синтез ДЛСУ методом циклограмм, примеры синтеза узлов. Построение ДЛСУ на основе цифровых узлов: на базе программируемой логической матрицы, аппаратного контроллера, программируемого логического контроллера. Логические системы управления на основе фаззи-логики, структура и алгоритмы управления. Цифровые системы управления (ЦСУ) скоростью и положением ЭП: расчетные модели ЦСУ с учетом дискретности по уровню, методика синтеза цифрового контура регулирования, оптимизация цифрового контура.

Микропроцессорные системы управления ЭП: особенности аппаратной реализации, интерфейсы связи и протоколы передачи данных, алгоритмы управления преобразовательными устройствами и их программная реализация. Основы выбора и проектирования системы электропривода: обоснование выбора типа и мощности двигателя и преобразователя, структуры системы управления, оценка энергетической эффективности, основные этапы эскизного и рабочего проектирования электропривода.

4.2 Электротехнические комплексы систем электроснабжения предприятий, жилых и общественных зданий (потребителей электрической энергии)

Место системы электроснабжения объектов в схеме «источник электроэнергии – электроприемник». Элементы системы электроснабжения. Режимы работы электроприемников. Графики электрических нагрузок. Методы расчета электрических нагрузок. Электрооборудование электрических сетей промышленных предприятий. Воздушные и кабельные линии, токопроводы. Троллейные сети. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы, преобразовательные агрегаты. Коммутационные аппараты. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Схемы замещения трансформаторов, линий электропередачи, электрической сети в целом. Выбор электрооборудования. Режимы нейтрали в сетях потребителей. Способы обеспечения

безопасной эксплуатации высоковольтных сетей. Расчеты режимов питающих распределительных и цеховых электрических сетей. Особенности расчета токов КЗ в сетях потребителей по сравнению с сетями энергосистем. Расчет токов КЗ в низковольтных сетях. Структура низковольтных сетей. Коммутационно-защитная аппаратура в сетях на напряжении ниже 1 кВ. Совместный выбор сечений проводников и защищающих их аппаратов. Специфика расчета осветительных сетей. Пуск и самозапуск электрических двигателей. Основы релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения промышленного предприятия. Способы экономии электроэнергии в элементах системы электроснабжения. Основы технико-экономических расчетов при проектировании систем электроснабжения. Компенсация реактивной мощности как средство регулирования режимов электропотребления. Способы и средства компенсации реактивной мощности. Источники реактивной мощности. Выбор уровня и средств компенсации реактивной мощности в низковольтных сетях. Требования нормативных документов по качеству электроэнергии, определение показателей качества электроэнергии. Основные потребители, ухудшающие качество электроэнергии. Способы и средства, позволяющие улучшить качество электроэнергии в сетях потребителей и в энергосистеме. Основы нормативно-правовой базы электроснабжения потребителей.

4.3. Электротехнические комплексы автономных объектов

Асинхронные двигатели (АД) и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Особенности характеристик. Пуск, регулирование частоты вращения, электрическое торможение АД с короткозамкнутым и фазным ротором. Векторное управление АД. Факторы, определяющие КПД и массогабаритные показатели электропривода на базе асинхронного двигателя. Вентильные двигатели (ВД) и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Типы электрических машин, датчиков положения ротора, коммутаторов, используемых в составе ВД. Особенности характеристик. Пуск, способы регулирования частоты вращения, электрическое торможение, реверсирование ВД. Бездатчиковое управление ВД. Векторное управление ВД. Факторы, определяющие КПД и массогабаритные показатели электропривода на базе вентильного двигателя. Гистерезисные двигатели и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Особенности характеристик, способы управления. Факторы, определяющие КПД и массогабаритные показатели электропривода на базе гистерезисного двигателя. Статические преобразователи в составе электротехнических комплексов автономных объектов. Критерии эффективности. Основные направления повышения КПД и снижения массогабаритных показателей. Информационно-управляющие подсистемы электротехнических комплексов. Микроконтроллерные системы управления. Алгоритмы управления и их программная реализация. Методы и средства математического моделирования электромеханических и электронных преобразователей и систем. Системы генерирования электроэнергии в автономных объектах. Типы электромеханических преобразователей, варианты структур, вопросы регулирования напряжения и частоты. Основные положения проектирования электромеханических и электронных преобразователей энергии: выбор типа и мощности электромеханического преобразователя, обоснование структуры, типа и мощности электронного преобразователя, выбор элементной базы. Вопросы системного подхода при проектировании сложных электромеханических систем.

4.4. Электротехнические комплексы и системы электрического транспорта

Виды электрического транспорта, их сравнительная характеристика. Основное уравнение движения поезда. Силы, действующие на поезд в различных режимах движения. Реализация сил тяги и торможения, коэффициент сцепления. Ограничения сил тяги и торможения, скорости, мощности ЭПС. Структура тягового электропривода. Электромеханические характеристики на валу тяговой электрической машины и на обode колеса. Типы тяговых электрических машин постоянного и переменного тока, достоинства и недостатки. Электрическая и механическая устойчивость. Пуск электрического подвижного состава с тяговыми машинами разных типов. Преобразователи напряжения для питания тяговых машин и их элементная база. Электрическое торможение, способы и характеристики. Ограничения допустимых режимов. Регулирование тормозной силы при реостатном и рекуперативном торможении. Проблемы использования избыточной энергии рекуперации. Механическое торможение и его характеристики. Решение тормозных задач. Расход энергии на движение поезда. Методы расчёта энергии и энергетическая эффективность на электрическом транспорте. Автоматизированное проектирование электромеханических преобразователей. Моделирование тягового электропривода. Электрооборудование электрического подвижного состава. Схемы силовых цепей электропоездов, различных видов городского электрического транспорта. Автономный электрический подвижной состав. Схемы электрической трансмиссии, способы реализации режима постоянной мощности. Системы управления на электрическом подвижном составе. Автоматизация процессов движения ЭПС, системы автоведения. Системы защиты и диагностики на подвижном составе и в системах тягового электроснабжения. Классификация источников, приемников и преобразователей электрической энергии. Основные характеристики графиков нагрузки систем электрического транспорта. Тяговые подстанции и их принципиальные особенности; типы тяговых подстанций электротранспорта. Принципы расчета электрических сетей и внешнего электроснабжения. Основные параметры электрооборудования. Выбор систем и схем электроснабжения транспорта. Основные схемы электроснабжения. Современные методы оптимизации систем электроснабжения, критерии оптимизации. Выбор напряжения в системах электроснабжения. Методы расчёта тяговой сети на железнодорожном и городском электрическом транспорте. Блуждающие токи и коррозия подземных сооружений. Защита от блуждающих токов. Определение токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов защиты. Основные устройства релейной защиты и автоматики. Автоматическое повторное включение. Автоматическое включение резерва. Качество электрической энергии. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на электромагнитную совместимость приёмников электрической энергии с питающей сетью. Нормирование и контроль показателей качества электроэнергии. Средства улучшения показателей качества электроэнергии. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения электрической тяги однофазного переменного тока. Современные средства компенсации реактивной мощности. Заземление электроустановок, молниезащита промышленных, транспортных и сельскохозяйственных сооружений, жилых и культурно бытовых зданий. Допустимые перегрузки элементов преобразовательных подстанций в системах электроснабжения; прогнозирование перегрузок. Методика расчета потерь мощности в системах электроснабжения. Нормирование энергопотребления и энергосберегающие мероприятия.

4.5. Электромеханика

Общие вопросы электромеханического преобразования энергии Конструктивные формы и исполнения электрических машин по способу монтажа и степени защиты. Климатические исполнения и категории размещения электротехнических устройств. Материалы,

применяемые в электромашиностроении. Требования к магнитным, проводниковым, изоляционным и конструкционным материалам. Виды и классификация вращающихся электрических машин. Основные рабочие характеристики двигателей и генераторов. Требования к характеристикам, связанные с интенсификацией производства, усложнением оборудования и технологических процессов. Показатели надежности и виброакустические. Размерные соотношения в электрических машинах. Машинная постоянная. Принцип построения серий. Шкалы мощностей, частот вращения, высот оси вращения. Габаритные и установочно-присоединительные размеры. Методы расчета и конструирования. Обеспечение технологичности конструкции. Обеспечение безопасности эксплуатации электрических машин. Определение главных размеров электрических машин. Электромагнитные нагрузки электрических машин, ограничения по их выбору. Расчетная мощность. Конструкция обмоток машин переменного тока из прямоугольного и

круглого провода и их изоляция в зависимости от мощности, исполнения и номинального напряжения машины. Выбор числа пазов. Расчетные соотношения для определения числа витков, сечения провода и размеров пазов различной формы. Расчет показателей надежности обмоток. Схемы обмоток машин переменного тока. Однослойные и двухслойные обмотки. Обмотки для механизированной намотки. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу. Механические расчеты электрических машин. Валы электрических машин. Расчет прочности и критической частоты вращения. Расчет крепления полюсов электрических машин. Расчет прочности крепления обмоток, бандажей и клиньев. Расчет подшипников электрических машин. Расчет шумов и вибраций. Тепловые расчеты в электрических машинах. Классификация машин по способам охлаждения. Режимы работы электрических машин. Баланс мощностей. Уравнения теплопроводности. Задачи теплового расчета. Расчет тепловых сопротивлений. Метод эквивалентных потерь. Удельные тепловые нагрузки. Тепловые схемы замещения типовых конструктивных схем электрических машин. Схемы вентиляции. Расчет вентиляционных цепей. Форсированные системы. охлаждения. Приближенные расчеты охлаждения электрических машин.

4.6. Трансформаторы

Современные требования, предъявляемые к силовым трансформаторам распределительных сетей. Стандартизация в трансформаторостроении. Классификация и система обозначений. Серии трансформаторов. Проектирование единичного трансформатора и серии. Методы расчета трансформаторов. Конструктивная схема и основные размеры силового трансформатора. Выбор и оценка исходных данных. Материалы применяемые в трансформаторостроении. Выбор активных материалов. Магнитная система современного трансформатора. Влияние электротехнической стали и

конструкции магнитной системы на характеристики. Влияние проводникового материала на характеристики и массогабаритные показатели трансформатора. Изоляция в трансформаторах. Требования к изоляции трансформатора. Главная и продольная изоляция. Испытательное напряжение. Изоляционные конструкции, выбор изоляционных расстояний. Защита изоляции от перенапряжений. Электростатические экраны, емкостные кольца, экранирующие витки, переплетенные обмотки. Алгоритмы расчета основных конструктивных форм обмоток. Выбор конструктивных форм обмоток. Критерии выбора обмоток с учетом технических параметров трансформатора и заданных требований. Конструктивная раскладка витков в обмотках различного типа. Критерии выбора размеров и количества элементарных проводников в обмотках. Алгоритм расчета слоевых, винтовых и катушечных обмоток. Предварительная оценка соответствия спроектированной обмотки исходным данным. Расчет параметров короткого замыкания.

Потери в обмотках и металлоконструкциях. Расчет основных и добавочных потерь. Коэффициент добавочных потерь. Требования по соответствию уровня потерь короткого замыкания. Способы корректировки численного значения потерь в ходе проектирования. Электромагнитные поля рассеяния в силовых трансформаторах. Влияние индуктивности рассеяния на характеристики, надежность и работоспособность трансформатора. Пути корректировки напряжения короткого замыкания при проектировании. Определение механических сил и электродинамической устойчивости обмоток. Ударный ток короткого замыкания. Силы, действующие на обмотки в режиме короткого замыкания. Меры по обеспечению электродинамической стойкости обмоток. Оценка термической стойкости обмоток при коротком замыкании. Расчет параметров холостого хода. Влияние технологии изготовления магнитопровода на параметры холостого хода. Определение массы частей магнитной системы. Расчет намагничивающей мощности. Расчет потерь и тока холостого хода. Конструктивная проработка трансформатора. Конструктивные исполнения бака трансформаторов. Основные требования по контролю и защите трансформаторов. Применение устройств контроля и защиты силовых трансформаторов. Направления совершенствования устройств контроля и защиты. Расширители, вводы, арматура, устройства перемещения. Термосифонный фильтр. Этапы жизненного цикла силового трансформатора. Сборка магнитопровода, обмоток, изоляционных деталей, испытание трансформаторов, разработка (с посещением трансформаторного производства). Основные положения обобщенного метода расчета силовых трансформаторов. Основные допущения метода. Поиск псевдооптимального варианта силового трансформатора. Особенности проектирования серии трансформаторов. Применение обобщенного метода при проектировании серии трансформаторов. Расчет и конструирование вентиляторов для типовых конструктивных схем машин. Тепловые поля в силовых трансформаторах, тепловой расчет обмотки. Тепловая схема замещения трансформатора. Выбор и расчет системы охлаждения. Расчет площади конвекции и излучения бака. Проверочный расчет превышений температуры обмоток и масла.

4.7. Асинхронные машины

Особенности проектирования асинхронных двигателей (АД). Основные серии АД. Конструкция асинхронных машин. Определение главных размеров. Выбор электромагнитных нагрузок, их влияние на характеристики. Воздушный зазор. Проектирование короткозамкнутых и фазных роторов. Особенности расчета, параметров короткозамкнутых роторов. Эффект вытеснения тока и его учет. Насыщение от полей рассеяния. Расчет магнитной цепи. Параметры асинхронной машины для номинального режима. Активные и индуктивные сопротивления обмоток. Сопротивления обмоток двигателей с короткозамкнутыми роторами. Потери и КПД асинхронной машины. Рабочие характеристики и их расчет. Зависимости характеристик АД от входных параметров. Пусковые характеристики асинхронного двигателя. Особенности проектирования специальных исполнений АД. Особенности теплового и вентиляционного расчета.

4.8. Синхронные машины

Особенности проектирования синхронных машин. Конструкции синхронных машин. Турбо и гидрогенераторы. Явнополюсные синхронные машины общего назначения. Главные размеры. Проектирование обмоток якоря. Воздушный зазор. Выбор размеров полюсов. Демпферная обмотка. Расчет требуемой МДС обмотки возбуждения.

Проектирование обмоток возбуждения. Параметры и постоянные времени. Характеристики синхронных генераторов и двигателей. Особенности проектирования гидрогенераторов. Конструкции гидрогенераторов. Выбор главных размеров. Обмотки статора. Выбор размеров паза статора. Выбор размеров магнитопровода ротора и демпферной обмотки. Расчет магнитной цепи. Расчет обмотки возбуждения гидрогенератора. Расчет параметров и постоянных времени обмоток. Потери и КПД. Характеристики гидрогенератора. Особенности теплового и вентиляционного расчета. Расчет подпятника и подшипников. Особенности расчета механических частей на прочность. Особенности проектирования турбогенераторов. Конструкции турбогенераторов. Выбор главных размеров. Обмотки статора. Выбор размеров паза статора в зависимости от типа охлаждения. Зубцовая зона и ярмо ротора. Расчет магнитной цепи. Расчет обмотки возбуждения турбогенератора. Расчет параметров и постоянных времени обмоток. Отношение короткого замыкания, токи короткого замыкания, статическая перегружаемость. Потери и КПД. Особенности теплового расчета. Особенности расчета механических частей на прочность. Расчет критических частот вращения ротора.

4.9. Машины постоянного тока

Проектирование машин постоянного тока. Общая характеристика МПТ, область их применения. Современные серии. Выбор главных размеров. Электромагнитные нагрузки. Расчет обмоточных данных и зубцовой зоны якоря. Особенности проектирования якорных обмоток машин постоянного тока. Расчетные соотношения, связывающие обмотку якоря с коллектором. Выбор типа обмотки. Волновые и петлевые обмотки. Воздушный зазор машины постоянного тока. Компенсационная обмотка. Определение требуемой МДС обмотки возбуждения. Проектирование коллектора и щеточного аппарата. Расчет коммутации и проектирование добавочных полюсов. Потери и КПД. Рабочие характеристики МПТ. Синхронные компенсаторы. Проектирование синхронных компенсаторов. Конструкция. Выбор главных размеров. Расчет характеристик, параметров при номинальном режиме и асинхронном пуске.

4.10. Электрические аппараты

Общие понятия об электрических и электронных аппаратах. Классификация по назначению, по току и напряжению, по области применения. Применение в схемах электроснабжения, электроприводе и электрическом транспорте. Физические явления в электрических аппаратах. Методы анализа электромагнитных полей. Законы электромагнитного поля. Дифференциальные уравнения для параметров поля. Численные методы (метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод интегральных уравнений) и программное обеспечение для расчетов полей электромагнитных систем.

Методы расчетов параметров макромоделей (ЭДС, индуктивностей, силовых характеристик) на основе анализа электромагнитного поля. Электродинамические силы в электрических аппаратах. Методы расчета. Использование электродинамических сил. Электродинамическая стойкость электрических аппаратов. Источники теплоты в электрических аппаратах. Методы анализа. Способы снижения потерь в электрических аппаратах. Теплопередача в окружающее пространство. Критерии подобия. Критериальные уравнения. Расчет коэффициентов теплопередачи. Задачи стационарной и нестационарной теплопроводности в электрических аппаратах. Нестационарный режим нагрева и остывания электрических аппаратов. Контакты электрических аппаратов.

Модели контактирования. Ом-вольтная характеристика контактов и сваривание контактов. Электрическая дуга отключения. Вольт-амперные характеристики стационарной и нестационарной дуги. Распределение потенциалов в дуге. Условия гашения электрической дуги в цепи постоянного тока. Шунтирование дуги. Условия гашения дуги переменного тока. Начальная прочность межконтактного промежутка после прохождения тока через нуль. Восстанавливающаяся прочность и восстанавливающееся напряжение. Влияние собственной частоты сети на процессы гашения дуги.

Электромеханические аппараты. Электрические аппараты распределительных устройств низкого напряжения, управления и автоматики. Электрические аппараты высокого напряжения. Выбор, применение, методы испытаний, эксплуатация и тенденции развития электромеханических аппаратов. Силовые электронные аппараты. Основные виды аппаратов, их функции и классификация. Сравнительный анализ статических и электромеханических аппаратов и области их рационального применения. Силовые электронные ключи. Особенности коммутации электронных ключей. Статические и динамические режимы работы ключей. Области безопасной работы и защита электронных ключей.

Пассивные компоненты и охладители силовых электронных приборов. Влияние повышенной частоты и несинусоидальности напряжения на работу конденсаторов и реакторно-трансформаторного оборудования.

Системы управления силовыми электронными аппаратами. Обобщенные структурные схемы систем управления силовыми электронными аппаратами. Основные функциональные узлы и элементная база. Микропроцессоры в управлении электрическими и электронными аппаратами. Структура и функции микропроцессора, микроконтроллера и примеры их применения в различных аппаратах.

Статические коммутационные аппараты. Статические коммутационные аппараты постоянного и переменного токов. Функциональные возможности и области рационального применения. Гибридные коммутационные аппараты. Статические регуляторы постоянного и переменного тока.

Примеры импульсного регулирования параметров электрической энергии. Основные схемы импульсных регуляторов постоянного тока. Тиристорные регуляторы постоянного тока. Тиристорные регуляторы переменного тока с естественной и искусственной коммутацией. Применение силовых транзисторов в регуляторах переменного тока. Регуляторы реактивной мощности.

4.11. Методы и программные средства для математического моделирования процессов в электрических и электронных аппаратах

Фазовые переменные, компонентные и топологические уравнения, источники фазовых переменных в электрической, электромагнитной, тепловой и механических подсистемах электромеханических аппаратов. Составление эквивалентных схем элементов и узлов электрических и электронных аппаратов. Математическое моделирование статических и динамических процессов в электромеханических электрических комплексах.

5. Рекомендуемая литература

1. Корнилов, Г.П. Моделирование электротехнических комплексов промышленных предприятий [Текст]: учеб. пособие / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Т.Р. Храмшин. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 239 с. – ISBN 978-5-9967-0545-0.
2. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии [Электронный ресурс]. – руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2012 г. – 456 с.: ис. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/1897/> - Заглавие с экрана. – ISBN 978-5-93196-958-9.
3. Дьяков, А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике [Текст]: учебник для вузов / А.Ф. Дьяков, И.П. Кужекин, Б.К. Максимов и др.; под ред. чл.-корр. РАН, докт. техн. наук, проф. А.Ф. Дьякова — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011.
4. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения [Текст]: – учебник для вузов / И.В. Жежеленко. - М.: Энергоатомиздат, 2004. – 180 с.
5. Карандаев, А.С., Применение регулируемых компенсирующих устройств в системах электроснабжения металлургического предприятия [Текст]: Монография/ А.С. Карандаев, Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, А.Н. Шеметов, Т.Р. Храмшин. - Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2010. 200 с.
6. Поршнев, С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете Matlab [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С.В. Поршнев. – СПб.: Лань, 2011. – 727 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/books/650.> - ISBN 978-5-8114-1063-7.