

**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: Энергообеспечение предприятий. Высокотемпературные процессы и установки**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Математическое моделирование**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

А.В.

Бурмакина

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Писарев Д.С.
	Идентификатор	Radb74374-PisarevDS-0915d1cb

(подпись)

Д.С. Писарев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

## 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-3 Способен к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

ИД-1 Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

ИД-2 Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

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

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	8	15
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:	15	30	30	25

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	4	8	12	15
Теоретические основы моделирования процессов теплообмена в энергетических установках					
Теоретические основы моделирования процессов теплопроводности	+	+			
Теоретические основы моделирования процессов конвекции	+	+			
Теоретические основы моделирования лучистого теплообмена	+	+			
Численное моделирование процессов теплообмена в энергетических установках					
Численное моделирование процессов теплопроводности			+	+	+
Численное моделирование процессов конвекции			+	+	+
Численное моделирование процессов лучистого теплообмена			+	+	+
Вес КМ:	20	20	30	30	

\$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-3	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	<p>Знать:</p> <p>методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках</p> <p>методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках</p> <p>Уметь:</p> <p>использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов теплообмена в энергетических установках</p> <p>использовать информационные</p>	<p>КМ-1 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-2 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-2 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-3 (Контрольная работа)</p>

		технологии, применяемые для моделирования процессов гидрогазодинамики в энергетических установках	
ПК-3	ИД-2ПК-3 Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	<p>Знать:</p> <p>методы численного моделирования процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках</p> <p>методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках</p> <p>Уметь:</p> <p>применять методы численного моделирования процессов теплообмена при проектировании энергетических установок</p> <p>применять методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок</p>	<p>КМ-3 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 (Тестирование)</p> <p>КМ-1 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 (Контрольная работа)</p>

## 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:** 15

**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:**

<p>Уметь: использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов гидрогазодинамики в энергетических установках</p>	<p>1. Определите коэффициент потерь энергии в канале с внезапным сужением, расход и число Маха в выходном сечении при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Внутренний диаметр предвключенного канала <math>D_1 = 60</math> мм.</li><li>- Внутренний диаметр канала после сужения <math>D_2 = 27</math> мм.</li><li>- Длина предвключенного участка канала <math>l_1 = 80</math> мм.</li><li>- Длина участка канала после сужения <math>l_2 = 150</math> мм.</li><li>- Число Рейнольдса в канале 40 000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе <math>20</math> °С.</li><li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul> <p>2. Определите коэффициент потерь энергии в диффузорном канале, расход и число Маха во входном сечении при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 60</math> мм.</li><li>- Отношение площади выходного сечения к входному <math>= 2</math>.</li><li>- Угол раскрытия диффузора <math>\alpha = 16^\circ</math></li><li>- Число Рейнольдса в канале 50000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе <math>20</math> °С.</li><li>• - Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul> <p>3. Определите коэффициент потерь энергии в конфузорном канале, расход и число Маха во входном сечении при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 60</math> мм.</li><li>- Отношение площади входного сечения к выходному <math>= 2</math>.</li><li>- Угол сужения конфузора <math>\alpha = 16^\circ</math></li><li>- Число Рейнольдса в канале 50000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе <math>20</math> °С.</li><li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul>
---	--

**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:** 30

**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:**

<p>Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках</p>	<p>1. Определите путем численного моделирования в периодической постановке коэффициент потерь энергии в конфузоре, а также погрешность численного моделирования при следующих исходных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 60</math> мм.</li> <li>- Отношение площади входного сечения к выходному <math>=2</math>.</li> <li>- Угол сужения конфузора <math>\alpha = 16^\circ</math></li> <li>- Число Рейнольдса в канале 50000.</li> <li>- Температура рабочей среды на входе <math>20</math> °С.</li> <li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li> </ul> <p>2. Определите путем численного моделирования в периодической постановке коэффициент потерь энергии в конфузоре, а также погрешность численного моделирования при следующих исходных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 40</math> мм.</li> <li>- Отношение площади входного сечения к выходному <math>=2</math>.</li> <li>- Угол сужения конфузора <math>\alpha = 16^\circ</math></li> <li>- Число Рейнольдса в канале 40000.</li> <li>- Температура рабочей среды на входе <math>20</math> °С.</li> <li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li> </ul> <p>3. Определите путем численного моделирования в периодической постановке коэффициент потерь энергии в конфузоре, а также погрешность численного моделирования при следующих исходных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 30</math> мм.</li> <li>- Отношение площади входного сечения к выходному <math>=2</math>.</li> </ul>
---	--



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Угол сужения конфузора <math>\alpha=16^\circ</math></li> <li>- Число Рейнольдса в канале 45000.</li> <li>- Температура рабочей среды на входе 20 °С.</li> <li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li> </ul>
--	--

**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: 50*

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

**КМ-3. КМ-3**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**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 умения по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: применять методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок</p>	<p>1. Определите путем численного моделирования коэффициент потерь энергии в канале с внезапным сужением, погрешность численного моделирования при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Внутренний диаметр предвключенного канала <math>D1 = 60</math> мм.</li> <li>- Внутренний диаметр канала после сужения <math>D2 = 27</math> мм.</li> <li>- Длина предвключенного участка канала <math>l1 = 80</math> мм.</li> <li>- Длина участка канала после сужения <math>l2 = 150</math> мм.</li> <li>- Число Рейнольдса в канале 40 000.</li> <li>- Температура рабочей среды на входе 20 °С.</li> <li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li> </ul> <p>2. Определите путем численного моделирования коэффициент потерь энергии в диффузорном канале, погрешность численного моделирования при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Диаметр входного сечения <math>D0 = 60</math> мм.</li> <li>- Отношение площади выходного сечения к входному <math>=2</math>.</li> </ul>
---	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Угол раскрытия диффузора <math>\alpha=16^\circ</math></li> <li>- Число Рейнольдса в канале 50000.</li> <li>- Температура рабочей среды на входе 20 °С.</li> <li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li> </ul> <p>3. Определите путем численного моделирования коэффициент потерь энергии в канале с внезапным расширением, погрешность численного моделирования при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Внутренний диаметр предвключенного канала <math>D1 = 60</math> мм.</li> <li>- Внутренний диаметр канала после расширения <math>D2 = 90</math> мм.</li> <li>- Длина предвключенного участка канала <math>l1 = 80</math> мм.</li> <li>- Длина участка канала после расширения <math>l2 = 150</math> мм.</li> <li>- Число Рейнольдса в канале 40 000.</li> <li>- Температура рабочей среды на входе 20 °С.</li> <li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li> </ul>
--	--

**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:**

<p>Знать: методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках</p>	<p>1. Сила, связанная с перемешиванием различных объемов жидкости, способствующая образованию в потоке структурных неоднородностей:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. сила трения</li> <li>2. сила вязкости</li> <li>3. центробежная сила</li> <li>4. сила инерции</li> </ol> <p>Ответ: 4</p> <p>2. Выражение для силы инерции в потоке:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\rho U</math></li> <li>2. <math>\rho U^2</math></li> <li>3. <math>\mu U/D</math></li> </ol>
--	--

	<p>4. <math>UD/v</math>          Ответ: 1</p> <p>3. Какой диапазон <math>y^+</math> необходимо использовать при использовании низкорейнольдсовых моделей турбулентности:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>y^+ &lt; 1</math></li> <li>2. <math>y^+ &lt; 5</math></li> <li>3. <math>y^+ &gt; 30</math></li> <li>4. <math>5 &lt; y^+ &lt; 30</math></li> </ol> <p>Ответ: 2</p> <p>4. Какой метод численного моделирования течений в каналах энергетического оборудования, наиболее часто используется в инженерной практике:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. RANS</li> <li>2. URANS</li> <li>3. DES</li> <li>4. LES</li> </ol> <p>Ответ: 1</p>
--	--

**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: 50*

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

**2 семестр**

**КМ-5. КМ-1**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**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 знания по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы численного моделирования процессов теплообмена, протекающих в энергетических	1. Построить трехмерные модели стенок элементов энергетического оборудования, в которых протекают теплообменные процессы (трубы, поверхности нагрева, охлаждаемой лопатки турбины, жаровой
--	--

установках	трубы камеры сгорания) 2. Построить трехмерные модели потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования, в которых протекают теплообменные процессы 3. Построить сопряженные трехмерные модели стенок элементов энергетического оборудования и омывающего их потока
------------	--

**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: 50*

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

**КМ-6. КМ-2**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**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 знания по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках	1. Построить объемную расчетную сетку стенок элементов энергетического оборудования 2. Построить объемную неструктурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования 3. Построить объемную структурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования
--	---

**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 "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

### **КМ-7. КМ-3**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**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 умения по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов теплообмена в энергетических установках</p>	<p>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 2.Задать настройки решателя и осуществить численное моделирование процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок 3.Осуществить численное моделирование процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок</p>
---	--

**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:** 30

**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:**

Уметь: применять методы численного моделирования процессов теплообмена при проектировании энергетических установок	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Разработать автоматизированный алгоритм обработки результатов численного моделирования процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок</li><li>2.Рассчитать основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок при различных режимах работы</li><li>3.Проанализировать влияние ключевых параметров на основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок</li></ol>
--	--

**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. Классификация гидравлических потерь
2. Типы настроек решателя
3. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным сужением и его напряженно-деформируемого состояния 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<sub>ПК-3</sub> Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

### **Вопросы, задания**

- 1.Методика определения потерь давления для прямой трубы постоянного сечения и канала с внезапным расширением
- 2.Вязкость в потоках. Касательные напряжения в потоке
- 3.Силы инерции и силы вязкости в потоке. Число Рейнольдса
- 4.Пограничный слой. Профиль скорости. Турбулентные напряжения в потоке
- 5.Переход к турбулентному пограничному слою на плоской пластине
- 6.Классификация граничных условий
- 7.Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в конфузорном канале и его напряженно-деформируемого состояния со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
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. 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

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

Ответы:

1. ламинарный
2. турбулентный
3. переходный

Верный ответ: 2

5. 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

6. 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

7. 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

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-3 Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

### Вопросы, задания

1. Классификация типов гидрогазодинамических течений
2. Классификация гидравлических потерь
3. Алгоритм проведения виртуальных гидрогазодинамических экспериментов
4. Условия виртуального эксперимента
5. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным сужением и его напряженно-деформируемого состояния 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
6. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным расширением и его напряженно-деформируемого состояния 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
7. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным расширением и его напряженно-деформируемого состояния 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

### Материалы для проверки остаточных знаний

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

Ответы:

1. окружная
2. радиальная
3. линейная

Верный ответ: 1

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. Выражение для силы инерции в потоке:

Ответы:

1.  $\rho U$
2.  $\rho U^2$
3.  $\mu U/D$
4.  $UD/\nu$

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: 50*

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

## **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 теплообмена 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-1<sub>ПК-3</sub> Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

### **Вопросы, задания**

1. В чем отличия сопряженной и несопряженной постановок задачи теплообмена?
2. Назовите основные виды и особенности используемых при методе конечных разностей разностных схем

### **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. 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

4. 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-2ПК-3 Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

### **Вопросы, задания**

1. Что такое градиент температуры и куда он направлен?
2. Перечислите зависимости теплофизических свойств жидкости, которые необходимо задавать при создании собственного вещества в Ansys CFX для решения гидрогазодинамики и тепломассообмена?
3. Назовите основные методы численного решения дифференциальных уравнений в частных производных
4. Перечислите достоинства и недостатки метода конечных элементов по сравнению с прочими методами численного решения дифференциальных уравнений в частных производных
5. Опишите методику расчета числа Нуссельта для охлаждаемого канала произвольной формы
6. Какой параметр, указываемый в настройках решателя Ansys CFX, обычно не учитывается при моделировании процесса вынужденной конвекции, но обязательно задается при моделировании процесса естественной конвекции?
7. Перечислите основные виды теплообмена и поясните причины протекания тепломассообменных процессов
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. Условия, выполняемые для нестационарного двумерного 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

2. 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

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

Ответы:

$$1. \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_{i+1}^n}{\tau}, \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_i^{n+1} - 2 \cdot T_{i+1}^n + T_{i-1}^{n+1}}{h^2};$$

$$2. \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau}, \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2};$$

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

$$4. \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^{n-1}}{\tau}, \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}.$$

Верный ответ: 2

4. 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:

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

Верный ответ: 3

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

Ответы:

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

Верный ответ: 4

6. Бесконечная пластина толщиной  $l = 10$  мм, выполненная из стали, имеющей теплопроводность  $= 50$  Вт/(м\*К), теплоемкость  $c_{ст} = 460$  Дж/(кг\*К), плотность  $= 7800$  кг/м<sup>3</sup> и температура  $T_{ст} = 100^\circ\text{C}$  омывается потоком воздуха, имеющем теплопроводность  $= 0,026$  Вт/(м\*К) и температуру  $T_{возд} = 20^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от воздуха к пластине равен  $100$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Определить значения коэффициента температуропроводности для пластины и числа БИО. Решение расписать

Ответы:

1.  $Bi = 38,46; a = 7,25 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с
2.  $Bi = 0,02; a = 1,39 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с
3.  $Bi = 38,46; a = 1,39 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с

Верный ответ: 2

## 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: 50

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



### ***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