

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

18 февраля 2022 г.

ПРОГРАММА
вступительного экзамена в аспирантуру
по специальности 2.4.4. Электротехнология и электрофизика

Новосибирск, 2022

Программа обсуждена и утверждена на совете факультета мехатроники и автоматизации, протокол № 1 от 16.02.2022 г.

Программу разработали:

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



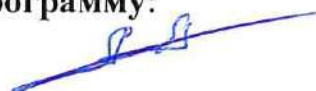
Заведующий кафедрой БТ:
профессор, д.ф.-м.н. Коробейников С.М.



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 к 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 рабо-

чее 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 электронно-лучевой установки (ЭЛУ). Области применения ЭЛУ. Основные типы электронных пушек. ЭЛУ для плавки и литья металлов, их конструктивные особенности. ЭЛУ для термообработки, нанесения 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. Дзлиев. - 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. Алифорова. - 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. Луки. - 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. Луки, 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. Луки, 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. Электromеталлургия. - 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. Пондермоторные 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. 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.