

**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
Авиационные ГТД**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Иванов М.Я.
	Идентификатор	Rb1f0c842-IvanovMY-51a2e4dc

М.Я. Иванов

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: Защита задания

1. Выполнение типового расчета "Термогазодинамический расчет ТРДД" (Расчетно-графическая работа)
2. Защита типового расчета "Термогазодинамический расчет ТРДД" (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет и выбор параметров АГТД (Контрольная работа)
2. Расчет многоступенчатых турбомашин (Контрольная работа)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	5	9	14	16
Типы современных авиационных газотурбинных двигателей (АГТД)					
Типы современных авиационных газотурбинных двигателей (АГТД)					+
Расчет и выбор параметров АГТД					
Расчет и выбор параметров АГТД		+	+	+	+
Характеристики компрессоров и турбин АГТД					
Характеристики компрессоров и турбин АГТД		+	+	+	+
Охлаждаемые турбины высокого и низкого давления					

Охлаждаемые турбины высокого и низкого давления			+	+
Камеры сгорания (КС) современных АГТД				
Камеры сгорания (КС) современных АГТД			+	+
Входные и выходные устройства АГТД				
Входные и выходные устройства АГТД			+	+
Неустановившиеся режимы работы АГТД				
Неустановившиеся режимы работы АГТД				+
Экологические характеристики АГТД				
Экологические характеристики АГТД				+
Согласование узлов высокотемпературных АГТД				
Согласование узлов высокотемпературных АГТД			+	
Вес КМ:	20	20	25	35

\$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-2ПК-2 Демонстрирует понимание влияния отдельных факторов на работу и конструкцию объекта профессиональной деятельности	Знать: тепловые схемы и основы рабочих процессов авиационных газотурбинных двигателей Уметь: анализировать влияния отдельных факторов на работу и конструкцию авиационных газотурбинных двигателей рассчитывать рабочие процессы авиационных газотурбинных двигателей	Расчет и выбор параметров АГТД (Контрольная работа) Расчет многоступенчатых турбомашин (Контрольная работа) Выполнение типового расчета "Термогазодинамический расчет ТРДД" (Расчетно-графическая работа) Защита типового расчета "Термогазодинамический расчет ТРДД" (Расчетно-графическая работа)
ПК-2	ИД-3ПК-2 Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности с учетом обеспечения надежности и эффективности	Знать: особенности проектирования конкурентоспособных авиационных газотурбинных двигателей с прогрессивными показателями качества с учетом работы в широком диапазоне режимов изменения в надежности и	Выполнение типового расчета "Термогазодинамический расчет ТРДД" (Расчетно-графическая работа) Защита типового расчета "Термогазодинамический расчет ТРДД" (Расчетно-графическая работа)

		эффективности авиационных газотурбинных двигателей и их составляющих, возникающих при изменении режимов их эксплуатации Уметь: применять современные методики расчета авиационных газотурбинных двигателей и их отдельных элементов	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Расчет и выбор параметров АГТД

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит три задачи. Время выполнения 2 академических часа.

Краткое содержание задания:

Задача №1

Для одноступенчатого вентилятора ТРДД на взлётном режиме известны следующие параметры на входе: $G_{в\Sigma} = 426$ кг/с; $c_{авх} = 220$ м/с; степень двухконтурности $m = 6,6$; относительный диаметр втулки $d_{вт} = 0,35$. На выходе из вентилятора параметры рабочего тела имеют значения: $T^*_{KI} = T^*_{KII} = 342$ К; $p^*_{KI} = p^*_{KII} = 172,4$ кПа; $c_{aKI} = 215$ м/с; $c_{aKII} = 195$ м/с. При этом поток во втором контуре имеет осевое направление ($\alpha_{KII} = 90^\circ$), а в первом - угол закрутки $\alpha_{KI} = 75^\circ$. Определить наружный и втулочный диаметры на входе и выходе из вентилятора, а также диаметр передней кромки разделителя контуров, если он расположен за РК, а форма проточной части вентилятора выполнена при $D_{cp} = \text{const}$.

Задача №2

Определить находится ли в допустимом пределе относительная длина пламенной трубы, если расход топлива $B_t = 6$ кг/с; давление за компрессором $p_b = 19,5 \cdot 10^5$ Па; количество пламенных труб $n = 10$; теплонапряженность объема $N_v = 70$; теплонапряженность сечения $N_f = 65$.

Задача №3

Определить потребные площади и основные диаметральные размеры в контрольных сечениях на входе и выходе из турбины ВД двухвального ТРДД, если расход газа $G_{ВД} = 94$ кг/с; $T^*_{г} = 1765$ К; $\eta^*_{твд} = 0,84$; $T^*_{т} = 1080$ К; $Н_{ТНД} = 260$ кДж/кг; $p^*_{т} = 350$ кПа; $\eta^*_{ТНД} = 0,9$. Направление скорости потока на входе и выходе из турбины ВД считать осевым, а величину c_{ai} , принять в соответствии с типовыми рекомендациями.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: рассчитывать рабочие процессы авиационных газотурбинных двигателей	1. Определить наружный и втулочный диаметры на входе и выходе из вентилятора, а также диаметр передней кромки разделителя контуров, если он расположен за РК, а форма проточной части вентилятора выполнена при $D_{cp} = \text{const}$. 2. Определить потребные площади и основные диаметральные размеры в контрольных сечениях на входе и выходе из турбины ВД двухвального ТРДД.
---	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если 3 задачи решены полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если 2 задачи решены полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если 1 задача решена полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не решено полностью и верно ни одной задачи.

КМ-2. Расчет многоступенчатых турбомашин

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит две задачи. Время выполнения 2 академических часа.

Краткое содержание задания:

Задача №1

Турбина ВД двухвального ТРДД характеризуется следующими параметрами: $T^*_Г = 1700$ К; $T^*_{ТВД} = 1390$ К; $p^*_Г = 1304$ кПа; $p^*_{ТВД} = 505$ кПа; $G_Г = 113,8$ кг/с; $\eta^*_{ТВД} = 0,89$; $H^*_{ТВД} = 370,7$ кДж/кг. В процессе начального этапа газодинамического проектирования величины $с_{аГ}$ и $с_{аТВД}$ были приняты равными соответственно 175 м/с и 315 м/с. Относительная высота лопаток РК на выходе из ТВД была равной ($D_{ср\ ТВД} / h_{л\ ТВД}$) = 12,7, а частота вращения пвд = 9420 мин⁻¹. Определить число ступеней в ТВД и параметры потока между ступенями.

Задача №2

Во сколько раз надо увеличить $D_{ср\ Т}$, чтобы при неизменной n и $Y_{opt} = \text{const}$ вдвое сократить число ступеней турбины?

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: рассчитывать рабочие процессы авиационных газотурбинных двигателей	1.Определить число ступеней в ТВД и параметры потока между ступенями.
---	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены верно, но есть недочеты: не указаны размерности, ошибки в арифметических вычислениях, искажающие результат не более чем в два раза.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если одна задача решена верно, а во второй задаче указан только путь решения, но она не доведена до результата.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решена только одна задача и студент не приступал к решению второй задачи или выбрал неверный путь решения.

КМ-3. Выполнение типового расчета "Термогазодинамический расчет ТРДД"

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Задание на типовой расчет выдается не позднее 6 недели. Срок выполнения типового расчета - до 14 недели. Оценивается правильность выполнения в установленные сроки.

Краткое содержание задания:

Исходные данные:

Расчетный режим – взлетный	$H=0, M=0, \kappa \Sigma=1$	$v_{en}=0$
Тяга двигателя на форсажном режиме, Н	$P=$	Н
Температура газов, К	$T_r=$	К
Суммарная степень сжатия	$\pi_{\kappa \Sigma \text{Ж}}=$	
Степень сжатия в вентиляторе	$\pi_{ven}=$	
Температура газов в форсажной камере, К	$T_f=$	К
Степень двухконтурности	$m=$	
Набегающий поток	$T_H=$	К
	$P_f=$	Па
Потери	$\sigma_{вх}=$	.

В РПЗ необходимо обосновать выбор параметров ТРДД, представить варианты расчета заданного режима, а также сформулировать подробные выводы по результатам расчетов.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: анализировать влияния отдельных факторов на работу и конструкцию авиационных газотурбинных двигателей	1.Обосновать выбор параметров ТРДД. 2.Сформулировать подробные выводы по результатам расчетов.
Уметь: применять современные методики расчета авиационных газотурбинных двигателей и их отдельных элементов	1.Провести расчет заданного режима АГТД.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в расчете присутствуют ошибки, влияющие на последующие расчеты в каком-либо из пунктов или расчет не соответствует заданию.

КМ-4. Защита типового расчета "Термогазодинамический расчет ТРДД"

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 35

Процедура проведения контрольного мероприятия: К защите типового расчета допускаются обучающиеся, правильно выполнившие типовой расчет. Время опроса - не более 15 мин.

Краткое содержание задания:

На защите обучающемуся задаются теоретические и практические вопросы по выполненному типовому расчету.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: тепловые схемы и основы рабочих процессов авиационных газотурбинных двигателей	1.Изобразите тепловую схему ТРДД. 2.Назовите основные узлы АГТД. 3.Изобразите рабочий процесс турбовентилятора.
Знать: изменения в надежности и эффективности авиационных газотурбинных двигателей и их составляющих, возникающих при изменении режимов их эксплуатации	1.Что такое приемистость АГТД? 2.Перечислите источники и способы снижения вредных выбросов. 3.Перечислите источники и способы снижения шума.
Знать: особенности проектирования конкурентоспособных авиационных газотурбинных двигателей с прогрессивными показателями качества с учетом работы в широком диапазоне режимов	1.Назовите методы оптимизации параметров авиационных газотурбинных двигателей и их отдельных элементов. 2.Изложите методику термогазодинамического расчета компрессора.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов.

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № XX	Утверждаю
МЭИ	Кафедра Паровых и газовых турбин	Зав.кафедрой
	Дисциплина: Авиационные ГТД	
	ЭнМИ	20XX г.
1. Тепловые схемы и основы рабочих процессов авиационных газотурбинных двигателей. 2. Влияние изменения среднетемпературной температуры газа на характеристики ГТД. 3. Задача. Определить работу турбины ВД двухвального ТРДД, если $T_{г*} = 1600\text{ К}$, $T_{т*} = 950\text{ К}$; $H_{*тнд} = 250\text{ кДж/кг}$. Оценить число ступеней в турбинах ВД и НД, если известно, что $D_{ср\text{ ТВД}} = D_{ср\text{ ТНД}} = 0,6\text{ м}$, окружные скорости в турбинах равны соответственно $u_{ср\text{ ТВД}} = 420\text{ м/с}$; $u_{ср\text{ тнд}} = 280\text{ м/с}$; при этом $\eta_{*твд} = 0,89$, $\eta_{*тнд} = 0,9$.		

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и практическую задачу. Время на подготовку - не более 60 мин. Время опроса - не более 30 мин.

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.Примеры теоретических вопросов:

1. Схемы газогенераторов АГТД.
2. Тепловые схемы авиационных газотурбинных двигателей.
3. Характеристики компрессоров и турбин АГТД.
4. Камеры сгорания современных АГТД.
5. Охлаждаемые турбины высокого и низкого давления.
6. Особенности выходных устройств АГТД.
7. Расчет газодинамики проточной части ВРД и его элементов.
8. Согласование узлов высокотемпературных АГТД.
9. Основные принципы модернизации и реконструкции турбин.
10. Изменение степени реактивности и поля скоростей в турбинах.
11. Влияние изменения суммарной степени сжатия на мощность и тягу ГТД.
12. Влияние переменных частоты вращения и проходной площади СА.
13. Влияние технологических отклонений на характеристики АГТД.
14. Влияние изменения степени двухконтурности на характеристики АГТД.

15. Влияние изменения давления при отборах от компрессора на работу АГТД.
16. Переменный режим работы АГТД.
17. Неустановившиеся режимы работы АГТД.
18. Основные особенности конструкции авиационных газотурбинных двигателей.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Задания формируются случайным образом из базы заданий. В тестирование включены теоретические вопросы, предполагающие либо выбор одного верного ответа из предложенных, либо нескольких верных ответов из предложенных вариантов, и задания свободного изложения и(или) небольшие вычислительные задачи на основе КМ

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

Вопросы, задания

1. Примеры практических задач:

Задача №1

Определить работу турбины ВД двухвального ТРДД, если $T_{г*} = 1600\text{ К}$, $T_{т*} = 950\text{ К}$; $H_{*тнд} = 250\text{ кДж/кг}$. Оценить число ступеней в турбинах ВД и НД, если известно, что $D_{ср\text{ ТВД}} = D_{ср\text{ ТНД}} = 0,6\text{ м}$, окружные скорости в турбинах равны соответственно $u_{ср\text{ ТВД}} = 420\text{ м/с}$; $u_{ср\text{ тнд}} = 280\text{ м/с}$; при этом $\eta_{*твд} = 0,89$, $\eta_{*тнд} = 0,9$.

Задача №2

Определить расход воздуха через осевой компрессор, если $V_{п} = 800\text{ км/ч}$; $H_{п} = 11000\text{ м}$; осевая составляющая скорости на входе в компрессор $c_{aВ} = 180\text{ м/с}$; $\sigma_{вх} = 0,9$; площадь на входе в первую ступень компрессора $F_{В} = 0,5237\text{ м}^2$ ($p_{Н} = 22,7\text{ кПа}$, $T_{Н} = 216,77\text{ К}$).

Задача №3

Определить скорость полёта самолёта в САУ на высоте $H_{п} = 11000\text{ м}$, если статическое давление на входе в компрессор $p_{в} = 35\text{ кПа}$ при $\lambda_{aВ} = 0,7$ и $\sigma_{вх} = 0,98$.

Задача №4

Определить потребные площади и основные диаметральные размеры в контрольных сечениях на входе и выходе из турбины ВД двухвального ТРДД, если расход газа $G_{гВД} = 94\text{ кг/с}$; $T_{*г} = 1765\text{ К}$; $\eta_{*твд} = 0,84$; $T_{*т} = 1080\text{ К}$; $H_{тнд} = 260\text{ кДж/кг}$; $p_{*т} = 350\text{ кПа}$; $\eta_{*тнд} = 0,9$. Направление скорости потока на входе и выходе из турбины ВД считать осевым, а величину $c_{aі}$, принять в соответствии с типовыми рекомендациями.

Задача №5

Определить находится ли в допустимом пределе относительная длина пламенной трубы, если расход топлива $B_{т} = 6\text{ кг/с}$; давление за компрессором $p_{б} = 19,5 \cdot 10^5\text{ Па}$; количество пламенных труб $n = 10$; теплонапряженность объема $H_v = 70$; теплонапряженность сечения $H_f = 65$.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Задания формируются случайным образом из базы заданий. В тестирование включены теоретические вопросы, предполагающие либо выбор одного верного ответа из предложенных, либо нескольких верных ответов из предложенных вариантов, и задания свободного изложения и(или) небольшие вычислительные задачи на основе КМ

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно выполнено практическое задание и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных процессов и явлений или решения задач.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если практическое задание не выполнено или не даны ответы на вопросы экзаменационного билета и не выполнены критерии для оценки 3 («удовлетворительно»).

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.