

**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: Научно-технологические инновации и управление инновациями в теплоэнергетике**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Моделирование процессов энергетических установок**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b	

А.Н. Рогалев

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Милюков И.А.
Идентификатор	R4a280e9c-MilukovIA-621c67c1	

И.А.  
Милюков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b	

А.Н. Рогалев

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен применять информационные технологии на всех стадиях жизненного цикла наукоемкой продукции

- ИД-1 Проводит научные исследования с применением методов математического и физического моделирования, обрабатывает и интерпретирует полученные результаты
- ИД-2 Разрабатывает проектно-конструкторские и технологические решения с применением современных средств компьютерного моделирования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-2. Использование периодичной постановки при моделировании процессов гидрогазодинамики в конструктивных элементах энергетических установок (Контрольная работа)
2. КМ-3. Численное моделирование процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок (Контрольная работа)
3. КМ-5. Теоретические основы численного моделирования теплообменных процессов в элементах энергетического оборудования (Контрольная работа)
4. КМ-6. Подходы к разработке расчетных моделей для моделирования теплообменных процессов в элементах энергетического оборудования (Контрольная работа)
5. КМ-7. Численное моделирование теплогидравлических процессов в конструктивных элементах энергетических установок (Контрольная работа)
6. КМ-8. Анализ теплогидравлических процессов в конструктивных элементах энергетических установок (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1. Расчет потерь давления в типовых каналах энергетического оборудования (Контрольная работа)
2. КМ-10. Постановка граничных условий при моделировании гомогенного горения (Контрольная работа)
3. КМ-11. Методы численного моделирования процессов горения в энергетических установках (Тестирование)
4. КМ-12. Численное моделирование процессов горения при проектировании энергетических установок (Контрольная работа)
5. КМ-4. Методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках (Тестирование)
6. КМ-9. Процессы горения в энергетических установках (Тестирование)

## БРС дисциплины

1 семестр

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

	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4
	Срок КМ:	4	6	8	9
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			+	+	+
Алгоритм проведения моделирования гидрогазодинамических процессов, основные этапы			+	+	+
Вес КМ:		15	30	45	10

### 2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ- 5	КМ- 6	КМ- 7	КМ- 8
	Срок КМ:	4	10	14	11
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

### 3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ- 9	КМ- 10	КМ- 11	КМ- 12
	Срок КМ:	4	14	13	14
Теоретические основы моделирования процессов горения в энергетических установках					
Основные характеристики процессов горения в элементах энергетического оборудования		+		+	
Основы теории горения		+		+	
Численное моделирование процессов горения в энергетических установках					

Моделирования процессов горения как составная часть проектирования		+	+	+
Основы математического моделирования процессов горения		+	+	+
Основные этапы компьютерного моделирование процессов горения		+	+	+
Вес КМ:	10	30	20	40

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

### БРС курсовой работы/проекта

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %			
	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3
	Срок КМ:	6	10	16
Ознакомление с заданием на курсовую работу, методическими указаниями и исходными данными		+		+
Разработка трехмерной модели энергетического оборудования		+		+
Построение расчетной сетки для моделирования физического процесса в энергетическом оборудовании			+	+
Описание граничных условий и настроек решателя			+	+
Анализ результатов численного моделирования физического процесса в энергетическом оборудовании				+
Вес КМ:		25	30	45

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Проводит научные исследования с применением методов математического и физического моделирования, обрабатывает и интерпретирует полученные результаты	<p>Знать:</p> <p>методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках</p> <p>методы численного моделирования процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках</p> <p>методы численного моделирования процессов горения, протекающих в энергетических установках</p> <p>Уметь:</p> <p>использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов гидрогазодинамики в энергетических установках</p> <p>использовать информационные</p>	<p>КМ-1. Расчет потерь давления в типовых каналах энергетического оборудования (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4. Методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках (Тестирование)</p> <p>КМ-5. Теоретические основы численного моделирования теплообменных процессов в элементах энергетического оборудования (Контрольная работа)</p> <p>КМ-7. Численное моделирование теплогидравлических процессов в конструктивных элементах энергетических установок (Контрольная работа)</p> <p>КМ-9. Процессы горения в энергетических установках (Тестирование)</p> <p>КМ-10. Постановка граничных условий при моделировании гомогенного горения (Контрольная работа)</p>

		технологии, применяемые для моделирования процессов теплообмена в энергетических установках использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов горения в энергетических установках	
ПК-2	ИД-2ПК-2 Разрабатывает проектно-конструкторские и технологические решения с применением современных средств компьютерного моделирования	Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов горения, протекающих в энергетических установках Уметь: применять методы	КМ-2. Использование периодичной постановки при моделировании процессов гидрогазодинамики в конструктивных элементах энергетических установок (Контрольная работа) КМ-3. Численное моделирование процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок (Контрольная работа) КМ-6. Подходы к разработке расчетных моделей для моделирования теплообменных процессов в элементах энергетического оборудования (Контрольная работа) КМ-8. Анализ теплогидравлических процессов в конструктивных элементах энергетических установок (Контрольная работа) КМ-11. Методы численного моделирования процессов горения в энергетических установках (Тестирование) КМ-12. Численное моделирование процессов горения при проектировании энергетических установок (Контрольная работа)

		<p>численного моделирования процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок применять методы численного моделирования процессов горения при проектировании энергетических установок применять методы численного моделирования процессов теплообмена при проектировании энергетических установок</p>	
--	--	---	--



## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### 1 семестр

#### КМ-1. КМ-1. Расчет потерь давления в типовых каналах энергетического оборудования

**Формы реализации:** Письменная работа

**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>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 <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>D0 = 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>D0 = 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></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. Использование периодичной постановки при моделировании процессов гидрогазодинамики в конструктивных элементах энергетических установок**

**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 горения, протекающих в энергетических установках</p>	<p>1. Определите путем численного моделирования в периодичной постановке коэффициент потерь энергии в конфузормом канале, 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 периодичной постановке коэффициент потерь энергии в конфузормом канале, 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 периодичной постановке коэффициент потерь энергии в конфузормом канале, а также погрешность численного моделирования при следующих</p>
---	--

	<p>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> <li>- Угол сужения конфузора <math>\alpha = 16^\circ</math></li> <li>- Число Рейнольдса в канале 45000.</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: 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*

*Оценка: 2*

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

**КМ-3. Численное моделирование процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 45

**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 теплообмена 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>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> </ul>
---	---

	<p>- Давление на выходе из модели 1 атм</p> <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>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> </ul> <p>- Давление на выходе из модели 1 атм</p> <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>D_1 = 60</math> мм.</li> <li>- Внутренний диаметр канала после расширения <math>D_2 = 90</math> мм.</li> <li>- Длина предвключенного участка канала <math>l_1 = 80</math> мм.</li> <li>- Длина участка канала после расширения <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>
--	--

**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. Методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**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:**

Знать: методы численного моделирования процессов	1. Тип течения, характеризующийся неупорядоченным (хаотичным) движением частиц
--	--

<p>гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках</p>	<p>жидкости:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ламинарный</li> <li>2. турбулентный</li> <li>3. переходный</li> </ol> <p>Ответ: 2</p> <p>2.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>3.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</math></li> <li>3.<math>\mu U/D</math></li> <li>4.<math>UD/\nu</math></li> </ol> <p>Ответ: 1</p> <p>4.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>5.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*

*Оценка: 2*

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

## 2 семестр

### **КМ-5. Теоретические основы численного моделирования теплообменных процессов в элементах энергетического оборудования**

**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 горения, 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) 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

*Оценка: 2*

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

## **КМ-6. КМ-6. Подходы к разработке расчетных моделей для моделирования теплообменных процессов в элементах энергетического оборудования**

**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 гидрогазодинамики, 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 "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

*Оценка: 2*

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

## **КМ-7. КМ-7. Численное моделирование теплогидравлических процессов в конструктивных элементах энергетических установок**

**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)</p> <p>2. Задать настройки решателя и осуществить численное моделирование процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок</p> <p>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. Анализ теплогидравлических процессов в конструктивных элементах энергетических установок**

**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. Разработать автоматизированный алгоритм обработки результатов численного моделирования процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок</p> <p>2. Рассчитать основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок при различных режимах работы</p> <p>3. Проанализировать влияние ключевых параметров на основные теплогидравлические характеристики элементов 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

### 3 семестр

#### КМ-9. КМ-9. Процессы горения в энергетических установках

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**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 теплообмена, протекающих в энергетических установках</p>	<p>1. Коэффициент избытка окислителя – это</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. максимальное количество окислителя в зоне горения</li><li>2. отношение действительного расхода окислителя к стехиометрическому</li><li>3. минимальное количество окислителя, необходимое для полного выгорания единицы топлива</li></ol> <p>Ответ: 2</p> <p>2. Предварительное смешение топлива и окислителя в количестве меньше стехиометрического и подача дополнительного окислителя после горелочного устройства характерна для:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. неполного предварительного смешения</li><li>2. диффузионного горения</li><li>3. частичного предварительного смешения</li></ol> <p>Ответ: 3</p> <p>3. Отрыв пламени – это</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. перемещение фронта пламени от выходного отверстия горелки по направлению движения газовой смеси, сопровождающееся погасанием.</li><li>2. перемещение фронта пламени от выходного отверстия горелки по направлению движения газовой смеси, не сопровождающееся погасанием.</li><li>3. это перемещение фронта пламени из камеры сгорания в горелку, при котором горение топлива начинается непосредственно в горелке</li></ol> <p>Ответ: 1</p> <p>4. Адиабатическая температура горения – это:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. температура продуктов горения на выходе из</li></ol>
--	--

	топливосжигающего устройства 2. температура продуктов горения, достигнутая при полном сгорании топлива в условиях, когда вся теплота экзотермических реакций пошла на нагрев самих продуктов горения; 3. температура самовоспламенения горючей смеси Ответ: 2 5. Укажите факторы, влияющие на нормальную скорость распространения пламени: 1. Температура свежей горючей смеси; 2. Конструкция горелочного устройства; 3. Тип и массовое содержание разбавителя; 4. Скорости истечения компонентов горения на выходе их горелочного устройства; 5. Давление Ответ: 1, 3, 5
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 2*

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

**КМ-10. КМ-10. Постановка граничных условий при моделировании гомогенного горения**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

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

**Краткое содержание задания:**

Ориентирован на проверку умения по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов	1. Записать граничные условия (на входе) при моделировании гомогенного горения с полным предварительным смешением компонентов для следующих ИД: состав топлива: $\text{CH}_4 = 70 \%$ , $\text{C}_2\text{H}_6 =$
--	--

горения в энергетических установках	<p>30 %; <math>\alpha = 1,1</math>; окислитель: обогащенный воздух (45% кислорода). Расход топлива: 0,1 м<sup>3</sup>/с. Температуры компонентов горения: 20 °С</p> <p>2. Записать граничные условия (на входе топлива с первичным воздухом и входе вторичного воздуха) при моделировании гомогенного горения с частичным предварительным смешением компонентов для следующих ИД: состав топлива: C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 100 %; <math>\sum \nu = 1,05</math>; <math>\alpha_{перв} = 0,3</math>; окислитель: воздух. Расход топлива: 0,1 м<sup>3</sup>/с. Температуры компонентов горения: 20 °С</p> <p>3. Записать граничные условия (на входе) при моделировании гомогенного горения с полным предварительным смешением компонентов для следующих ИД: состав топлива: H<sub>2</sub> = 50 %; C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 50 %; окислитель: смесь кислорода (21%) и углекислого газа (79%) по объему. Расход топлива: 0,1 м<sup>3</sup>/с. Температуры компонентов горения: 20 °С</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-11. Методы численного моделирования процессов горения в энергетических установках

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант теста. На выполнение теста отводится 15 минут без возможности пользоваться вспомогательным материалом

### Краткое содержание задания:

Студенты получают вариант теста. На выполнение теста отводится 15 минут без возможности пользоваться вспомогательным материалом

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках	<p>1. Глобальная химическая реакция – это:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. реакция, которая на молекулярном уровне протекает точно в соответствии с уравнением</li> <li>2. реакция, описывающая лимитирующую стадию окислителя топлива</li> <li>3. реакция, которая описывает только начало и конец процесса горения следующим образом: топливо + окислитель = продукты горения</li> </ol> <p>Ответ: 3</p>
--	--

	<p>2. Константа равновесия оказывает следующую функцию:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. позволяет определить количественные соотношения между исходными веществами и продуктами реакции после длительного времени реагирования (в состоянии равновесия) и не позволяет оценить динамику процесса</li> <li>2. позволяет определить количественные соотношения между исходными веществами и продуктами реакции в любой момент времени и позволяет оценить динамику процесса</li> <li>3 позволяет определить количество окислителя, необходимого для полного выгорания топлива</li> </ol> <p>Ответ: 1</p> <p>3. Какие модели горения применяются при значении числа Дамкелера (<math>Da</math>) больше 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Модель химии с конечной скоростью (Finite-Rate Chemistry Model);</li> <li>2. Модель предварительно не перемешанной смеси (Non-Premixed Model);</li> <li>3. Модель вихревой диссипации (Eddy Dissipation model);</li> <li>4. Комбинированная модель вихревой диссипации и химии с конечной скоростью (Eddy Dissipation and Finite-Rate Chemistry)</li> </ol> <p>Ответ: 2, 3, 4</p> <p>4. Выберите характеристику модели вихревой диссипации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. позволяет вычислять скорости реакций, описываемые молекулярным взаимодействием между компонентами реагирующей смеси по теории столкновения молекул. Константы скорости определяются уравнением Аррениуса</li> <li>2. скорость химической реакции вычисляется по теории распада вихрей и с использованием уравнения Аррениуса, в качестве определяющего применяется минимальное значение</li> <li>3. основана на концепции, согласно которой химическая реакция происходит быстрее по сравнению с процессами переноса в потоке. Когда реагенты смешиваются на молекулярном уровне, они мгновенно образуют продукты</li> </ol> <p>Ответ: 3</p> <p>5. Какая из моделей лучистого теплообмена является универсальной для всех задач</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. P1 (диффузионная модель);</li> <li>2. Discrete ordinate;</li> <li>3. Discrete transfer</li> </ol> <p>Ответ: 2</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*

*Оценка: 2*

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

### **КМ-12. Численное моделирование процессов горения при проектировании энергетических установок**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

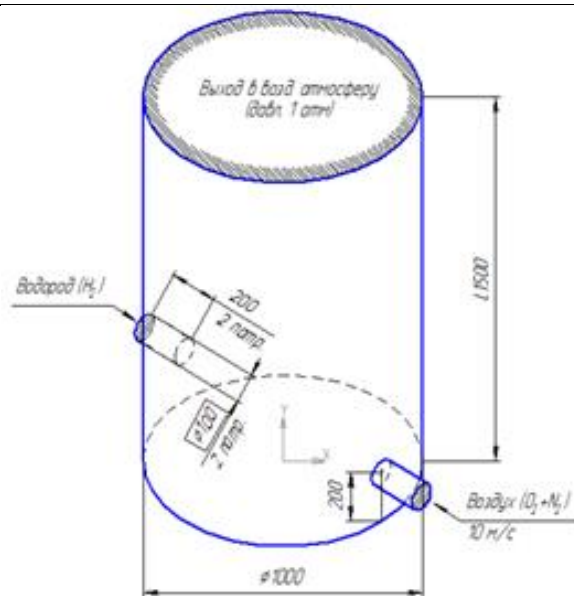
**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 90 минут

**Краткое содержание задания:**

Ориентирован на проверку умения по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

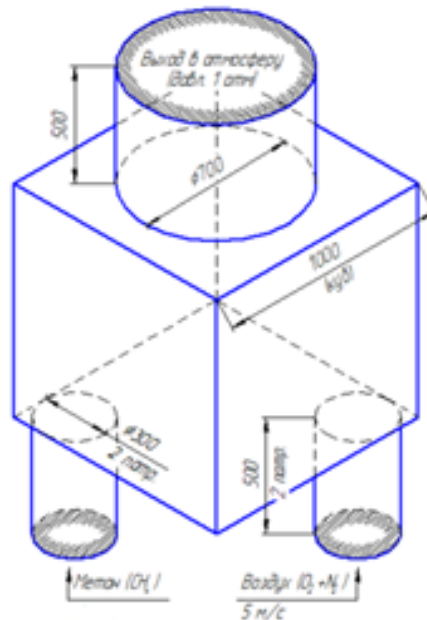
Уметь: применять методы численного моделирования процессов горения при проектировании энергетических установок	1. Определить скорость подвода топлива (водорода) в канале заданной геометрии (для достижения $\alpha=1,05$ ). Произвести расчёт смешения и горения компонентов в двух вариантах: 1. только смешение (без горения) 2. смешение и горение. Для каждого варианта отобразить поле концентраций всех компонентов смеси на плоскости симметрии, для варианта с горением дополнительно показать концентрации продуктов сгорания и температуры
--	--



2. Определить скорость подвода топлива (метана) в канале заданной геометрии (для достижения  $\alpha=1,1$ ). Произвести расчёт смешения и горения компонентов в двух вариантах:

1. только смешение (без горения)
2. смешение и горение.

Для каждого варианта отобразить поле концентраций всех компонентов смеси на плоскости симметрии, для варианта с горением дополнительно показать концентрации продуктов сгорания и температуры



3. Определить скорость подвода топлива в канале заданной геометрии (пропана) (для достижения  $\alpha=1,07$ ). Произвести расчёт смешения и горения компонентов в двух вариантах:

1. только смешение (без горения)
2. смешение и горение.

Для каждого варианта отобразить поле концентраций всех компонентов смеси на плоскости симметрии,

	для варианта с горением дополнительно показать концентрации продуктов сгорания и температуры
--	--

### **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

### **Для курсового проекта/работы**

#### **3 семестр**

##### ***I. Описание КП/КР***

Курсовая работа состоит из введения, теоретической главы, расчетно-практической главы, заключения, списка литературы

##### ***II. Примеры задания и темы работы***

###### **Пример задания**

###### **Тема 1.**

Разработка решений для уменьшения потерь энергии в диффузорном канале.

###### **Задание 1.**

Построить трехмерную модель и расчетную сетку, задать граничные условия и настройки решателя для базового варианта диффузорного канала с углом раскрытия, равным 25 градусов. Провести численное моделирование течения в базовом варианте диффузорного канала, определить коэффициент потерь энергии, построить и проанализировать эпюры полей скорости и полного давления в продольной и поперечных плоскостях канала. Предложить методы управления потоком для уменьшения потерь энергии в диффузоре. Построить трехмерную модель и расчетную сетку, задать граничные условия и настройки решателя для усовершенствованного варианта диффузорного канала. Провести численное моделирование течения в новом варианте диффузорного канала, определить коэффициент потерь энергии, построить и проанализировать эпюры полей скорости и полного давления в продольной и поперечных плоскостях канала. Сделать выводы о влиянии предложенного метода управления потоком на коэффициент потерь и структуру потока в диффузорном канале с углом раскрытия 25 градусов. Оформить расчетно-пояснительную записку.

###### **Тема 2.**

Разработка высокоэффективной теплообменной поверхности для углекислотного теплообменника.

###### **Задание 2.**

Построить трехмерную модель и расчетную сетку, задать граничные условия и настройки решателя для базового варианта теплообменной поверхности, представляющего собой канал прямоугольного поперечного сечения с установленными в шахматном порядке штырьками диаметром 2 мм и шагом установки 5 мм. Провести расчет основных теплогидравлических характеристик для базового варианта теплообменной поверхности, построить эпюру распределения плотности теплового потока, а также сформировать предложение по модификации базовой поверхности с

целью улучшения теплогидравлических характеристик. Построить трехмерную модель и расчетную сетку, задать граничные условия и настройки решателя для перспективного варианта теплообменной поверхности. Провести расчет основных теплогидравлических характеристик теплообменной поверхности, а также построить эпюру распределения плотности теплового потока. Сопоставить теплогидравлические характеристики и эпюры распределения теплового потока для базового и перспективного вариантов теплообменной поверхности. Оформить расчетно-пояснительную записку.

Тема 3.

Разработка конструкции жаровой трубы камеры сгорания газотурбинной установки, работающей на генераторном газе.

Задание 3.

По заданным исходным данным рассчитать базовую конструкцию камеры сгорания. Состав газа:  $\text{CH}_4=98,24\%$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6=0,29\%$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8=0,20\%$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}=0,09\%$ ,  $\text{N}_2=1,18\%$ .  $Q_{\text{нр}}=37,01\text{МДж/м}^3$ . Давление в камере сгорания 1,7 МПа, температура воздуха после компрессора 463,5С, температура газов на входе в турбину 1350С. Построить трехмерную модель и расчетную сетку, задать граничные условия и настройки решателя для базового варианта конструкции. Провести численное моделирование горения с многоступенчатым реакционным механизмом, оценить полноту сжигания топлива (определить величину химического недожога), равномерность распределения температуры в выходном сечении. Сформулировать предложения по модификации конструкции жаровой трубы (изменение размеров зон горения, смешения, угла раскрытия диффузора, конструкции фронтального устройства). Построить трехмерную модель и расчетную сетку, задать граничные условия и настройки решателя для перспективного варианта жаровой трубы. Провести численное моделирование горения с многоступенчатым реакционным механизмом, оценить полноту сжигания топлива (определить величину химического недожога), равномерность распределения температуры в выходном сечении. Сопоставить характеристики для базового и перспективного вариантов. Оформить расчетно-пояснительную записку

### Тематика КП/КР:

Моделирование процессов энергетических установок

#### КМ-1. КМ-1

##### Описание шкалы оценивания

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 5 («отлично»), если задание получено с опозданием не более чем на 2 недели*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 4 («хорошо»), если задание получено с опозданием не более чем на 3 недели*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 3 («удовлетворительно»), если задание получено с опозданием более чем на 3 недели*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 2 («неудовлетворительно»), если задание не выполнено*



## **КМ-2. КМ-2**

### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 5 («отлично»), если задание получено с опозданием не более чем на 2 недели*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 4 («хорошо»), если задание получено с опозданием не более чем на 3 недели*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 3 («удовлетворительно»), если задание получено с опозданием более чем на 3 недели*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 2 («неудовлетворительно»), если задание не выполнено*

## **КМ-3. КМ-3**

### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 5 («отлично»), если задание получено с опозданием не более чем на 2 недели*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 4 («хорошо»), если задание получено с опозданием не более чем на 3 недели*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 3 («удовлетворительно»), если задание получено с опозданием более чем на 3 недели*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка 2 («неудовлетворительно»), если задание не выполнено*

# 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

Экзамен проводится в устной форме, включает теоретические вопросы и задание. К экзамену 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-2 Проводит научные исследования с применением методов математического и физического моделирования, обрабатывает и интерпретирует полученные результаты

### **Вопросы, задания**

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

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
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
- 8.Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным расширением и его напряженно-деформируемого состояния со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
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	$l_2 = 250$ 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. 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. 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-2 Разрабатывает проектно-конструкторские и технологические решения с применением современных средств компьютерного моделирования

### Вопросы, задания

1. Классификация типов гидрогазодинамических течений
2. Отрыв пограничного слоя. Способы предотвращения отрыва потока
3. Алгоритм проведения виртуальных гидрогазодинамических экспериментов
4. Условия виртуального эксперимента
5. Классификация граничных условий
6. 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
7. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в конфузоре и его напряженно-деформируемого состояния со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

Параметр	Значение
Диаметр входного сечения	$D_1 = 30$ мм
Отношение площади выходного сечения к входному	$=0,39$
Угол сужения конфузора	$\alpha=50^\circ$
Длина участка канала до конфузора	$l_1 = 20$ мм
Длина участка канала после конфузора	$l_2 = 100$ 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. 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. 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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно*

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании зачетной и экзаменационной 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

Экзамен проводится в устной форме, включает теоретические вопросы и задание. К экзамену 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-2</sub> Проводит научные исследования с применением методов математического и физического моделирования, обрабатывает и интерпретирует полученные результаты

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. 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-2<sub>ПК-2</sub> Разрабатывает проектно-конструкторские и технологические решения с применением современных средств компьютерного моделирования

#### 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 теплообмена?
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 теплообменных процессов
8. В чем отличия сопряженной и несопряженной постановок задачи теплообмена?



9. Назовите основные виды и особенности используемых при методе конечных разностей разностных схем
10. Опишите последовательность создания алгоритма обработки результатов расчетов с использованием Ansys CFD-Post на примере расчета коэффициента теплоотдачи в охлаждаемом канале
11. 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
12. Осуществить численное моделирование процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок
13. Рассчитать основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок при различных режимах работы
14. Проанализировать влияние ключевых параметров на основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок
15. 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:

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

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

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

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

Верный ответ: 2

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:

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

7. 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

8. 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  $T_{ст} = 100$ °С омывается потоком воздуха, имеющем теплопроводность  $= 0,026$  Вт/(м\*К) и температуру  $T_{возд} = 20$ °С. 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

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

## 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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании зачетной и экзаменационной составляющих

#### **3 семестр**

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

#### **Пример билета**

Билет №1

1. Принцип работы камеры сгорания. Распределение коэффициенты избытка воздуха по зонам КС. Основные требования, предъявляемые к камерам сгорания ГТУ
2. Постановка внутренних и граничных условий при моделировании горения. Выбор модели лучистого теплообмена
3. Рассчитать адиабатическую температуру горения для сжигания 1 м<sup>3</sup> природного газа состава  $CH_4 = 94 \%$ ,  $C_2H_6 = 6 \%$ . Низшая теплота сгорания  $Q_n = 8620$  ккал/м<sup>3</sup>  
Коэффициент избытка окислителя принять равным  $\alpha = 1,15$ . Окислитель - смесь кислорода и углекислого газа (объемная доля кислорода - 40 %). Физической теплотой топлива и окислителя можно пренебречь

#### **Процедура проведения**

Экзамен проводится в устной форме, включает теоретические вопросы и задание. К экзамену допускаются студенты, успешно выполнившие и защитившие все контрольные мероприятия

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1пк-2 Проводит научные исследования с применением методов математического и физического моделирования, обрабатывает и интерпретирует полученные результаты

#### **Вопросы, задания**

1. Рассчитать адиабатическую температуру горения для сжигания 1 м<sup>3</sup> доменного газа состава  $CO = 27 \%$ ,  $H_2 = 5 \%$ ,  $CH_4 = 0,3 \%$ ,  $N_2 = 55 \%$ ,  $CO_2 = 12,5 \%$ ,  $O_2 = 0,2 \%$ , низшая теплота сгорания  $Q_n = 4070$  кДж/м<sup>3</sup>, коэффициент избытка воздуха принять равным  $\alpha = 1,2$ . Температуре воздуха 200 °С
2. Написать граничные условия (на входе) при моделировании горения пропана для следующих условий:

диффузионное сжигание пропана с обогащенным воздухом (объемная доля кислорода - 45 %). Расход пропана - 0,1 м<sup>3</sup>/с. Температура топлива и окислителя - 20 °С. Коэффициент избытка воздуха - 1,1

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Глобальная химическая реакция – это:

Ответы:

1. реакция, которая на молекулярном уровне протекает точно в соответствии с уравнением
2. реакция, описывающая лимитирующую стадию окислителя топлива
3. реакция, которая описывает только начало и конец процесса горения следующим образом: топливо + окислитель = продукты горения

Верный ответ: 3

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Разрабатывает проектно-конструкторские и технологические решения с применением современных средств компьютерного моделирования

### Вопросы, задания

1. Принцип работы камеры сгорания. Распределение коэффициенты избытка воздуха по зонам КС. Основные требования, предъявляемые к камерам сгорания ГТУ
2. Типы горелочных устройств в камерах сгорания ГТУ. Проскок и отрыв пламени
3. Тепловой баланс камеры сгорания. Адиабатическая температура горения
4. Классификация пламён по характеру движения реакционной среды и степени предварительной подготовки смеси. Примеры
5. Понятие фронта пламени. Нормальная и реальная скорость распространения пламени. Факторы, влияющие на скорость распространения пламени
6. Классификация химических реакций. Глобальные и элементарные реакции. Понятие молекулярности
7. Скорость химической реакции. Формула Аррениуса
8. Постановка внутренних и граничных условий при моделировании горения. Выбор реакционного механизма
9. Постановка внутренних и граничных условий при моделировании горения. Выбор модели горения
10. Постановка внутренних и граничных условий при моделировании горения. Выбор модели лучистого теплообмена
11. Сколько воздуха, кг, требуется подать на сжигание 200 м<sup>3</sup> генераторного газа состава: СО – 29 %, Н<sub>2</sub> – 14 %, СН<sub>4</sub> – 3 %, СО<sub>2</sub> – 6,5 %, N<sub>2</sub> – 45 %, О<sub>2</sub> – 2,5 %, если коэффициент избытка воздуха равен 2,5
12. Определить избыток воздуха в продуктах горения газовой смеси состава: СО – 15 %, С<sub>4</sub>Н<sub>10</sub> – 45 % О<sub>2</sub> – 30 %, N<sub>2</sub> – 10 %, если коэффициент избытка воздуха равен 1,9
13. Написать граничные условия (на входе) при моделировании горения метана для следующих условий:  
кинетическое сжигание метана с обогащенным воздухом (объемная доля кислорода - 50 %). Расход метана - 0,1 м<sup>3</sup>/с. Температура топлива и окислителя - 20 °С. Коэффициент избытка воздуха - 1,05

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Коэффициент избытка окислителя – это

Ответы:

1. максимальное количество окислителя в зоне горения
2. отношение действительного расхода окислителя к стехиометрическому

3. минимальное количество окислителя, необходимое для полного выгорания единицы топлива

Верный ответ: 2

2. Предварительное смешение топлива и окислителя в количестве меньше стехиометрического и подача дополнительного окислителя после горелочного устройства характерна для:

Ответы:

1. неполного предварительного смешения
2. диффузионного горения
3. частичного предварительного смешения

Верный ответ: 3

3. Отрыв пламени – это

Ответы:

1. перемещение фронта пламени от выходного отверстия горелки по направлению движения газовой смеси, сопровождающееся погасанием.
2. перемещение фронта пламени от выходного отверстия горелки по направлению движения газовой смеси, не сопровождающееся погасанием.
3. это перемещение фронта пламени из камеры сгорания в горелку, при котором горение топлива начинается непосредственно в горелке

Верный ответ: 1

4. Адиабатическая температура горения – это:

Ответы:

1. температура продуктов горения на выходе из топливосжигающего устройства
2. температура продуктов горения, достигнутая при полном сгорании топлива в условиях, когда вся теплота экзотермических реакций пошла на нагрев самих продуктов горения;
3. температура самовоспламенения горючей смеси

Верный ответ: 2

5. Укажите факторы, влияющие на нормальную скорость распространения пламени:

Ответы:

1. Температура свежей горючей смеси;
2. Конструкция горелочного устройства;
3. Тип и массовое содержание разбавителя;
4. Скорости истечения компонентов горения на выходе из горелочного устройства;
5. Давление

Верный ответ: 1, 3, 5

6. Константа равновесия оказывает следующую функцию:

Ответы:

1. позволяет определить количественные соотношения между исходными веществами и продуктами реакции после длительного времени реагирования (в состоянии равновесия) и не позволяет оценить динамику процесса
2. позволяет определить количественные соотношения между исходными веществами и продуктами реакции в любой момент времени и позволяет оценить динамику процесса
3. позволяет определить количество окислителя, необходимого для полного выгорания топлива

Верный ответ: 1

7. Какие модели горения применяются при значении числа Дамкелера ( $Da$ ) больше 1:

Ответы:

1. Модель химии с конечной скоростью (Finite-Rate Chemistry Model);
2. Модель предварительно не перемешанной смеси (Non-Premixed Model);
3. Модель вихревой диссипации (Eddy Dissipation model);

4. Комбинированная модель вихревой диссипации и химии с конечной скоростью (Eddy Dissipation and Finite-Rate Chemistry)

Верный ответ: 2, 3, 4

8. Выберите характеристику модели вихревой диссипации:

Ответы:

1. позволяет вычислять скорости реакций, описываемые молекулярным взаимодействием между компонентами реагирующей смеси по теории столкновения молекул. Константы скорости определяются уравнением Аррениуса
2. скорость химической реакции вычисляется по теории распада вихрей и с использованием уравнения Аррениуса, в качестве определяющего применяется минимальное значение
3. основана на концепции, согласно которой химическая реакция происходит быстрее по сравнению с процессами переноса в потоке. Когда реагенты смешиваются на молекулярном уровне, они мгновенно образуют продукты

Верный ответ: 3

9. Какая из моделей лучистого теплообмена является универсальной для всех задач

Ответы:

1. P1 (диффузионная модель);
2. Discrete ordinate;
3. Discrete transfer

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. на вопросы углубленного уровня

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании зачетной и экзаменационной составляющих

**Для курсового проекта/работы:**

**3 семестр**

**Форма проведения: Защита КП/КР**

### ***I. Процедура защиты КП/КР***

Защита курсовых работ проводится в специально отведенное время в составе комиссии, состоящей минимум из двух преподавателей. Защита состоит из доклада студента по теме курсовой работы на 5-10 минут и ответов на вопросы членов комиссии. На защите студенту необходимо показать знание темы, степень овладения научным методом мышления, логическим и статистическим анализом исследуемых проблем, способностью к самостоятельному научному труду, умение четко и ясно излагать свои мысли, в том числе при ответах на вопросы членов комиссии

### ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент продемонстрировал в работе элементы научного творчества, предложил самостоятельные выводы, представил аргументированную критику и провел самостоятельный анализ фактического материала на основе глубоких знаний научно-технической литературы по теме, подготовил работу в полном соответствии с правилами оформления, дал правильные ответы на не меньше чем 90% вопросов членов комиссии

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент выполнил работу на достаточном теоретическом уровне, полно и всесторонне осветил вопросы темы, но не продемонстрировал должной степени творчества, столкнулся со сложностями аргументированно отстаивать свою точку зрения, оформил работу с незначительными ошибками, дал правильные ответы на не меньше чем 75% вопросов членов комиссии

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент в работе продемонстрировал знание теоретического материала по рассматриваемой теме, но не проявил умение логически стройно их изложения, самостоятельного анализа источников, представил отдельные ошибочные положения, дал правильные ответы на не меньше чем 50% вопросов членов комиссии

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

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