

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Инновационные технологии в теплоэнергетике и теплотехнике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Основы теории и проектирования газотурбинных двигателей и установок**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Осипов С.К.
	Идентификатор	R06dc7f87-OsipovSK-e84c9a91

С.К. Осипов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Соколов В.П.
	Идентификатор	R928a03a7-SokolovVPet-4d1c67c1

В.П.
Соколов

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 выполнять разработку теплотехнических решений для аэрокосмической техники

ИД-2 Разрабатывает и эксплуатирует энергетические установки аэрокосмического назначения

2. ПК-3 Способен выполнять разработку и модернизацию объектов теплоэнергетики с учетом современных проблем и использования результатов аэрокосмической деятельности

ИД-1 Разрабатывает проектно-конструкторские и технологические решения объектов теплоэнергетики

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1 «Термогазодинамический расчет ТРД» (Контрольная работа)
2. КМ-2 «Сравнительный анализ конструкций ротора осевого компрессора» (Контрольная работа)
3. КМ-3 «Расчет проточной части газовой турбины» (Контрольная работа)
4. КМ-4 «Высотно-скоростная характеристика ТРД» (Контрольная работа)

БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Схемы и циклы ТРД и ГТУ					
Классификация авиационных двигателей и энергетических установок	+				
Принцип работы газотурбинных реактивных двигателей и их основных элементов	+				
Принципиальные схемы и циклы ГТУ	+				
Параметры, определяющие совершенство ГТД и ГТУ	+				
Термогазодинамический расчет ГТД и зависимость удельных параметров от параметров рабочего тела	+				
Лопаточные машины					

Назначение и принцип действия лопаточных машин		+		
Модель рабочего тела и течений в лопаточных машинах		+		
Основные уравнения теории лопаточных машин		+		
Формы учета потерь в лопаточных машинах ВРД и связь между ними		+		
Изменение параметров по радиусу и закрутка лопаток осевых компрессоров		+		
Применение теории подобия для построения характеристик лопаточных маши		+		
Пути совершенствования лопаточных машин		+		
Осевые и центробежные компрессоры				
Элементарная ступень осевого компрессора		+		
Окружная скорость и коэффициент полезного действия		+		
Характеристики многоступенчатых компрессоров		+		
Расчет осевых компрессоров		+		
Конструкция многоступенчатых осевых компрессоров		+		
Центробежные компрессоры		+		
Газовые турбины				
Элементарная ступень турбины			+	
Выбор схемы проточной части турбины и расчете ее основных размеров			+	
Газодинамический расчет ступени турбины			+	
Профилирование лопаток турбины			+	
Основные особенности и порядок расчета многоступенчатых газовых турбин			+	
Конструкция многоступенчатой газовой турбины			+	
Камеры сгорания ТРД и ГТУ				
Основные элементы и их назначение			+	
Основные характеристики камер сгорания			+	
Конструктивное исполнение основных элементов камер сгорания			+	
Расчет основных параметров камер сгорания			+	

Конструкции мало эмиссионных камер сгорания			+	
Системы охлаждения ТРД и ГТУ				
Системы охлаждения турбореактивных двигателей и газотурбинных установок				+
Основы рациональной организации охлаждения камер сгорания				+
Системы и схемы охлаждения газовой турбины и ее деталей				+
Системы охлаждения рабочих и сопловых лопаток газовых турбин				+
Характеристики и регулирование ТРД и ГТУ				
Высотно-скоростные характеристики ТРД				+
Частичные нагрузки газотурбинных установок				+
Статические характеристики ГТУ				+
Регулирование ГТУ				+
Основные элементы систем автоматического регулирования				+
Вес КМ:	20	25	25	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

БРС курсовой работы/проекта

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %		
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
	Срок КМ:	8	16
Ознакомление с заданием на курсовую работу, методическими указаниями и исходными данными		+	
Выполнить термогазодинамический расчет ТРД			
Провести расчет осевых и диаметральных размеров входного устройства, компрессора, камеры сгорания, турбины и реактивного сопла. Начертить конструктивную схему двигателя		+	
Выполнить расчет линии рабочих режимов на заданной характеристике компрессора при законе регулирования ТРД $n = \text{const}$. Построить графики изменения параметров вдоль линии рабочих режимов			+
Рассчитать скоростную характеристику ТРД при заданной высоте полета, $M_{\text{п}} = 0 \dots 1,5$ при законе регулирования $n = \text{const}$.			+
Построить графики изменения тяги P , удельной тяги $R_{\text{уд}}$, удельного расхода топлива $C_{\text{уд}}$ от скорости полета $M_{\text{п}}$.			+
Построить график изменения температуры газа перед турбиной от скорости полета $M_{\text{п}}$.			+
Оформление пояснительной записки и графической части			+

	Bec KM:	60	40
--	---------	----	----

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 Разрабатывает и эксплуатирует энергетические установки аэрокосмического назначения	Знать: принципы и методы расчета и конструирования основных узлов и деталей ГТД и ГТУ Уметь: уметь проводить анализ и выбор и согласование параметров основных узлов ГТД и ГТУ	КМ-1 «Термогазодинамический расчет ТРД» (Контрольная работа) КМ-4 «Высотно-скоростная характеристика ТРД» (Контрольная работа)
ПК-3	ИД-1ПК-3 Разрабатывает проектно-конструкторские и технологические решения объектов теплоэнергетики	Знать: знать характеристики и конструкцию основных узлов ТРД и ГТУ Уметь: проводить энергетический и гидравлический расчет ТРД и ГТУ	КМ-2 «Сравнительный анализ конструкций ротора осевого компрессора» (Контрольная работа) КМ-3 «Расчет проточной части газовой турбины» (Контрольная работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. КМ-1 «Термогазодинамический расчет ТРД»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

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

Краткое содержание задания:

Ориентирован на проверку знаний по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Знать: принципы и методы расчета и конструирования основных узлов и деталей ГТД и ГТУ	1.С какой целью выполняется термогазодинамический расчет двигателя? 2.Какие данные нужны для проектного термогазодинамического расчета ТРД? 3.Оцените значение величин η_k, $\sigma_{k.c}$, η_g, $\delta_{охл}$, η_t^*, σ_c, η_m, ϕ_c, принимаемые для такого расчета. 4.Как и почему изменяются p^*, T^* с по тракту двигателя? 5.Какое и почему взаимное положение зависимостей p^*, p по тракту ТРД? 6.Какое и почему взаимное положение зависимостей T^*, T по тракту ТРД? 7.Запишите уравнение для адиабатической работы газовой турбины.
---	--

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: 60

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 «Сравнительный анализ конструкций ротора осевого компрессора»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

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

Краткое содержание задания:

Ориентирован на проверку знаний по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Знать: знать характеристики и конструкцию основных узлов ТРД и ГТУ	1.Пояснить принцип работы элементарной ступени компрессора. Уравнение работы сжатия 2.Построить и пояснить треугольник скоростей в лопатках рабочего колеса и спрямляющего аппарата 3.Пояснить преимущества и недостатки осевого компрессора с постоянным внутренним диаметром ротора, постоянным наружным и постоянным средним 4.Конструкция крепления рабочих лопаток компрессора к дискам. Сравнить конструкцию роторов дискового и барабанного типов
--	---

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: 60

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. КМ-3 «Расчет проточной части газовой турбины»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

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

Краткое содержание задания:

Ориентирован на проверку умений по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: проводить энергетический и гидравлический расчет ТРД и ГТУ	1.Найти площадь минимального FMНН и выходного сечений решетки расширяющихся сопл, если известны параметры торможения газа перед ней $p_0 = 1,00$ МПа, $T_0 = 300$ °С и расчетное давление за ней $P_i = 0,25$ МПа. Расход перегретого пара $G = 2,0$ кг/с. Коэффициент расхода - 0,985 2.Определить площадь рабочей решетки F2, ее высоту l2 и число лопаток для промежуточной ступени газовой турбины, подобрать соответствующий тип решетки и найти коэффициент скорости на среднем диаметре. Задано: расход газа $G = 270,0$кг/с, средний диаметр по рабочим лопаткам $d_2 = 1,920$ м, углы входа $= 52,3^\circ$ и выхода $02\varepsilon = 28,3^\circ$; параметры газа за ступенью (по изоэнтропе) $p_2 = 0,278$ МПа и $T_{2t} = 900$ К; скорость выхода $w_{2t} = 365,1$ м/с; газовая постоянная $R = 289,7$ Дж/(кг • К); $(\kappa - 1)/\kappa = 0,233$. Толщину выходной кромки принять $\delta_{elkr} = 3,8$ мм, хорду профиля $b_2 = 0,120$ м 3.Экспериментальными исследованиями определены профиль-ные $f = 0,024$ и полные $f = 0,054$ потери в дозвуковой сопловой турбинной решетке (высота лопаток $l = 0,028$ м, толщина выходной кромки $\delta_{elkr} = 0,7$ мм, шаг $tr = 0,75$, размер горла $L = 0,016$ м). 4.Сопловая решетка с суживающимися каналами при начальном давлении газа $p_0 = 15,7$ МПа и противодавлении $p_x = 12,75$ МПа пропускает расход $G = 17,45$ кг/с 5.Каков будет расход газа G_x через решетку, если при постоянных начальных параметрах давление за решеткой снизить до $P_{ij} = 7,36$ МПа? Показатель изоэнтропы газа $\kappa = 1,3$
--	---

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. КМ-4 «Высотно-скоростная характеристика ТРД»

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 умений по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: уметь проводить анализ и выбор и согласование параметров основных узлов ГТД и ГТУ	1.Какие параметры связывает уравнение баланса мощности компрессора и турбины ТРД? 2.Каким условиям должна удовлетворять совместная работа компрессора и турбины? Сделайте вывод и краткий анализ уравнения совместной работы узлов газогенератора. 3.От каких факторов в общем случае зависит положение рабочей точки на характеристике компрессора? 4.Изложите метод расчета характеристик одновального ТРД по заданным характеристикам его узлов. 5.Какие бывают законы регулирования ТРД? 6.Скоростные характеристики ТРД. 7.Как зависят основные параметры ТРД от скорости полета при однопараметрическом законе регулирования $n = \text{const}$ 8.Для каких параметров следует дать ограничения при расчете характеристик ТРД?
---	---

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

1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Билет №1.

1. Факторы, влияющие на габаритные размеры турбомашин (компрессоров и турбин).
2. Виды газовых турбин и особенности их рабочего процесса.
3. Найти площадь минимального ФМНН и выходного сечений решетки расширяющихся сопел, если известны параметры торможения газа перед ней $p_0 = 1,00$ МПа, $T_0 = 300$ °С и расчетное давление за ней $P_i = 0,25$ МПа. Расход перегретого пара $G = 2,0$ кг/с. Коэффициент расхода - 0,985

Процедура проведения

Проводится в устной форме, включает теоретические вопросы и задание. К зачету допускаются студенты, успешно выполнившие и защитившие все контрольные мероприятия

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-2 Разрабатывает и эксплуатирует энергетические установки аэрокосмического назначения

Вопросы, задания

1. Виды газовых турбин и особенности их рабочего процесса
2. Требования, предъявляемые к системам охлаждения газовых турбин. Способы охлаждения корпуса, подшипников и ротора газовой турбины
3. Определить площадь рабочей решетки F2, ее высоту l2 и число лопаток для промежуточной ступени газовой турбины, подобрать соответствующий тип решетки и найти коэффициент скорости на среднем диаметре. Задано: расход газа $G = 270,0$ кг/с, средний диаметр по рабочим лопаткам $d_2 = 1,920$ м, углы входа $= 52,3^\circ$ и выхода $\alpha_2 = 28,3^\circ$; параметры газа за ступенью (по изоэнтропе) $p_2 = 0,278$ МПа и $T_{2t} = 900$ К; скорость выхода $w_{2t} = 365,1$ м/с; газовая постоянная $R = 289,7$ Дж/(кг • К); $(\kappa - 1)/\kappa = 0,233$. Толщину выходной кромки принять $\delta_{кр} = 3,8$ мм, хорду профиля $B_2 = 0,120$ м.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Цикл ГТД состоит

Ответы:

1. из двух адиабатных и двух изотермических
2. из двух адиабатных и двух изобарных
3. из двух адиабатных и двух изохорных
4. из двух изотермических и двух изобарных

Верный ответ: 2

2. При увеличении скорости истечения газа давление и температура

Ответы:

1. Давление и температура увеличивается
2. Давление и температура уменьшается
3. Давление увеличивается а температура уменьшается
4. Давление уменьшается а температура увеличивается

Верный ответ: 2

3. На эффективность силовой установки не влияет:

Ответы:

1. удельная тяга
2. удельная масса
3. удельный расход топлива
4. удельный вес топлива

Верный ответ: 4

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-3} Разрабатывает проектно-конструкторские и технологические решения объектов теплоэнергетики

Вопросы, задания

1. Задачи:

Для определения коэффициента расхода сопловой решетки при испытаниях были измерены расход пара $G = 0,37$ кг/с, параметры торможения пара перед решеткой $p_Q = 0,120$ МПа, $t_Q = 210$ °С и давление за ней $= 73,4$ кПа. Найти коэффициент расхода для данного режима, если суммарная площадь выходных сечений исследуемых каналов равна $22,65 \cdot 10^{-4}$ м².

2. Найти площадь минимального ФМНН и выходного сечений решетки расширяющихся сопел, если известны параметры торможения газа перед ней $p_0 = 1,00$ МПа, $T_0 = 300$ °С и расчетное давление за ней $P_i = 0,25$ МПа. Расход перегретого пара $G = 2,0$ кг/с. Коэффициент расхода - 0,985.

3. Экспериментальными исследованиями определены профильные $f = 0,024$ и полные $f = 0,054$ потери в дозвуковой сопловой турбинной решетке (высота лопаток $l = 0,028$ м, толщина выходной кромки $\delta_{\text{кр}} = 0,7$ мм, шаг $tr = 0,75$, размер горла $L = 0,016$ м).

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что означает показатель π_T в турбине

Ответы:

1. Разность давления в турбине
2. Степень понижения давления в турбине
3. Перепад давления в турбине
4. Степень повышения давления в турбине

Верный ответ: 2

2. Профилирование лопаток нужно для

Ответы:

1. Повысить адиабатную работу
2. Увеличение окружной скорости
3. Уменьшить потерь и улучшить передачу энергии
3. Для охлаждения двигателя

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: 60

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 составляющих

Для курсового проекта/работы:

1 семестр

Форма проведения: Защита КП/КР

I. Процедура защиты КП/КР

Студент делает краткое сообщение продолжительностью до 15 минут, в котором в сжатой форме обосновывает актуальность темы исследования, цель и задачи исследования, излагает основное содержание работы по разделам, результаты исследования и выводы, обосновывает практическую и / или научную значимость работы. Доклад должен сопровождаться иллюстративным материалом (например, мультимедийной презентацией). Преподаватель организует обсуждение, порядок которого предусматривает ответы студента на вопросы присутствующих на защите.

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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 за курсовую работу определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ». В приложение к диплому выносятся оценка за курсовую работу.