

**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
Моделирование физических процессов в элементах турбомашин**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Тищенко В.А.
	Идентификатор	R4ea77783-TishchenkoVA-c16aaef

В.А. Тищенко

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. РПК-5 Способен к научно-исследовательской деятельности в сфере энергетического машиностроения

ИД-1 Выполняет теоретические и экспериментальные исследования процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Лабораторная работа № 1 «Разработка параметрического эскиза внешнего вида проточной части ЦВД паровой турбины» (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа № 3 «Создание расчетной сетки для моделирования течения в межлопаточном канале решетки» (Лабораторная работа)
3. Лабораторная работа № 4 «Ступень осевой турбины. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов» (Лабораторная работа)
4. Лабораторная работа № 5. «Многоступенчатая проточная часть осевого компрессора. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов» (Лабораторная работа)
5. Лабораторная работа № 6 «Моделирование заградительной завесы охлаждающего воздуха на поверхности рабочей лопатки газовой турбины» (Лабораторная работа)
6. Лабораторная работа №2 «Проектирование элемента конструкции паровой турбины на основе параметрического эскиза проточной части» (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест «Подходы к организации цикла жизнедеятельности изделия» (Тестирование)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	6	8	10	12	14	16
Современные подходы организации цикла жизнедеятельности изделия								
Современные подходы организации цикла жизнедеятельности изделия	+							
Трехмерные системы автоматизированного проектирования (3D CAD)								
Трехмерные системы автоматизированного проектирования (3D CAD)			+	+				

Подготовка твердотельных моделей для проведения численного моделирования физических процессов							
Подготовка твердотельных моделей для проведения численного моделирования физических процессов				+			
Модели описания взаимодействия «ротор-статор» для расчета многоступенчатых турбин							
Модели описания взаимодействия «ротор-статор» для расчета многоступенчатых турбин					+	+	
Сопряженный расчет. Моделирование охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины							
Сопряженный расчет. Моделирование охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины							+
Вес КМ:	5	15	15	15	20	20	10

\$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
РПК-5	ИД-1РПК-5 Выполняет теоретические и экспериментальные исследования процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности	Знать: основные модели описания взаимодействия подвижных и неподвижных элементов в проточных частях турбомашин при численных газодинамических расчетах основные инструменты и приемы 3D проектирования, применяемые для разработки конструкции элементов турбомашин Уметь: проектировать элементы энергетического оборудования по принципу "сверху вниз" с учетом командной работы над проектом подготавливать сложную геометрию реального	Тест «Подходы к организации цикла жизнедеятельности изделия» (Тестирование) Лабораторная работа № 1 «Разработка параметрического эскиза внешнего вида проточной части ЦВД паровой турбины» (Лабораторная работа) Лабораторная работа №2 «Проектирование элемента конструкции паровой турбины на основе параметрического эскиза проточной части» (Лабораторная работа) Лабораторная работа № 3 «Создание расчетной сетки для моделирования течения в межлопаточном канале решетки» (Лабораторная работа) Лабораторная работа № 4 «Ступень осевой турбины. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов» (Лабораторная работа) Лабораторная работа № 5. «Многоступенчатая проточная часть осевого компрессора. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов» (Лабораторная работа) Лабораторная работа № 6 «Моделирование заградительной завесы охлаждающего воздуха на поверхности рабочей лопатки газовой турбины» (Лабораторная работа)

		объекта к проведению многодисциплинарных расчетов с применением численных методов параметризировать и автоматизировать процесс газодинамического расчета настраивать и проводить газодинамический расчет	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Тест «Подходы к организации цикла жизнедеятельности изделия»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 5

Процедура проведения контрольного мероприятия: Время на выполнение 10 минут.

Краткое содержание задания:

Тест состоит из 10 вопросов.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные инструменты и приемы 3D проектирования, применяемые для разработки конструкции элементов турбомашин	1. Что такое PLM система? a. Среда контроля жизнедеятельности изделия b. Инструмент хранения КД по изделию. c. Среда разработки конструктивного облика изделия 2. Что из ниже перечисленного является PLM системой? a. Siemens Teamcenter b. SolidWorks c. Inventor d. Ansys Workbench 3. Что из ниже перечисленного является CAE пакетом? a. Siemens Teamcenter b. SolidWorks c. Inventor d. Ansys CFX 4. Интегрируются ли CAE и CAD пакеты в PLM среду? a. Да b. Нет 5. Что из ниже перечисленного является CAD пакетом? a. Siemens Teamcenter b. SolidWorks c. Inventor d. Ansys CFX 6. Как расшифровывается аббревиатура CAD? a) computer-aided design b) computer-aided engineering c) computer-aided manufacturing 7. Как расшифровывается аббревиатура CAE? a) product lifecycle management b) product data management c) computer-aided engineering 8. Для чего нужно быстрое прототипирование: a) Для быстрого создания 3d модели изделия в CAD пакете
--	---

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: проектировать элементы энергетического оборудования по принципу "сверху вниз" с учетом командной работы над проектом	1.Как осуществляется параметризация эскиза? 2.Как настраиваются размеры эскиза? 3.Какой инструментарий необходимо использовать для передачи информации из Master Scetch? 4.Указать цепочку действий, необходимую для выставления основных параметров решеток. 5.Показать, как осуществляется согласование параметрических элементов эскиза.
---	---

Описание шкалы оценивания:*Оценка: 5*

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если модель построена корректно, студент полностью ответил более чем на половину вопросов, посвященных работе.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если модель построена корректно, студент ответил менее чем на половину вопросов, посвященных работе.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в модели и КД присутствуют ошибки, отвечено менее чем на половину вопросов.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если часть элементов не построено или в моделях есть критические ошибки.

КМ-3. Лабораторная работа №2 «Проектирование элемента конструкции паровой турбины на основе параметрического эскиза проточной части»

Формы реализации: Компьютерное задание

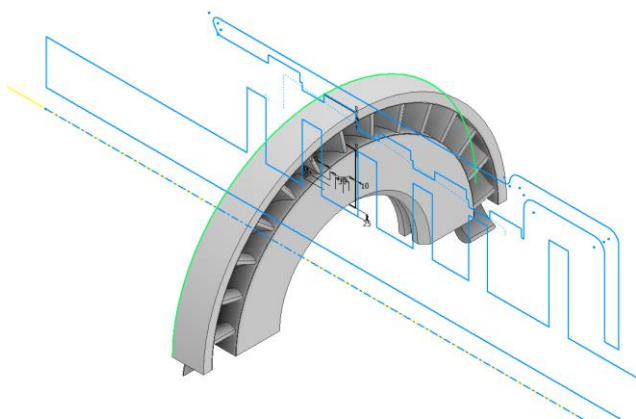
Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент предоставляет файл с результатами моделирования твердотельной модели, а также требуемые в задании графические данные. Преподаватель проверяет корректность выполненных построений и сформированной КД и задает вопросы, связанные с процедурой создания твердотельной модели. Студент демонстрирует свои знания непосредственно в программе.

Краткое содержание задания:

На основе подготовленного Master Sketch, разработать 3D модель диафрагмы одной из ступеней проточной части ЦВД.



Контрольные вопросы/задания:

Уметь: проектировать элементы энергетического оборудования по принципу "сверху вниз" с учетом командной работы над проектом	1.Показать, как происходит подключение Master Sketch к разрабатываемой модели. 2.Показать, как происходит изменение геометрии диафрагмы при изменении параметров Master Sketch. 3.Показать, как настраивается наследование параметров Master Sketch в разрабатываемую модель. 4.Показать, как осуществляется параметрическое проектирование твердотельной модели.
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если модель построена корректно, студент полностью ответил более чем на половину вопросов, посвященных работе.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если модель построена корректно, студент ответил менее чем на половину вопросов, посвященных работе.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в модели и КД присутствуют ошибки, отвечено менее чем на половину вопросов.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если часть элементов не построено или в моделях есть критические ошибки.

КМ-4. Лабораторная работа № 3 «Создание расчетной сетки для моделирования течения в межлопаточном канале решетки»

Формы реализации: Компьютерное задание

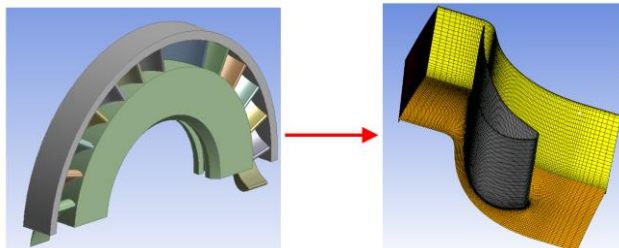
Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент предоставляет файл с результатами расчета, а также требуемые в задании графические данные. Файл открывается в программе Ansys Workbench. Преподаватель задает вопросы, связанные с процедурой проведения расчета. Студент демонстрирует свои знания непосредственно в программе.

Краткое содержание задания:

Необходимо создать расчетный домен для моделирования течения пара в межлопаточном канале сопловой решетки разработанной ранее диафрагмы.



Контрольные вопросы/задания:

Уметь: подготавливать сложную геометрию реального объекта к проведению многодисциплинарных расчетов с применением численных методов	1. Какие операции необходимо провести, чтобы настроить проточную часть межлопаточного канала с использованием BladeEditor в DesignModeller? 2. Показать основные этапы настройки расчетной сетки в TurboGrid. 3. Показать, как в TurboGrid настраиваются параметры сетки пограничного слоя. 4. Показать, как в DesignModeller “чистится” геометрия с целью удаления лишних деталей конструкции диафрагмы. 5. Показать, как настраиваются эскизы, характеризующие ограничения геометрии проточной части в DesignModeller.
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результат (расчетный домен) построен корректно, студент ответил минимум на 4 вопроса из 5.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результат (расчетный домен) построен корректно, студент ответил на 3 вопроса из 5.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результат (расчетный домен) построен некорректно, студент ответил на 2 вопроса из 5.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если либо результат (расчетный домен) не построен, либо студент ответил на 1 или ни на один вопрос из 5.

КМ-5. Лабораторная работа № 4 «Ступень осевой турбины. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов»

Формы реализации: Компьютерное задание

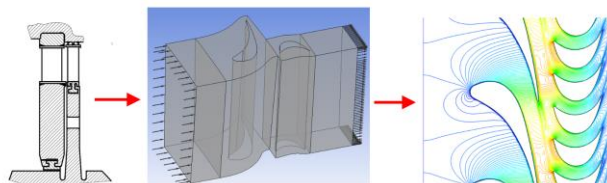
Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент предоставляет файл с результатами расчета, а также требуемые в задании графические данные. Файл открывается в программе Ansys Workbench. Преподаватель задает вопросы, связанные с процедурой проведения расчета. Студент демонстрирует свои знания непосредственно в программе

Краткое содержание задания:

Провести численное исследование работы ступени паровой турбины. На основе данных о конструкции, подготовить расчетную сетку и провести моделирование течения пара в ступени с учетом вращения рабочей решетки.



Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные модели описания взаимодействия подвижных и неподвижных элементов в проточных частях турбомашин при численных газодинамических расчетах	1.Какая модель взаимодействия ротор-статор использовалась в расчете? 2.Каковы основные отличия между моделями взаимодействия ротор-статор? 3.Какие преимущества у выбранной в расчете модели ротор-статор? 4.Что необходимо определить в расчетной области для использования моделей взаимодействия ротор-статор? 5.Какие дополнительные граничные условия необходимо указать при использовании моделей взаимодействия ротор-статор?
---	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил минимум на 4 вопроса из 5.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил на 3 вопроса из 5.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил на 2 вопроса из 5.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если либо результаты расчета некорректны, либо студент ответил менее чем на 2 вопроса или ни на один вопрос из 5.

КМ-6. Лабораторная работа № 5. «Многоступенчатая проточная часть осевого компрессора. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов»

Формы реализации: Компьютерное задание

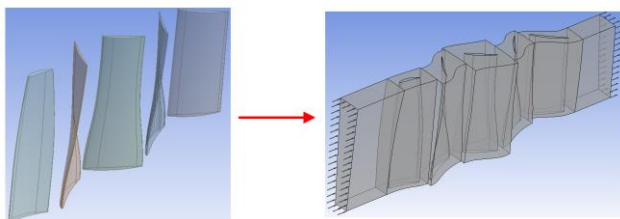
Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент предоставляет файл с результатами расчета, а также требуемые в задании графические данные. Файл открывается в программе Ansys Workbench. Преподаватель задает вопросы, связанные с процедурой проведения расчета. Студент демонстрирует свои знания непосредственно в программе

Краткое содержание задания:

Подготовить расчетный домен на основе геометрии проточной части многоступенчатого компрессора, провести численное моделирование процесса сжатия воздуха в расчетном комплексе Ansys CFX



Контрольные вопросы/задания:

Уметь: настраивать и проводить газодинамический расчет	1.Показать, как происходит создание объекта проточной части в Design Modeller. 2.Показать, как реализован механизм передачи информации из одного модуля в другой в Ansys Workbench в случае многоступенчатой осевой турбомшины. 3.Показать, как происходит параметризация расчета с точки зрения настройки расчетной сетки. 4.Показать принципы работы с инструментом Turbo Wizard в Ansys CFX Pre. 5.Показать основные этапы проведения расчета многоступенчатого компрессора в Ansys CFX Solver.
---	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил минимум на 4 вопроса из 5.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил на 3 вопроса из 5.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил на 2 вопроса из 5.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если либо результаты расчета некорректны, либо студент ответил менее чем на 2 вопроса или ни на один вопрос из 5.

КМ-7. Лабораторная работа № 6 «Моделирование заградительной завесы охлаждающего воздуха на поверхности рабочей лопатки газовой турбины»

Формы реализации: Компьютерное задание

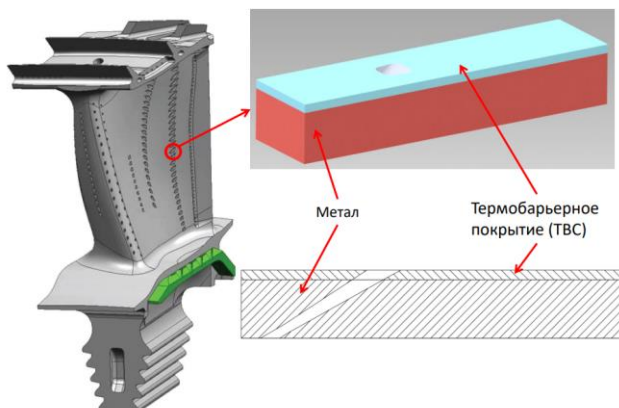
Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент предоставляет файл с результатами расчета, а также требуемые в задании графические данные. Файл открывается в программе Ansys Workbench. Преподаватель задает вопросы, связанные с процедурой проведения расчета. Студент демонстрирует свои знания непосредственно в программе.

Краткое содержание задания:

Провести численное моделирование процесса формирования заградительной завесы из охлаждающего воздуха на поверхности термобарьерного покрытия. Определить температурные поля в материале и эффективность охлаждения. Основные параметры для расчета представлены в таблицах ниже.



Metal			
T, K	c_p , J/(kg·K)	λ , W/(m·K)	ρ , kg/m ³
293,15	435	12	8080
373,15	456	12,9	8080
673,15	532	17,4	8080
773,15	561	19,3	8080
1173,15	666	27,7	8080

c_p , J/(kg·K)	λ
500	

Охлаждающий воздух:

$c = 80$ м/с

$\alpha = 30^\circ$

$T = 430$ К

Горячие газы:

$c = 400$ м/с

$\alpha = 0^\circ$

$T = 1300$ К

Выход:

$\rho = 11$

$T = 13$

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: параметризовать и автоматизировать процесс газодинамического расчета

1. Показать, как настраиваются границы интерфейсов между областью течения и твердым телом.
2. Показать, как настраиваются свойства рабочих тел, зависящие от температуры вещества.
3. Показать, как какие инструменты сеточного генератора необходимо применить для создания сопряженных стенок между твердым и газообразным объемами.
4. Показать основные методы пост обработки задач на сопряженный теплообмен.
5. Показать, как определяются основные среднеинтегральные характеристики эффективности

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил минимум на 4 вопроса из 5.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил на 3 вопроса из 5.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если результаты расчета корректны, студент ответил на 2 вопроса из 5.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если либо результаты расчета некорректны, либо студент ответил менее чем на 2 вопроса или ни на один вопрос из 5.

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Процедура проведения

Зачет по совокупности результатов текущего контроля успеваемости.

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{РПК-5} Выполняет теоретические и экспериментальные исследования процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1. По совокупности результатов текущего контроля успеваемости.

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 по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».