

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

**Направление подготовки/специальность: 13.04.03 Энергетическое машиностроение**

**Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Камеры сгорания и котлы-утилизаторы**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Росляков П.В.
	Идентификатор	R9593e97f-RoslyakovPV-3c5b725f

П.В. Росляков

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

О.М.  
Митрохова

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

В.Г. Грибин

## 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 к проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения

ИД-2 Демонстрирует понимание влияния отдельных факторов на работу и конструкцию объекта профессиональной деятельности

ИД-3 Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности с учетом обеспечения надежности и эффективности

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Камеры сгорания ГТУ (Контрольная работа)
2. Комбинированные циклы: утилизационные и сбросные ПГУ (Контрольная работа)
3. Особенности рабочих процессов камер сгорания (Контрольная работа)
4. Энергетические ГТУ (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Введение. Энергетические газотурбинные установки					
Введение. Энергетические газотурбинные установки	+				
Камеры сгорания энергетических установок					
Камеры сгорания энергетических установок			+		+
Особенности процессов горения и тепло-, массообмена в камерах сгорания					
Особенности процессов горения и тепло-, массообмена в камерах сгорания				+	
Особенности ГТУ как загрязнителей окружающей среды					
Особенности ГТУ как загрязнителей окружающей среды				+	
Повышение эффективности ТЭС за счет реализации комбинированных циклов					

Повышение эффективности ТЭС за счет реализации комбинированных циклов				+
Вес КМ:	25	25	25	25

## 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-2ПК-2 Демонстрирует понимание влияния отдельных факторов на работу и конструкцию объекта профессиональной деятельности	Знать: область применения, принцип действия, преимущества и недостатки конструкций камер сгорания ГТУ и котлов-утилизаторов ПГУ основные закономерности термодинамических процессов в ГТУ и котлах утилизаторах	Энергетические ГТУ (Контрольная работа) Комбинированные циклы: утилизационные и сбросные ПГУ (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-3ПК-2 Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности с учетом обеспечения надежности и эффективности	Знать: особенности процессов горения топлив и тепло-, массообмена в камерах сгорания ГТУ и в котлах-утилизаторах Уметь: оценивать влияние различных факторов на эффективность работы камер сгорания ГТУ	Камеры сгорания ГТУ (Контрольная работа) Особенности рабочих процессов камер сгорания (Контрольная работа)

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

### КМ-1. Энергетические ГТУ

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 45 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам

**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа ориентирована на проверку знаний, терминов и определений

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные закономерности термодинамических процессов в ГТУ и котлах утилизаторах	1. Принципиальная схема и описание работы простейшей ГТУ с ее основными параметрами. Процессы преобразования энергии в ГТУ
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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. Камеры сгорания ГТУ

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 45 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам

**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа ориентирована на проверку знаний, терминов и определений

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: оценивать влияние различных факторов на эффективность работы камер сгорания ГТУ	1.123
--	-------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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-3. Особенности рабочих процессов камер сгорания**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 45 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам

**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа ориентирована на проверку знаний, терминов и определений

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: особенности процессов горения топлив и тепло-, массообмена в камерах сгорания ГТУ и в котлах-утилизаторах	<p>1. Характеристики рабочего процесса в камере сгорания ГТУ. Их определение, численные значения, влияние на надежность и экономичность работы. Приведите зависимости изменения расхода, степени выгорания топлива, температуры, давления и скорости газов по длине пламенной трубы и дайте их пояснения</p> <p>2. Дайте определения богатых и бедных топливно-воздушных смесей. Переобогащенные и переобедненные смеси. Опишите основные условия для обеспечения устойчивого горения топлива в потоке. Каким образом они реализуются в камере сгорания ГТУ</p> <p>3. Приведите схему зоны горения и смешения в камере сгорания ГТУ и опишите основные процессы, протекающие в этих зонах, и их количественные</p>
--	--

	<p>характеристики. Основные требования к данным зонам. Приведите графики изменения расхода и температуры среды, степени выгорания топлива, давления и скорости среды по длине камеры сгорания ГТУ. Дайте необходимые пояснения</p> <p>4. Основные характеристики камеры сгорания ГТУ (коэффициент избытка воздуха, степень выгорания топлива, относительные потери полного напора и неравномерность поля температур на выходе из КС). Дайте их определения, численные значения и объясните их изменение по длине КС</p> <p>5. Влияние температуры атмосферного воздуха на рабочие и технико-экономические характеристики ГТУ. Как они различаются при работе ГТУ в летний и зимний периоды</p> <p>6. Особенности теплоотвода с внутренней и наружной стенок пламенной трубы. Основные положения и уравнения. Рекомендации по снижению температуры стенки пламенной трубы</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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-4. Комбинированные циклы: утилизационные и сбросные ПГУ**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 45 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам

**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа ориентирована на проверку знаний, терминов и определений

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: область применения,	1. Основные типы комбинированных циклов и их
----------------------------	--

<p>принцип действия, преимущества и недостатки конструкций камер сгорания ГТУ и котлов-утилизаторов ПГУ</p>	<p>особенности. Приведите примеры энергетических установок, дайте необходимые пояснения и T-s диаграммы. За счет чего происходит повышение КПД?</p> <p>2. Дайте определение ПГУ. Чем принципиально отличаются утилизационные и сбросные ПГУ? Приведите схемы, T-s диаграммы, дайте необходимые пояснения.</p> <p>3. КПД утилизационной и сбросной ПГУ. Дайте необходимые пояснения.</p> <p>4. Утилизационная ПГУ с котлом-утилизатором. Приведите схему, T-s диаграмму, дайте необходимые пояснения. Объясните принципиальные отличия паротурбинных и парогазовых энергетических установок.</p> <p>5. Особенности ПГУ с дожиганием топлива в котле-утилизаторе. Приведите схему, T-s и T-Q диаграмму, дайте необходимые пояснения. Как организуется сжигание топлива в отходящих газах ГТУ?</p>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 3 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Схема и описание работы простейшей ГТУ. Особенности идеального цикла Брайтона, его представление в  $T-s$  и  $p-v$  координатах с подробными пояснениями.
2. Принципиальные пути повышения эффективности энергетических установок. Их особенности и достигаемый эффект.
3. Задача.

### Процедура проведения

Экзамен проводится в письменной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 2,5 часа

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Демонстрирует понимание влияния отдельных факторов на работу и конструкцию объекта профессиональной деятельности

### Вопросы, задания

1. Схема и описание работы простейшей ГТУ. Идеальный цикл Брайтона, его представление в  $T-s$  и  $p-v$  координатах и необходимые пояснения.
2. Уравнение теплового баланса для камеры сгорания ГТУ. Дайте подробные пояснения по приходной и расходной частям уравнения теплового баланса.
3. Цели и задачи гидравлического расчета камеры сгорания ГТУ. Основные допущения, принимаемые в гидравлическом расчете. Из чего складывается сопротивление КС
4. Потери полного напора в КС в изотермических условиях – основные уравнения. Потери полного напора в КС, обусловленные горением (основные уравнения).
5. Конструктивная схема камеры сгорания ГТУ. Основные элементы камеры сгорания ГТУ, их назначение и конструктивные характеристики.
6. Классификация камер сгорания ГТУ по назначению, компоновке, конструкции, направлению потоков, виду сжигаемого топлива, количеству горелок. Приведите принципиальные схемы.
7. Проведите обоснованное сравнение преимуществ и недостатков встроенных и выносных камер сгорания ГТУ.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Рабочим телом энергетической газотурбинной установки является:

Ответы:

- а) перегретый пар;
- б) насыщенный пар;
- в) пароводяная смесь;
- г) продукты сгорания;
- д) сжатый воздух.

Верный ответ: г)

2. Рабочий процесс в камере сгорания ГТУ характеризуется:

Ответы:

- а) адиабатными условиями;
- б) значительным снижением давления газов;
- в) низкими тепловыми и гидравлическими потерями;
- г) высокими потерями теплоты через корпус;
- д) высокими тепловыми и гидравлическими потерями.

Верный ответ: в)

3. Выносными называются камеры сгорания ГТУ:

Ответы:

- а) размещенные между компрессором и газовой турбиной вокруг вала ГТУ;
- б) установленные рядом с корпусом ГТУ;
- в) имеющие собственный силовой корпус;
- г) размещенные в отдельном силовом корпусе с одной или двумя пламенными трубами, которые располагаются параллельно или перпендикулярно продольной оси ГТУ.

Верный ответ: г)

4. Смеситель камеры сгорания - это устройство, служащее для

Ответы:

- а) организации смешения топлива и воздуха с заданным избытком воздуха;
- б) подачи воздуха в первичную зону горения с целью устойчивого воспламенения;
- в) подачи воздуха в зону дожигания топлива с целью полного выгорания топлива;
- г) подачи воздуха в газовый поток с целью снижения его температуры до установленного уровня с допустимой неравномерностью;
- д) увеличения расхода рабочего тела перед газовой турбиной.

Верный ответ: г)

5. Эмиссия оксидов азота в камерах сгорания энергетических ГТУ в соответствии со стандартом ограничена на уровне менее:

Ответы:

- а) 25 мг/нм<sup>3</sup> (в пересчете на O<sub>2</sub> = 6%);
- б) 25 мг/нм<sup>3</sup> (в пересчете на O<sub>2</sub> = 15%);
- в) 50 мг/нм<sup>3</sup> (в пересчете на O<sub>2</sub> = 6%);
- г) 50 мг/нм<sup>3</sup> (в пересчете на O<sub>2</sub> = 15%);
- д) 150 мг/нм<sup>3</sup> (в пересчете на O<sub>2</sub> = 6%);
- е) 150 мг/нм<sup>3</sup> (в пересчете на O<sub>2</sub> = 15%).

Верный ответ: г)

6. Температура питательной воды перед котлом-утилизатором составляет:

Ответы:

- а) 50-60°C;
- б) 61-70°C;
- в) 71-80°C;
- г) 81-90°C;
- д) зависит от давления среды.

Верный ответ: а)

7. В котлах-утилизаторах для интенсификации теплообмена используют:

Ответы:

- а) трубы с наружным оребрением;
- б) трубы с внутренним оребрением;
- в) газоплотные экранные панели;
- г) плавниковые трубы;
- д) трубы с вваренными проставками.

Верный ответ: а)

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-2 Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности с учетом обеспечения надежности и эффективности

### **Вопросы, задания**

1. ПГУ утилизационного типа. Рабочие характеристики утилизационных ПГУ. Приведите T-s и T-Q диаграммы и дайте все необходимые пояснения.
2. Классификация котлов-утилизаторов. Способы интенсификации теплообмена в котлах-утилизаторах. Конструктивные и режимные особенности котлов-утилизаторов.
3. Влияние повышения давления на выходе из компрессора на термический и внутренний КПД ГТУ. Приведите T-s и p-v диаграммы и поясните принципиальные отличия.
4. Влияние температуры атмосферного воздуха на рабочие и технико-экономические характеристики ГТУ. Как они различаются при работе ГТУ в летний и зимний периоды.
5. Характеристики рабочего процесса в камере сгорания ГТУ. Их определение, численные значения, влияние на надежность и экономичность работы. Приведите зависимости изменения расхода, степени выгорания топлива, температуры, давления и скорости газов по длине пламенной трубы и дайте их пояснения.

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

1. С увеличением температуры атмосферного воздуха мощность ГТУ:

Ответы:

- а) возрастает;
- б) уменьшается;
- в) сначала возрастает, а затем уменьшается;
- г) сначала уменьшается, а затем возрастает;
- д) остается неизменной.

Верный ответ: б)

2. КПД утилизационных ПГУ составляет:

Ответы:

- а) 35-40%;
- б) 41-45%;
- в) 46-50%;
- г) 51-55%;
- д) 56-60%.

Верный ответ: д)

3. В сбросных ПГУ в качестве топлива в паротурбинном цикле может использоваться:

Ответы:

- а) только природный газ;
- б) природный газ и мазут;
- в) твердое топливо с подсветкой мазутом;
- г) любое топливо.

Верный ответ: г)

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета, но допустившему при этом не принципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил некоторые ошибки, а также неполностью выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но наметил правильный путь его выполнения

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета; б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета.

### ***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.