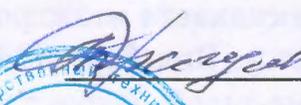


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделом
отдела подготовки кадров
высшей квалификации

 В. П. Драгунов

«19» декабря 2024 г.
Докторантура
и аспирантура



ПРОГРАММА

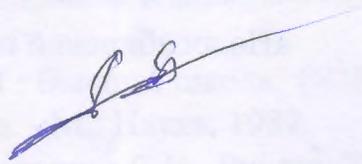
кандидатского экзамена в аспирантуру
по специальности 2.4.4. Электротехнология и электрофизика

Новосибирск, 2024

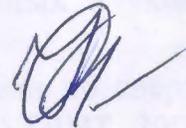
Программа обсуждена и утверждена на совете факультета мехатроники и автоматизации, протокол № 8 от 18.12.2024 г.

Программу разработали:

Заведующий кафедрой АЭТУ:
профессор, д.т.н. Алиферов А. И.



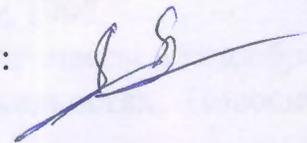
Заведующий кафедрой БТ:
профессор, д.ф.-м.н. Коробейников С.М.



Декан факультета мехатроники и автоматизации:
доцент, к.т.н. Вильбергер М.Е.



Ответственный за образовательную программу:
профессор, д.т.н. Алиферов А. И.



МОДУЛЬ: ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

1. Теоретические основы электрического нагрева

Основные методы преобразования электрической энергии в тепловую.

Особенности тепловыделения в элементах сопротивления. Виды теплопередачи. Основные законы теплопередачи от элемента сопротивления объекту нагрева. Основные методы расчета стационарных тепловых полей.

Электрический разряд как преобразователь электрической энергии в тепловую. Параметры электрических дуг атмосферного и низкого давлений. Приэлектродные процессы в электрических дугах. Феноменология катодного пятна дуги. Недуговые формы электрического разряда, применяемые в электротермии.

Методы расчета электрических цепей с дугой. Вольт-амперные характеристики дуг постоянного и переменного тока.

Перенос и преобразование энергии в электромагнитном поле. Плоская волна. Цилиндрическая волна. Электромагнитные явления в металлах с постоянной магнитной проницаемостью. Физические основы индукционного нагрева. Методы расчета системы “индуктор-металл”. Электромагнитные явления в ферромагнитных телах.

2. Основные виды электротермического оборудования

2.1. Установки электронагрева сопротивления

Основные виды и конструкции электрических печей сопротивления. Тепловой расчет электропечей сопротивления периодического и методического действия.

Расчет нагревателей среднетемпературных и высокотемпературных печей. Особенности конструкции нагревателей с теплоотдачей преимущественно излучением.

Расчет электрических нагревателей с преимущественно конвективной теплоотдачей. Особенности конструкции нагревателей с преимущественно излучением конвективной теплоотдачей.

2.2. Установки электродугового нагрева

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП). Концепция создания сверхвысокомощных ДСП (СВМ ДСП). Технологические процессы выплавки стали в ДСП обычной мощности и СВМ ДСП. Методы интенсификации процесса плавления. Расчет электрических и рабочих характеристик ДСП. Критерии оптимальности при выборе электрического режима. Энергетический баланс

ДСП. Агрегаты ковш-печь: технологическое назначение, конструкция. Расчет и проектирование вторичных токоподводов. Влияние электродинамических взаимодействий в системе вторичного токоподвода ДСП на вводимую в рабочее пространство мощность. Характеристика ДСП как нагрузки электрических сетей и их взаимодействие. Современные тенденции в развитии ДСП.

Дуговые сталеплавильные печи постоянного тока. Сравнительная характеристика дуговых сталеплавильных печей постоянного и переменного тока.

Руднотермические печи (РТП). Область применения, классификация, типы печей, номенклатура выпускаемых ферросплавов. Конструкция РТП периодического и непрерывного действия. Самоспекающийся электрод: конструкция, принцип работы. Схемы вторичных токоподводов печей с круглой и прямоугольной ванной. Особенности технологических процессов производства ферросилиция, силикомарганца, ферромарганца и феррохрома. Энергетический баланс РТП. Расчет электрических и геометрических параметров РТП. РТП как потребитель энергии. Современные тенденции в развитии РТП.

Вакуумные дуговые печи (ВДП). Технология плавки металлов и сплавов в ВДП. Гарнисажные ВДП. Тепловой расчет гарнисажных ВДП.

2.3. Установки электрошлакового переплава

Физические основы электрошлакового переплава (ЭШП). Современные разновидности электрошлаковой технологии. Рабочий процесс ЭШП. Основные виды и конструкции установок ЭШП. Расчет электрических параметров установки. Тепловой баланс шлаковой ванны. Конструкция кристаллизаторов и поддонов. Вторичный токоподвод, методы повышения коэффициента мощности установок ЭШП.

2.4. Плазменные электротермические установки

Дуговой разряд: статические и динамические характеристики дуги; дуга, горящая в потоке газа; воздействие магнитного поля на дугу. Дуговые плавильные плазмотроны; дуговые струйные плазмотроны. Катоды и аноды плазмотронов. Требования, предъявляемые к катодам.

Высокочастотные плазмотроны. ВЧ-плазмотроны индукционные. ВЧ-плазмотроны емкостные. Вакуумные плазменные печи. Конструкции, технические характеристики.

2.5. Электронно-лучевые установки

Принцип электронного нагрева. Основные элементы электроннолучевой установки (ЭЛУ). Области применения ЭЛУ. Основные типы электронных пушек. ЭЛУ для плавки и литья металлов, их конструктивные особен-

ности. ЭЛУ для термообработки, нанесение покрытий. Тепловой и энергетический баланс электронно-лучевой установки.

2.6. Установки индукционного нагрева

Конструкция и технические параметры индукционных плавильных тигельных печей. Расчет основных параметров тигельной печи. Энергетический баланс печи.

Конструкция и технические параметры индукционных плавильных канальных печей. Расчет печей. Энергетический баланс канальной печи.

Установки сквозного нагрева. Выбор основных параметров установок. Электрический расчет установок сквозного нагрева. Индукционная поверхностная закалка. Выбор основных параметров установок индукционной закалки.

Высокочастотный нагрев металлов. Высокочастотный нагрев диэлектриков.

3. Основы автоматического управления электротермическими процессами и установками

Принципы и задачи автоматического управления электротермическими установками.

Автоматическое управление электропечами сопротивления. Позиционные регуляторы температуры. Системы непрерывного регулирования температуры.

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

Автоматическое управление режимами дуговых сталеплавильных печей. ДСП как объект регулирования. Задачи и параметры регулирования электрического режима.

Автоматическое регулирование руднотермическими печами. РТП как объект регулирования. Требования к регуляторам.

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

Автоматическое управление электрошлаковыми печами. Режимы работы ЭШП и выбор параметров регулирования.

Номенклатура промышленных контроллеров и микропроцессорных регуляторов, применяемых в системах автоматического управления электротехнологическими установками, и их основные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной список

1. Гудим Ю. А. Производство стали в дуговых печах: конструкции, технология, материалы / Ю. А. Гудим, И. Ю. Зинуров, А. Д. Киселев. - Новосибирск, 2010. - 546 с.
2. Васильев А. С. Источники питания высокочастотных электротермических установок: [монография] / А. С. Васильев, Г. Конрад, С. В. Дзлийев. - Новосибирск, 2006. - 425 с.
3. Чередниченко В. С. Дистилляционные электропечи / В. С. Чередниченко. - Новосибирск, 2009. - 395 с.
4. Чередниченко В. С. Электрические печи сопротивления. Конструкции и эксплуатация электропечей сопротивления / В. С. Чередниченко, А. С. Бородачев, В. Д. Артемьев; под ред. В. С. Чередниченко. - Новосибирск, 2006. - 571 с.
5. Чередниченко В. С. Электрические печи сопротивления. Теплопередача и расчеты электропечей сопротивления / В. С. Чередниченко, А. С. Бородачев, В. Д. Артемьев; под ред. В. С. Чередниченко. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - 623 с.
6. Теплопередача : в 2 ч. Ч. 1. Основы теории теплопередачи : учеб. пособие / В. С. Чередниченко, В. А. Сеницын, А.И. Алиферов, Ю. И. Шаров; под ред. В. С. Чередниченко. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 221 с.
7. . Теплопередача : в 2 ч. Ч. 2. Упражнения и задачи: учеб. пособие / В. С. Чередниченко, В. А. Сеницын, А. И. Алиферов, Ю. И. Шаров; под ред.: В. С. Чередниченко, А. И. Алиферова. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 348 с.
9. Установки индукционного нагрева / Под ред. Слухоцкого А.Е. - Л.: Энергоатомиздат, 1981.-328 с.
10. Алиферов А. Индукционный и электроконтактный нагрев: [монография] / А. Алиферов, С. Луци. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. - 323 с.
11. Горева Л. П. Электротехнологические установки и системы. Электродуговые установки: учебное пособие / Л. П. Горева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. – 109 с.
12. Чередниченко В. С. Плазменные электротехнологические установки : учеб. пособие / В. С. Чередниченко, А. С. Аньшаков, М. Г. Кузьмин ; под ред. В. С. Чередниченко. - 2-е изд., доп. - Москва : ИНФРА-М, 2019. - 601 с
13. Дуговые электропечи : [учеб. пособие для вузов по направлению «Электроэнергетика и электротехника» / А. И. Алиферов, Р. А. Бикеев, Л. П. Горева, С. Луци, М. Форзан, Д. Барглик] ; Новосиб. гос. техн. ун-т. – 2-е изд. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – 204 с.
14. Чередниченко В. С. Вакуумные плазменные электропечи : монография / В. С. Чередниченко, Б. И. Юдин . - 2-е изд., стер.. - Москва : Инфр-М, 2018. - 581 с.

15. Алиферов А. И. Электротехнологические установки и системы. Установки индукционного нагрева : учеб. пособие / А. И. Алиферов, С. Луци, М. Форзан. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – 160 с.

Дополнительный список

1. Марков Н. А. Электрические цепи и режимы дуговых электропечных установок / Н.А. Марков. - М., 1975. - 204 с.
2. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей: Справочник / Данцис Я. Б., Кацевич Л. С., Жилов Г. М. и др.; под ред. Данциса Я.Б., Жилова Г. М. - М., 1987.-320с.
3. Еланский Д.Г. Тенденции развития электросталеплавильного производства. Электротехнология. - 2001. - №5. - С. 3-18.
4. Устройство и работа сверхмощных дуговых сталеплавильных печей/ Поволоцкий Д.Я., Гудим Ю.А., Зинуров И.Ю. - М.: Металлургия, 1990. - 176 с.
5. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи. Ч. 1. - Электрические печи сопротивления. - 2-е изд. М.: Энергия, 1980.
6. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. - М.: Энергия. 1967.
7. Электрошлаковые печи. Под ред. Б.Е. Патона, Б.И.Медовара, - Киев: Наукова Думка, 1976.
8. Грановский В.Л. Электрический ток в газах. Общие вопросы электродинамики газов. - М.: ГИИТЛ, 1952.
9. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток. - М.: Наука, 1971.
10. Автоматическое управление электротермическими установками: Учебник для вузов./А.М.Кручинин, К.М.Махмудов, Ю.М.Миронов и др.; под ред. А.Д. Свенчанского. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 416 с.
11. Алиферов А. И. Электрические печи как потребители электроэнергии : учеб. пособие / А. И. Алиферов, Л. П. Горева, Г. В. Грамолина. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 179 с.
12. Волохонский Л.А. Вакуумные дуговые печи. - М.: Энергоатомиздат, 1985.

Модуль: Электрофизика

1. Основы электростатики и электродинамики

Электростатика. Закон Кулона. Потенциал электрического поля. Теорема Остроградского-Гаусса. Уравнение Пуассона и Лапласа. Проводник в электрическом поле. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия электрического поля. Пондеромоторные силы.

Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Энергия электрического поля в диэлектриках.

Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики.

Магнитостатика. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца. Уравнения магнитного поля. Граничные условия в магнитном поле токов. Пондермоторные силы в магнитном поле.

Магнитное поле в веществе. Намагниченность. Уравнения макроскопического магнитного поля в магнетиках. Механизмы намагничивания. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм.

Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Уравнение для потенциалов электромагнитного поля. Решение волнового уравнения. Скорость распространения электромагнитных возмущений.

Квазистационарное электромагнитное поле. Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Скин-эффект.

2. Основы теории электрических цепей

Методы расчета линейных электрических цепей в стационарном режиме. Уравнения Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд.

Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Операторный метод (преобразование Лапласа). Спектральный метод (преобразование Фурье). Интеграл Дюамеля.

Цепи с распределенными параметрами. Длинные линии. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме. Падающие и отраженные волны. Согласование длинных линий.

Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме.

3. Основные понятия физики плазмы

Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Испускание и поглощение фотонов. Диффузия и дрейф частиц. Амбиполярная диффузия.

4. Вещество в сильном электромагнитном поле

Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Эмиссия электронов из твердого тела. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия.

Газовый разряд. Формы разряда в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд.

Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Проводимость жидких изоляторов. Диэлектрические потери. Электрическая прочность и пробой жидких диэлектриков.

Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Электрический пробой. Эффект Холла. Термоэлектричество. Сверхпроводимость.

5. Накопление и коммутация энергии больших мощностей

Способы накопления энергии и типы накопителей. Характеристики накопителей энергии, сравнительные характеристики различных типов накопителей. Максимальная плотность энергии у различных типов накопителей, физические ограничения на плотность энергии в накопителях. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Согласование энергии различных видов.

Емкостные накопители энергии. Принципы построения генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов. Классификация емкостных накопителей энергии.

Методы формирования импульсов с помощью емкостных накопителей энергии. Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии.

6. Сильноточные пучки заряженных частиц

Распространение сильноточных пучков в вакууме. Предельный ток, ограниченный пространственным зарядом. Предельный ток Альфвена. Зарядовая и токовая нейтрализация пучков. Формирование виртуального катода. Магнитная изоляция в диодах и линиях передач.

Волны пространственного заряда в замагниченном пучке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З.. Физика плазмы для физиков. - М.: Атомиздат, 1979.
2. Беломытцев С. Я., Пегель И. В. Физика сильноточных пучков заряженных частиц. Учебное пособие. — Томск: Издательство ТПУ, 2008. - 115 с.
3. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Добрецов Л. Н., Гомоюнова М. В. Эмиссионная электроника. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1966. - 564 с.
5. Зельдович И.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. - М.: Наука, 1966.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. II. Теория поля. М.: Наука, 1988. - 509 с.; Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. - М.: Наука., 1982. - 621 с.

7. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. — 704 с.
8. Месяц Г. А., Пегель И. В. Введение в наносекундную импульсную энергетика и электронику (курс лекций для физиков и инженеров). — М.: ФИАН, 2009. - 192 с.
9. Попов В.И. Основы теории цепей. - М.: Высшая школа, 1995.
10. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. - М.: Наука, 1987.
11. Рухадзе А.А., Богданкевич Л.С., Росинский С.Е., Рухлин В.Г. Физика сильнооточных релятивистских электронных пучков. М.: Атомиздат, 1981. - 164 с.
12. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Том 1. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 496 с. Том 2. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 648 с.
13. Франк-Каменецкий А. Д. Лекции по физике плазмы. - М.: Атомиздат, 1964.
14. Шнеерсон Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов. Издание 2-е. - М.: Энергоатомиздат, 1992.
15. Коробейников С.М. Электрофизические процессы в газообразных, жидких и твердых диэлектриках. Процессы в жидкостях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010, 116 с.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделом
отдела подготовки кадров
высшей квалификации



В. П. Драгунов

19 декабря 2024 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА
кандидатского экзамена в аспирантуру
по специальности 2.4.4. Электротехнология и электрофизика

Новосибирск, 2024

Программа обсуждена и утверждена на совете факультета мехатроники и автоматизации, протокол № 8 от 18.12.2024 г.

Программу разработали:

Заведующий кафедрой АЭТУ:
профессор, д.т.н. Алиферов А. И.

Заведующий кафедрой БТ:
профессор, д.ф.-м.н. Коробейников С.М.

Декан факультета мехатроники и автоматизации:
доцент, к.т.н. Вильбергер М.Е.

Ответственный за образовательную программу:
профессор, д.т.н. Алиферов А. И.

Введение

Настоящая программа является логическим дополнением к программному минимуму кандидатского экзамена, в которой дополнительно рассматриваются вопросы по разделам специальности, требующим более глубокого понимания электротехловых и электрофизических вопросов в элементах электротехнологических и электрофизических устройств, механизмов поведения веществ в сильном электрическом поле, а также под действием ионизирующих излучений. Программа логически разделена на два модуля: «Электротехнология» и «Электрофизика».

МОДУЛЬ: ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

Раздел I. УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО НАГРЕВА

Дуговые сталеплавильные печи ДСП. Сравнительный анализ конструкции и технологии ДСП обычной мощности и сверхвысокой мощности. Техно-экономические показатели процесса плавки. Применение инжекционных технологий для интенсификации процесса плавления. Факторы, ограничивающие введение электрической и топливной энергии в плавильное пространство. Моделирование трехфазного электропечного контура с дугами с учетом несимметрии фаз, нелинейности электрической дуги. Электродинамические взаимодействия между фазами. Перенос мощности в трехфазных системах. Построение электрических и рабочих характеристик ДСП. Анализ критериев оптимальности при выборе электрического режима. Высокоимпедансные установки. Изменение структуры энергетического баланса ДСП при переходе от обычной к сверхвысокой мощности. Анализ нетрадиционных конструктивных решений дуговых сталеплавильных установок. Современное оборудование для внепечной обработки стали с применением дугового нагрева. Источники питания и электрооборудование ДСП постоянного и переменного тока. Расчет и проектирование коротких сетей. Характеристики преобразования и переноса энергии в рабочем объеме ДСП. Понятие устойчивости дуги в печах постоянного и переменного тока. Статические и динамические вольтамперные характеристики дуги в ДСП. Характеристика ДСП как нагрузки электрических сетей и их взаимодействие. Современные тенденции в развитии ДСП.

Рудовосстановительные печи РВП. Технологические процессы в РВП. Требования к конструкции установок различного технологического назначения. Классификация РВП. Область применения. Техно-экономические показатели процессов плавки, расчет электрических и геометрических параметров РВП. Тепловой расчет печи, выбор футеровки. Материальный и энергетический баланс. Электрический расчет и выбор печного трансформатора. Основные конструктивные узлы и их особенности. Механический расчет узлов. Принцип работы самоспекающегося электрода. Футеровка, особенности конструкции и изготовления. Способы рекуперации тепловой энергии. Источник питания и электрооборудование РВП. Сравнительный

анализ схем вторичных токоподводов печей с круглой ванной, с прямоугольной ванной. Расчет и проектирование коротких сетей. Компенсация реактивной мощности РВП. Применение постоянного тока и токов различной частоты. Дуга в РВП, вольтамперные характеристики, особенности горения. Комбинированные агрегаты "Плазменная печь - РВП". Характеристика РВП как потребителя - регулятора энергии. Современные тенденции в развитии РВП.

Раздел II. ПЛАЗМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Прохождение электрического тока через газы: самостоятельный и несамостоятельный разряды, тлеющий разряд, дуговой разряд, высокочастотный разряд. Основы физики плазмы: элементарные процессы в плазме газового разряда, баланс энергии, термически равновесная и неравновесная плазма., локальное и частично-локальное термодинамическое равновесие. Дуговой разряд, статические, динамические характеристики дуги, дуга, горящая в потоке газа, воздействие магнитного поля на дугу. Дуговые плавильные плазмотроны: основные параметры, методы расчета, конструктивные схемы. Дуговые струйные плазмотроны: методы стабилизации дуги, конструктивные схемы, плазмотронов, основные параметры, методы расчета. Катоды дуговых плазмотронов: требования, предъявляемые к катодам, явления на катоде, типы катодов, применяемых в плазмотронах, катодные материалы. Высокочастотные плазмотроны: конструктивные схемы, основные параметры, области применения. Понятия о методах диагностики низкотемпературной плазмы. Плазменные электропечи: основные типы и назначения; основные электрические характеристики, технологические особенности. Методы расчета управляемых систем питания дуговых плазмотронов. Классические методы расчета устойчивости динамических систем с дугой. Методы линеаризации системы, расчет с применением ЭВМ нелинейных динамических систем с дугой при конечных возмущениях проводимости дуги.

Раздел III. ВАКУУМНЫЕ ДУГОВЫЕ УСТАНОВКИ

Конструктивные схемы ВДП для выплавки слитков и фасонного литья. Электрические процессы в разрядном промежутке. Распределение мощности дуги, Тепловые процессы в электроде и слитке. Гидродинамические процессы в расплаве. Математическая модель наплавления слитка. Особенности кристаллизации слитков различных металлов и сплавов. Особенности теплофизических процессов при плавке в гарнисаже. Энергетический баланс ВДП. Выбор размеров рабочего пространства печи. Расчет скорости плавки. Расчет мощности источника питания и программ управления процессом выплавки слитка. Тепловые процессы в стенке кристаллизатора и тигля. Расчет параметров систем охлаждения кристаллизатора и тигля: расхода и скорости движения воды, гидравлического сопротивления. Вопросы взрывобезопасности вакуумных дуговых печей. Конструкции кристаллиза-

тора, тигля, истока-электрододержателя, токоподводов. Расчет и конструкция устройств для создания магнитного поля. Требования к источникам питания ВДП. Выпрямительные агрегаты на неуправляемых вентилях и на тиристорах; параметрические источники тока. Системы автоматического управления. Регуляторы длины дугового промежутка. Привод перемещения электрода.

Раздел IV. УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Печи сопротивления. Сплавы сопротивления, жаропрочные материалы, футеровочные и теплоизоляционные материалы. Экспериментальное исследование их функциональных характеристик, основные свойства и области применения. Особенности расчета электрических печей сопротивления скоростного нагрева с преимущественной передачей мощности излучением, расчет аэродинамики и нестационарных слоевых процессов в электропечах сопротивления с циркуляцией атмосферы. Особенности расчета среднетемпературных электропечей сопротивления со сложным теплообменом. Конструкция и особенности расчета установок для низкотемпературного электронагрева. Экономика и оптимизация электрических печей сопротивления, надежность электронагревательных элементов сопротивления. Конструкции и расчет специальных установок электронагрева сопротивлением (электрокалориферы, соляные ванны, установки контактного нагрева). Особенности теплообмена в футеровках электропечей сопротивления с высоким давлением газа.

Печи сопротивления с контролируемыми атмосферами: основные типы контролируемых атмосфер, методы их получения и газоприготовительные установки. Особенности конструкции и расчета электропечей сопротивления с контролируемыми атмосферами. Влияние контролируемых атмосфер на печные материалы. Методы и приборы контроля и автоматического регулирования состава контролируемой атмосферы. Основные положения правил техники безопасности при работе с контролируемыми атмосферами. Вакуумные электропечи сопротивления. Расчет вакуумной системы. Вакуумное оборудование. Материалы вакуумных электропечей. Особенности теплового расчета вакуумных электропечей. Особенности работы механизмов вакуумных электропечей. Пробой в вакууме. Газовыделение в вакууме. Электропечи сопротивления для выращивания монокристаллов: методы и аппаратура для получения монокристаллов из расплавов, газовой фазы и растворов-расплавов. Особенности конструкции и расчета электропечей сопротивления для выращивания кристаллов со сложным теплообменом в нагревательной камере, экспериментальные методы исследования температурных полей в системах "пар – расплав – кристалл" в процессе выращивания кристаллов. Расчетные методы определения температурных полей в системе "пар – расплав – кристалл" в процессе выращивания кристаллов. Установки инфракрасного нагрева. Основные понятия и определения теории инфракрасного излучения. Современное состояние разработок источ-

ников инфракрасного излучения, включая вопросы материаловедения. Электрические инфракрасные источники. Современные методы расчетов оптических устройств и систем. Применение математического моделирования и ЭВМ при расчетах теплообмена в теплотехнических устройствах, в том числе при расчетах оптических устройств и систем. Современные методы постановки эксперимента и обработка результатов. Нестационарный теплообмен.

Трубчатые электронагреватели. Поляризация твердых и парообразных диэлектриков и их диэлектрическая проницаемость. Электропроводность, диэлектрические потери и пробой твердых и газообразных диэлектриков. Физико-химические и механические свойства наполнителей ТЭНов. Особенности электрического расчета ТЭНов. Основные конструктивные особенности нагревателей трубчатого типа (двухконцевых, патронных, плоских), гибких, керамических и др.

Раздел V. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И УСТАНОВКИ

Математическое моделирование и использование ЭВМ - один из основных методов научного познания (наряду с экспериментом) технических, социальных систем и явлений. Этапы моделирования. Постановка задачи, составление математической модели, разработка алгоритма реализации задачи. Преимущества математического моделирования перед натурным экспериментом.

Модели простейших электрических процессов, механических и тепловых процессов. Модель электрических процессов в короткой сети трехфазной дуговой сталеплавильной печи. Моделирование электродинамических явлений в ДСП. Модель теплопередачи в однородной среде (стержне). Элементы стохастического моделирования. Задачи оптимизации и их решение (оптимизационные модели).

Современное программное обеспечение, применяемое при решении инженерных и исследовательских задач, его особенности и краткая характеристика.

Раздел VI. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И УСТАНОВКАМИ

Номенклатура промышленных контроллеров, применяемых в системах автоматического управления электротехнологическими установками, и их основные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А. С. Источники питания высокочастотных электротермических установок : [монография] / А. С. Васильев, Г. Конрад, С. В. Дзлизев. - Новосибирск, 2006. - 425 с.

- 2 Алиферов А. И. Электроконтактный нагрев металлов : [монография] / А. Алиферов, С. Луци ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 223 с.
- 3 Кувалдин А. Б. Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях : [монография] / А. Б. Кувалдин, А. Р. Лепешкин. - Новосибирск, 2006. - 282 с.
- 4 Чередниченко В. С. Дистилляционные электропечи / В. С. Чередниченко. - Новосибирск, 2009. - 395 с.
- 5 Чередниченко В. С. Электрические печи сопротивления. Конструкции и эксплуатация электропечей сопротивления / В. С. Чередниченко, А. С. Бородачев, В. Д. Артемьев ; под ред. В. С. Чередниченко. - Новосибирск, 2006. - 571 с.
- 6 Чередниченко В. С. Электрические печи сопротивления. Теплопередача и расчеты электропечей сопротивления / В. С. Чередниченко, А. С. Бородачев, В. Д. Артемьев ; под ред. В. С. Чередниченко. - Новосибирск, 2006. - 623 с.
- 7 Комбинированные электротехнологии нанесения защитных покрытий : [монография] / [В. С. Чередниченко и др.] ; отв. ред.: В. С. Чередниченко, В. Г. Радченко ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2004. - 259 с.
8. [Плазменные электротехнологические установки: учебник для вузов / В.С. Чередниченко, А.С. Анышаков, М.Г.Кузьмин.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 602 с.](#)
9. Производство стали в дуговых печах: конструкции, технологии, материалы / Ю.А. Гудима, И.Ю. Зинуров, А.Д. Киселев. - [Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010.](#) – 546 с.
10. Вакуумные плазменные электропечи: монография / В.С. Чередниченко, Б.И. Юдин. - [Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010.](#) – 586 с.
11. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи. 4.1 - М.: Энергия, 1975.
12. Сисоян Г.А. Электрическая дуга в электрической печи. - М.: Металлургия, 1974.
13. Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева: Учебник для вузов / А.Д. Свенчанский, И.Т. Жнрдев, А.М. Кручинин и др.; под ред. А.Д. Свенчанского. – 2-е изд., перераб.и доп. - М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
14. Финкельнбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма.- М.: Иностранная литература, 1961.
15. Мучник Г.Ф, Рубашов И.Б. Методы теории теплообмена. 4.1. - М.: Высш. школа, 1970.
16. Веников В.А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики. -М.: Высш. школа, 1966.
17. Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева. - Л.: Энергия, 1974.

18. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. - М.: Энергия, 1967.
19. Васильев А.С. Статические преобразователи частоты для индукционного нагрева. - М.: Энергия, 1974.
20. Свенчанский А.Д., Гуттерман К.Д. Автоматическое регулирование электрических печей. - М.: Энергия, 1965.
21. Теория автоматического управления. / Под. ред. А.В. Нетушила. - М.: Высша. школа 1968 - 1971. Ч.І - 1968; Ч.ІІ - 1971.
22. Пирожников В.Е., Каблуковский А.Ф. Автоматизация контроля и управления электросталеплавильными установками. - М.: Metallurgy, 1974.
23. Микульский А.С. Процессы рудной электротермии. - М.: Энергия, 1965.
24. Электрошлаковые печи. Под ред. Б.Е. Патона, Б.И.Медовара, - Киев: Наукова Думка, 1976.
25. Грановский В.Л. Электрический ток в газах. Ч.1. Общие вопросы электродинамики газов. - М.: ГИИТЛ, 1952.
26. Грановский В.Л. Электрический ток в газах. Ч.2. Установившийся ток. - М.: Наука, 1971.
27. Смелянский М.Я. Электронные плавильные печи. - М.: Энергия, 1971.
28. Автоматическое управление электротермическими установками: Учебник для вузов / А.М. Кручинин, К.М, Махмудов, Ю.М. Миронов и др.; под ред. А.Д. Свенчанского. -М.: Энергоатомиздат, 1990.
29. Свенчанский А.Д. и др. Электроснабжение и автоматизация электротермических установок: - М.: Энергия, 1980.
30. Электрооборудование и автоматика электротермических установок: Справочник / Под ред. Альтгаузена А.П., Бершицкий И.М., Смелянский М.Я., Эдемский В.М. - М.: Энергия, 1978.
31. Электротермическое оборудование: Справочник / Под ред. А.П. Альтгаузена и др. - 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергия, 1980.
32. Аншин В.Ш. и др. Трансформаторы для промышленных электропечей, - М.: Энергоатомиздат, 1982.
33. Установки индукционного нагрева / Под ред. Слухоцкого А.Е.-Л.: Энергоатомиздат, 1981.
34. Окорочков Н.В. Дуговые сталеплавильные печи. - М.: Metallurgy, 1971.
35. Еднерал Ф.П. Электрометаллургия стали и ферросплавов. - М.: Metallurgy, 1977.
36. Шевцов М.С., Бородачев А.С. Развитие электротермической техники. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
37. Минеев Р.В. и др. Графики нагрузок дуговых электропечей. - М.: Энергия, 1977.

38. Данцис Я.Б. Методы электротехнических расчетов руднотермических печей. - Л.: Энергия. 1973,

39. Волохонский Л.А. Вакуумные дуговые печи. - М.: Энергоатомиздат, 1985.

40. Чередниченко В.С., Сеницын В.А., Алиферов А.И., Тюков В.А., Шаров Ю.И. Теплопередача, Часть 1, Основы теории теплопередачи: Учебное пособие для вузов. - Новосибирск: НГТУ, 2007.-(Серия "Учебники НГТУ").

41. Чередниченко В.С., Сеницын В.А., Алиферов А.И., Тюков В.А., Шаров Ю.И. Теплопередача, Часть 2, Упражнения и задачи: Учебное пособие для вузов. - Новосибирск: НГТУ, 2007.-(Серия "Учебники НГТУ")

42. Материалы для электротермических установок: Справочное пособие Под ред. М.Б. Гутмана. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

43. Альтгаузен А.П. Применение электронагрева и повышение его эффективности. -М.: Энергоатомиздат, 1987.

44. Курапин И.П., Курапина М.Н. Руднотермические печи. Учебное пособие /Новосиб. гос. техн. ун-т - Новосибирск, 1993.

45. Курапина М.Н., Курапин И.Н. Основы разработки электротермических установок. Механизмы электропечей. Часть 2: Учебное пособие / Новосибир. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 1996.

46. Современные энергосберегающие электротехнологии: Учебное пособие для ВУЗов/ Блинов Ю.И., Васильев А.С., Никаноров А.Н. и др.- СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2000.

47. Теоретические основы и аспекты электротехнологий. Физические принципы и реализация. Интенсивный курс Основы I / А. И. Алиферов, Э. Бааке, Д. Барглик, С. А. Галунин, Л. П. Горева, Д. Долега, Ф. Дугиери, С. Лупи, Б. Наке, С. Павлов, А. Ю. Печенков, А. Смальцеж, М. Форзан, А. Якович. - Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013. - 359 с.

48. Theoretical background and aspects of electrotechnologies. Physical principles and realization. Intensive Course Basic I. : учеб. пособие / В. Nacke, E. Baake, S. Lupi, F. Dughiero, M. Forzan, J. Barglik, D. Dolega, A. Jakovics, S. Pavlovs, А. И. Алиферов, Л. П. Горева. - : St.Petersburg: Publishing house of ETU, 2012. - 356 с.

49. Электротехнологические установки и системы. Теплопередача в электротехнологии. Упражнения и задачи : учеб. пособие для вузов / под ред. В.С.Чередниченко, А.И.Алиферова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 570 с.

50. Учебно-научная лаборатория автоматизации электротехнологических комплексов и теплообменных процессов в электротехнологическом оборудовании. Ч. 1. Оборудование : учеб. пособие / А. И. Алиферов, Р. А. Бикеев, Л. П. Горева и др. - : Изд-во НГТУ, 2011. - 124 с.

51. Оптимизация и управление электротехнологическими системами. Интенсивный курс Специализация III / А. И. Алиферов, Э. Бааке, Д.

Барглик, Р. А. Бикеев, Ф. Брессан, П. Ди Барба, Л. П. Горева, С. Луци, Б. Наке, А. Никаноров, С. Павлов, Ю. Э. Плешивцева, Э. Я. Рапопорт, А. Смальцеж, С. Спитан, М. Форцан, А. Якович. - Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013. - 266 с.

52. Optimization and control systems in electrotechnologies. Intensive course "Specific 3" : [lectures] / A. Aliferov, R. Bikeev, L. Goreva [et al.]. - St. Petersburg : Publ. house of ETU, 2013. - 244 p.

51. Теория и практика применения дуговых печей. Интенсивный курс "Специализация 2" : [курс лекций] / А. И. Алиферов, Д. Барглик, Л. П. Горева, С. Луци, С. Павлов, М. Форцан, А. Якович. - Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013. - 234 с.

52. Theory and practice of application of arc furnace. Intensive course "Specific 2" : [lectures] / A. Aliferov, L. Goreva [et al.]. - St. Petersburg : Publ. house of ETU, 2013. - 234 p.

53. Индукционный и электроконтактный нагрев металлов: монография / А. И. Алиферов, С. Луци. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 410 с.

54. Электротехнологические установки для плазменно-термической обработки материалов: учеб. пособие / А. С. Аньшаков, Г. Г. Волокитин, О. Г. Волокитин, Н. К. Скрипникова. - Томск : Изд-во ТГАСУ, 2014. - 126 с.

55. Дуговые электропечи: учеб. пособие / А. И. Алиферов, Р. А. Бикеев, Л. П. Горева, С. Луци, М. Форцан, Д. Барглик. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 204 с.

МОДУЛЬ: ЭЛЕКТРОФИЗИКА

1. Высоковольтные процессы

Электропроводность газов, жидкостей и твердых тел. Электрогидродинамические процессы в жидких диэлектриках. Измерения напряжений, токов, сопротивлений.

Разрядные процессы в газах. Многолавиный и стримерный разряд. Переход от стримера к лидеру в длинных промежутках. Коронный разряд в резонансном поле. Дуга.

Зажигание импульсного разряда в жидкостях. Разряд с катода и с анода. Появление стримеров. Ударная ионизация и напряженности ее возникновения.

Зажигание разряда при переменном напряжении. Частичные разряды в твердых диэлектриках. Частичные разряды в жидкостях. Появление «эффективного» электрона.

Перенапряжения и защита от них. Ограничители перенапряжений, частотно зависимые устройства для защиты от высокочастотных импульсов.

Диагностика состояния высоковольтного оборудования. Хроматографический анализ растворенных газов в масле.

2. Излучение

Действие рентгеновского и гамма излучений на вещества.

Космические лучи, их состав и воздействие на диэлектрики.

Роль излучения в возникновении и развитии разряда в газах.

Защита от излучений оборудования и персонала.

3. Электрические, магнитные поля и токи

Появление носителей заряда в сильных полях. Инжекция из металла и полупроводника. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия.

Особенности появления носителей заряда в жидкостях. Подвижность носителей заряда. Проводимость сильных и слабых электролитов. Проводимость слабопроводящих жидкостей. Трансформаторное масло, как самая распространенная жидкая изоляция.

Двойной электрический слой. Электропроводность наножидкостей.

Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных и слабых полях. Тепловой пробой, пробой под действием ЧР, электрический пробой.

Низкотемпературная и высокотемпературная сверхпроводимость.

Применение эффекта Керра для регистрации сильных электрических полей.

Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Механизмы поляризации различных типов диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Домены. Энергия электрического поля в диэлектриках.

Магнитное поле в веществе. Механизмы намагничивания. Диамагнетики, парамагнетики, ферри и ферромагнетики.

Электромагнитные волны. Телеграфное уравнение. Падающие и отраженные волны.

Квазистационарное электромагнитное поле. Глубина проникновения магнитного поля и тока в проводник за счет скин-эффекта.

4. Электрофизика больших мощностей

Возобновляемые источники энергии. Проблемы накопления энергии. Создание большой мощности. Плотности потоков энергии, объемная плотность энергии у различных типов накопителей.

Особенности емкостных накопителей энергии. Принципы построения генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов. Емкостные накопители с использованием полярных жидкостей.

Емкостные накопители на формирующих линиях. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З.. Физика плазмы для физиков. - М.: Атомиздат, 1979.

2. Беломытцев С. Я., Пегель И. В. Физика сильноточных пучков заряженных частиц. Учебное пособие. — Томск: Издательство ТПУ, 2008. - 115 с.

3. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. - М.: Энергоатомиздат, 1990.

4. Добрецов Л. Н., Гомоюнова М. В. Эмиссионная электроника. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1966. - 564 с.

5. Зельдович И.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. - М.: Наука, 1966.

6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. П. Теория поля. М.: Наука, 1988. - 509 с.; Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. - М.: Наука., 1982. - 621 с.

7. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. — 704 с.

8. Месяц Г. А., Пегель И. В. Введение в наносекундную импульсную энергетика и электронику (курс лекций для физиков и инженеров). — М.: ФИАН, 2009. - 192 с.

9. Попов В.И. Основы теории цепей. - М.: Высшая школа, 1995.

10. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. - М.: Наука, 1987.

11. Рухадзе А.А., Богданкевич Л.С., Росинский С.Е., Рухлин В.Г. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. М.: Атомиздат, 1981. - 164 с.

12. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Том 1. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 496 с. Том 2. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 648 с.

13. Франк-Каменецкий А. Д. Лекции по физике плазмы. - М.: Атомиздат, 1964.

14. Шнеерсон Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов. Издание 2-е. - М.: Энергоатомиздат, 1992.

15. Коробейников С.М. Электрофизические процессы в газообразных, жидких и твердых диэлектриках. Процессы в жидкостях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010, 116 с.

16. Коробейников С.М., Ушаков В.Я., Лопатин В.В., Клишкин В.Ф. Пробой жидкостей при импульсном напряжении 2005: Изд-во НТЛ, Томск, 487 стр.

17. Коробейников С. М., Овсянников А. Г. Физические механизмы частичных разрядов: 2022 Изд-во НГТУ, 266 стр.

18. Сон Э. Е., Фортков В. Е., Азмеев Х. Х., Аксенов А. А., Бондарь В. С., Коробейников С. М.: Электрофизика и взрывобезопасность высоковольтного маслonaполненного электрооборудования: 2019, Изд-во: Принт: 419 с.