

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

**Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электротехнологические процессы и установки с системами питания и управления**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Электрические печи сопротивления**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель  
(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Погребисский М.Я.
	Идентификатор	R3cf62952-PogrebisskiyMY-d58a694

М.Я.  
Погребисский  
(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Федин М.А.
	Идентификатор	R3e9797a9-FedinMA-34f385d8

М.А. Федин  
(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Цырук С.А.
	Идентификатор	Raf2c04da-TsyrukSA-47ef358f

С.А. Цырук  
(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен проводить научные исследования в области электротехнологических процессов и установок с системами питания и управления

ИД-1 Демонстрирует понимание физических процессов и закономерностей в электротехнологических установках и системах различных видов

ИД-2 Демонстрирует умение проводить научные исследования электротехнологических установок различных видов

2. ПК-2 Способен оптимально выбирать наиболее эффективные из известных и проектировать новые технические решения в области электротехнологических установок и систем

ИД-1 Демонстрирует умение выбирать критерии принятия проектных решений

ИД-2 Демонстрирует умение проводить оптимальный выбор проектных решений

ИД-3 Демонстрирует владение методами расчёта, проектирования и конструирования электротехнологических установок и систем и их элементов

ИД-4 Демонстрирует умение проводить технико-экономическое обоснование проектных решений

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа № 1 (Контрольная работа)

2. Контрольная работа № 2 (Контрольная работа)

3. Контрольная работа № 3 (Контрольная работа)

4. Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)

5. Тестирование по вопросам теплопередачи и материалам, применяемым в конструкциях ЭПС (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. Проверка расчета и проектирования ЭПС непрерывного действия (Решение задач)

## БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4	КМ- 5	КМ- 6
	Срок КМ:	4	8	9	12	16	16
Области применения, технологические и технико-экономические преимущества электронагрева сопротивления							

Области применения, технологические и технико-экономические преимущества электронагрева сопротивления	+	+				
Теплопередача в электрических печах сопротивления						
Теплопередача в электрических печах сопротивления	+	+	+			
Современные материалы, используемые в конструкциях ЭПС						
Современные материалы, используемые в конструкциях ЭПС		+				
Инженерные методики расчета и проектирования ЭПС						
Инженерные методики расчета и проектирования ЭПС				+	+	+
Особенности конструкции, расчета, эксплуатации вакуумных ЭПС и автоматического управления вакуумными ЭПС						
Особенности конструкции, расчета, эксплуатации вакуумных ЭПС и автоматического управления вакуумными ЭПС					+	+
Области применения, конструкции установок инфракрасного нагрева и особенности автоматического управления инфракрасным нагревом						
Области применения, конструкции установок инфракрасного нагрева и особенности автоматического управления инфракрасным нагревом				+		+
Конструкции, расчет и особенности эксплуатации установок прямого нагрева сопротивления.						
Конструкции, расчет и особенности эксплуатации установок прямого нагрева сопротивления					+	+
ЭПС как потребители электроэнергии, рациональная эксплуатация ЭПС, пути энерго- и ресурсосбережения						
ЭПС как потребители электроэнергии, рациональная эксплуатация ЭПС, пути энерго- и ресурсосбережения				+		+
Вес КМ:	15	10	15	15	25	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

### БРС курсовой работы/проекта

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Определение геометрических размеров печи		+			
Тепловой расчет печи, определение установленной мощности тепловых зон			+		

Расчет нагревательных элементов			+	
Расчет механизма перемещения загрузки			+	
Составление схемы электрической принципиальной				+
Основные технико-экономические показатели установки				+
Разработка графической части проекта и оформление расчетно-пояснительной записки				+
Вес КМ:	15	25	30	30

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует понимание физических процессов и закономерностей в электро-технологических установках и системах различных видов	Знать: свойства материалов, используемых в конструкциях ЭПС физические процессы в электропечах сопротивления (ЭПС) и их закономерности Уметь: решать задачи стационарной и нестационарной теплопередачи в ЭПС	Контрольная работа № 1 (Контрольная работа) Тестирование по вопросам теплопередачи и материалам, применяемым в конструкциях ЭПС (Тестирование)
ПК-1	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует умение проводить научные исследования электро-технологических установок различных видов	Знать: методы моделирования процессов в ЭПС и экспериментальной идентификации параметров ЭПС Уметь: проводить математическое моделирование процессов нагрева изделий в ЭПС	Контрольная работа № 2 (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует умение выбирать критерии	Уметь: выбирать критерии	Контрольная работа № 3 (Контрольная работа) Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)

	принятия проектных решений	проектных решений, исходя из требований технологического процесса, условий и ограничений при проектировании, показателей качества	
ПК-2	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует умение проводить оптимальный выбор проектных решений	Уметь: проводить оптимальный выбор проектных решений электропечей сопротивления	Контрольная работа № 3 (Контрольная работа) Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-3 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует владение методами расчёта, проектирования и конструирования электротехнологических установок и систем и их элементов	Уметь: составлять схемы электрические принципиальные питания и управления ЭПС разрабатывать элементы конструкции ЭПС проводить предварительный расчет печей сопротивления (расчет габаритных размеров), тепловой расчет, расчет нагревательных элементов, расчет механизма перемещения загрузки в печах непрерывного действия	Проверка расчета и проектирования ЭПС непрерывного действия (Решение задач) Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-4 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует умение проводить технико-экономическое	Знать: основные технические и технико-экономические	Контрольная работа № 1 (Контрольная работа) Проверка расчета и проектирования ЭПС непрерывного действия (Решение задач)

	<p>обоснование проектных решений</p>	<p>преимущества электронагрева сопротивления способы повышения надежности ЭПС, повышения производительности, снижения удельного расхода электроэнергии Уметь: рассчитывать основные техничко-экономические параметры печей сопротивления</p>	<p>Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)</p>
--	--------------------------------------	--	--



## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Контрольная работа № 1

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется письменное задание.

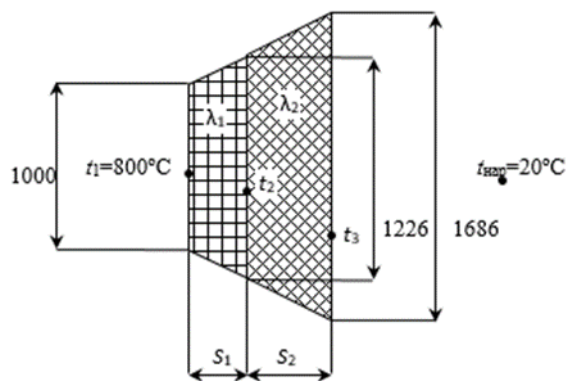
Время выполнения 90 минут.

#### Краткое содержание задания:

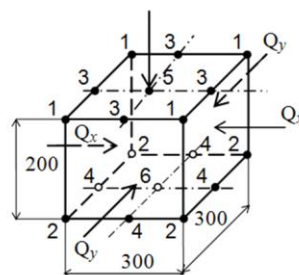
Необходимо выполнить все пункты задания, дав развернутые ответы.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: физические процессы в электропечах сопротивления (ЭПС) и их закономерности	1. Дайте определения электронагрева сопротивления прямого и косвенного действия. 2. Классификация электропечей сопротивления с воздушной средой по температуре. Какими факторами определяются границы низкотемпературного и среднетемпературного, среднетемпературного и высокотемпературного диапазонов?
Знать: основные технические и технико-экономические преимущества электронагрева сопротивления	1. Перечислите основные технологические и технико-экономические преимущества электронагрева сопротивления.
Уметь: решать задачи стационарной и нестационарной теплопередачи в ЭПС	1. Определить тепловые потери боковой стенки камерной печи сопротивления (см. рис.) и температуры на границах слоев футеровки. Стенка состоит из огнеупорного слоя (шамот-легковес ШЛ-1,3, теплопроводность с учетом температурной зависимости $0,407+0,000349t$ Вт/(м·°С)) толщиной $S_1=113$ мм и теплоизоляционного слоя (диатомитовый кирпич марки Д-500, теплопроводность с учетом температурной зависимости $0,105+0,233$ Вт/(м·°С)) толщиной $S_2=230$ мм. Температура печи $t_1=800^\circ\text{C}$ , температура наружного воздуха $t_{\text{нар}}=20^\circ\text{C}$ . Размер внутренней поверхности стенки $F_1=1\times 1$ м. Коэффициент теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности 10 Вт/(м <sup>2</sup> ·°С).



2. Определить время нагрева стального штампа под закалку в ЭПС. Размеры штампа  $300 \times 300 \times 200$  мм, он укладывается на под печи, нагреватели расположены сверху и с четырех боковых сторон, в поду нагреватели отсутствуют. Заданная температура нагрева  $900^\circ\text{C}$ , температура печи  $930^\circ\text{C}$ , параметры материала: теплопроводность  $\lambda = 34,9$  Вт/(м $\cdot$ °C), удельная теплоемкость  $c = 670$  Дж/(кг $\cdot$ °C), плотность  $\gamma = 7800$  кг/м $^3$ ; коэффициент температуропроводности  $a = 34,9 / (670 \cdot 7800) = 6,68 \cdot 10^{-6}$  м $^2$ /с. При  $t_{\text{печи}} = 930^\circ\text{C}$  коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 210$  Вт/(м $^2$ ·°C).



### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Даны правильные, полные ответы на все пункты задания, или допущены неточность либо неполный ответ при выполнении не более одного пункта задания.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Неправильно выполнен один пункт задания, или допущены неточности либо неполные ответы при выполнении двух пунктов задания.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Неправильно выполнены два пункта задания, или допущены неточности либо неполные ответы при выполнении трех или более пунктов задания, или неправильно выполнен один из пунктов 4, 5 задания.

## КМ-2. Тестирование по вопросам теплопередачи и материалам, применяемым в конструкциях ЭПС

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется письменное задание.

Время выполнения 30 минут.

### Краткое содержание задания:

Из предложенных вариантов ответа на каждый из вопросов тестирования необходимо выбрать правильный (единственный) ответ.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: свойства материалов, используемых в конструкциях ЭПС	<p>1. Для вакуумной печи сопротивления, в которой осуществляется термообработка кремнийсодержащей загрузки при температуре свыше 1200 градусов Цельсия, можно рекомендовать нагреватели из:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>А. Вольфрама.</li><li>Б. Молибдена.</li><li>В. Углеродного композитного материала.</li></ul> <p>2. Какой из перечисленных материалов не является безникелевым сплавом сопротивления?</p> <ul style="list-style-type: none"><li>А. X23Ю5.</li><li>Б. X27Ю5Т.</li><li>В. X20Н80.</li><li>Г. X13Ю4.</li><li>Д. X15Ю5.</li></ul> <p>3. Какое из приведенных утверждений не является верным?</p> <ul style="list-style-type: none"><li>А. Никельсодержащие сплавы сопротивления характеризуются лучшей пластичностью и обрабатываемостью в сравнении с безникелевыми.</li><li>Б. Никельсодержащие сплавы сопротивления существенно менее, чем безникелевые, подвержены удлинению («ползучести») при нагреве.</li><li>В. Безникелевые сплавы сопротивления менее, чем никельсодержащие, подходят для работы в восстановительной среде.</li><li>Г. Рабочая температура всех безникелевых сплавов сопротивления ниже, чем никельсодержащих.</li><li>Д. Никельсодержащие сплавы сопротивления в сравнении с безникелевыми менее критичны к материалу футеровки печи.</li></ul> <p>4. Способность материалов противостоять коррозии при повышенной температуре называется:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>А. Термостойкостью.</li><li>Б. Жаропрочностью.</li><li>В. Жаростойкостью.</li><li>Г. Тепловой инерционностью.</li><li>Д. Термопластичностью.</li></ul> <p>5. Использование того или иного материала для</p>
---	--

	<p>изготовления нагревателей вакуумных печей ограничивается, прежде всего:</p> <p>А. Термостойкостью материала.  Б. Окисляемостью материала.  В. Склонностью материала к испарению в вакууме.  Г. Тепловой инерционностью материала.  Д. Жаропрочностью материала.</p>
<p>Знать: физические процессы в электропечах сопротивления (ЭПС) и их закономерности</p>	<p>1. Принцип действия электропечей сопротивления (ЭПС) прямого нагрева основан на:</p> <p>А. Нагреве изделий джоулевым теплом, выделяющимся при протекании электрического тока непосредственно по сечению изделия.  Б. Нагреве изделий токами проводимости, возникающими при проникновении электромагнитной волны в материал.  В. Нагреве изделий джоулевым теплом, выделяющимся при протекании электрического тока по стороннему нагревателю.  Г. Нагреве изделий токами смещения, возникающими при проникновении электромагнитной волны в материал.  Д. Нагреве теплом, выделяющимся при трении изделия об абразивную подложку.</p> <p>2. Передача тепла от нагревателей загрузке в вакуумных ЭПС осуществляется преимущественно:</p> <p>А. Теплопроводностью.  Б. Естественной конвекцией.  В. Излучением.  Г. Конвекцией при кипении теплоносителя.  Д. Вынужденной конвекцией.</p> <p>3. Тепловой поток теплопроводности через плоскую бесконечную стенку при прочих равных условиях связан с толщиной стенки следующим соотношением:</p> <p>А. Пропорционален.  Б. Обрато пропорционален.  В. Обрато пропорционален квадрату толщины.  Г. Пропорционален корню квадратному из толщины.  Д. Не зависит.</p> <p>4. Коэффициент теплоотдачи конвекцией характеризует:</p> <p>А. Способность материала проводить тепло.  Б. Способность материала аккумулировать тепло.  В. Способность поверхности излучать тепло.  Г. Условия конвективного теплообмена между поверхностью и окружающей средой.  Д. Способность поверхности поглощать тепловое излучение.</p> <p>5. Интенсивность конвективного теплообмена при увеличении скорости движения среды:</p> <p>А. Уменьшится.  Б. Увеличится.</p>

- В. Останется неизменной.
- Г. Уменьшится или увеличится в зависимости от температуры стенки.
- Д. Уменьшится или увеличится в зависимости от свойств среды.
6. Тела, поглощающая способность которых равна 1, называются:
- А. Абсолютно черными.
- Б. Серыми.
- В. Абсолютно белыми.
- Г. Абсолютно прозрачными.
- Д. Селективными излучателями.
7. В соответствии с законом Вина максимум спектральной плотности теплового излучения при повышении температуры:
- А. Смещается в область более коротких волн.
- Б. Смещается в область более длинных волн.
- В. Смещается в область более коротких или более длинных волн в зависимости от степени черноты тела.
- Г. Смещается в область более коротких или более длинных волн в зависимости от прозрачности тела.
- Д. Не смещается.
8. Результирующий тепловой поток теплообмена излучением между двумя телами, определяется:
- А. Только температурами тел.
- Б. Температурами и степенями черноты тел.
- В. Температурами и площадью поверхности тел.
- Г. Степенью черноты и взаимным расположением тел.
- Д. Температурами, степенью черноты, размерами, формой и взаимным расположением тел.
9. Критерий Био отражает:
- А. Характер естественного движения среды при конвективном теплообмене.
- Б. Характер вынужденного движения среды при конвективном теплообмене.
- В. Свойства теплоносителя.
- Г. Время нагрева загрузки тепловым потоком от нагревателей.
- Д. Перепад температур по сечению загрузки в процессе ее нагрева.
10. Уравнения, описывающие процессы теплообмена в подобных системах, в виде зависимостей между безразмерными критериями, называются:
- А. Дифференциальными уравнениями теплопроводности.
- Б. Разностными уравнениями.
- В. Критериальными уравнениями.
- Г. Уравнениями в относительных единицах.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны правильные ответы на все вопросы тестирования, или дан неправильный ответ только на один вопрос.*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны неправильные ответы на два, три или четыре вопроса тестирования.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны неправильные ответы на пять, шесть или семь вопросов тестирования.*

**КМ-3. Контрольная работа № 2**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется письменное задание.

**Время выполнения** 90 минут

**Краткое содержание задания:**

Необходимо выполнить все пункты задания, дав развернутые ответы.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: методы моделирования процессов в ЭПС и экспериментальной идентификации параметров ЭПС</p>	<p>1.Какие численные методы математики применимы для расчета температурных полей в печах сопротивления? Дайте краткую характеристику возможностей этих методов. Какие программные продукты реализуют указанные методы? 2.Подробно изложите методику экспериментальной идентификации параметров среднетемпературной печи сопротивления - постоянной времени и коэффициента передачи. Как можно экспериментально определить мощность тепловых потерь печи (по результатам тепловых измерений и по мощности холостого хода при установившейся температуре)?</p>
<p>Уметь: проводить математическое моделирование процессов нагрева изделий в ЭПС</p>	<p>1.Изделие заданной формы нагревается в ЭПС преимущественно конвективным теплообменом. Температура среды постоянна. Запишите математическое описание (дифференциальное уравнение теплопроводности и условия однозначности) процесса нагрева изделия (нестационарного процесса). Составьте и поясните блок-схему конечно-разностного решения задачи расчета нестационарного температурного поля в изделии с учетом температурной зависимости</p>

	теплопроводности материала загрузки. Укажите, какие допущения делались при моделировании.
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Даны правильные, полные ответы на все пункты задания, или допущены неточность либо неполный ответ при выполнении не более одного пункта задания.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Неверно выполнен один пункт задания (за исключением пункта 3), или допущены неточности либо неполные ответы при выполнении двух пунктов задания.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Неверно выполнены два пункта задания (за исключением пункта 3), или допущены неточности либо неполные ответы при выполнении трех пунктов задания.

**КМ-4. Контрольная работа № 3**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 15**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется письменное задание. Время выполнения 45 минут.

**Краткое содержание задания:**

Необходимо выполнить оба пункта задания, дав развернутые ответы.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: выбирать критерии проектных решений, исходя из требований технологического процесса, условий и ограничений при проектировании, показателей качества</p>	<p>1. Заданы технологический процесс печи непрерывного действия, температурный режим, геометрические размеры и теплофизические свойства загрузки. Сформулируйте критерии, по которым будут приниматься конструкционные решения футеровки печи, в том числе свода, и нагревательных элементов.</p>
<p>Уметь: проводить оптимальный выбор проектных решений электропечей сопротивления</p>	<p>1. Для заданных температуры печи и установленной мощности выберите материал нагревателей и рассчитайте геометрические размеры (сечение и развернутую длину) нагревателей. Расчет проведите для двух вариантов конструкции - ленточного зигзага и проволочного зигзага. Выберите оптимальный вариант конструкции по критерию удельного массового расхода сплава для нагревателей (отношение массы нагревателя к сроку службы).</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания: Правильно выполнены оба пункта задания, даны полные ответы.*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Допущена неточность или неполный ответ при выполнении одного из пунктов задания.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Допущены неточности или неполные ответы при выполнении обоих пунктов задания.*

### **КМ-5. Проверка расчета и проектирования ЭПС непрерывного действия**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 25**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверяются результаты расчетов, выполненных в ходе курсового проектирования, и проектно-конструкторские решения, принятые в ходе курсового проектирования. Курсовое проектирование выполняется в течение семестра.

#### **Краткое содержание задания:**

Курсовой проект электрической печи сопротивления непрерывного действия состоит из следующих разделов:

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Определение геометрических размеров печи
2	Тепловой расчет печи, определение установленной мощности тепловых зон
3	Расчет нагревательных элементов
4	Расчет механизма перемещения загрузки
5	Составление схемы электрической принципиальной
6	Основные технико-экономические показатели установки
7	Разработка графической части проекта и оформление расчетно-пояснительной записки

Исходные данные для проектирования включают в себя вид технологического процесса, проводимого в печи, производительность печи, температурно-временной режим, геометрические размеры и теплофизические свойства загрузки, требования к среде.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: проводить предварительный расчет печей сопротивления (расчет габаритных размеров), тепловой расчет, расчет нагревательных элементов, расчет механизма перемещения загрузки в печах непрерывного действия	1.Определение габаритных размеров рабочего пространства печи. 2.Тепловой расчет печи: определение температуры печи и температуры загрузки в конце каждой из тепловых зон; проверка по величине теплового потока и перепаду температуры в изделии; расчет составляющих энергетического баланса, определение установленной мощности по зонам. 3.Расчет нагревательных элементов: выбор материала и конструктивного исполнения нагревателей; определение геометрии нагревателей по зонам;
---	--



	<p>проверка размещения нагревателей в рабочем пространстве печи; оценка срока службы нагревателей.</p> <p>4. Расчет механизма перемещения загрузки: определение требуемого усилия; кинематическая схема привода (схема гидравлическая принципиальная в случае гидропривода); выбор приводного двигателя.</p>
Уметь: разрабатывать элементы конструкции ЭПС	1. Выполнение чертежа вида общего и чертежа одного из узлов печи в соответствии с заданием на курсовое проектирование.
Уметь: составлять схемы электрические принципиальные питания и управления ЭПС	1. Разработка схемы электрической принципиальной печной установки.
Уметь: рассчитывать основные технико-экономические параметры печей сопротивления	1. Расчет основных технико-экономических показателей печи (КПД, удельного расхода электроэнергии, себестоимости продукции).

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Все разделы (вопросы) выполнены безошибочно, или допущены не принципиальные ошибки при выполнении не более одного раздела.*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Допущены не принципиальные ошибки при выполнении двух разделов (вопросов).*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Допущены не принципиальные ошибки при выполнении трех и более разделов (вопросов).*

#### КМ-6. Контрольная работа № 4

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется письменное задание. Время выполнения 90 минут.

#### Краткое содержание задания:

Необходимо выполнить все пункты задания, дав развернутые ответы.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: способы повышения надежности ЭПС, повышения производительности, снижения удельного расхода электроэнергии	1. Какие Вы знаете способы повышения производительности ЭПС, снижения удельного расхода электроэнергии. Как определить, обладает ли действующая печь потенциалом для увеличения производительности?
Уметь: выбирать критерии	1. По каким критериям осуществляется выбор способа

<p>проектных решений, исходя из требований технологического процесса, условий и ограничений при проектировании, показателей качества</p>	<p>управления тиристорами (фазоимпульсное или низкочастотное широтно-импульсное управление) при непрерывном регулировании температуры ЭПС?</p>
<p>Уметь: проводить оптимальный выбор проектных решений электропечей сопротивления</p>	<p>1. В установке инфракрасного нагрева используются “светлые” высокотемпературные нагреватели - зеркальные лампы накаливания. Предложите способ регулирования температуры нити накаливания по косвенному параметру. 2. Имеются две печи сопротивления периодического действия одинаковой установленной мощности, в которых проводится технологический процесс с одинаковым температурно-временным графиком. Время нагрева загрузки составляет 3 часа, время выдержки 1,5 часа, время простоя 0,5 часа. Предложите решение по организации совместной (групповой) работы этих печей (сдвигу времени начала технологического цикла) с целью выравнивания их суммарной кривой энергопотребления.</p>
<p>Уметь: проводить предварительный расчет печей сопротивления (расчет габаритных размеров), тепловой расчет, расчет нагревательных элементов, расчет механизма перемещения загрузки в печах непрерывного действия</p>	<p>1. Нагреватель вакуумной печи сопротивления выполнен в виде сплошного цилиндра из молибдена (с двумя прорезями, обеспечивающими трехфазное подключение нагревателя). Даны геометрические размеры нагревателя, конечная температура нагрева загрузки, установленная мощность печи. Рассчитайте температуру нагревателя в работе и сделайте вывод о пригодности материала нагревателя. Определите напряжение питания нагревателя. 2. Даны геометрические размеры, удельное электрическое сопротивление и теплофизические параметры загрузки, нагреваемой в установке прямого электронагрева сопротивления. Определите время нагрева загрузки до заданной температуры и напряжение питания устройства прямого нагрева.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны правильные полные ответы на все пункты задания, или допущены неточность либо неполный ответ при выполнении не более чем одного пункта задания.*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Неверно выполнен один пункт задания, или допущены неточности либо неполные ответы при выполнении двух или трех пунктов задания.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Неверно выполнены два или три пункта задания, или допущены неточности либо неполные ответы при выполнении четырех и более пунктов задания.

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

<b>МЭИ</b>	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2		Утверждаю: Зав. кафедрой
	Кафедра	ЭППЭ	
	Дисциплина	Электрические печи сопротивления	
	Институт электротехники и электрификации		
1. Основные принципы расчета тепловых потерь в электропечах. Расчет тепловых потерь теплопроводностью через многослойную футеровку электропечи. Расчет тепловых потерь через открытые проемы электропечи. 2. Материалы для нагревательных элементов высокотемпературных электропечей сопротивления с воздушной средой. 3. Предложите конструкцию сводовых нагревателей ЭПС непрерывного действия, если свод печи выполнен из волокнистого (ультралегковесного) огнеупорного материала.			

## Процедура проведения

Проводится устный экзамен по билетам. Обучающийся получает билет с двумя теоретическими вопросами и практическим заданием. Время подготовки обучающегося к ответу 60 минут, время опроса не более 30 минут.

## *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1пк-1 Демонстрирует понимание физических процессов и закономерностей в электро-технологических установках и системах различных видов

### Вопросы, задания

1. Нестационарная теплопроводность. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности решения дифференциального уравнения теплопроводности. Примеры.
2. Конвективный теплообмен. Уравнение Ньютона. Естественная и вынужденная конвекция. Применение критериальных уравнений для расчета конвективного теплообмена.
3. Основные законы теплообмена излучением. Характеристики поглощения и излучения абсолютно черных и серых тел. Селективные излучатели.
4. Материалы для нагревательных элементов вакуумных печей.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В каком температурном диапазоне (в градусах Цельсия) необходимо учитывать конвективную составляющую теплообмена в печи сопротивления с воздушной средой?

Ответы:

- А. До 700
- Б. От 700 до 1000
- В. От 1000 до 1300
- Г. Свыше 1300

Верный ответ: До 700

2. Как сильно зависит коэффициент теплоотдачи конвекцией от температуры и скорости воздушного потока при принудительной циркуляции атмосферы?

Ответы:

- А. Слабо зависит от температуры и скорости.
- Б. Сильно зависит от температуры и скорости.

В. Слабо зависит от температуры и сильно - от скорости

Верный ответ: Слабо зависит от температуры и сильно - от скорости

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2пк-1 Демонстрирует умение проводить научные исследования электро-технологических установок различных видов

### Вопросы, задания

1. Применение численных методов для расчета температурных полей в ЭПС. Схема конечно-разностного решения нестационарной задачи теплопроводности с граничным условием третьего рода.
2. Схема конечно-разностного решения нелинейных задач теплопроводности с граничным условием третьего рода.
3. Экспериментальная идентификация параметров ЭПС (постоянной времени, коэффициента передачи, потерь холостого хода).

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как влияет шаг дискретизации на точность конечно-разностного решения задачи расчета температурного поля?

Ответы:

- А. Погрешность увеличивается с уменьшением шага.
- Б. Погрешность уменьшается с уменьшением шага.
- В. Кривая зависимости суммарной (погрешность округления плюс вычислительная погрешность) погрешности от шага дискретизации имеет минимум.

Верный ответ: Кривая зависимости суммарной (погрешность округления плюс вычислительная погрешность) погрешности от шага дискретизации имеет минимум.

2. В каком случае задача расчета температурного поля в изделии с граничным условием третьего рода обязательно является нелинейной?

Ответы:

- А. Если принято, что теплообмен осуществляется только за счет конвекции.
- Б. Если принято, что теплообмен осуществляется, в том числе, излучением.
- В. Если рассчитывается двумерное температурное поле.

Верный ответ: Если принято, что теплообмен осуществляется, в том числе, излучением.

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-1пк-2 Демонстрирует умение выбирать критерии принятия проектных решений

### Вопросы, задания

1. Заданы технологический процесс печи непрерывного действия, температурный режим, геометрические размеры и теплофизические свойства загрузки. Сформулируйте критерии, по которым будут приниматься конструкционные решения футеровки печи, в том числе свода, и нагревательных элементов.
2. По каким критериям осуществляется выбор способа управления тиристорами (фазоимпульсное или низкочастотное широтно-импульсное управление) при непрерывном регулировании температуры ЭПС?
3. Сформулируйте критерии выбора материала для нагревательных элементов вакуумных печей сопротивления.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. При выборе материала нагревателя необходимо учитывать:

- А. Температурно-временного режима работы.
- Б. Среды в печи и вида температурной зависимости удельного сопротивления материала нагревателя.

В. Температурно-временного режима, среды в печи, температурной зависимости удельного

Ответы:

А. Температурно-временной режим работы.

Б. Среду в печи и вид температурной зависимости удельного электрического сопротивления материала нагревателя.

В. Температурно-временной режим, среду в печи, температурную зависимость удельного электрического сопротивления материала нагревателя, характеристики старения нагревателя, возможность термоударов и термоциклирования, возможность питания сетевым (380/220 В) напряжением.

Верный ответ: Температурно-временной режим, среду в печи, температурную зависимость удельного электрического сопротивления материала нагревателя, характеристики старения нагревателя, возможность термоударов и термоциклирования, возможность питания сетевым (380/220 В) напряжением.

2. Какие факторы необходимо учитывать при выборе способа управления тиристорами (ФИМ, низкочастотная ШИМ) при непрерывном регулировании температуры ЭПС?

Ответы:

А. Требуемая точность регулирования.

Б. Требуемая точность регулирования и рабочая температура печи.

В. Требуемая точность регулирования, материал нагревателей, влияние на питающую сеть.

Верный ответ: Требуемая точность регулирования, материал нагревателей, влияние на питающую сеть.

**4. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Демонстрирует умение проводить оптимальный выбор проектных решений

#### **Вопросы, задания**

1. Предложите конструкцию сводовых нагревателей ЭПС непрерывного действия, если свод печи выполнен из волокнистого (ультралегковесного) огнеупорного материала.

2. Какая конфигурация нагревателей (проволочный зигзаг, проволочная спираль, ленточный зигзаг) обеспечивает наилучшие условия теплоотдачи от нагревателя в среднетемпературных печах?

3. Целесообразно ли использовать с целью согласования скорости приводного двигателя и транспортного механизма (рольганга, конвейера, барабана, карусели) ЭПС регулируемый электропривод? Ответ поясните.

#### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. При прочих равных условиях наилучшую теплоотдачу обеспечивает нагреватель в конфигурации:

Ответы:

А. Проволочной спирали.

Б. Проволочного зигзага.

В. Ленточного зигзага.

Верный ответ: Проволочного зигзага.

2. Более высокие значения производительности и КПД при проведении аналогичных технологических процессов обеспечивает:

Ответы:

А. Вакуумная печь периодического действия.

Б. Вакуумная печь полунепрерывного действия.

Верный ответ: Вакуумная печь полунепрерывного действия.

**5. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-2</sub> Демонстрирует владение методами расчёта, проектирования и конструирования электротехнологических установок и систем и их элементов

#### **Вопросы, задания**

1. Схема теплового расчета электропечи сопротивления периодического действия. Определение установленной мощности.
2. Особенности теплового расчета электропечи сопротивления непрерывного действия. Расчет тепловых зон. Энергетический баланс ЭПС непрерывного действия.
3. Схема расчета нагревательных элементов электропечи сопротивления. Определение удельной поверхностной мощности идеального и реального нагревателя. Выбор размеров (сечение, длина) проволочного и ленточного нагревателей в среднетемпературных печах. Учет конструктивного исполнения нагревателя и его размещения в рабочем пространстве печи при расчете нагревателей ЭПС.

#### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Если проволочный или ленточный нагреватель расчетной длины не удалось разместить в рабочем пространстве печи, рекомендуется:

Ответы:

- А. Увеличить напряжение питания.
- Б. Уменьшить напряжение питания.
- В. Увеличить или уменьшить напряжение питания в зависимости от рабочей температуры.
- Г. Увеличить или уменьшить напряжение питания в зависимости от среды в печи.

Верный ответ: Уменьшить напряжение питания.

2. Нагреватель из углеродного композитного материала, как правило, представляет собой:

Ответы:

- А. Неразрезную пластину.
- Б. Концентрическую спираль.
- В. Пластину с прорезями, придающими нагревателю конфигурацию зигзага.

Верный ответ: Пластину с прорезями, придающими нагревателю конфигурацию зигзага.

**6. Компетенция/Индикатор:** ИД-4<sub>ПК-2</sub> Демонстрирует умение проводить технико-экономическое обоснование проектных решений

#### **Вопросы, задания**

1. Основные технико-экономические показатели ЭПС, их определение.
2. Способы повышения надежности ЭПС, повышения производительности, снижения удельного расхода электроэнергии.
3. ЭПС как потребитель электроэнергии. Пути снижения влияния тиристорных регуляторов на энергетические показатели установки ЭПС.

#### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Повышение производительности среднетемпературной печи может осуществляться:

Ответы:

- А. Только за счет повышения температуры печи.
- Б. Только за счет увеличения загрузки пода (загрузка в несколько слоев).
- В. За счет повышения температуры - всегда, а за счет увеличения загрузки пода (загрузка в несколько слоев) - только если время выдержки существенно превышает время нагрева.

Верный ответ: За счет повышения температуры - всегда, а за счет увеличения загрузки пода (загрузка в несколько слоев) - только если время выдержки существенно превышает время нагрева.

2. Более надежны детали ЭПС, выполненные из жароупоров (в частности, звенья конвейерной ленты):

Ответы:

А. Литые.

Б. Штампованные.

В. Надежность литых и штампованных деталей практически одинакова.

Верный ответ: Литые.

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответил на вопросы билета и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины (при их наличии), правильно выполнил практическое задание.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Обучающийся обнаружил полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняет предусмотренные задания, усвоил литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показал систематический характер знаний по дисциплине, ответил на все вопросы билета, правильно выполнил практическое задание, но допустил при этом непринципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Обучающийся обнаружил знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профилю профессиональной деятельности, справляется с выполнением заданий, знаком с литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустил погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практического задания, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнил практическое задание, но по указанию преподавателя выполнил другие практические задания из того же раздела дисциплины.

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих. В приложение к диплому выносятся оценки за 1 семестр.



**Для курсового проекта/работы:**

**1 семестр**

**Форма проведения: Защита КП/КР**

### ***I. Процедура защиты КП/КР***

Защита курсового проекта принимается комиссией в составе минимум двух преподавателей. Защита заключается в докладе обучающегося по теме курсового проекта с демонстрацией графического материала и ответах на вопросы членов комиссии. Продолжительность защиты не более 20 минут.

### ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задание на курсовое проектирование, усвоил литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответил на вопросы членов комиссии, правильно выполнил все разделы курсового проекта, качественно оформил графические материалы и расчетно-пояснительную записку.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Обучающийся обнаружил полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполнил задание на курсовой проект, усвоил литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины, показал систематический характер знаний по дисциплине; ответил на все вопросы комиссии, но при этом допустил неточности или непринципиальные ошибки, или допустил непринципиальные ошибки при выполнении курсового проекта; менее качественно оформил графические материалы и расчетно-пояснительную записку.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Обучающийся обнаружил знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профилю профессиональной деятельности, справился с выполнением курсового проекта, знаком с литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустил ошибки при ответах на вопросы комиссии; допустил грубые нарушения ЕСКД при оформлении графических материалов и расчетно-пояснительной записки.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка за курсовой проект определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» с учетом семестровой составляющей оценки и оценки, полученной на защите. В приложение к диплому выносится оценка за курсовой проект.