

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

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Цифровые двойники технических систем

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Моделирование энергетических комплексов**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киндра В.О.
	Идентификатор	R429f7b35-KindraVO-2c9422f7

В.О.
Киндра

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н.
Рогалев

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-2 Способен участвовать в разработке цифровых двойников технических систем
- ИД-1 Принимает участие в разработке цифровых двойников технических систем на стадии проектирования
- ИД-2 Принимает участие в разработке и внедрении цифровых двойников технических систем на стадии эксплуатации

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1. Термодинамические циклы производства электроэнергии и тепла (Тестирование)
2. КМ-2. Моделирование теплофизических процессов в энергетическом оборудовании (Контрольная работа)
3. КМ-3. Анализ структуры и параметров тепловых схем (Контрольная работа)
4. КМ-4. Моделирование тепловых схем энергетических комплексов (Контрольная работа)

БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Виды и характеристики энергетических комплексов					
Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных паротурбинных энергетических комплексов	+	+			
Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных газотурбинных энергетических комплексов	+	+			
Принцип работы и основные характеристики существующих и перспективных парогазовых энергетических комплексов	+	+			
Термодинамический анализ тепловых схем					
Подходы к расчету теплофизических свойств теплоносителей			+	+	+
Подходы к расчету теплофизических процессов, протекающих в энергетическом оборудовании			+	+	+
Методики теплового расчета тепловых схем энергетических комплексов			+	+	+

Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании				
Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании паротурбинных энергетических комплексов			+	
Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании газотурбинных энергетических комплексов			+	
Конструкции и физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании парогазовых энергетических комплексов			+	
Применение информационных технологий для моделирования тепловых схем энергетических комплексов				
Использование современных программных пакетов для проведения термодинамического анализа тепловых схем энергетических комплексов				+
Использование современных программных пакетов для проведения конструкторского расчета основного и вспомогательного оборудования энергетических комплексов				+
Использование современных программных пакетов для проведения поверочных расчетов тепловых схем энергетических комплексов				+
Вес КМ:	10	30	30	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

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-2	ИД-1 _{ПК-2} Принимает участие в разработке цифровых двойников технических систем на стадии проектирования	Знать: особенности физических процессов, протекающих в энергетическом оборудовании, и подходы к моделированию тепловых схем энергетических комплексов Уметь: анализировать влияние параметров и структуры тепловых схем энергетических комплексов на эффективность производства электроэнергии и тепла	КМ-2. Моделирование теплофизических процессов в энергетическом оборудовании (Контрольная работа) КМ-3. Анализ структуры и параметров тепловых схем (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-2 _{ПК-2} Принимает участие в разработке и внедрении цифровых двойников технических систем на стадии эксплуатации	Знать: принципы функционирования существующих термодинамических циклов для производства электроэнергии и тепла	КМ-1. Термодинамические циклы производства электроэнергии и тепла (Тестирование) КМ-4. Моделирование тепловых схем энергетических комплексов (Контрольная работа)

		Уметь: рассчитывать тепловые схемы энергетических комплексов	
--	--	--	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. КМ-1. Термодинамические циклы производства электроэнергии и тепла

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают вариант теста. На выполнение теста отводится 15 минут без возможности пользоваться вспомогательным материалом

Краткое содержание задания:

Ориентирован на проверку знания по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Знать: принципы функционирования существующих термодинамических циклов для производства электроэнергии и тепла	1. За счет чего происходит увеличение энергоэффективности паротурбинной установки при повышении температуры питательной воды? 1. За счет роста среднеинтегральной температуры подвода теплоты из цикла 2. За счет уменьшения среднеинтегральной температуры отвода теплоты из цикла 3. За счет увеличения среднеинтегральной температуры отвода теплоты из цикла Ответ: 1 2. Какова величина электрического КПД нетто современных парогазовых установок. 1. 44-54% 2. 55-64% 3. 65-74% Ответ: 2 3. Как изменяется мощность газотурбинной установки с ростом температуры наружного воздуха? 1. Увеличивается 2. Уменьшается 3. Не изменяется Ответ: 2
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. Выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. КМ-2. Моделирование теплофизических процессов в энергетическом оборудовании

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

Краткое содержание задания:

Ориентирован на проверку знания по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Знать: особенности физических процессов, протекающих в энергетическом оборудовании, и подходы к моделированию тепловых схем энергетических комплексов	1. Рассчитать внутреннюю мощность компрессора ГТУ, если известны следующие параметры: - температура наружного воздуха 20°C, давление наружного воздуха 1,013 бар, - внутренний относительный КПД проточной части компрессора 85%, - степень повышения давления в компрессоре 30, коэффициент потерь давления в КВОУ 0,97, - массовый расход воздуха 200 кг/с 2. Рассчитать массовый расход натурального топлива, поступающего в камеру сгорания газовой турбины, если известны следующие параметры: - давление воздуха на выходе из компрессора ГТУ 2,95 МПа, - температура воздуха на выходе из компрессора ГТУ 385°C, - температура продуктов сгорания на входе в турбину 1400°C, - коэффициент потерь давления в камере сгорания 0,97, - низшая теплота сгорания топлива при нормальных условиях 36 МДж/нм³, - плотность топлива при нормальных условиях 0,75 кг/м³, - КПД камеры сгорания 99,4%, массовый расход воздуха 400 кг/с, - массовые доли компонентов продуктов сгорания (N₂ = 73%, O₂ = 8%, H₂O = 8%, CO₂ = 11%) 3. Рассчитать внутреннюю мощность газовой турбины ГТУ, если известны следующие параметры: - давление рабочей среды на входе в турбину 2,89 МПа, - температура рабочей среды на входе в турбину
---	--

	1400°C, - коэффициент потерь давления на выходе из газовой турбины 0,96, - массовый расход рабочей среды на входе в турбину 462,5 кг/с, - внутренний относительный КПД проточной части газовой турбины 90%, - массовые доли компонентов рабочей среды (N ₂ = 73%, O ₂ = 8%, H ₂ O = 8%, CO ₂ = 11%)
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-3. КМ-3. Анализ структуры и параметров тепловых схем

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

Краткое содержание задания:

Ориентирован на проверку умения по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: анализировать влияние параметров и структуры тепловых схем энергетических комплексов на эффективность производства электроэнергии и тепла	1. Рассчитать КПД по выработке электроэнергии брутто для простейшего цикла Ренкина, если известны следующие параметры: - потери теплоты с уходящими газами 6%, потери теплоты с химическим недожогом 1%, потери теплоты с механическим недожогом 0%, потери теплоты в окружающую среду 1%, потери теплоты со шлаком 0%, - КПД транспорта теплоты 99%, - внутренний относительный КПД турбины 86%, - механический КПД паротурбинной установки 98,5%,
--	---

	- КПД электрогенератора 99%, - температура и давление острого пара 530°C, 13 МПа, - давление в конденсаторе 4 кПа, - давление питательной воды 14,6 МПа 2. Оценить изменение термического КПД цикла Ренкина (с учетом затрат энергии на сжатие рабочей среды в питательном насосе) в случае увеличения начальной температуры рабочей среды на 40°C. Исходные параметры: - начальные параметры рабочей среды 500°C и 10 МПа, - давление в конденсаторе 4,5 кПа, - давление питательной воды 13,3 МПа 3. Оценить изменение термического КПД цикла Ренкина (с учетом затрат энергии на сжатие рабочей среды в питательном насосе) в случае увеличения начальной температуры рабочей среды на 40°C. Исходные параметры: - начальные параметры рабочей среды 480°C и 10 МПа, - давление в конденсаторе 5,5 кПа, - давление питательной воды 13,3 МПа
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-4. Моделирование тепловых схем энергетических комплексов

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

Краткое содержание задания:

Ориентирован на проверку умения по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: рассчитывать тепловые схемы энергетических комплексов	1. Рассчитать термический КПД цикла Ренкина с промежуточным перегревом (с учетом затрат энергии на сжатие рабочей среды в питательном насосе) при: - начальных параметрах рабочей среды 540°C и 23,5 МПа, - температуре и давлении пара промежуточного перегрева 550°C и 2,4 МПа, - давлении в конденсаторе 5 кПа, давлении
--	--

	питательной воды 28 МПа 2.Определить КПД по отпуску электроэнергии нетто для газотурбинной установки при условии, что: - внутренняя мощность газовой турбины равна 60 МВт, - внутренняя мощность компрессора равна 40 МВт, - механический КПД ГТУ 98,5% - КПД электрогенератора 99%, - количество теплоты, подводимое в камеру сгорания с топливом 63,4 МВт, - затраты электроэнергии на собственные нужды ГТУ 0,5 МВт 3.Рассчитать термический КПД цикла Ренкина с промежуточным перегревом (с учетом затрат энергии на сжатие рабочей среды в питательном насосе) при: - начальных параметрах рабочей среды 550°C и 23,5 МПа, - температуре и давлении пара промежуточного перегрева 555°C и 2,6 МПа, - давлении в конденсаторе 6 кПа, давлении питательной воды 27 МПа
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

Билет №1

1. Требования по надежности, ремонтпригодности, маневренности, экономичности и экологической безопасности ТЭС
2. Термодинамический цикл Брайтона и факторы, определяющие его мощность и тепловую экономичность. Основные энергетические показатели газотурбинной установки
3. Оценить изменение термического КПД цикла Ренкина (с учетом затрат энергии на сжатие рабочей среды в питательном насосе) в случае увеличения начальной температуры рабочей среды на 40°C. Исходные параметры:
 - начальные параметры рабочей среды 500°C и 10 МПа,
 - давление в конденсаторе 4,5 кПа,
 - давление питательной воды 13,3 МПа

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме, включает теоретические вопросы и задание. К экзамену допускаются студенты, успешно выполнившие и защитившие все контрольные мероприятия

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-2} Принимает участие в разработке цифровых двойников технических систем на стадии проектирования

Вопросы, задания

1. Теплофикационные паротурбинные установки. Сравнение преимуществ и недостатков отдельного и комбинированного способов производств электроэнергии и тепла. Балансовый (физический) метод разделения затрат топлива на тепло и электроэнергию
2. Классификация парогазовых установок и их тепловые схемы
3. Рассчитать термический КПД цикла Ренкина с промежуточным перегревом (с учетом затрат энергии на сжатие рабочей среды в питательном насосе) при:
 - начальных параметрах рабочей среды 550°C и 23,5 МПа,
 - температуре и давлении пара промежуточного перегрева 555°C и 2,6 МПа,
 - давлении в конденсаторе 6 кПа, давлении питательной воды 27 МПа

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как изменяется величина требуемого массового расхода на охлаждение деталей горячего тракта при снижении температуры хладагента?

Ответы:

1. Увеличивается
2. Не изменяется
3. Уменьшается

Верный ответ: 3

2. Какой уровень внутреннего относительного КПД проточной части современных цилиндров высокого давления паровых турбин?

Ответы:

1. 84-86%
2. 87-90%
3. 91-93%

Верный ответ: 2

3. От каких факторов не зависит массовый расход рабочей среды на охлаждение деталей горячего тракта газотурбинной установки?

Ответы:

1. Расход рабочей среды в голову турбины
2. Материал сплава, из которого изготавливаются детали горячего тракта
3. Температура наружного воздуха

Верный ответ: 3

2. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-2 Принимает участие в разработке и внедрении цифровых двойников технических систем на стадии эксплуатации

Вопросы, задания

1. Классификация ТЭС
2. Термодинамический цикл Ренкина и факторы, определяющие его тепловую экономичность. Основные энергетические показатели конденсационного паротурбинного энергоблока
3. Способы повышения термодинамической эффективности конденсационной ПТУ

Материалы для проверки остаточных знаний

1. На сколько возрастает электрический КПД нетто паротурбинного энергоблока с введением промежуточного перегрева?

Ответы:

1. На 2-4%
2. На 8-10%
3. На 12-14%

Верный ответ: 1

2. Как изменяется температура рабочей среды при расширении в проточной части турбины?

Ответы:

1. Увеличивается
2. Уменьшается
3. Не изменяется

Верный ответ: 2

3. Как изменяется температура рабочей среды при сжатии в проточной части компрессора?

Ответы:

1. Увеличивается
2. Уменьшается
3. Не изменяется

Верный ответ: 1

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании зачетной и экзаменационной составляющих