

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.09.10 Электротехнология

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

специальной дисциплины

«Электротехнология»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ОД.2

Всего: 252 часа

Семестр 5, 144 часа, в том числе 6 часов – контактная работа,
138 часа – самостоятельная работа,

Семестр 6, 108 часов, в том числе 6 часов – контактная работа,
66 часов – самостоятельная работа,
36 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.09.10 «Электротехнология» номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения 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.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);
- способность к применению теории электротехнологических процессов в профессиональной деятельности (ПК-1);
- владение методами математического и физического моделирования электротехнологических процессов и установок (ПК-2);
- готовность осуществлять разработку, структурный и параметрический синтез электротехнологических комплексов и систем, их оптимизацию, разработку алгоритмов эффективного управления (ПК-3);
- способность к применению теории современных конструкционных материалов и их взаимодействия с электромагнитным полем и концентрированными потоками энергии в профессиональной деятельности (ПК-4);
- готовность разрабатывать способы эффективной и безопасной эксплуатации электротехнологических комплексов и систем (ПК-5).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

– основные физические закономерности, качественные и количественные характеристики и области применения электротехнологий (ПК-1);

уметь:

– критически анализировать и оценивать современные научные достижения, генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

– следовать этическим нормам при осуществлении научных исследований и инженерной деятельности (УК-5);

– планировать свою научно-исследовательскую деятельность и профессиональное саморазвитие (УК-6);

– разрабатывать новые методы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в профессиональной области (ОПК-3);

– организовывать работу научно-исследовательского коллектива в области электротехнологии (ОПК-4);

– применять теорию электротехнологических процессов в профессиональной деятельности (ПК-1);

– осуществлять разработку, структурный и параметрический синтез электротехнологических комплексов и систем, их оптимизацию, разработку алгоритмов эффективного управления (ПК-3);

– применять теорию современных конструкционных материалов и их взаимодействия с электромагнитным полем и концентрированными потоками энергии в профессиональной деятельности (ПК-4);

– разрабатывать способы эффективной и безопасной эксплуатации электротехнологических комплексов и систем (ПК-5);

владеть:

– методологией теоретических и экспериментальных исследований в области электротехнологий (ОПК-1);

– культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационных технологий (ОПК-2);

– методами математического и физического моделирования электро-технологических процессов и установок, включая их системы электропитания и управления (ПК-2).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

5-й семестр

1. Научно-технические основы электротехнологий

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.

2. 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 совершенствования 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.

3. 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.

4. 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.

6-й семестр

5. 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.

6. 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.

7. 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.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:
6 семестр – кандидатский экзамен.

Вопросы для самоконтроля и для проведения кандидатского 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 электро-технологических 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 - нагрузка». Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности системы «индуктор - нагрузка».
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 сверхвысокочастот-

- ный 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.
34. Плазмохимические методы нейтрализации и разложения токсичных газов. Электротехнологические методы переработки твердых бытовых отходов. Методы деструкции радиоактивных отходов.
35. Источники питания электротехнологических установок промышленной частоты. Источники питания дуговых и рудно-термических печей, выбор печных трансформаторов, методы регулирования мощности в печах.
36. 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.

37. Источники питания установок индукционного нагрева. Особенности построения схем инвертирования тока и выбор элементной базы для статических источников питания печей индукционного нагрева.
38. Ламповые генераторы. Основные схемы генерации и регулирования мощности. Генераторные триоды, параметры ламповых генераторов. Магнетронные источники питания сверхвысокой частоты для целей нагрева.
39. Импульсные и непрерывные методы регулирования режимов электротехнологических установок. Программное управление. Понятие об адаптивных и самонастраивающихся системах управления.
40. Автоматическое управление электропечами сопротивления. Позиционные регуляторы температуры. Динамика систем непрерывного регулирования температуры. Расчет и настройка регуляторов температуры. Современные типовые регуляторы температуры.
41. Автоматическое управление индукционными электротехнологическими установками. Управление плавильными установками промышленной частоты. Принцип управления индукционными установками на средних частотах. Управление высокочастотными установками с ламповыми генераторами.
42. 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.
43. Автоматическое управление вакуумными дуговыми печами. Автоматическое регулирование длины дуги и мощности. Предотвращение режимов объемной ионизации и боковых дуг.
44. Автоматическое управление установками электрошлакового переплава. Режимы работы установки электрошлакового переплава и выбор параметров регулирования.

45. Автоматическое управление плазменными, электронно-лучевыми и лазерными установками.
46. Задачи расчета электромагнитных и температурных полей в электротехнологических установках. Нелинейные задачи и итерационный метод их решения.
47. Применение численных методов математики (метод конечных разностей, метод конечных элементов) к моделированию электротехнологических процессов.
48. Применение методов теории подобия к моделированию электротехнологических процессов.
49. Функциональные возможности современных программных средств моделирования электромагнитных и тепловых процессов.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

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:

7. 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.
8. А.Д. Свенчанский. Электрические промышленные печи. Учебник для вузов. В 2-х частях. Ч.1. – М.: Энергия, 1975 г. 384 с.
9. Автоматическое управление электротермическими установками. / А.М. Кручинин, Ю.М. Миронов, К.М. Махмудов, В.П. Рубцов, А.Д. Свенчанский. М.: Энергоатомиздат, 1986. 416 с.
10. Патанкар С. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. – М.: Издательство МЭИ, 2003. 312 с.
11. Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., Кувалдин А.Б. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли. – М.: Инфра-Инженерия, 2015. 272 с.
12. Погребисский М.Я., Батов Н.Г. Материалы для электрических печей сопротивления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 92 с.
13. Погребисский М.Я., Батов Н.Г. Расчет электрических печей сопротивления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 80 с.
14. Щербаков А.В. Конструкции, системы электропитания и управления электронно-лучевых технологических установок. Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2015. 52 с.