

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет мехатроники и автоматизации  
Заочный факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМА

профессор, д.т.н. Щуров Николай Иванович

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан ЗФ

профессор, д.т.н. Темлякова Зоя Савельевна

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Электротехнологические установки и системы

ООП: специальность 140605.65 Электротехнологические установки и системы

Шифр по учебному плану: СД.Ф.1

Факультет: заочный заочная форма обучения

Курс: 4 5, семестр: 7 8 9

Лекции: 24

Практические работы: - Лабораторные работы: 8

Курсовой проект: -Курсовая работа: 8 РГЗ: -

Самостоятельная работа: 217

Экзамен: 9Зачет: 8

Всего: 250

Новосибирск

2011

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности): 654500 Электротехника, электромеханика и электротехнологии.(№ 207 тех/дс от 27.03.2000)

СД.Ф.1, дисциплины федерального компонента

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Автоматизированных электротехнологических установок протокол № 03/11 от 11.05.2011

Программу разработал

профессор, д.т.н.Алиферов Александр Иванович

Заведующий кафедрой

профессор, д.т.н.Алиферов Александр Иванович

Ответственный за основную образовательную программу

профессор, д.т.н.Алиферов Александр Иванович

## 1. Внешние требования

Следующие цитаты из ГОС соответствуют данной дисциплине.

### 1.4. Квалификационная характеристика выпускника.

1.4.2. Объекты профессиональной деятельности выпускника: электротехнологические, электросварочные и электрофизические установки и процессы, установки и приборы бытового электронагрева;

### 1.4.3. Виды профессиональной деятельности.

Выпускники по направлению подготовки "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" могут быть подготовлены к выполнению следующих видов профессиональной деятельности: - проектно-конструкторская и технологическая; - исследовательская; ...

1.4.4. Задачи профессиональной деятельности выпускника. Инженер по направлению подготовки "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" подготовлен к решению следующих профессиональных задач:

- а) проектно-конструкторская и технологическая деятельность:
  - формулирование целей проекта (программы) решения задач, критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач;
  - использование информационных технологий при проектировании и конструировании электротехнического оборудования и систем, а также технологических процессов и технологических операций;
- б) исследовательская деятельность:
  - создание теоретических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов деятельности;
  - использование компьютерных технологий моделирования и обработки результатов;

### 1.4.5. Квалификационные требования.

Для решения профессиональных задач инженер:

- способствует полезному использованию природных ресурсов, энергии и материалов;
- проводит технико-экономический анализ, комплексно обосновывает принимаемые и реализуемые решения, изыскивает возможности сокращения цикла выполнения работ, содействует подготовке процесса их выполнения, обеспечению необходимыми техническими данными, материалами, оборудованием потоками информации;
- изучает и анализирует необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, обобщает и систематизирует их, проводит необходимые расчеты, использует современные технические средства и информационные технологии;
- консультирует по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции, разработки и реализации прогрессивных технологических процессов.

### 7.1. Требования к профессиональной подготовленности выпускника.

#### **Инженер должен знать:**

- методы разработки обобщенных вариантов решения проблемы, анализа вариантов, прогнозирование последствий, отыскание компромиссных решений в условиях многокритериальности, неопределенности, планирования реализации проекта;
- принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств, материалов и их свойства;

- методы проведения технических расчетов и определения экономической эффективности исследований и разработок;
- достижения науки и техники, передовой и зарубежный опыт в соответствующей области знаний.

**Инженер должен уметь:**

- формулировать цели проекта (программы) решения задач, выявлять приоритеты решения задач;
- использовать информационные технологии при проектировании и конструировании электротехнического оборудования и систем;
- использовать компьютерные технологий моделирования и обработки результатов.

**Требования ГОС ВПО к содержанию дисциплины** приведены в таблице 1.1. В данной дисциплине в 7 и 8 семестрах рассматриваются вопросы, выделенные жирным шрифтом в таблице 1.1, связанные с электротехнологическими установками нагрева электросопротивлением и индукционного нагрева.

Таблица 1.1

| Шифр  | Содержание  | Часов |
|-------|---|-------|
| СД.01 | <b>Электротехнологические установки и системы: основные научно-технические проблемы и перспективы развития электротехнологии; классификация электротехнологических установок и систем; конструкция и режимы работы электротехнологических установок: нагревательные и плавильные электротехнологические установки; установки спецэлектронагрева; электротехнологическое оборудование для процессов сушки материалов и изделий; электротехнологическое оборудование для обогрева помещений; лазерная обработка материалов; электротехнологическое оборудование для нанесения покрытий; порошковая металлургия; вакуумные электротехнологические установки; электросварочные установки.</b> | 250   |

Другие темы рассматриваются в дисциплинах: «Установки спецэлектронагрева»: установки спецэлектронагрева; вакуумные электротехнологические установки; «Плазменные электротехнологические установки»: электротехнологическое оборудование для нанесения покрытий; порошковая металлургия; «Электродуговые установки»: плавильные электротехнологические установки; электросварочные установки.

## 2. Особенности (принципы) построения дисциплины

Таблица 2.1

Особенности (принципы) построения дисциплины

| Особенность (принцип)   | Содержание   |
|---|--|
| Основания для введения дисциплины в учебный план по направлению или специальности | Стандарт специальности 140605  |
| Адресат курса   | Студенты, обучающиеся специальности 140605 по заочной форме.   |
| Основная цель (цели) дисциплины   | Изучение свойств материалов, включающих специальные высокотемпературные материалы (огнеупорные и теплоизоляционные, конструкционные материалы и материалы для электронагревательных элементов), применяемые в электротехнологических установках, |

|  |   |
|--|---|
|  | устройство и принципы работы, методы расчета теплотехнических и электрических параметров, разработки, конструирования электрических печей сопротивления и установок индукционного нагрева   |
| Ядро дисциплины  | Технико-экономические вопросы разработки и эксплуатации электропечей сопротивления и установок индукционного нагрева.   |
| Связи с другими учебными дисциплинами основной образовательной программы | Знания, полученные в данной дисциплине, должны быть использованы студентом при изучении специальных дисциплин: "Моделирование электромеханических систем", "Установки специального электронагрева", "Установки спецэлектронагрева", "Электродуговые установки", "Электротермические процессы и установки", изучаемые при подготовке в ходе выполнения выпускных квалификационных работ бакалавра и магистра и в дипломном проектировании. |
| Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся               | Для успешного освоения курса необходимы знания, полученные в курсах: "Математика", "Физика", "Теоретические основы электротехники", "Материаловедение", "Основы электротехнологии".   |
| Особенности организации учебного процесса по дисциплине                  | При освоении дисциплины студенты выполняют курсовую работу по разработке электрической печи сопротивления в соответствии с индивидуальным заданием.   |

### 3. Цели учебной дисциплины

Таблица 3.1

После изучения дисциплины студент будет

|                     |  |
|---------------------|--|
| иметь представление |  |
| 1                   | О структуре процесса разработки ЭТУС.  |
| знать               |  |
| 2                   | Классификацию электротермического оборудования.  |
| 3                   | Этапы разработки электротехнологического оборудования.   |
| 4                   | Систему обозначений электротермического оборудования.  |
| 5                   | Материалы для электротермических установок.  |
| 6                   | Конструкцию электрических печей сопротивления и индукционных установок.  |
| 7                   | Методику электрического расчета печей сопротивления.   |
| 8                   | Методику расчета и выбора основных конструктивных параметров вакуумных электропечей сопротивления.   |
| 9                   | Установки электроконтактного нагрева металлических заготовок: технико-экономические предпосылки целесообразности использования, типы источников питания, управление режимами работы. |
| 10                  | Методы измерения температуры в электропечах сопротивления.   |
| 11                  | Перспективные направления развития электропечей сопротивления.   |
| 12                  | Закономерности распространения электромагнитной волны в различных телах.   |
| 13                  | Методику расчета плоских и цилиндрических индукторов для нагрева внутренних поверхностей.  |
| 14                  | Особенности конструкции индукционных установок их технологическое  |

|                      |   |
|----------------------|---|
|                      | назначение и технико-экономические характеристики.  |
| 15                   | Методику расчета тепловых, электрических и энергетических характеристик и проектирования индукционных установок.            |
| 16                   | Особенности электропечей сопротивления и индукционных установок как нагрузки электрической цепи.                            |
| уметь                |   |
| 17                   | Осуществлять выбор оптимальной футеровки печи.  |
| 18                   | Определять мощность и тепловые эксплуатационные показатели (КПД, удельного расхода электроэнергии, времени разогрева печи). |
| 19                   | Рассчитывать размеры и электрические параметры нагревателей из сплавов сопротивления по инженерной методике.                |
| 20                   | Проводить расчет и выбор основных конструктивных параметров электропечей сопротивления и индукционных установок.            |
| 21                   | Проводить расчет основных рабочих параметров электротермических установок.  |
| иметь опыт (владеть) |   |
| 22                   | Исследования нагрева изделий в ЭПС.   |
| 23                   | Исследования на математических моделях физических явлений при индукционном нагреве.   |

#### 4. Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия Таблица 4.1

| (Модуль), дидактическая единица, тема   | Часы | Ссылки на цели |
|---|------|----------------|
| Семестр: 7  |      |                |
| Модуль: Общая характеристика электротехнологических установок   |      |                |
| Дидактическая единица: Основные научно-технические проблемы и перспективы развития электротехнологии  |      |                |
| Основные научно-технические проблемы и перспективы развития электротехнологии. Разработка электротехнологических установок. Общие сведения. Электротехнология, электротехнологические процессы, электротехнологические установки (основные понятия и определения). Классификация электротермического оборудования. Система обозначений электротермического оборудования. Структура процесса разработки ЭТУС (расчет, проектирование, разработка - объем и содержание). Классификация, технико-экономические характеристики и области применения электропечей сопротивления. | 2    | 1, 2, 3, 4     |
| Семестр: 8  |      |                |
| Модуль: Общая характеристика электротехнологических установок   |      |                |
| Дидактическая единица: Классификация электротехнологических установок и систем  |      |                |
| Специальные высокотемпературные материалы для электротермических установок. Специфика условий работы конструкционных материалов в ЭТУ. Огнеупорные материалы, требования к ним. Теплофизические, механические и электрические свойства огнеупоров. Плотные, пористые (легковесы), волокнистые и вспененные материалы, способы получения, сравнительная характеристика. Теплоизоляционные материалы, их  | 2    | 5              |

|  |   |        |
|--|---|--------|
| свойства. Рекомендации по использованию в ЭТУ огнеупорных и теплоизоляционных материалов с наибольшей энергетической эффективностью. Жаропрочные стали и сплавы. Их применение в электропечах. Материалы для нагревательных элементов электропечей сопротивления, требования к ним. Никель - хромовые, железо- хромо - алюминиевые сплавы, их свойства, области применения. Материалы для нагревательных элементов, применяемых в высокотемпературных электропечах.  |   |        |
| Модуль: Установки нагрева сопротивлением   |   |        |
| Дидактическая единица: Конструкция и режимы работы электротехнологических установок: нагревательные и плавильные электротехнологические установки  |   |        |
| Конструкция электротехнологических установок и систем - электрических печей сопротивления. Электропечи косвенного действия. Основные требования к конструкциям печей, ГОСТы. Типы печей периодического и непрерывного действия, их конструктивные особенности, принципы работы механизмов, области применения электропечей для различных технологических процессов и загрузок. Вспомогательное оборудование электропечных агрегатов. Особенности конструкции низкотемпературных печей, применение принудительной циркуляции атмосферы. Среднетемпературные печи. Особенности высокотемпературных печей. Плавильные печи сопротивления. Печи с жидким теплоносителем, соляные ванны, их преимущества и недостатки, области применения. Печи с контролируемой атмосферой. Типы защитных и специальных атмосфер, их свойства, способы получения, применение. Особенности конструкции печей с контролируемыми атмосферами, способы герметизации, меры техники безопасности. Установки инфракрасного нагрева. Детали электропечей сопротивления. Устройство футеровки | 2 | 6      |
| Режимы работы нагревательных и плавильных электропечей сопротивления. Тепловой расчет электрических печей сопротивления. Время нагрева и остывания загрузки в печах периодического действия. Рабочие циклы печей, графики нагрева загрузки. Методы расчета нагрева и остывания теплотехнически тонких и массивных изделий при различных режимах (граничных условиях). Энергетический баланс печи периодического и непрерывного действия, расчет его составляющих. Алгоритм расчета тепловых потерь и аккумулированного тепла. Выбор оптимальной футеровки печи. Мощность и тепловые эксплуатационные показатели (КПД, удельного расхода электроэнергии, времени разогрева печи). Расчет печей непрерывного действия. Тепловые зоны, режимы нагрева. Алгоритм расчета кривой нагрева в многозонной печи. Выравнивание температуры в зоне выдержки. Особенности расчета печей с принудительной циркуляцией атмосферы. Время нагрева при конвективном и сложном теплообмене. Учет охлаждения газа в загрузке. Основы аэродинамического расчета конвективных печей   | 2 | 17, 18 |
| Электрический расчет печей сопротивления. Общая характеристика электропечей сопротивления как потребителей электроэнергии. Основы управления тепловым режимом печей сопротивления. Позиционные и непрерывное регулирование температуры. Требования к источнику питания и системе автоматического управления ЭПС. Выбор нагревателей по рекомендуемой и максимально допустимой температуре. Нагреватели печей с теплоотдачей излучением. Понятие об   | 2 | 19, 7  |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| идеальном нагревателе. Определение удельной поверхностной мощности реального нагревателя. Алгоритм расчета размеров и электрических параметров нагревателей из сплавов сопротивления. Надежность нагревательных элементов, расчет срока службы. Особенности расчета высокотемпературных неметаллических нагревателей, нагревателей конвективных печей, нагревательных элементов с теплоотдачей теплопроводностью   |   |           |
| Установки прямого нагрева (печи для графитации угольных изделий, стекловаренные печи, электродные водоподогреватели). Установки электроконтактного нагрева металлических заготовок. Электрическая схема замещения, расчет основных рабочих параметров установок прямого нагрева. Типы источников питания, управление режимами работы.  | 2 | 21, 9     |
| Модуль: Установки индукционного нагрева  |   |           |
| Дидактическая единица: Классификация электротехнологических установок и систем   |   |           |
| Классификация и технико-экономические характеристики установок индукционного и диэлектрического нагрева. Классификация и области применения установок индукционного и диэлектрического нагрева. Сравнение индукционного и диэлектрического нагрева с альтернативными видами нагрева. Распространение электромагнитной волны в полубесконечной однородной проводящей среде. Решение уравнений электромагнитного поля для среды с постоянными $\epsilon$ и $\mu$ . Глубина проникновения тока. Активное и внутреннее реактивное сопротивление. Удельная мощность. Поверхностный эффект. Эффект близости и кольцевой эффект. Эффект паза. | 2 | 12, 2, 4  |
| Дидактическая единица: Конструкция и режимы работы электротехнологических установок: нагревательные и плавильные электротехнологические установки  |   |           |
| Электромагнитная волна в ферромагнитной среде. Особенности распространения электромагнитной волны в ферромагнитной среде в условиях сильного насыщения поверхностных слоев. Влияние роста магнитной проницаемости по глубине на активное и внутреннее реактивное сопротивление нагреваемого изделия. Определение магнитной проницаемости на поверхности среды по заданной удельной мощности. Стадии нагрева стали.   | 2 | 12        |
| Электромагнитные явления в системе индуктор - металлический цилиндр. Электромагнитные явления в индукторе. Выделение энергии в системе индуктор - металлический цилиндр. Электрический КПД и коэффициент мощности системы индуктор - металлический цилиндр. Выбор частоты тока индуктора при сквозном нагреве и в индукционных тигельных плавильных печах. Толщина стенки канала индукционных канальных печей. Активное и индуктивное сопротивления цилиндрического индуктора с нагрузкой (сплошной и полый цилиндры).   | 2 | 12        |
| Применение схем замещения для расчета коротких индукторов. Схема замещения по общему магнитному потоку, ее элементы и использование при расчете индукторов без магнитопроводов для нагрева внешних поверхностей. Расчет плоских и цилиндрических индукторов для нагрева внутренних поверхностей.   | 2 | 13        |
| Индукционные нагревательные установки. Режимы работы индукционных нагревательных установок Установки для сквозного нагрева. Технологическое назначение. Особенности сквозного нагрева.   | 2 | 14, 15, 6 |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| Выбор удельных мощностей, определение интегральных мощностей, оптимизация рабочей частоты; геометрические соотношения в системе нагрева. Конструктивное выполнение индукционных нагревателей: индуктор, футеровка, механизмы. Расчет индукционных нагревателей периодического и непрерывного действия. Расчет тепловой. Электрические и энергетические параметры. Выбор комплектующего оборудования. Индукционные нагревательные установки для обогрева помещений  |   |           |
| Семестр: 9   |   |           |
| Модуль: Установки индукционного нагрева  |   |           |
| Дидактическая единица: Конструкция и режимы работы электротехнологических установок: нагревательные и плавильные электротехнологические установки  |   |           |
| Индукционные плавильные печи. Индукционные плавильные тигельные печи. Выбор основных параметров индукционных плавильных тигельных печей (ИТП): мощности, частоты, емкости, геометрических размеров. Тепловой и электрический расчет. Электродинамические явления в индукционных тигельных печах. Конструктивное исполнение ИТП. Рациональная эксплуатация ИТП.<br>Индукционные плавильные каналные печи. Режимы работы каналных печей. Расчет каналной печи: тепловой, электрический. Энергетический баланс. Выбор основных параметров ИКП: конструктивное исполнение, мощность печи, емкость, количество индукционных единиц, геометрические размеры ванны и индукционной единицы. Индуктор, магнитопровод, футеровка ванны и канала, кожух, механизмы. Системы и расчет воздушного охлаждения подового камня. Расчет водяного охлаждения индуктора. Электродинамические явления в ИКП. Выбор комплектующего оборудования. Рациональная эксплуатация ИКП. | 2 | 14, 15, 6 |

Лабораторная работа Таблица 4.2

| <b>(Модуль), дидактическая единица, тема</b>  | <b>Учебная деятельность</b>  | <b>Часы</b> | <b>Ссылки на цели</b> |
|---|--|-------------|-----------------------|
| Семестр: 8  |  |             |                       |
| Модуль: Установки нагрева сопротивлением  |  |             |                       |
| Дидактическая единица: Конструкция и режимы работы электротехнологических установок: нагревательные и плавильные электротехнологические установки |  |             |                       |
| Исследование нагрева изделий различной степени теплотехнической массивности в электропечи периодического действия.                                | Измеряют динамику изменения температуры в нагреваемых металлических цилиндрических изделиях.<br>Рассчитывают графики нагрева различных металлических цилиндрических изделий.<br>Выполняют анализ расчетных и экспериментальных данных. | 2           | 22                    |
| Исследование нагрева насыпной загрузки в конвективной электропечи.  | Измеряют динамику изменения температуры в нагреваемых  | 2           | 22                    |

|  |  |   |    |
|--|--|---|----|
|  | насыпной загрузке.<br>Рассчитывают коэффициенты теплоотдачи для режимов вынужденной и естественной конвекции.<br>Выполняют сравнение расчетных и экспериментальных данных, устанавливают направление газовых и тепловых потоков в нагреваемой загрузке.            |   |    |
| Семестр: 9   |  |   |    |
| Модуль: Установки индукционного нагрева  |  |   |    |
| Дидактическая единица: Конструкция и режимы работы электротехнологических установок: нагревательные и плавильные электротехнологические установки                          |  |   |    |
| Исследование энергетических характеристик, распределения магнитного, электрического и температурного полей в металлических изделиях при постоянном токе в индукторе        | Изучают интегрированный программный продукт НИТ.<br>Выполняют расчеты энергетических, электрических характеристик и температурного поля в нагреваемом изделии при постоянном токе в индукторе.<br>Излагают теоретическое объяснение полученных результатов         | 2 | 23 |
| Исследование энергетических характеристик, распределения магнитного, электрического и температурного полей в металлических изделиях при постоянном напряжении на индукторе | Выполняют расчеты энергетических, электрических характеристик и температурного поля в нагреваемом изделии при постоянном напряжении на индукторе.<br>Излагают теоретическое объяснение полученных результатов<br>Сравнивают результаты лабораторных работ №1 и №2. | 2 | 23 |

## 5. Самостоятельная работа студентов

### Семестр- 8, Подготовка к зачету

На подготовку к зачету студенту необходимо 37 часов самостоятельной работы.

### Семестр- 8, Курсовая работа

В 7 семестре студенты должны выполнить курсовую работу.

Целью курсовой работы является закрепление знаний и умений по тепловым и электрическим расчетам электропечей сопротивления для заданного технологического процесса, приобретение навыков по конструированию и выбору рациональных режимов работы различных типов электропечей сопротивления.

Курсовая работа выполняется по типовым заданиям для различных электропечей сопротивления с оригинальными исходными данными, выдаваемыми каждому студенту. В пояснительной записке проводится описание технологического процесса, проводимого в печи, анализ конструкций электропечей подобного назначения, обоснование конструктивной схемы, размеров рабочего пространства и футеровки печи.

Производится тепловой расчет печи с составлением теплового баланса, определением мощности печи, ее эксплуатационных показателей. Проводится выбор конструкции нагревательных элементов и их расчет. Дается полное описание конструкции печи и порядка ее работы. Рассматриваются вопросы техники безопасности и охраны труда в конструкции печи и ее эксплуатации.

При выполнении тепловых и электрических расчетов предусматривается использование обучающих программ, подготовленных на персональных ЭВМ IBM PC.

Выполняемый в курсовой работе инженерный тепловой расчет футеровки дает базовые исходные данные для постановки расчетной задачи и выполнения расчетно-графической работы по дисциплине "Моделирование электромеханических систем" с помощью программного пакета ANSYS, изучаемого в данной дисциплине.

Типовые задания для выполнения курсовой работы в 8 семестре.

Вариант 1

Разработать электропечь сопротивления для нагрева медных прутков.

Характеристика загрузки

Нагреваемое изделие - технологические медные прутки.

Материал изделий - медь.

Габаритные размеры одного прутка: диаметр 40 мм  
длина 2500 мм

Производительность 300 кг/час.

Технологический процесс

Отжиг медного прутка.

Питающее напряжение: трехфазное 3 x 380 В

Вариант 2

Разработать электропечь сопротивления для нагрева стальных изделий.

Характеристика загрузки

Нагреваемые изделия - стальные листы.

Материал листов - сталь 30ХГСА.

Габаритные размеры листов: ширина 800 мм  
длина 2500 мм

высоты 40 мм.

Производительность 1200 кг/час.

Технологический процесс

Нормализация стальных листов после прокатки.

Питающее напряжение: трехфазное 3 x 380 В

Вариант 3

Разработать электропечь сопротивления для нагрева стальных изделий.

Характеристика загрузки

Нагреваемое изделие - стальные валы.

Материал изделий - сталь 40Х.

Габаритные размеры одного изделия: диаметр 400 мм  
длина 3500 мм

Производительность не менее 1500 кг/час.  
Технологический процесс  
Отжиг стальных валов после объемной закалки.  
Питающее напряжение: трехфазное 3 x 380 В

#### Вариант 4

Разработать электропечь сопротивления для нагрева стальных изделий.  
Характеристика загрузки  
Нагреваемое изделие - стальные слябы.  
Материал изделий - сталь 45.  
Габаритные размеры одного изделия: ширина 600 мм  
длина 3500 мм  
высота 200 мм  
Производительность не менее 1500 кг/час.  
Технологический процесс  
Нагрев под горячую обработку давлением (прокатку).  
Питающее напряжение: трехфазное 3 x 380 В

#### Вариант 5

Разработать электропечь сопротивления для нагрева стальных изделий.  
Характеристика загрузки  
Нагреваемое изделие - шестерни  
Материал изделий - сталь 45.  
Габаритные размеры одной шестерни: диаметр наружный 960 мм  
диаметр внутренний 700 мм  
толщина 80 мм  
Производительность не менее 1500 кг/час.  
Технологический процесс  
Нагрев под закалку.  
Питающее напряжение: трехфазное 3 x 380 В

#### Вариант 6

Разработать электропечь сопротивления для нагрева стальных изделий.  
Характеристика загрузки  
Нагреваемое изделие - шестерни  
Материал - сталь 45.  
Габаритные размеры одной шестерни: диаметр наружный 960 мм  
диаметр внутренний 700 мм  
толщина 80 мм  
Производительность не менее 1500 кг/час.  
Технологический процесс  
Нагрев под отпуск после объемной закалки.  
Питающее напряжение: трехфазное 3 x 380 В  
Курсовая работа рассчитана на 40 часов самостоятельной работы студента.

#### **Семестр- 8, Индив. работа**

В рамках индивидуальной работы проводятся консультации студента по выполнению курсового проекта.

#### **Семестр- 8, Подготовка к занятиям**

На подготовку к занятиям студенту необходимо 40 часов самостоятельной работы.

#### **Семестр- 9, Контрольные работы**

Целью контрольной работы является закрепление основных принципов расчета, конструирования и разработки индукционной плавильной печи (тигельной или канальной).

Работа выполняется по типовым заданиям для различных индукционных плавильных печей с оригинальными исходными данными, выдаваемыми каждому студенту. В пояснительной записке приводится описание технологического процесса, проводимого в печи, обоснование конструктивной схемы на основании анализа конструкции печей подобного назначения. Выполняются тепловой и электрический расчеты электропечи. Проводится расчет водоохлаждения индуктора, конденсаторной батареи и короткой сети, составляется энергетический баланс индукционной установки. Дается сравнительный анализ основных показателей спроектированной индукционной установки с существующими индукционными установками подобного назначения и близкой емкости.

Задания для выполнения контрольной работы.

Тигельные плавильные печи

Типовое задание: разработать индукционную тигельную печь для плавки металла  $M$ , часовой производительностью по расплавлению и перегреву металла  $g$ ,  $T/\text{час}$  с временем расплавления единовременной загрузки  $t$ , часов.

(Исходные данные по вариантам приведены в приложении 1)

Канальные плавильные печи

Типовое задание: разработать индукционную канальную печь для плавки металла  $M$ , часовой производительностью по расплавлению и перегреву  $g$ ,  $T/\text{час}$  с временем расплавления единовременной загрузки  $t$ , часов.

(Исходные данные по вариантам приведены в приложении 2)

Требования к содержанию и объему курсового проекта

Работа должна содержать пояснительную записку объемом 35-40 листов рукописного текста и графическую часть, включающую 1,5 - 2 листа формата А1

В пояснительную записку должны входить следующие разделы:

- а). введение, отражающее преимущества индукционного нагрева перед другими видами электронагрева, а также особенности индукционного нагрева;
- б). технологический процесс, в котором описывается технология получения в индукционной печи заданного материала;
- в). анализ конструкций индукционных плавильных печей подобного назначения;
- г). расчет геометрических параметров печи;
- д). тепловой расчет плавильного узла (тигля для тигельной печи индукционной единицы, а также плавильной ванны для канальной печи);
- е). электрический расчет печи;
- ж). расчет конденсаторной батареи;
- з). расчет магнитопровода (для тигельной печи);
- и). расчет системы охлаждения: для тигельной - водоохлаждения индуктора, для канальной - воздушно-водяного охлаждения индукционной единицы;
- к). расчет токопровода;
- л). расчет эксплуатационных показателей печи;
- м). охрана труда и техника безопасности.

На выполнение контрольной работы студенту необходимо 40 часов самостоятельной работы.

**Семестр- 9, Подготовка к экзамену**

На подготовку к экзамену студенту необходимо 30 часов самостоятельной работы.

## **Семестр- 9, Подготовка к занятиям**

На подготовку к занятиям студенту необходимо 37 часов самостоятельной работы.

### **6. Правила аттестации студентов по учебной дисциплине**

К итоговой аттестации допускается студент, выполнивший все виды работ, предусмотренных учебным планом. Итоговая оценка выставляется исходя из следующих рекомендаций:

"Отлично" - работа высокого качества, уровень выполнения отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены.

"Хорошо" - уровень выполнения работы отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, некоторые из выполненных заданий содержат незначительные ошибки.

"Удовлетворительно" - уровень выполнения работы отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

"Неудовлетворительно" - теоретическое содержание курса освоено частично, необходимые практические навыки работы не сформированы, большинство предусмотренных программой заданий не выполнено; при дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения учебных заданий.

В случае проведения зачета оценки "отлично", "хорошо", "удовлетворительно" соответствуют отметке "зачтено".

## **7. Список литературы**

### **7.1 Основная литература**

#### **В печатном виде**

1. 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., [22] л. фот. : ил.
2. 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 л. : ил., табл. - На авантит.: посвящ. 60-летию Сибирского завода электротермического оборудования.
3. Теплопередача. [В 2 ч.]. Ч. 1 : [учебное пособие для вузов / В. С. Чередниченко и др.] ; под ред. В. С. Чередниченко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 231 с. : ил.
4. Теплопередача. [В 2 ч.]. Ч. 2 : [учебное пособие / В. С. Чередниченко и др.] ; под общ. ред.: В. С. Чередниченко и А. И. Алиферова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 378 с. : ил., табл. - Инновационная образовательная программа НГТУ «Высокие технологии».
5. Теплопередача. [В 2 ч.]. Ч. 2 : [учебное пособие для вузов / В. С. Чередниченко и др.] ; под общ. ред. В. С. Чередниченко и А. И. Алиферова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 378 с. : ил., табл.
6. Теплопередача. Ч. 1 : [учебное пособие] / [В. С. Чередниченко [и др.] ; под ред. В. С. Чередниченко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 231 с. : ил. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

7. Установки индукционного нагрева : учебное пособие для вузов по спец. "Электротермические установки" / [А. Е. Слухоцкий и др.] ; под ред. Слухоцкого А. Е. - Л., 1981. - 325 с. : ил., схемы - Рекомендовано МО.

### **В электронном виде**

1. Теплопередача. [В 2 ч.]. Ч. 1 : [учебное пособие для вузов / В. С. Чередниченко и др.] ; под ред. В. С. Чередниченко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 231 с. : ил. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2008/cheredn1.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".
2. Теплопередача. [В 2 ч.]. Ч. 2 : [учебное пособие для вузов / В. С. Чередниченко и др.] ; под общ. ред. В. С. Чередниченко и А. И. Алиферова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 378 с. : ил., табл. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2010/cherednich.pdf>. - Доп. тит. л. англ..

## **7.2 Дополнительная литература**

### **В печатном виде**

1. Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. Ч. 1. Электрические печи сопротивления : В 2 ч. : Учебник для вузов по спец. "Электротерм. установки". - М., 1975. - 382 с. : табл.
2. Низкотемпературный электронагрев / [А. П. Альтгаузен и др.] ; под общ. ред. А. Д. Свенчанского. - М., 1978. - 206, [1] с. : ил.
3. Электротехнологические промышленные установки : учебное пособие для вузов / Евтюкова И. П. [и др.] ; под ред. Свенчанского А. Д. - М., 1982. - 400 с. : ил.
4. Алиферов А. И. Физические основы преобразования энергии. Теплопередача в упражнениях и задачах. Ч. 2 : учебное пособие для 3 курса ЭМФ дневного отделения / А. И. Алиферов, В. А. Сеницын, В. С. Чередниченко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2000. - 48 с. : ил.
5. Алиферов А. И. Электрическая часть электротехнологических установок (электропечи сопротивления) : учебное пособие для 4-5 курсов ЭМ дневной формы / А. И. Алиферов, С. Н. Малышев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 1995. - 38 с.
6. Алиферов А. И. Электроконтактный нагрев металлов : [монография] / А. Алиферов, С. Луи ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 223 с. : ил.
7. Малышев С. Н. Электрическая часть электротехнологических установок (установки индукционного нагрева) : Учеб. пособие для 4-5 курсов фак. ЭМ дн. формы обуч. (спец. 18.05 Электротехнолог. установки и системы) / Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 1998. - 51 с.
8. Чередниченко В. С. Физические основы преобразования энергии. Теплопередача в упражнениях и задачах. Ч. 3 : учебное пособие для 3 курса ЭМФ дневного отделения / В. С. Чередниченко, А. И. Алиферов, В. А. Сеницын ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2003. - 76 с. : ил.
9. Основы электротехнологии. Электрические и тепловые процессы в токонесущих плоских проводниках : учебное пособие для ЭМФ (направление 55.13.00 - Электротехника, электромеханика и электротехнология) всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. И. Алиферов, А. С. Аньшаков, А. Н. Ведин и др.]. - Новосибирск, 1998. - 88 с. : ил.
10. Теплообмен излучением в высоко- и среднетемпературных электропечах сопротивления непрерывного действия. Энергосбережение и улучшение режимов термообработки в электропечах сопротивления непрерывного действия : учебное пособие для 4 курса ЭМФ дневного отд-ния (направления: электротехника, электромеханика, электротехнология) / А. И. Алиферов, А. Н. Ведин, А. В. Замосковцев, Л. К. Павленко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 1998. - 47 с.

11. Теплопередача : Учебное пособие / [В. С. Чередниченко, В. А. Сеницын, А. И. Алиферов, Л. П. Горева] ; под ред. В. С. Чередниченко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 198 с. : ил.

12. Плавильные комплексы на основе индукционных тигельных печей и их математическое моделирование : учеб. пособие / В. И. Лузгин, С. Ф. Сарапулов, Ф. Н. Сарапулов, Б. А. Сокунов, Д. Н. Томашевский, В. Э. Фризен, И. В. Черных, В. В. Шипицын. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 459 с.

### **В электронном виде**

1. Чередниченко В. С. Физические основы преобразования энергии. Теплопередача в упражнениях и задачах. Ч. 3 : учебное пособие для 3 курса ЭМФ дневного отделения / В. С. Чередниченко, А. И. Алиферов, В. А. Сеницын ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2003. - 76 с. : ил.. - Режим доступа:

[http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2003/2003\\_cheredn.rar](http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2003/2003_cheredn.rar)

2. Теплообмен излучением в высоко- и среднетемпературных электропечах сопротивления непрерывного действия. Энергосбережение и улучшение режимов термообработки в электропечах сопротивления непрерывного действия : учебное пособие для 4 курса ЭМФ дневного отд-ния (направления: электротехника, электромеханика, электротехнология) / А. И. Алиферов, А. Н. Ведин, А. В. Замосковцев, Л. К. Павленко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 1998. - 47 с.

## **8. Методическое и программное обеспечение**

### **8.1 Методическое обеспечение**

#### **В печатном виде**

1. Электротехнологические установки и системы установки индукционного нагрева : альбом футеровок индукционных тигельных и канальных электропечей и эскизы систем "индуктор-садка" тигельных электропечей : методические указания для выполнения курсового проекта 3 и 4 курсов ФМА дневного и заочного отделений / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. И. Алиферов, С. Н. Малышев, Н. А. Лебединская]. - Новосибирск, 2008. - 52 с. : черт., табл.

2. Электротехнологические установки и системы. Электрические печи сопротивления : методические указания к курсовому проекту для 3-4 курсов факультета мехатроники и автоматизации дневного и заочного отделений / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. И. Алиферов, М. Н. Курапина]. - Новосибирск, 2008. - 34, [2] с. : табл., ил.

3. Электротехнологические установки и системы. Индукционные канальные электропечи : методические указания к выполнению курсового проекта для студентов IV курса ЭМФ дневного отделения (направления подготовки дипломированного специалиста 654500 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" специальность 180500 - "Электротехнологические установки и системы) / Новосиб. гос. техн. ун-т; Сост.: А. И. Алиферов, С. Н. Малышев. - Новосибирск, 2003. - 48 с. : ил.

#### **В электронном виде**

1. Электротехнологические установки и системы установки индукционного нагрева : альбом футеровок индукционных тигельных и канальных электропечей и эскизы систем "индуктор-садка" тигельных электропечей : методические указания для выполнения курсового проекта 3 и 4 курсов ФМА дневного и заочного отделений / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. И. Алиферов, С. Н. Малышев, Н. А. Лебединская]. - Новосибирск, 2008. - 52 с. : черт., табл.. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3588.rar>

2. Электротехнологические установки и системы. Электрические печи сопротивления : методические указания к курсовому проекту для 3-4 курсов факультета мехатроники и

автоматизации дневного и заочного отделений / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. И. Алиферов, М. Н. Курапина]. - Новосибирск, 2008. - 34, [2] с. : табл., ил.. - Режим доступа: [http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/2008\\_3589.pdf](http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/2008_3589.pdf)

3. Электротехнологические установки и системы. Индукционные каналные электропечи : методические указания к выполнению курсового проекта для студентов IV курса ЭМФ дневного отделения (направления подготовки дипломированного специалиста 654500 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" специальность 180500 - "Электротехнологические установки и системы) / Новосиб. гос. техн. ун-т; Сост.: А. И. Алиферов, С. Н. Малышев. - Новосибирск, 2003. - 48 с. : ил.. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2003/2543.rar>

## **9. Контролирующие материалы для аттестации студентов по дисциплине**

Контрольные вопросы по 7 семестру.

1. Какие свойства огнеупорных и теплоизоляционных материалов в первую очередь определяют возможность их применения в нагревательных печах, плавильных печах?
2. Чем отличаются по структуре и свойствам плотные, пористые и волокнистые огнеупорные изделия?
3. Обосновать выбор футеровочных материалов для конкретных условий работы в электропечи (задается температура и среда в рабочем пространстве).
4. Какие параметры определяют эффективность работы футеровки?
5. По каким параметрам следует оптимизировать выбор футеровки?
6. Поясните понятие совместимости различных огнеупорных материалов, их возможное влияние на электронагреватель и загрузку.
7. Какие свойства углеродистых материалов способствуют их применению в качестве материалов футеровки, а какие - в качестве материалов для нагревательных элементов?
8. Влияет ли химический состав атмосферы рабочей камеры футерованной печи на величину ее мощности холостого хода? Обосновать на конкретных примерах.
9. Какие условия работы конструктивного элемента печи необходимо учесть при выборе материала, из которого он изготавливается?
10. Дайте сравнительную характеристику наиболее часто применяемым жаропрочным сплавам и сталям.
11. Каковы основные преимущества и недостатки высокотемпературных неметаллических материалов, применяемых для внутренних конструкций в электропечах?
12. Как Вы понимаете термин "жаростойкость" в применении к материалам нагревателей высокого омического электросопротивления? Чем это понятие отличается от "жаропрочности"? Какая характерная температура металлического высокоомного нагревательного элемента связана со степенью его "жаростойкости"?
13. Какие свойства материалов, применяемых для высокоомных нагревателей сопротивления, снижают материалоемкость печей?
14. Как развиваются процессы старения для различных материалов, используемых для электронагревателей?
15. Обосновать выбор материала и конструкции электронагревателя для конкретных условий его работы (по заданной температуре, характеристики рабочей среды в рабочем пространстве).
16. Какие параметры являются основными для печей сопротивления и почему?
17. Дайте определение конструктивным типам печей периодического действия.
18. Дайте определение конструктивным типам печей непрерывного действия.
19. Обосновать тип и конструктивную схему электропечи для конкретного технологического процесса (нагрев алюминиевых слэбов до температуры 550 °С под механическую обработку давлением; отжиг в среде защитной атмосферы листов легированной стали 12Х18Н10Т, температура нагрева 900 °С, охлаждение в камере печи; цементация мелких изделий из

хромомарганцевой стали 25ХГТ, температура нагрева 930 °С; нагрев под прокатку стальных слябов, температура нагрева 1120 °С, масса сляба 2000 кг).

20. Каковы преимущества и недостатки электропечей сопротивления с жидким теплоносителем?
21. Какие Вы знаете способы герметизации печного пространства?
22. Каковы физические основы инфракрасного нагрева?
23. Каковы отличия преобразования электрической энергии в тепловую в установках инфракрасного нагрева от установок индукционного и диэлектрического нагрева?
24. По каким параметрам выбирается рациональный вариант футеровки электропечи сопротивления?
25. Для каких условий технологического процесса целесообразно выполнять футеровку электропечи сопротивления из материалов:  
а) плотных; б) легковесных; в) волокнистых?
26. Что такое многослойная футеровка электропечи сопротивления?
27. В каких условиях целесообразно применение различных конструкций нагревательных элементов (спиральных, зигзагообразных, плоских, стержневых, трубчатых нагревателей, радиационных нагревателей)?
28. Области применения вакуумных электропечей сопротивления. В каких случаях это оправдано?
29. Каковы особенности выполнения теплоизоляции вакуумных печей в зависимости от температуры и требуемого вакуума в их рабочем пространстве?
30. В чем сущность понятия "массивности" нагреваемых тел? Приведите конкретные примеры, в которых указанное понятие используется в расчетах электропечей сопротивления.
31. Составить алгоритм расчета времени нагрева тонкого или массивного изделия в печи периодического действия. Нарисовать графики нагрева.
32. Сформулировать начальные и граничные условия при расчете времени нагрева и остывания загрузки в печах периодического и непрерывного действия.
33. Составить алгоритм расчета кривой нагрева в многозонной печи непрерывного действия.
34. Составить тепловой баланс (основные статьи расхода энергии) электропечи заданного типа для конкретного технологического процесса.
35. Ориентировочно определить мощность заданного типа печи при известной производительности и характеристике загрузки.
36. Будут ли отличаться затраты энергии и требуемая мощность двух электропечей периодического действия, разрабатываемых для двух технологических процессов, имеющих одинаковую скорость и конечную температуру нагрева садки, если в одной печи требуется охлаждение садки вместе с печью, а в другой нет? Приведите примеры таких технологических процессов.
37. При каких граничных условиях происходит нагрев садки в печах периодического и непрерывного действия? Каковы отличия графика нагрева садки в электропечах сопротивления периодического и непрерывного действия?
38. Отличается ли и, если отличается, то в чем энергетический баланс рольганговой электропечи, предназначенной для нормализации металлических труб, и толкательной электропечи, применяемой для химико-термической обработки мелких деталей в поддонах?
39. При каких условиях наиболее эффективно применение принудительной циркуляции атмосферы в рабочей камере электропечи сопротивления? Привести примеры видов загрузок и технологических процессов?
40. Какие параметры необходимо знать для выбора вентилятора?
41. В чем отличие энергетического баланса тепловых зон нагрева и выдержки загрузки в электропечах сопротивления непрерывного действия?
42. Каким образом в электропечах сопротивления осуществляется управление тепловым режимом?

43. Какие требования и почему предъявляют к источникам электропитания различные режимы работы электропечи сопротивления и типы нагревательных элементов?
44. Что такое рекомендуемая и максимально допустимая температуры нагревательных элементов? Каким образом эти температуры связаны с эксплуатационными характеристиками нагревателя (сроком службы, удельной поверхностной мощностью, потребляемой мощностью, установленной мощностью)?
45. Каков механизм выхода из строя металлических нагревателей, выполненных из сплавов сопротивления, при их рабочей температуре, близкой к рекомендуемой либо максимально допустимой?
46. Что такое "идеальный нагреватель"? С какой целью это понятие вводится?
47. Каким образом в электрическом расчете электропечи сопротивления учитывается отличие "идеального нагревателя" от реального?
48. Составить алгоритм расчета металлических нагревателей из сплава сопротивления.
49. Каким образом технологический процесс нагрева садки влияет на составляющие статьи энергетического баланса электропечи сопротивления?
50. На примере электропечи сопротивления, индукционной тигельной, индукционной канальной обоснуйте выбор граничных условий при расчете тепловых потерь через футеровку.
51. При каких условиях в вакуумных электропечах сопротивления возможно применение экранной либо футерованной теплоизоляции?
52. Каковы особенности конструктивного исполнения и эксплуатации нагревательных элементов вакуумных электропечей сопротивления? Оказывают ли данные особенности влияние на методику их расчета по сравнению с методом расчета параметров нагревателей газонаполненных печей?
53. Каковы области применения и основные виды установок прямого нагрева?
54. Составить схему замещения и алгоритм расчета основных параметров установки прямого нагрева.
55. Какие основные погрешности измерений температуры термоэлектрическими пирометрами Вы знаете?
56. В чем заключаются достоинства и недостатки измерения температуры пирометрами излучения?
57. Каковы принципы рационального выбора типа печи для заданного технологического процесса и объема производства?
58. В чем основная цель рациональной эксплуатации печей сопротивления? Каковы пути ее реализации?
59. Каковы способы повышения производительности электропечей сопротивления?
60. Приведите примеры стационарного и нестационарного теплообмена в электропечах сопротивления.

Контрольные вопросы по 8 семестру.

1. Дайте определение глубины проникновения электромагнитной волны в металлическое тело? Существует ли отличие между понятиями глубины проникновения и толщины активного слоя?
2. На каких явлениях и эффектах основан индукционный метод нагрева?
3. Почему конструкции первых индукционных плавильных печей не получили широкого распространения?
4. Чему равна величина потока активной энергии электромагнитного поля, проходящего через поверхность полубесконечного проводящего тела?
5. Каковы особенности распределения напряженности электрического, напряженности магнитного полей и плотности тока в металлической плите, находящейся в электромагнитном поле?

6. Существует ли отличие распределения напряженностей электрического и магнитного полей в металлической плите и полой металлическом цилиндре при падении электромагнитной волны на его внутреннюю поверхность?
7. Что такое функции  $F_{\text{опл}}$  и  $G_{\text{опл}}$ ?
8. При расчете каких электрических и геометрических параметров плавильных печей (ИКП или ИТП) используется функция  $F_{\text{опл}}$ ?
9. Каковы особенности распределения напряженности электрического и магнитного полей в металлическом однородном сплошном цилиндре, находящемся в электромагнитном поле?
10. Что такое функции  $F_{\text{оц}}$  и  $G_{\text{оц}}$ ?
11. В чем отличие расчета энергии, выделяемой в полубесконечном проводящем теле и проводящей металлической плите?
12. При расчете каких электрических параметров плавильных печей (ИКП или ИТП) используются функции  $F_{\text{оц}}$ ?
13. Что такое функции  $F_{\text{нцп}}$  и  $F_{\text{вцп}}$ ?
14. Как изменяется электрический КПД системы индуктор -сплошной металлический цилиндр при изменении геометрических размеров,  $\mu$  и других параметров?
15. Как изменяется электрический КПД системы индуктор -полый металлический цилиндр, при изменении геометрических размеров,  $\mu$  и других параметров?
16. Как изменяется электрический КПД системы индуктор-металлическая плита при изменении толщины,  $\mu$ , пластины?
17. Почему индукционные канальные печи выполняются на частоту тока 50 Гц, а тигельные - на частоту 50 8000 Гц?
18. Почему в индукционных плавильных печах требуется ограничение удельной мощности?
19. В каких индукционных плавильных печах, канальных или тигельных  $\cos \phi$  выше и почему?
20. В каких индукционных плавильных печах, канальных или тигельных, тепловой КПД выше и почему?
21. Каким образом обеспечиваются минимально возможные потери активной энергии в электромагнитных экранах и магнитопроводах, применяемых в индукционных тигельных печах?
22. У какой индукционной тигельной печи, снабженной электромагнитным экраном, электрический КПД будет выше:
  - а) экран выполнен из меди;
  - б) экран выполнен из алюминия;
  - в) экран выполнен из стали?
23. У какой индукционной тигельной печи, снабженной системой магнитопроводов, электрический КПД выше: а) магнитопроводы выполнены из стальных пластин толщиной  $h_n = 0,5$  мм; б) магнитопроводы выполнены из стальных пластин толщиной  $h_n = 0,35$  мм?
24. В каком случае электрический КПД индукционной тигельной печи промышленной частоты будет выше, когда: а) индуктор выполнен из разнотолщинной профилированной трубки или б) индуктор выполнен из равностенной медной трубки?
25. Почему при нагреве алюминиевых сплавов экономичнее тигельную печь выполнять не с керамическим, а с чугунным тиглем, покрытым футеровочным материалом?
26. Почему выбор толщины  $h_c$  активной стенки трубки индуктора подчиняется условию  $h_c \geq 1,57 \lambda$ ?
27. Каково условие выбора оптимальной частоты тока индуктора в тигельной печи? Почему такое условие существует?
28. Что такое сопротивление обратного замыкания в схеме замещения индукционной печи по общему магнитному потоку? Если при расчете индукционной тигельной печи не учитывать сопротивление обратного замыкания (т.е. полагая его равным бесконечности), то обеспечит ли спроектированная печь требуемый технологический процесс?

29. Каким образом и почему процесс нагрева садки может влиять на электрические характеристики индуктора?
  30. С какой целью в индукционных установках применяются конденсаторные батареи?
  31. Почему подовая часть индукционной тигельной печи имеет многослойную футеровку, а боковая стенка тигля не имеет?
  32. Почему в индукционных тигельных печах существует двухконтурная циркуляция расплавленного металла?
  33. Почему в индукционных установках ток индуктора может во много раз превышать предельный ток питающего трансформатора?
  34. Каковы основные отличия исполнения подового камня индукционных канальных печей, применяемых для плавки алюминия и меди? Почему такие отличия существуют?
  35. Почему индукционные канальные печи для плавки цинка выполняются с горизонтальными каналами, а для плавки меди с вертикальными?
  36. В каких индукционных канальных печах, применяемых для плавки алюминия, выше предельная удельная мощность (или предельная плотность тока в канале): в печах с горизонтальными или вертикальными каналами? Почему такое различие существует?
  37. Для чего в индукционных канальных печах необходима однонаправленная циркуляция расплавленного металла в каналах?
  38. Каким образом в индукционных канальных печах обеспечивается однонаправленная циркуляция расплавленного металла в канале?
  39. Что такое "цинковая пульсация" в режиме работы индукционных плавильных печей?
  40. В чем отличие конструктивного исполнения нагревательного узла установок индукционного нагрева, применяемых для сквозного нагрева или поверхностной закалки цилиндрических заготовок?
  41. Каким образом эффект паза используется для повышения энергетических и технологических параметров в индукционных установках поверхностной закалки?
  42. Каковы различия конструктивного исполнения индукторов для поверхностной закалки, предназначенных для одновременного или непрерывного- последовательного нагрева?
  43. Предложите способы выравнивания температурного поля в нагреваемом теле при индукционной поверхностной закалке деталей конической формы.
  44. Требуется осуществить сквозной нагрев стальной трубы. Где следует расположить индуктор, снаружи трубы или внутри, для того, чтобы обеспечить максимально возможный электрический КПД?
  45. Почему различаются значения электрического КПД при нагреве полого металлического цилиндра изнутри и снаружи?
  46. Каков угол сдвига фаз у токов, протекающих в индукторе и нагреваемом проводящем теле?
  47. С какой целью в вакуумных индукционных тигельных печах выполняется донный разлив металла?
  48. При расчете установок диэлектрического нагрева используется пара-метр-тангенс угла потерь  $\operatorname{tg} \delta$ . Что это такое? Какие потери имеются в виду?
  49. В чем отличие схемы замещения рабочего конденсатора установки ВЧ-нагрева от схемы замещения индукционной нагревательной установки по общему магнитному потоку?
  50. В чем отличие расчета водоохлаждения индукторов в индукционной тигельной и канальной печах?
  51. В чем отличие охлаждения плавильного узла индукционной тигельной и индукционной канальной печей?
  52. Какая стадия нагрева ферромагнитной стальной заготовки соответствует модели распространения электромагнитной волны в двухслойном теле?
  53. Какова зависимость относительной магнитной проницаемости по толщине нагреваемого ферромагнитного тела?
- В билет итогового контроля входит три вопроса из приведенных списков.

Исходные данные для тигельных печей. Таблица 7.

| Расплавляемый<br>Металл,<br>(обозначение – М) | С Т А Л Ь  |      |     |     |      |      |     |     |     |      | Ч У Г У Н             |       |     |     |     |     |     |    |       |       | А Л Ю М И -<br>Н И Й    |       |     |     | М Е Д Ъ<br>(сплавы)     |     |     |     |    |     |    |    |
|---|------------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|-----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|-------|-------------------------|-------|-----|-----|-------------------------|-----|-----|-----|----|-----|----|----|
|   | № варианта |      |     |     |      |      |     |     |     |      | № варианта            |       |     |     |     |     |     |    |       |       | № варианта              |       |     |     | № варианта              |     |     |     |    |     |    |    |
| Технологические параметры                     | g, Т/час   |      |     |     |      |      |     |     |     |      | τ <sub>пл</sub> , час |       |     |     |     |     |     |    |       |       | Дополнительные сведения |       |     |     | Дополнительные сведения |     |     |     |    |     |    |    |
|   |            | 1    | 2   | 3   | 4    | 5    | 6   | 7   | 8   | 9    | 10                    | 11    | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17 | 18    | 19    | 20                      | 21    | 22  | 23  | 24                      | 25  | 26  | 27  | 28 | 29  | 30 | 31 |
|   | 0,75       | 0,08 | 0,4 | 0,5 | 4,0  | 4,0  | 1,5 | 1,0 | 4,0 | 0,05 | 0,8                   | 30    | 20  | 1,6 | 1,7 | 0,6 | 1,5 | 10 | 2,5   | 16    | 50                      | 4,0   | 5,0 | 2,0 | 1,3                     | 2,0 | 0,5 | 2,1 |    | 1,0 |    |    |
|   | 1,2        | 1,0  | 0,5 | 0,6 | 0,75 | 1,25 | 1,5 | 5,0 | 1,5 | 1,0  | 1,38                  | 2,0   | 2,5 | 2,0 | 1,2 | 1,5 | 1,0 | 20 | 0,4   | 0,6   | 0,8                     | 0,62  | 2,0 | 1,0 | 1,5                     | 3,0 | 2,0 | 1,2 |    | 1,0 |    |    |
|   |            |      |     |     |      |      |     |     |     |      |                       | микс. |     |     |     |     |     |    | микс. | микс. | микс.                   | микс. |     |     |                         |     |     |     |    |     |    |    |

\* Принятое обозначение: микс. – электропечь-миксер.

Исходные данные для канальных печей. Таблица 8.

| Расплавляемый металл      |                   | М Е Д Ъ<br>и ее сплавы |        |      |        |       |       | АЛЮМИ<br>НИЙ | ЦИНК  | ЧУГУН |      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |            |       |      |      |
|---------------------------|-------------------|------------------------|--------|------|--------|-------|-------|--------------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------------|-------|------|------|
| 1                         |                   | 2                      |        |      |        |       |       | 3            | 4     | 5     |      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |            |       |      |      |
| № варианта                |                   |                        |        |      |        |       |       |              |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |            |       |      |      |
| Технологические параметры | g, Т/час          | 0,3                    | 0,33   | 0,34 | 0,35   | 0,36  | 0,37  | 0,38         | 0,39  | 0,40  | 0,41 | 0,42  | 0,43  | 0,44 | 0,45 | 0,46 | 0,47 | 0,48 | 0,49 | 0,50 | 0,51 | 0,52  | 0,53 | 0,54  | 0,55 | 0,56       | 0,57  | 0,58 | 0,59 |
|                           | $\tau_{пл}$ , час | 1,67                   | 1,5    | 0,9  | 1,0    | 1,4   | 0,5   | 0,6          | 1,2   | 0,46  | 2,7  | 1,6   | 0,46  | 2,7  | 4,5  | 5,0  | 2,0  | 4,0  | 4,0  | 5,0  | 5,0  | 4,0   | 0,6  | 1,33  | 0,6  | 2,0        | 1,2   | 0,8  |      |
| Дополнительные сведения   |                   |                        | латунь |      | латунь | микс. | микс. | латунь       | микс. |       |      | микс. | микс. |      |      |      |      |      |      |      |      | микс. |      | микс. |      | шахт.микс. | микс. |      |      |

\* Принятое обозначение: шахт. – шахтная электропечь, микс. – электропечь-миксер.