

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научной работе

д.т.н. проф.

Драгунов В.К.

« 24 »

2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**специальной дисциплины 2.4.4 . Электротехнология и электрофизика**

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности «Электротехнология и электрофизика» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** дисциплины является освоение теоретических закономерностей передачи электромагнитной энергии в вещество с целью придания веществу требуемых свойств, методов оптимального проектирования, эффективного управления, теоретического и экспериментального исследования электротехнологических комплексов и систем.

**Задачами** дисциплины являются:

- изучение общей теории передачи электромагнитной энергии в сложные среды, освоение методов физического и математического моделирования явлений, возникающих при взаимодействии электромагнитного поля с веществом и конструктивными материалами технологических установок;
- приобретение навыков оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнологических комплексов и систем с учетом совокупности технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев;
- изучение принципов разработки, структурного и параметрического синтеза электротехнологических комплексов и систем, их оптимизации, разработки алгоритмов эффективного управления;
- ознакомление с новыми технологическими процессами для получения чистых металлов, сплавов с заданными физическими и химическими свойствами, в том числе для нужд полупроводниковой промышленности;
- овладение подходами к разработке способов безопасной и эффективной эксплуатации и утилизации электротехнологических комплексов и систем.

## **МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ**

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

### **Формула специальности**

Научная специальность, объединяющая исследования по процессам преобразования электрической энергии в другие виды энергии с целью достижения определенного технологического эффекта, по изучению закономерностей передачи электромагнитной энергии в вещество с целью придания веществу требуемых свойств. В рамках специальности решаются проблемы использования электроэнергии в металлургии, термических процессах различного назначения, в технологиях с использованием разряда в газах и лазерного излучения, переработкой радиоактивных и обычных отходов, в технологических процессах сварки. Рассматриваются проблемы оптимального проектирования электротехнологических комплексов и эффективного управления их оборудованием. Электротехнологические комплексы и системы рассматриваются как самостоятельные объекты исследования и должны соответствовать по эффективности, безопасности и экономичности требованиям к техническим объектам, функциональными особенностями которых является использование электротехнологических процессов.

### **Области исследований**

1. Развитие теории физических явлений, протекающих при воздействии электротермических, электромагнитных, электрофизических, электрохимических, электромеханических процессов на физические тела, вещества, макро - и микрочастицы, в том числе электроразрядных процессов в газах, жидкостях и твердом веществе.

2. Изучение и совершенствование механизмов взаимодействия физических тел, веществ, и частиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме, совершенствование существующих и создание новых методов и принципов использования электрофизических явлений в технических и технологических приложениях, в том числе для реализации плазменных, ионно-плазменных, электронно-плазменных и электронно-лучевых, и других электротехнологий.

3. Разработка и развитие научных основ проектирования, создания, оптимизации электротермических, электросварочных, электромагнитных, электрофизических, электрохимических, электромеханических устройств и их компонентов, и систем их эффективного управления

4. Разработка аналитических и компьютерных моделей расчета рациональных электротермических, электромагнитных, электрофизических режимов работы электротехнологических, электрофизических и электрохимических устройств и процессов.

5. Разработка новых электротехнологических и электрофизических процессов для получения и обработки металлов, сплавов, композиционных и других материалов с заданными физическими, химическими и механическими свойствами, в том числе для нужд металлургической, металлообрабатывающей, строительной, нефтегазовой, атомной, химической, электротехнической, электронной, авиационной промышленности, предприятий ВПК и других отраслей промышленности.

6. Разработка теоретических основ и технической базы энергетики мощных импульсных воздействий.

7. Разработка электротехнологических и электрофизических систем и процессов переработки и утилизации техногенных отходов.

8. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнологических и электрофизических устройств и процессов в различных эксплуатационных режимах и внешних воздействиях.

9. Разработка эффективного, экологичного и безопасного полного цикла функционирования электротехнологических и электрофизических устройств, включающего создание, эксплуатацию и их утилизацию после выработки ресурса.

### **Отрасль науки**

– технические науки.

### **Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: электротехнология, установки индукционного и диэлектрического нагрева, установки резистивного нагрева, теория нагрева электрической дугой, плазменные, электронно-лучевые и лазерные установки.

### **Общие вопросы**

Современные проблемы использования электрической энергии для технологических процессов. Основные виды продукции с предпочтительным производством на электротехнологических установках. Классификация электротехнологических установок. Электротехнологические установки с тепловым процессом формирования требуемого качества продукции. Основные методы преобразования электрической энергии в тепловую, их эффективность и распространенность в современных технологических процессах. Основные законы подобия и моделирования процессов в электротермических установках. Использование физического, математического и численного моделирования для решения задач электрического нагрева и его оптимизации.

Перспективные направления в использовании электроэнергии для технологических процессов. Географические, экономические и экологические аспекты использования электротехнологий.

## **Физические принципы и техническая реализация современных электротехнологических установок**

Эффект теплообразования при прохождении электрического тока по проводнику. Сопротивление проводника. Особенности тепловыделения в сопротивлении. Основные законы теплопередачи от элемента сопротивления к объекту нагрева. Влияние геометрии рабочего пространства и третьих тел на теплопередачу. Основные методы расчета стационарных и нестационарных тепловых полей. Решение тепловых задач с внутренними источниками тепла.

Электрические печи сопротивления. Основные виды и конструкции электрических цепей сопротивления. Печи с нагревательными элементами, прямого действия, электродно-соляная ванна, печь электрошлакового переплава. Тепловой расчет печей периодического действия. Тепловой расчет печей методического действия. Расчет нагревателей среднетемпературных и высокотемпературных печей. Особенности конструкции нагревателей с теплоотдачей преимущественно излучением. Особенности теплового расчета электрических печей с принудительной циркуляцией атмосферы. Расчет электрических нагревателей с преимущественно конвективной теплоотдачей. Методы измерения и регулирования температур в электрических печах.

Электрический дуговой разряд как источник тепла. Параметры электрической дуги высокого и низкого давления. Влияние внешней среды на процессы тепло- и массопереноса и процесс преобразования энергии в электрических дугах. Приэлектродные процессы в электрических дугах. Коронный, барьерный, тлеющий разряды. Методы расчета электрических цепей с дуговыми разрядами в контуре цепи. Вольтамперная характеристика электрической дуги постоянного и переменного тока. Устойчивость системы с дуговым разрядом. Устойчивость дугового разряда при наличии возмущений. Влияние материала электродов и среды на устойчивость дугового разряда.

Плазма и ее разновидности. Особенности использования холодной плазмы в электротехнологических установках.

Дуговые (в том числе рудно-термические и плазменно-дуговые) печи прямого и косвенного действия. Особенности теплообразования и теплопередачи в дуговых печах. Технологические процессы выплавки стали в дуговых печах. Расчет электрических процессов в дуговой печи. Тепловой расчет и энергетический баланс процессов в дуговой печи. Источники питания и электрооборудование дуговой печи. Расчет и проектирование коротких сетей. Дуговая печь как нагрузка электрической сети. Современные тенденции в развитии систем электропитания и повышении эффективности тепловых процессов в дуговых печах.

Особенности тепловых процессов в рудовосстановительных печах. Область применения, классификация и типы рудовосстановительных печей. Источники питания, электрооборудование, методы электрического расчета энергетического баланса печей. Перспективные направления со-

вершенствования тепловых и энергетических процессов в технологиях рудовосстановительных печей.

Дуговые вакуумные печи. Особенности технологических процессов плавки в вакуумных печах. Гарнисажные дуговые вакуумные печи.

Перенос и преобразование энергии в электромагнитном поле. Плоская волна, скин-эффект. Процесс взаимодействия электромагнитного поля с металлом. Электромагнитные явления в металлах с постоянной магнитной проницаемостью. Принцип индукционного нагрева. Методы расчета систем «индуктор - металл». Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности системы «индуктор - металл». Электродинамические процессы в ферромагнитных телах. Источники питания индукционных установок. Механические усилия в электродинамических системах. Взаимодействия электромагнитного поля с плазмой и расплавленным металлом.

Канальные и тигельные печи индукционного нагрева. Физические основы индукционного нагрева. Индукционные плавильные тигельные печи. Расчет основных параметров тигельной печи. Магнитогидродинамические процессы в ванне печи. Энергетический баланс установки. Источники питания и электрооборудование тигельных печей. Особенности расчета индукционных печей. Энергетический баланс канальной печи. Электродинамические явления в каналах печей. Установки индукционного нагрева на средних и высоких частотах. Установки сквозного нагрева. Выбор основных параметров установок сквозного нагрева. Источники питания и электрооборудование на средних частотах. Индукционная поверхностная закалка. Выбор основных параметров установок индукционной закалки. Ламповые генераторы. Режимы работы ламповых генераторов. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. Установки зонной плавки.

Электронно-лучевая высоковакуумная печь для переплава особо чистой стали и тугоплавких материалов. Мощные электронные пушки. Характеристики оптической системы электронных пушек. Электронные установки зонной очистки металлов и выращивание монокристаллов. Электронные испарительные установки. Тепловой расчет и энергетические характеристики электронно-лучевых установок.

### **Процессы и установки для сварки и улучшения свойств материалов**

Электродуговая сварка. Особенности формирования сварочных дуг. Источники питания сварочных дуг. Плазменно-дуговая сварка и резка металлов. Физические основы плазменной сварки и резки металлов. Контактная сварка. Физические основы электрической контактной сварки. Стыковая сварка. Точечная сварка. Шовная сварка. Электрооборудование установок контактной сварки.

Плазменная техника и технология. Основные типы и классификация плазмотронов атмосферного давления. Основные виды плазменных технологий (резка, плавка, сварка, напыление, плазмохимия, нанопорошки).

Плазменно-ионные технологии и устройства (травление, очистка, нанесение покрытий, полировка). Приэлектродные явления и теплообмен в электродных пятнах, условия устойчивости горения электрических дуг. Математическое моделирование и расчет плазмы, плазмотронов и плазменных технологий (уравнение энергии и движения, электромагнитные задачи).

Электроэрозионные и анодно-механические методы обработки металлов. Электроэрозионная обработка металлов. Параметры импульсных разрядов. Основные операции, выполняемые электроэрозионным методом. Импульсные генераторы для электроэрозионной обработки. Анодно-механическая обработка металлов. Основы анодно-механической обработки. Разновидности анодно-механической обработки.

Электрогидравлические и магнитно-импульсные методы обработки. Установки для электрогидравлической обработки. Физические процессы, происходящие при высоковольтном электрическом разряде в жидкости. Генераторы импульсов тока. Технологическое использование электрического разряда в жидкости. Магнитно-импульсная обработка металлов. Физические основы магнитно-импульсной обработки металлов. Элементы оборудования установок магнитно-импульсной обработки. Характеристики операции магнитно-импульсной обработки.

Промышленные лазеры. Физические основы лазерной техники. Принцип действия и характеристики газовых лазеров, лазерные технологии.

Ультразвуковые установки и методы сварки, очистки и интенсификации технологических процессов.

### **Электротехнологические процессы в экологии**

Перспективы использования электротехнологических процессов для улучшения окружающей среды. Состояние и темпы загрязнения воздушной и водной среды промышленными и бытовыми отходами. Основные электрофизические и электротехнологические методы очистки окружающей среды. Очистка воздушной и водной среды посредством озона. Основные электрофизические методы получения озона. Плазмохимические методы нейтрализации и разложения токсичных газов. Методы деструкции радиоактивных отходов.

### **Источники электропитания электротехнологических установок**

Источники питания электротехнологических установок с первичной энергией в виде электросети промышленной частоты. Источники питания для дуговых и рудно-термических печей, выбор печных трансформаторов, методы регулирования мощности в печах. Системы управления режимом работы источника питания.

Источники питания постоянного тока для электротехнологических установок. Основные схемы выпрямления, регулирования тока и напряжения

источников питания. Формирование падающих вольтамперных характеристик источников. Условия совместимости источников питания с первичной сетью.

Источники питания звуковой и ультразвуковой частот для установок индукционного нагрева. Особенности построения схем инвертирования тока и выбор элементной базы для полупроводниковых источников питания печей индукционного нагрева. Ламповые генераторы. Основные схемы генерации и регулирования мощности. Генераторные триоды, параметры ламповых генераторов.

Магнетронные источники питания сверхвысокой частоты для целей нагрева.

### **Автоматическое управление электротехнологическими процессами**

Принципы и задачи автоматического управления электротехнологическими установками. Импульсные и непрерывные методы регулирования режимов электротехнологических установок. Программное управление. Понятие о самонастраивающихся системах управления.

Автоматическое управление электропечами сопротивления. Позиционные регуляторы температуры. Динамика систем непрерывного регулирования температуры. Расчет и настройка регуляторов температуры. Современные типовые регуляторы температуры.

Автоматическое управление индукционными электротехнологическими установками. Управление плавильными установками промышленной частоты. Принцип управления индукционными установками на средних частотах. Управление высокочастотными установками с ламповыми генераторами.

Автоматическое управление режимами дуговых сталеплавильных печей. Сталеплавильная печь как объект регулирования. Задачи управления. Промышленные регуляторы дуговых сталеплавильных печей. Системы комплексного управления дуговыми печами с применением ЭВМ. Автоматическое регулирование рудовосстановительных печей.

Автоматическое управление вакуумными дуговыми печами. Требования к автоматической системе ведения плавки. Автоматические регуляторы длины дуги и мощности нагревателя печи.

Автоматическое управление электрошлаковыми печами. Режимы работы электрошлаковой печи и выбор параметров регулирования.

Автоматическое управление плазменными, электронно-лучевыми и лазерными установками.

### **Особенности математического моделирования электротехнологических процессов**



Структура и физический смысл основных уравнений, описывающих электротехнологические и электрофизические процессы (уравнения стационарной и нестационарной теплопроводности, баланса энергии, движения и неразрывности). Уравнения электромагнитного поля (Максвелла, цепные задачи).

Плоские и цилиндрические задачи, граничные и начальные условия. Нелинейный характер уравнений и итерационный метод их решения. Элементы вычислительной математики: метод конечных элементов, конечных разностей, контрольного объема.

Аппроксимирующие функции. Конструирование дискретного аналога уравнений. Обеспечение устойчивости и сходимости решения. Метод прогонки, прямой и обратный ход.

Специфика языков и сред программирования. Системы автоматического проектирования в электротермии.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Плазмохимические методы нейтрализации и разложения токсичных газов. Электротехнологические методы переработки твердых бытовых отходов. Методы деструкции радиоактивных отходов.
2. Источники питания электротехнологических установок промышленной частоты. Источники питания дуговых и рудно-термических печей, выбор печных трансформаторов, методы регулирования мощности в печах.
3. Источники питания постоянного тока для электротехнологических установок. Основные схемы выпрямления, регулирования тока и напряжения источников питания. Формирование падающих вольтамперных характеристик источников. Условия совместимости источников питания с первичной сетью.
4. Источники питания установок индукционного нагрева. Особенности построения схем инвертирования тока и выбор элементной базы для статических источников питания печей индукционного нагрева.
5. Ламповые генераторы. Основные схемы генерации и регулирования мощности. Генераторные триоды, параметры ламповых генераторов. Магнетронные источники питания сверхвысокой частоты для целей нагрева.
6. Импульсные и непрерывные методы регулирования режимов электротехнологических установок. Программное управление. Понятие об адаптивных и самонастраивающихся системах управления.
7. Автоматическое управление электропечами сопротивления. Позиционные регуляторы температуры. Динамика систем непрерывного регулирования температуры. Расчет и настройка регуляторов температуры. Современные типовые регуляторы температуры.
8. Автоматическое управление индукционными электротехнологическими установками. Управление плавильными установками промышленной

частоты. Принцип управления индукционными установками на средних частотах. Управление высокочастотными установками с ламповыми генераторами.

9. Автоматическое управление режимами дуговых сталеплавильных печей. Дуговая сталеплавильная печь как объект регулирования. Задачи управления. Системы комплексного управления дуговыми печами с применением ЭВМ. Автоматическое регулирование режима рудовосстановительных печей.
10. Автоматическое управление вакуумными дуговыми печами. Автоматическое регулирование длины дуги и мощности. Предотвращение режимов объемной ионизации и боковых дуг.
11. Автоматическое управление установками электрошлакового переплава. Режимы работы установки электрошлакового переплава и выбор параметров регулирования.
12. Автоматическое управление плазменными, электронно-лучевыми и лазерными установками.
13. Задачи расчета электромагнитных и температурных полей в электротехнологических установках. Нелинейные задачи и итерационный метод их решения.
14. Применение численных методов математики (метод конечных разностей, метод конечных элементов) к моделированию электротехнологических процессов.
15. Применение методов теории подобия к моделированию электротехнологических процессов.
16. Функциональные возможности современных программных средств моделирования электромагнитных и тепловых процессов.

#### **Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:**

1. Основные методы преобразования электрической энергии в тепловую, их эффективность и распространенность в современных технологических процессах.
2. Основные виды продукции с предпочтительным производством на электротехнологических установках.
3. Методы анализа электромагнитных полей. Законы электромагнитного поля. Дифференциальные уравнения для параметров поля.
4. Теплопередача в электротермических установках. Основные методы расчета стационарных и нестационарных температурных полей. Решение тепловых задач с внутренними источниками теплоты.
5. Электронагрев сопротивления (резистивный). Основные виды и конструкции электрических печей сопротивления.
6. Тепловой расчет электрических печей сопротивления периодического и непрерывного действия.
7. Методы измерения и регулирования температуры в электрических печах сопротивления.

8. Электрический дуговой разряд как источник тепла. Параметры электрической дуги высокого и низкого давления. Влияние внешней среды на процессы тепло- и массопереноса и процесс преобразования энергии в электрических дугах.
9. Методы расчета электрических цепей с дуговыми разрядами. Вольтамперная характеристика электрической дуги постоянного и переменного тока. Устойчивость системы с дуговым разрядом. Устойчивость дугового разряда при наличии возмущений. Влияние материала электродов и среды на устойчивость дугового разряда.
10. Особенности использования низкотемпературной плазмы в электротехнологических установках. Дуговые и высокочастотные плазмотроны. Вакуумные плазменные печи с полым катодом.
11. Дуговые печи. Особенности теплообразования и теплопередачи в дуговых печах. Технологические процессы выплавки стали в дуговых печах. Расчет электрических процессов в дуговой печи. Энергетический баланс процессов в дуговой печи.
12. Источники питания и электрооборудование дуговой печи. Расчет и проектирование коротких сетей. Дуговая печь как нагрузка электрической сети. Современные тенденции в развитии систем электропитания и повышении энергетической эффективности дуговых печей.
13. Особенности тепловых процессов в рудно-термических (рудовосстановительных) печах. Область применения, классификация и типы рудовосстановительных печей. Источники питания, электрооборудование, методы электрического расчета энергетического баланса рудовосстановительных печей. Перспективные направления совершенствования тепловых и энергетических процессов в технологиях рудовосстановительных печей.
14. Вакуумные дуговые печи. Особенности технологических процессов плавки в вакуумных дуговых печах.
15. Установки электрошлакового переплава. Особенности технологических процессов электрошлакового переплава.
16. Перенос и преобразование энергии в электромагнитном поле. Плоская электромагнитная волна, поверхностный эффект. Процесс взаимодействия электромагнитного поля с металлом. Электромагнитные явления в металлах с постоянной магнитной проницаемостью. Физические основы индукционного нагрева.
17. Методы расчета систем «индуктор - загрузка». Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности системы «индуктор - загрузка».
18. Канальные и тигельные индукционные плавильные печи. Расчет основных параметров тигельной и канальной печей. Магнитогидродинамические процессы в ванне печи. Электродинамические явления в каналах печей. Энергетический баланс установки. Источники питания и электрооборудование тигельных и канальных печей.

19. Установки индукционного нагрева промышленной, средней и высокой частоты. Установки сквозного нагрева. Выбор основных параметров установок сквозного нагрева. Источники питания и электрооборудование на средних частотах.
20. Индукционная поверхностная закалка. Выбор основных параметров установок индукционной закалки. Ламповые генераторы. Режимы работы ламповых генераторов. Высокочастотный и сверхвысокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. Установки зонной плавки.
21. Электронно-лучевые печи для переплава особо чистой стали и тугоплавких материалов Мощные электронные пушки. Характеристики оптической системы электронных пушек. Электронные установки зонной очистки металлов и выращивание монокристаллов. Электронно-лучевые установки для нанесения покрытий. Энергетические характеристики электронно-лучевых установок.
22. Электродуговая сварка. Особенности формирования сварочных дуг. Источники питания сварочных дуг.
23. Плазменно-дуговая сварка и резка металлов. Физические основы плазменной сварки и резки металлов.
24. Контактная сварка. Физические основы электрической контактной сварки. Стыковая сварка. Точечная сварка. Шовная сварка. Электрооборудование установок контактной сварки.
25. Плазменная техника и технология. Основные типы и классификация плазмотронов атмосферного давления. Основные виды плазменных технологий (резка, плавка, сварка, напыление, плазмохимия, нанопорошки).
26. Плазменно-ионные технологии и устройства (травление, очистка, нанесение покрытий, полировка). Математическое моделирование и расчет плазмы, плазмотронов и плазменных технологий (уравнение энергии и движения, электромагнитные задачи).
27. Электроэрозионные и анодно-механические методы обработки металлов. Электроэрозионная обработка металлов. Параметры импульсных разрядов. Основные операции, выполняемые электроэрозионным методом. Импульсные генераторы для электроэрозионной обработки.
28. Анодно-механическая обработка металлов. Основы анодно-механической обработки. Разновидности анодно-механической обработки.
29. Электрогидравлические и магнитно-импульсные методы обработки. Установки для электрогидравлической обработки. Физические процессы, происходящие при высоковольтном электрическом разряде в жидкости. Генераторы импульсов тока. Технологическое использование электрического разряда в жидкости.
30. Магнитно-импульсная обработка металлов. Физические основы магнитно-импульсной обработки металлов. Элементы оборудования

установок магнитно-импульсной обработки. Характеристики операции магнитно-импульсной обработки.

31. Промышленные лазеры. Физические основы лазерной техники. Принцип действия и характеристики газовых и твердотельных лазеров, лазерные технологии.
32. Ультразвуковые установки и методы сварки, очистки и интенсификации технологических процессов.
33. Перспективы использования электротехнологических процессов для улучшения состояния окружающей среды. Основные электрофизические и электротехнологические методы очистки окружающей среды. Очистка воздушной и водной среды посредством озона. Основные электрофизические методы получения озона. Электрофильтры.

## **ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

### **Требования и критерии оценивания ответов экзамена**

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Алиферов А., Лупи С. Индукционный и электроконтактный нагрев металлов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. 411 с.
2. Мармер Э.Н. Материалы для высокотемпературных вакуумных установок. – М.: Физматлит, 2007. 159 с.
3. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. – Долгопрудный: Интеллект, 2008. 280 с.
4. В.С. Чередниченко, Б.И. Юдина. Вакуумные плазменные электропечи. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. 587 с.
5. Домаров П. В., Мелешко А. А. Установки специального электронагрева: учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2012. 76 с.
6. Шешин Е.П. Вакуумные технологии. – М.: Интеллект, 2009. 504 с.

Дополнительная литература:

1. Электрические промышленные печи. Дуговые печи и установки специального нагрева. Учеб. для вузов / А.Д. Свенчанский, И.Т. Жердев, А.М. Кручинин и др. М.: Энергоиздат, 1981. 296 с.
2. А.Д. Свенчанский. Электрические промышленные печи. Учебник для вузов. В 2-х частях. Ч.1. – М.: Энергия, 1975 г. 384 с.
3. Автоматическое управление электротермическими установками. / А.М. Кручинин, Ю.М. Миронов, К.М. Махмудов, В.П. Рубцов, А.Д. Свенчанский. М.: Энергоатомиздат, 1986. 416 с.
4. Патанкар С. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. – М.: Издательство МЭИ, 2003. 312 с.

5. Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., Кувалдин А.Б. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли. – М.: Инфра-Инженерия, 2015. 272 с.

6. Погребисский М.Я., Батов Н.Г. Материалы для электрических печей сопротивления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 92 с.

7. Погребисский М.Я., Батов Н.Г. Расчет электрических печей сопротивления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 80 с.

8. Щербаков А.В. Конструкции, системы электропитания и управления электронно-лучевых технологических установок. Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2015. 52 с.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: *(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)*

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ»  
<https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ  
<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
<https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ  
<http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»  
<https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ"  
<https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому  
регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Профессор кафедры Электроснабжения  
промышленных предприятий и электротехнологий,  
д.т.н., доцент



М.А. Федин

Заведующий кафедрой Электроснабжения  
промышленных предприятий и электротехнологий,  
к.т.н., доцент



С.А. Цырук

Директор ИЭТЭ,  
к.т.н., доцент



М.Я. Погребисский