

**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: Устойчивое развитие в энергетике и промышленности

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Математическое моделирование**

**Москва
2025**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бурмакина А.В.
	Идентификатор	Ree6ce9d4-BurmakinaAV-003bbda

А.В.
Бурмакина

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Злывко О.В.
	Идентификатор	Ra785d4c7-ZlyvkoOV-49c1f249

О.В. Злывко

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-1 Способен осуществлять физическое и математическое моделирование процессов, в том числе с использованием информационных технологий

ИД-1 Проводит моделирование физико-механических процессов с использованием информационных технологий

2. РПК-1 Способен применять информационные технологии для проведения исследований в профессиональной деятельности

ИД-1 Демонстрирует знание информационных технологий, используемых в профессиональной деятельности

ИД-2 Проводит исследования с использованием информационных технологий

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-1 (Контрольная работа)
2. КМ-1 (Контрольная работа)
3. КМ-2 (Контрольная работа)
4. КМ-2 (Контрольная работа)
5. КМ-3 (Контрольная работа)
6. КМ-3 (Контрольная работа)
7. КМ-4 (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-4 (Тестирование)

БРС дисциплины

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 КМ-1 (Контрольная работа)
КМ-2 КМ-2 (Контрольная работа)
КМ-3 КМ-3 (Контрольная работа)
КМ-4 КМ-4 (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %			
	Индекс	КМ-	КМ-	КМ-

	КМ:	1	2	3	4
	Срок КМ:	4	8	12	14
Теоретические основы моделирования процессов гидрогазодинамики в энергетических установках					
Основные характеристики гидрогазодинамических процессов в элементах энергетических установок	+	+	+		
Теоретические основы ламинарных и турбулентных течений	+	+	+		
Численное моделирование процессов гидрогазодинамики в энергетических установках					
Методы моделирования гидрогазодинамических процессов		+	+	+	
2 Алгоритм проведения моделирования гидрогазодинамических процессов, основные этапы		+	+	+	
Вес КМ:	25	25	25	25	

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-5 КМ-1 (Контрольная работа)

КМ-6 КМ-2 (Контрольная работа)

КМ-7 КМ-3 (Контрольная работа)

КМ-8 КМ-4 (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	4	8	12	14
Теоретические основы моделирования процессов тепломассообмена в энергетических установках					
Теоретические основы моделирования процессов теплопроводности	+	+			
Теоретические основы моделирования процессов конвекции	+	+			
Теоретические основы моделирования лучистого теплообмена	+	+			
Численное моделирование процессов тепломассообмена в энергетических установках					
Численное моделирование процессов теплопроводности		+	+	+	
Численное моделирование процессов конвекции		+	+	+	
Численное моделирование процессов лучистого теплообмена		+	+	+	
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-1	ИД-1 _{ПК-1} Проводит моделирование физико-механических процессов с использованием информационных технологий	Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках методы численного моделирования процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках Уметь: применять методы численного моделирования процессов теплообмена при проектировании энергетических установок использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов	КМ-3 КМ-3 (Контрольная работа) КМ-5 КМ-1 (Контрольная работа) КМ-6 КМ-2 (Контрольная работа) КМ-7 КМ-3 (Контрольная работа) КМ-8 КМ-4 (Контрольная работа)

		теплообмена в энергетических установках	
РПК-1	ИД-1 _{РПК-1} Демонстрирует знание информационных технологий, используемых в профессиональной деятельности	Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках Уметь: использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов гидрогазодинамики в энергетических установках	КМ-1 КМ-1 (Контрольная работа) КМ-2 КМ-2 (Контрольная работа)
РПК-1	ИД-2 _{РПК-1} Проводит исследования с использованием информационных технологий	Знать: методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках Уметь: применять методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок	КМ-3 КМ-3 (Контрольная работа) КМ-4 КМ-4 (Тестирование)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

1 семестр

КМ-1. КМ-1

Формы реализации: Компьютерное задание

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 умения по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов гидрогазодинамики в энергетических установках	1. Определите коэффициент потерь энергии в конфузоре, расход и число Маха во входном сечении при следующих известных данных: - Диаметр входного сечения $D_0 = 60$ мм. - Отношение площади входного сечения к выходному $= 2$. - Угол сужения конфузора $\alpha = 16^\circ$ - Число Рейнольдса в канале 50000. - Температура рабочей среды на входе 20°C . - Давление на выходе из модели 1 атм

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-2. КМ-2

Формы реализации: Компьютерное задание

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 знания по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках	1. Определите путем численного моделирования в периодической постановке коэффициент потерь энергии в конфузоре канала, а также погрешность численного моделирования при следующих исходных данных: - Диаметр входного сечения $D_0 = 30$ мм. - Отношение площади входного сечения к выходному $= 2$. - Угол сужения конфузора $\alpha = 16^\circ$ - Число Рейнольдса в канале 45000. - Температура рабочей среды на входе 20°C. - Давление на выходе из модели 1 атм

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-3. КМ-3

Формы реализации: Компьютерное задание

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 умения по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов	1. Определите путем численного моделирования коэффициент потерь энергии в канале с внезапным расширением,

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
теплообмена в энергетических установках	погрешность численного моделирования при следующих известных данных: - Внутренний диаметр предвключенного канала $D1 = 60$ мм. - Внутренний диаметр канала после расширения $D2 = 90$ мм. - Длина предвключенного участка канала $l1 = 80$ мм. - Длина участка канала после расширения $l2 = 150$ мм. - Число Рейнольдса в канале 40 000. - Температура рабочей среды на входе 20 °С. - Давление на выходе из модели 1 атм
Уметь: применять методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок	1. Определите путем численного моделирования коэффициент потерь энергии в диффузорном канале, погрешность численного моделирования при следующих известных данных: - Диаметр входного сечения $D0 = 60$ мм. - Отношение площади выходного сечения к входному $= 2$. - Угол раскрытия диффузора $\alpha = 16^\circ$ - Число Рейнольдса в канале 50000. - Температура рабочей среды на входе 20 °С. - Давление на выходе из модели 1 атм

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

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы численного	1. Сила, связанная с перемешиванием

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках	различных объемов жидкости, способствующая образованию в потоке структурных неоднородностей: 1. сила трения 2. сила вязкости 3. центробежная сила 4. сила инерции Ответ: 4 2. Какой метод численного моделирования течений в каналах энергетического оборудования, наиболее часто используется в инженерной практике: 1. RANS 2. URANS 3. DES 4. LES Ответ: 1

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

2 семестр

КМ-5. КМ-1

Формы реализации: Компьютерное задание

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 знания по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы численного моделирования процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках	1. Построить трехмерные модели стенок элементов энергетического оборудования, в которых протекают теплообменные процессы (трубы, поверхности нагрева, охлаждаемой лопатки турбины, жаровой трубы камеры сгорания)

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-6. КМ-2

Формы реализации: Компьютерное задание

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 знания по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках	1. Построить объемную неструктурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования 2. Построить объемную структурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

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

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-7. КМ-3

Формы реализации: Компьютерное задание

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 умения по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: применять методы численного моделирования процессов теплообмена при проектировании энергетических установок	1.Сформулировать постановку задачи протекающих в элементах энергетического оборудования теплообменных процессов: выбрать подход к моделированию (сопряженный, несопряженный), задать коэффициенты физических уравнений, а также граничные и начальные условия, определить подходы к расчету свойств материалов и теплоносителей) протекающих в элементах энергетического оборудования теплообменных процессов

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-8. КМ-4

Формы реализации: Компьютерное задание

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 умения по соответствующему разделу дисциплины

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: применять методы численного моделирования процессов теплообмена при проектировании энергетических установок	1. Проанализировать влияние ключевых параметров на основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок

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: Зачет с оценкой

Пример билета

Билет №1

1. Классификация гидравлических потерь
2. Типы настроек решателя
3. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным сужением и его напряженно-деформируемому состоянию со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

Параметр	Значение
Внутренний диаметр предвключенного канала	$D1 = 60$ мм
Внутренний диаметр канала после сужения	$D2 = 27$ мм
Длина предвключенного участка канала	$l1 = 80$ мм
Длина участка канала после сужения	$l2 = 300$ мм
Толщина стенок канала	2 мм
Число Рейнольдса в канале	40 000
Температура рабочей среды на входе	20 °С
Давление на выходе из канала	1 атм

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока

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-1_{ПК-1} Проводит моделирование физико-механических процессов с использованием информационных технологий

Вопросы, задания

1. Вязкость в потоках. Касательные напряжения в потоке
2. Силы инерции и силы вязкости в потоке. Число Рейнольдса
3. Пограничный слой. Профиль скорости. Турбулентные напряжения в потоке
4. Переход к турбулентному пограничному слою на плоской пластине
5. Алгоритм проведения виртуальных гидрогазодинамических экспериментов
6. Условия виртуального эксперимента
7. Классификация граничных условий
8. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным сужением и его напряженно-деформируемому состоянию со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

Параметр	Значение
Внутренний диаметр предвключенного канала	$D1 = 60$ мм
Внутренний диаметр канала после сужения	$D2 = 27$ мм
Длина предвключенного участка канала	$l1 = 80$ мм
Длина участка канала после сужения	$l2 = 300$ мм
Толщина стенок канала	2 мм
Число Рейнольдса в канале	40 000
Температура рабочей среды на входе	20 °С
Давление на выходе из канала	1 атм

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока
9. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным расширением и его напряженно-деформируемому состоянию со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

Параметр	Значение
Внутренний диаметр предвключенного канала	$D1 = 30$ мм
Внутренний диаметр канала после расширения	$D2 = 70$ мм
Длина предвключенного участка канала	$l1 = 80$ мм
Длина участка канала после расширения	$l2 = 250$ мм

Толщина стенок канала	2 мм
Число Рейнольдса в канале	50 000
Температура рабочей среды на входе	20 °С
Давление на выходе из канала	1 атм

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработать рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока
10. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным расширением и его напряженно-деформируемому состоянию со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

Параметр	Значение
Внутренний диаметр предвключенного канала	$D1 = 30$ мм
Внутренний диаметр канала после расширения	$D2 = 70$ мм
Длина предвключенного участка канала	$l1 = 80$ мм
Длина участка канала после расширения	$l2 = 200$ мм
Толщина стенок канала	2 мм
Число Рейнольдса в канале	70 000
Температура рабочей среды на входе	20 °С
Давление на выходе из канала	1 атм

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.

12. Построена вихревая структура потока

11. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в конфузорном канале и его напряженно-деформируемого состояния со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

Параметр	Значение
Диаметр входного сечения	$D1 = 30$ мм
Отношение площади выходного сечения к входному	$=0,39$
Угол сужения конфузора	$\alpha=50^\circ$
Длина участка канала до конфузора	$l1 = 20$ мм
Длина участка канала после конфузора	$l2 = 100$ мм
Толщина стенок канала	2 мм
Число Рейнольдса в канале	20 000
Температура рабочей среды на входе	20 °С
Давление на выходе из канала	1 атм

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как называется постановка моделирования физических процессов (гидрогазодинамических, тепломассобменных), позволяющая сократить объем расчетной области:

Ответы:

1. осесимметричная
2. периодичная
3. упрощенная

Верный ответ: 2

2. При какой симметрии потока в канале круглого сечения возможно использовать упрощенную постановку моделирования:

Ответы:

1. окружная
2. радиальная
3. линейная

Верный ответ: 1

3. В каком из перечисленных каналов возможно использовать упрощенную постановку моделирования:

Ответы:

1. диффузор
 2. канал с внезапным расширением
 3. конфузор
- Верный ответ: 3
4. Выражение для силы инерции в потоке:

Ответы:

1. ρU
2. ρU
3. $\mu U/D$
4. UD/ν

Верный ответ: 1

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{РПК-1} Демонстрирует знание информационных технологий, используемых в профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1. Классификация типов гидрогазодинамических течений
2. Классификация гидравлических потерь

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Сила, связанная с перемешиванием различных объемов жидкости, способствующая образованию в потоке структурных неоднородностей:

Ответы:

1. сила трения
2. сила вязкости
3. центробежная сила
4. сила инерции

Верный ответ: 4

2. Какой диапазон y^+ необходимо использовать при использовании низкорейнольдсовых моделей турбулентности:

Ответы:

1. $y^+ < 1$
2. $y^+ < 5$
3. $y^+ > 30$
4. $5 < y^+ < 30$

Верный ответ: 2

3. Какой метод численного моделирования течений в каналах энергетического оборудования, наиболее часто используется в инженерной практике

Ответы:

1. RANS
2. URANS
3. DES
4. LES

Верный ответ: 1

3. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{РПК-1} Проводит исследования с использованием информационных технологий

Вопросы, задания

1. Методика определения потерь давления для прямой трубы постоянного сечения и канала с внезапным расширением

Материалы для проверки остаточных знаний

1. В каком канале возможно использовать постановку численного моделирования физических процессов, позволяющей сократить на расчетной области:

Ответы:

1. система охлаждения лопатки газовой турбины
2. угловой регулирующий клапан
3. модель канала охлаждения прямоугольного сечения
4. модель канала охлаждения треугольного сечения

Верный ответ: 3

2. В каком из конструктивных элементов турбины возможно при моделировании в них течения использовать упрощенную постановку:

Ответы:

1. диафрагменное уплотнение
2. выхлопной патрубок
3. послеотборная ступень

Верный ответ: 1

3. Тип течения, характеризующийся неупорядоченным (хаотичным) движением частиц жидкости:

Ответы:

1. ламинарный
2. турбулентный
3. переходный

Верный ответ: 2

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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.

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Билет №1

- 1.Что такое градиент температуры и куда он направлен?
- 2.Опишите методику расчета числа Нуссельта для охлаждаемого канала произвольной формы.
- 3.Разработать автоматизированный алгоритм обработки результатов численного моделирования процессов тепломассообмена в конструктивных элементах энергетических установок

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-1ПК-1 Проводит моделирование физико-механических процессов с использованием информационных технологий

Вопросы, задания

- 1.Что такое градиент температуры и куда он направлен?
- 2.Назовите основные методы численного решения дифференциальных уравнений в частных производных
- 3.Опишите методику расчета числа Нуссельта для охлаждаемого канала произвольной формы
- 4.Какой параметр, указываемый в настройках решателя Ansys CFX, обычно не учитывается при моделировании процесса вынужденной конвекции, но обязательно задается при моделировании процесса естественной конвекции?
- 5.Перечислите основные виды теплообмена и поясните причины протекания тепломассообменных процессов
- 6.В чем отличия сопряженной и несопряженной постановок задачи тепломассообмена?
- 7.Назовите основные виды и особенности используемых при методе конечных разностей разностных схем
- 8.Опишите последовательность создания алгоритма обработки результатов расчетов с использованием Ansys CFD-Post на примере расчета коэффициента теплоотдачи в охлаждаемом канале
- 9.Сформулировать постановку задачи протекающих в элементах энергетического оборудования тепломассообменных процессов: выбрать подход к моделированию (сопряженный, несопряженный), задать коэффициенты физических уравнений, а также граничные и начальные условия, определить подходы к расчету свойств материалов и теплоносителей) протекающих в элементах энергетического оборудования тепломассообменных процессов
- 10.Осуществить численное моделирование процессов тепломассообмена в конструктивных элементах энергетических установок
- 11.Рассчитать основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок при различных режимах работы
- 12.Проанализировать влияние ключевых параметров на основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок
- 13.Построить объемную неструктурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Причина протекания процесса теплопроводности заключается в:

Ответы:

1. контакте частиц тела, обладающих энергией разного уровня
2. разной плотности элементов потока
3. действии внешних сил
4. формировании заряженными частицами, из которых состоит вещество, электромагнитных полей

Верный ответ: 1

2. Градиент температуры является вектором, который всегда направлен в сторону:

Ответы:

1. возрастания температуры
2. убывания температуры

Верный ответ: 1

3. Условия, выполняемые для нестационарного двухмерного температурного поля:

Ответы:

$$1. t = t(x, y), \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 ;$$

$$2. t = t(x, \tau), \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0 ;$$

$$3. t = t(x, y, \tau), \frac{\partial t}{\partial z} = 0 ;$$

$$4. t = t(x, y, z), \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 .$$

Верный ответ: 3

4. Из закона Фурье следует, что интенсивность теплопроводности зависит от:

Ответы:

1. градиента температуры
2. разности температур на концах стержня к расстоянию между ними
3. площади поперечного сечения стержня
4. коэффициента теплопроводности

Верный ответ: 1, 2, 3, 4

5. Замена дифференциальных операторов в уравнении теплопроводности на их конечно разностные аналоги при неявной разностной схеме производится следующим образом:

Ответы:

$$\begin{aligned}
1. \quad \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{T_i^{n+1} - T_{i+1}^n}{\tau}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_i^{n+1} - 2 \cdot T_{i+1}^n + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}; \\
2. \quad \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}; \\
3. \quad \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{T_{i+1}^{n+1} - T_i^n}{\tau}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^n + T_i^{n+1}}{h^2}; \\
4. \quad \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{T_i^{n+1} - T_i^{n-1}}{\tau}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}.
\end{aligned}$$

Верный ответ: 2

6. Уравнение, устанавливающее связь между временным и пространственным изменением температуры T в любой точке цилиндрического стержня диаметром R при одномерной неоднородной (когда присутствуют источники и стоки теплоты) постановке и наличии теплообмена с окружающей средой, имеющей температуру T_0 , имеет вид:

Ответы:

$$\begin{aligned}
1. \quad c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right); \\
2. \quad c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{2 \cdot \alpha}{R} \cdot (T - T_0); \\
3. \quad c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{2 \cdot \alpha}{R} \cdot (T - T_0) + Q_r(x, t); \\
4. \quad c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{2 \cdot \alpha}{R} \cdot (T - T_0) + Q_r(x, t).
\end{aligned}$$

Верный ответ: 3

7. Выполнение граничных условий 1го рода (задача Дирихле) для точки M на поверхности тела предполагают выполнение следующих условий:

Ответы:

$$\begin{aligned}
1. \quad \lambda \cdot \frac{\partial T(M, t)}{\partial n} \cdot \vec{\Gamma}_n &= q(M, t); \\
2. \quad \lambda \cdot \frac{\partial T(M, t)}{\partial n} \cdot \vec{\Gamma}_n &= \alpha(T(M, t) - T_0); \\
3. \quad \lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1(M, t)}{\partial n} \cdot \vec{\Gamma}_n &= \lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2(M, t)}{\partial n} \cdot \vec{\Gamma}_n; T_1(M, t) = T_2(M, t); \\
4. \quad T(M, t) &= f(M, t).
\end{aligned}$$

Верный ответ: 4

8. Бесконечная пластина толщиной $l = 10$ мм, выполненная из стали, имеющей теплопроводность $\lambda = 50$ Вт/(м*К), теплоемкость $c_{ст} = 460$ Дж/(кг*К), плотность $\rho = 7800$ кг/м³ и температура $T_{ст} = 100^\circ\text{C}$ омывается потоком воздуха, имеющем теплопроводность $\lambda_{возд} = 0,026$ Вт/(м*К) и температуру $T_{возд} = 20^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от воздуха к пластине равен 100 Вт/(м²*К). Определить значения коэффициента температуропроводности для пластины и числа БИО. Решение расписать

Ответы:

$$\begin{aligned}
1. \quad Bi &= 38,46; a = 7,25 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с} \\
2. \quad Bi &= 0,02; a = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с} \\
3. \quad Bi &= 38,46; a = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}
\end{aligned}$$

Верный ответ: 2

9.Какая форма радиальных охлаждающих каналов лопаток высокотемпературных газовых турбин используется при упрощенном подходе к моделированию с целью оптимизации теплогидравлических характеристик?

Ответы:

1. цилиндр
2. прямоугольный параллелепипед
3. квадратный параллелепипед

Верный ответ: 1

10.Какая форма охлаждающих каналов в области выходной кромки лопаток высокотемпературных газовых турбин используется при упрощенном подходе к моделированию с целью оптимизации теплогидравлических характеристик?

Ответы:

1. цилиндр
2. прямоугольный параллелепипед
3. квадратный параллелепипед

Верный ответ: 2

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{РПК-1} Демонстрирует знание информационных технологий, используемых в профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1.Перечислите зависимости теплофизических свойств жидкости, которые необходимо задавать при создании собственного вещества в Ansys CFX для решения гидрогазодинамики и тепломассообмена?

3. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{РПК-1} Проводит исследования с использованием информационных технологий

Вопросы, задания

1.Перечислите достоинства и недостатки метода конечных элементов по сравнению с прочими методами численного решения дифференциальных уравнений в частных производных

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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 составляющей.