

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Техника и физика низких температур**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Тепломассообменные аппараты низкотемпературных установок**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ястребов А.К.
	Идентификатор	R0e5b2163-YastrebovAK-2523fea7

(подпись)

А.К.

Ястребов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(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 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей низкотемпературных процессов

ИД-1 Владеет математическим аппаратом теплогидравлических расчетов при разработке схемных решений низкотемпературных систем

2. ПК-4 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных низкотемпературных установок

ИД-2 Знает принцип действия и характеристики оборудования и технологических схем низкотемпературных систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Основы расчета теплообменных аппаратов (Контрольная работа)
2. Регенеративные теплообменные аппараты (Контрольная работа)
3. Рекуперативные теплообменные аппараты (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Конструкционные материалы низкотемпературной техники (Коллоквиум)
2. Основы расчета теплообменных аппаратов (Коллоквиум)
3. Регенеративные теплообменные аппараты (Коллоквиум)
4. Рекуперативные теплообменные аппараты (Коллоквиум)
5. Теплофизические свойства теплоносителей (Коллоквиум)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	6	11	14
Основы расчета и конструирования теплообменных аппаратов					
Теплофизические свойства теплоносителей		+			
Конструкционные материалы низкотемпературной техники			+		
Основы расчета теплообменных аппаратов				+	+
	Вес КМ:	20	20	35	25

## 8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	4	8	10	12
Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов					
Рекуперативные теплообменные аппараты		+	+		
Регенеративные теплообменные аппараты				+	+
Вес КМ:		30	30	20	20

\$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> Владеет математическим аппаратом теплогидравлических расчетов при разработке схемных решений низкотемпературных систем	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета рекуперативных теплообменных аппаратов различных типов</li> <li>особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета регенеративных теплообменных аппаратов различных типов</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>выполнять теплогидравлический расчет рекуперативных теплообменных аппаратов</li> <li>выполнять теплогидравлический расчет регенеративных теплообменных аппаратов воздуходелительных установок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Рекуперативные теплообменные аппараты (Коллоквиум)</li> <li>Рекуперативные теплообменные аппараты (Контрольная работа)</li> <li>Регенеративные теплообменные аппараты (Коллоквиум)</li> <li>Регенеративные теплообменные аппараты (Контрольная работа)</li> </ul>
ПК-4	ИД-2 <sub>ПК-4</sub> Знает принцип	Знать:	Теплофизические свойства теплоносителей (Коллоквиум)

	<p>действия и характеристики оборудования и технологических схем низкотемпературных систем</p>	<p>особенности определения свойств теплоносителей для расчета оборудования низкотемпературных систем          особенности применения различных конструкционных материалов в оборудовании низкотемпературных систем          Уметь:          вычислять характеристики теплообменного оборудования низкотемпературных систем (коэффициент теплопередачи, средний температурный напор и т.д.)          вычислять площадь поверхности теплообмена и гидравлическое сопротивление для трубчатых поверхностей теплообмена в низкотемпературных системах</p>	<p>Конструкционные материалы низкотемпературной техники (Коллоквиум)          Основы расчета теплообменных аппаратов (Коллоквиум)          Основы расчета теплообменных аппаратов (Контрольная работа)</p>
--	--	---	--

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

7 семестр

### КМ-1. Теплофизические свойства теплоносителей

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы на вопросы в устной форме

#### Краткое содержание задания:

Особенности определения свойств теплоносителей для расчета оборудования низкотемпературных систем

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: особенности определения свойств теплоносителей для расчета оборудования низкотемпературных систем	<ol style="list-style-type: none"><li>1. При каких давлениях и температурах можно использовать теорию идеальных газов для расчета свойств теплоносителей?</li><li>2. Как зависят теплоемкость, вязкость и теплопроводность газов от температуры и давления?</li><li>3. Как зависят теплоемкость, вязкость и теплопроводность жидкостей от температуры и давления?</li><li>4. Что такое относительная влажность и влагосодержание?</li><li>5. Как меняется влагосодержание при нагреве и охлаждении влажного воздуха?</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

### КМ-2. Конструкционные материалы низкотемпературной техники

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устные ответы на вопросы

#### Краткое содержание задания:

особенности применения различных конструкционных материалов в оборудовании низкотемпературных систем

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: особенности применения различных конструкционных материалов в оборудовании низкотемпературных систем</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как меняются прочностные характеристики металлов и сплавов при понижении температуры?</li> <li>2. При каких условиях в низкотемпературной технике можно использовать углеродистые стали?</li> <li>3. Какие металлы и сплавы могут использоваться для изготовления конструкций, работающих при криотемпературах?</li> <li>4. Какие материалы используются в низкотемпературной технике для уплотнения разъемных соединений?</li> <li>5. Какие достоинства и недостатки имеют стеклопластики как материал для изготовления тепловых мостов?</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

**КМ-3. Основы расчета теплообменных аппаратов**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы на вопросы в устной форме

**Краткое содержание задания:**

Характеристики теплообменного оборудования низкотемпературных систем (коэффициент теплопередачи, средний температурный напор и т.д.)

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: вычислять характеристики теплообменного оборудования низкотемпературных систем (коэффициент теплопередачи, средний температурный напор и т.д.)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. При каких условиях можно использовать среднелогарифмический температурный напор?</li> <li>2. Что такое эффективность ребренной поверхности и почему она отличается от эффективности одиночного ребра?</li> <li>3. При каких условиях тепловая мощность, передаваемая в идеальном теплообменнике, будет максимальной?</li> <li>4. Из каких составляющих складывается гидравлическое сопротивление теплообменных аппаратов?</li> <li>5. В каких случаях между противоточной и прямоточной схемой движения не будет разницы по эффективности теплообменника?</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

#### КМ-4. Основы расчета теплообменных аппаратов

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Письменное решение задач

#### Краткое содержание задания:

Вычислить площадь поверхности теплообмена и гидравлическое сопротивление для трубчатых поверхностей теплообмена в низкотемпературных системах

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: вычислять площадь поверхности теплообмена и гидравлическое сопротивление для трубчатых поверхностей теплообмена в низкотемпературных системах	<p>1.1) Найти средний температурный напор в теплообменнике, в котором поток воздуха (<math>T_{гвх} = 300</math> К, <math>T_{гвых} = 200</math> К, <math>G_{г} = 0,3</math> кг/с) охлаждается потоком гелия (<math>T_{хвх} = 180</math> К, <math>G_{х} = 0,05</math> кг/с).</p> <p>2) Найти коэффициент теплопередачи в теплообменнике типа «труба в трубе» (внутренняя труба 18x15 мм, наружная труба – 30x25 мм). Во внутренней трубе течет воздух (<math>p_{г} = 1</math> МПа, <math>T_{г} = 250</math> К, <math>w_{г} = 2</math> м/с), между трубами – азот (<math>p_{х} = 0,15</math> МПа, <math>T_{х} = 230</math> К, <math>w_{х} = 12</math> м/с).</p> <p>2.1) Найти средний температурный напор в теплообменнике, в котором поток воздуха (<math>T_{гвх} = 300</math> К, <math>T_{гвых} = 250</math> К, <math>G_{г} = 0,6</math> кг/с) охлаждается потоком азота (<math>T_{хвх} = 230</math> К, <math>G_{х} = 0,45</math> кг/с).</p> <p>2) Найти коэффициент теплопередачи в теплообменнике типа «труба в трубе» (внутренняя труба 16x13 мм, наружная труба – 25x22 мм). Во внутренней трубе течет гелий (<math>p_{г} = 2</math> МПа, <math>T_{г} = 200</math> К, <math>w_{г} = 3</math> м/с), между трубами – азот (<math>p_{х} = 0,1</math> МПа, <math>T_{х} = 180</math> К, <math>w_{х} = 10</math> м/с).</p> <p>3.1) Найти средний температурный напор в теплообменнике, в котором поток гелия (<math>T_{гвх} = 250</math> К, <math>T_{гвых} = 200</math> К, <math>G_{г} = 0,1</math> кг/с) охлаждается потоком азота (<math>T_{хвх} = 180</math> К, <math>G_{х} = 0,65</math> кг/с).</p> <p>2) Найти коэффициент теплопередачи в теплообменнике типа «труба в трубе» (внутренняя труба 20x17 мм, наружная труба – 32x28 мм). Во внутренней трубе течет гелий (<math>p_{г} = 1,5</math> МПа, <math>T_{г} = 250</math> К, <math>w_{г} = 4</math> м/с), между трубами – воздух (<math>p_{х} = 0,2</math> МПа, <math>T_{х} = 230</math> К, <math>w_{х} = 15</math> м/с).</p> <p>4.1) Найти средний температурный напор в теплообменнике, в котором поток азота (<math>T_{гвх} = 300</math> К, <math>T_{гвых} = 250</math> К, <math>G_{г} = 0,6</math> кг/с) охлаждается потоком гелия (<math>T_{хвх} = 230</math> К, <math>G_{х} = 0,1</math> кг/с).</p>
--	--

	<p>2) Найти коэффициент теплопередачи в теплообменнике типа «труба в трубе» (внутренняя труба 16x13 мм, наружная труба – 32x28 мм). Во внутренней трубе течет азот (<math>p_2 = 2</math> МПа, <math>T_2 = 200</math> К, <math>w_2 = 6</math> м/с), между трубами – воздух (<math>p_x = 0,5</math> МПа, <math>T_x = 230</math> К, <math>w_x = 10</math> м/с).</p> <p>5.1) Найти средний температурный напор в теплообменнике, в котором поток воздуха (<math>T_{гвх} = 300</math> К, <math>T_{гвых} = 200</math> К, <math>G_г = 0,25</math> кг/с) охлаждается потоком кислорода (<math>T_{хвх} = 185</math> К, <math>G_x = 0,3</math> кг/с).</p> <p>2) Найти коэффициент теплопередачи в теплообменнике типа «труба в трубе» (внутренняя труба 24x20 мм, наружная труба – 40x36 мм). Во внутренней трубе течет воздух (<math>p_2 = 1</math> МПа, <math>T_2 = 250</math> К, <math>w_2 = 2</math> м/с), между трубами – азот (<math>p_x = 0,15</math> МПа, <math>T_x = 230</math> К, <math>w_x = 12</math> м/с).</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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*

**8 семестр**

**КМ-5. Рекуперативные теплообменные аппараты**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы на вопросы в устной форме

**Краткое содержание задания:**

Особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета рекуперативных теплообменных аппаратов различных типов

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета рекуперативных теплообменных аппаратов различных типов</p>	<p>1.Почему теплообменники типа «труба в трубе» используются при малых расходах теплоносителей?</p> <p>2.Какие способы уменьшения проходного сечения в межтрубном пространстве используются в кожухотрубных теплообменниках?</p> <p>3.Почему в витых теплообменниках количество труб</p>
--	--

	<p>в слое необходимо увеличивать по мере удаления от сердечника?</p> <p>4.Какие типы навивки труб на сердечник используются в витых теплообменниках?</p> <p>5.Почему кожухотрубные теплообменники не используются при больших изменениях температур теплоносителей?</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-6. Рекуперативные теплообменные аппараты**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение задач

**Краткое содержание задания:**

Выполнить теплогидравлический расчет рекуперативных теплообменных аппаратов

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: выполнять теплогидравлический расчет рекуперативных теплообменных аппаратов</p>	<p>1.Выполнить тепловой и гидравлический расчет прямотрубного теплообменника типа «труба в трубе» при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: воздух, <math>p_{гвх} = 1</math> МПа, <math>T_{гвх} = 250</math> К, <math>T_{гвых} = 230</math> К, <math>G_{г} = 0,02</math> кг/с. 2) Обратный поток: азот, <math>p_{хвх} = 0,15</math> МПа, <math>T_{хвх} = 215</math> К, <math>G_{х} = 0,03</math> кг/с.</p> <p>2.Выполнить тепловой и гидравлический расчет прямотрубного теплообменника типа «труба в трубе» при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: гелий, <math>p_{гвх} = 1</math> МПа, <math>T_{гвх} = 200</math> К, <math>T_{гвых} = 180</math> К, <math>G_{г} = 0,01</math> кг/с. 2) Обратный поток: воздух, <math>p_{хвх} = 0,2</math> МПа, <math>T_{хвх} = 165</math> К, <math>G_{х} = 0,05</math> кг/с.</p> <p>3.Выполнить тепловой и гидравлический расчет прямотрубного теплообменника типа «труба в трубе» при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: водород, <math>p_{гвх} = 2</math> МПа, <math>T_{гвх} = 240</math> К, <math>T_{гвых} = 230</math> К, <math>G_{г} = 0,01</math> кг/с. 2) Обратный поток: воздух, <math>p_{хвх} = 0,3</math> МПа, <math>T_{хвх} = 210</math> К, <math>G_{х} = 0,07</math> кг/с.</p> <p>4.Выполнить тепловой и гидравлический расчет прямотрубного теплообменника типа «труба в трубе» при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: воздух, <math>p_{гвх} = 2</math> МПа, <math>T_{гвх} = 220</math> К, <math>T_{гвых} = 200</math> К, <math>G_{г} = 0,01</math> кг/с. 2) Обратный поток: азот, <math>p_{хвх} = 0,2</math> МПа, <math>T_{хвх} = 180</math> К, <math>G_{х} = 0,012</math> кг/с.</p> <p>5.Выполнить тепловой и гидравлический расчет</p>
---	---

	прямотрубного теплообменника типа «труба в трубе» при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: гелий, $p_{гвх} = 2$ МПа, $T_{гвх} = 250$ К, $T_{гвых} = 200$ К, $G_{г} = 0,005$ кг/с. 2) Обратный поток: азот, $p_{хвх} = 0,15$ МПа, $T_{хвх} = 185$ К, $G_{х} = 0,025$ кг/с.
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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-7. Регенеративные теплообменные аппараты**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы на вопросы в устной форме

**Краткое содержание задания:**

Особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета регенеративных теплообменных аппаратов различных типов

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета регенеративных теплообменных аппаратов различных типов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В каких установках низкотемпературной техники используются регенераторы?</li> <li>2. Сколько регенераторов необходимо для непрерывной работы воздухоразделительной установки?</li> <li>3. Какие типы насадок используются в регенераторах воздухоразделительных установок?</li> <li>4. Что такое температурный гистерезис в регенераторах и как можно его уменьшить?</li> <li>5. Каким образом осуществляется очистка воздуха от примесей в регенераторах воздухоразделительных 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

### КМ-8. Регенеративные теплообменные аппараты

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение задач

#### Краткое содержание задания:

Выполнить теплогидравлический расчет регенеративных теплообменных аппаратов воздуходелительных установок

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: выполнять теплогидравлический расчет регенеративных теплообменных аппаратов воздуходелительных установок</p>	<p>1.Выполнить тепловой и гидравлический расчет азотного регенератора воздуходелительной установки при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: <math>p_{гвх} = 0,6</math> МПа, <math>T_{гвх} = 300</math> К, <math>T_{гвых} = 105</math> К, <math>G_{г} = 2</math> кг/с. 2) Обратный поток: <math>p_{хвх} = 0,5</math> МПа, <math>T_{хвх} = 95</math> К, <math>G_{х} = 1,9</math> кг/с. Насадка насыпная, диаметр гранул 6 мм, продолжительность полупериода 250 с.</p> <p>2.Выполнить тепловой и гидравлический расчет кислородного регенератора воздуходелительной установки при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: <math>p_{гвх} = 0,7</math> МПа, <math>T_{гвх} = 295</math> К, <math>T_{гвых} = 105</math> К, <math>G_{г} = 3</math> кг/с. 2) Обратный поток: <math>p_{хвх} = 0,15</math> МПа, <math>T_{хвх} = 95</math> К, <math>G_{х} = 3,25</math> кг/с. Насадка насыпная, диаметр гранул 5 мм, продолжительность полупериода 300 с.</p> <p>3.Выполнить тепловой и гидравлический расчет азотного регенератора воздуходелительной установки при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: <math>p_{гвх} = 0,7</math> МПа, <math>T_{гвх} = 300</math> К, <math>T_{гвых} = 105</math> К, <math>G_{г} = 2,5</math> кг/с. 2) Обратный поток: <math>p_{хвх} = 0,55</math> МПа, <math>T_{хвх} = 100</math> К, <math>G_{х} = 2,3</math> кг/с. Насадка насыпная, диаметр гранул 5 мм, продолжительность полупериода 300 с.</p> <p>4.Выполнить тепловой и гидравлический расчет кислородного регенератора воздуходелительной установки при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: <math>p_{гвх} = 0,6</math> МПа, <math>T_{гвх} = 295</math> К, <math>T_{гвых} = 105</math> К, <math>G_{г} = 2</math> кг/с. 2) Обратный поток: <math>p_{хвх} = 0,15</math> МПа, <math>T_{хвх} = 95</math> К, <math>G_{х} = 2,1</math> кг/с. Насадка насыпная, диаметр гранул 6 мм, продолжительность полупериода 250 с.</p> <p>5.Выполнить тепловой и гидравлический расчет азотного регенератора воздуходелительной установки при следующих исходных данных: 1) Прямой поток: <math>p_{гвх} = 0,65</math> МПа, <math>T_{гвх} = 295</math> К, <math>T_{гвых} = 105</math> К, <math>G_{г} = 3</math> кг/с. 2) Обратный поток: <math>p_{хвх} = 0,5</math></p>
--	--

	МПа, $T_{хвх} = 95 \text{ К}$ , $G_x = 3,2 \text{ кг/с}$ . Насадка насыпная, диаметр гранул 4 мм, продолжительность полупериода 250 с.
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Билет 1

1. Основные уравнения, используемые для расчета теплообменных аппаратов
2. В теплообменнике прямой поток гелия ( $T_{гвх} = 300 \text{ К}$ ,  $G_{г} = 0,01 \text{ кг/с}$ ) охлаждается обратным потоком гелия ( $T_{гвх} = 90 \text{ К}$ ,  $G_{г} = 0,01 \text{ кг/с}$ ). Коэффициент теплопередачи  $k = 500 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ , поверхность теплообмена  $F = 2 \text{ м}^2$ . Найти тепловую мощность, считая, что можно использовать среднеарифметический температурный напор.

Процедура проведения

Устные ответы на вопросы, письменное решение задачи

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-4 Знает принцип действия и характеристики оборудования и технологических схем низкотемпературных систем

Вопросы, задания

1. Билет 1

1. Основные уравнения, используемые для расчета теплообменных аппаратов
2. В теплообменнике прямой поток гелия ( $T_{гвх} = 300 \text{ К}$ ,  $G_{г} = 0,01 \text{ кг/с}$ ) охлаждается обратным потоком гелия ( $T_{гвх} = 90 \text{ К}$ ,  $G_{г} = 0,01 \text{ кг/с}$ ). Коэффициент теплопередачи  $k = 500 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ , поверхность теплообмена  $F = 2 \text{ м}^2$ . Найти тепловую мощность, считая, что можно использовать среднеарифметический температурный напор.

2. Билет 10

1. Определение выходных температур теплоносителей при поверочном расчете теплообменных аппаратов
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 125 \text{ К}$ ,  $T_{гвых} = 85 \text{ К}$ ,  $G_{г} = 0,02 \text{ кг/с}$ ) охлаждается кипящим азотом при атмосферном давлении (паросодержание на входе равно 0, на выходе 1). Коэффициент теплопередачи равен  $600 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Найти площадь поверхности теплообмена и массовый расход азота.

3. Билет 9

1. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 300 \text{ К}$ ,  $T_{гвых} = 250 \text{ К}$ ,  $G_{г} = 0,1 \text{ кг/с}$ ) охлаждается потоком азота ( $T_{гвх} = 200 \text{ К}$ ,  $G_{г} = 0,62 \text{ кг/с}$ ). Найти средний температурный напор для прямотока и противотока.

4. Билет 8

1. Расчет среднего температурного напора при постоянных значениях теплоемкостей теплоносителей и коэффициента теплопередачи
2. Найти коэффициент теплоотдачи при течении воздуха в трубе диаметром 25 мм, если средняя температура воздуха равна 200 К, а массовый расход равен 0,01 кг/с. Динамическая вязкость и теплопроводность воздуха при температуре 200 К равны  $133 \cdot 10^{-7} \text{ Па}\cdot\text{с}$  и  $0,0185 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  соответственно.

5. Билет 7

1. Расчет коэффициента теплопередачи для оребренных поверхностей
2. Найти потери давления на трение при течении воздуха в трубе диаметром 20 мм и длиной 2 м, если средняя температура воздуха равна 200 К, давление равно 0,25 МПа, массовый расход равен 0,005 кг/с. Динамическая вязкость воздуха при температуре 200 К равна  $133 \cdot 10^{-7}$  Па·с.

6.Билет 6

1. Расчет коэффициента теплопередачи для поверхностей без оребрения
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 100$  К,  $T_{гвых} = 85$  К,  $G_{г} = 0,01$  кг/с) охлаждается азотом, кипящем при атмосферном давлении. Найти требуемый массовый расход азота, если на входе – насыщенная жидкость, а на выходе – насыщенный пар. Теплота парообразования азота 198 кДж/кг.

7.Билет 5

1. Построение  $h - x$  диаграммы влажного воздуха, основные процессы в  $h - x$  диаграмме
2. Тепловая мощность теплообменника типа «труба в трубе» равна 200 Вт, средний температурный напор равен 12 К, коэффициенты теплоотдачи для горячего и холодного потока равны 200 Вт/(м<sup>2</sup>·К) и 100 Вт/(м<sup>2</sup>·К) соответственно. Найти длину теплообменника, если наружный диаметр внутренней трубы равен 20 мм, а толщина стенки равна 1,5 мм.

8.Билет 4

1. Теплофизические свойства реальных газов и жидкостей
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 300$  К,  $T_{гвых} = 90$  К,  $G_{г} = 0,01$  кг/с) охлаждается потоком азота ( $T_{хвх} = 80$  К,  $G_{х} = 0,05$  кг/с). Коэффициент теплопередачи равен 200 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Найти площадь поверхности теплообмена.

9.Билет 3

1. Применение молекулярно-кинетической теории для расчета теплофизических свойств газовых теплоносителей
2. В теплообменном аппарате поток воздуха ( $T_{гвх} = 300$  К,  $T_{гвых} = 200$  К,  $G_{г} = 1$  кг/с) охлаждается потоком азота ( $T_{хвх} = 170$  К). Найти требуемый расход азота и эффективность теплообменника для прямотока и противотока, если недорекуперация составляет 10 К.

10.Билет 2

1. Роль теплообменных аппаратов в низкотемпературной технике на примере дроссельной рефрижераторной установки.
2. Плоская стенка имеет одностороннее оребрение. Длина ребра 10 мм, толщина 1 мм, шаг ребер 3 мм, теплопроводность ребер 100 Вт/(м·К). Найти коэффициент теплопередачи, если коэффициенты теплоотдачи с разных сторон стенки равны 500 Вт/(м<sup>2</sup>·К) и 50 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. При каких условиях можно использовать среднелогарифмический температурный напор?

Ответы:

**1) Прямоточная или противоточная схема движения, постоянный коэффициент теплоотдачи и постоянные теплоемкости теплоносителей**

2) Отношение температурных напоров на концах теплообменника больше, чем 1,7

3) Отсутствие фазовых переходов в теплообменнике

Верный ответ: 1) Прямоточная или противоточная схема движения, постоянный коэффициент теплоотдачи и постоянные теплоемкости теплоносителей

2. Почему эффективность оребренной поверхности больше эффективности одиночного ребра?

Ответы:

- 1) Площадь оребренной поверхности больше площади одиночного ребра
- 2) На оребренной поверхности есть участки между ребрами, эффективность которых равна единице**
- 3) На оребренной поверхности коэффициент теплоотдачи всегда будет больше, чем на одиночном ребре  
Верный ответ: На оребренной поверхности есть участки между ребрами, эффективность которых равна единице
3. Какие материалы используются для уплотнения разъемных соединений при низких температурах?  
Ответы:
  - 1) Резина
  - 2) Полимерные материалы (фторопласт, поликарбонаты)**
  - 3) Уплотнение разъемных соединений при низких температурах не используется  
Верный ответ: Полимерные материалы (фторопласт, поликарбонаты)
4. Почему углеродистые стали не могут использоваться при температурах ниже 220 К?  
Ответы:
  - 1) У них сильно падает ударная вязкость, и они становятся хрупкими**
  - 2) У них сильно падают прочностные характеристики (предел текучести, предел прочности)
  - 3) У них сильно увеличивается теплоемкость  
Верный ответ: У них сильно падает ударная вязкость, и они становятся хрупкими
5. Как меняется влагосодержание при охлаждении влажного воздуха?  
Ответы:
  - 1) Увеличивается
  - 2) Не меняется, пока воздух не охладится до температуры насыщения, потом уменьшается**
  - 3) Уменьшается  
Верный ответ: Не меняется, пока воздух не охладится до температуры насыщения, потом уменьшается
6. При каких давлениях и температурах можно использовать теорию идеального газа для расчета свойств теплоносителей?  
Ответы:
  - 1) При высоких температурах и низких давлениях**
  - 2) При низких температурах и высоких давлениях
  - 3) При низких температурах и низких давлениях  
Верный ответ: При высоких температурах и низких давлениях
7. Чему равна максимально возможная тепловая мощность, которая может передаваться в идеальном теплообменнике?  
Ответы:
  - 1) Произведение максимального теплового эквивалента на разность выходных температур теплоносителей
  - 2) Произведение максимального теплового эквивалента на разность входных температур теплоносителей
  - 3) Произведение минимального теплового эквивалента на разность входных температур теплоносителей**  
Верный ответ: Произведение минимального теплового эквивалента на разность входных температур теплоносителей
8. Какая схема движения теплоносителей является наиболее эффективной?  
Ответы:
  - 1) Прямоток
  - 2) Противоток**
  - 3) Перекрестный ток

Верный ответ: Противоток

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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 семестровой и аттестационной составляющих.

### **8 семестр**

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### **Пример билета**

Билет 1

1. Конструкция теплообменных аппаратов типа «труба в трубе»
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 110 \text{ К}$ ,  $T_{гвых} = 85 \text{ К}$ ) охлаждается азотом, кипящим при атмосферном давлении. Массовый расход азота  $G_x = 0,05 \text{ кг/с}$ , на входе – насыщенная жидкость, а на выходе – насыщенный пар. Найти массовый расход гелия. Теплота парообразования азота  $198 \text{ кДж/кг}$ .

### **Процедура проведения**

Устные ответы на вопросы, письменное решение задач

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1пк-3 Владеет математическим аппаратом теплогидравлических расчетов при разработке схемных решений низкотемпературных систем

### **Вопросы, задания**

1. Билет 8

1. Теплогидравлический расчет пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов
2. В теплообменнике поток воздуха ( $T_{гвх} = 300 \text{ К}$ ,  $T_{гвых} = 120 \text{ К}$ ,  $G_g = 0,5 \text{ кг/с}$ ) охлаждается потоком кислорода ( $T_{хвх} = 100 \text{ К}$ ,  $G_x = 0,6 \text{ кг/с}$ ). Коэффициент теплопередачи равен  $250 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ . Найти площадь поверхности теплообмена.

## 2.Билет 10

1. Теплогидравлический расчет регенераторов воздуходелительных установок
2. Найти коэффициент теплоотдачи при течении гелия в трубе диаметром 20 мм, если средняя температура гелия равна 150 К, а массовый расход равен 0,01 кг/с. Динамическая вязкость и теплопроводность гелия при температуре 150 К равны  $128 \cdot 10^{-7}$  Па·с и 0,095 Вт/(м·К) соответственно.

## 3.Билет 9

1. Особенности работы и конструкция регенераторов воздуходелительных установок
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 120$  К,  $T_{гвых} = 85$  К,  $G_g = 0,01$  кг/с) охлаждается кипящим азотом при атмосферном давлении (паросодержание на входе равно 0, на выходе 1). Коэффициент теплопередачи равен 500 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Найти площадь поверхности теплообмена и массовый расход азота.

## 4.Билет 6

1. Теплогидравлический расчет витых поперечно-точных теплообменных аппаратов
2. В теплообменнике поток воздуха ( $T_{гвх} = 250$  К,  $T_{гвых} = 220$  К,  $G_g = 0,5$  кг/с) охлаждается потоком гелия ( $T_{хвх} = 190$  К,  $G_x = 0,15$  кг/с). Найти средний температурный напор для прямотока и противотока.

## 5.Билет 5

1. Конструкция витых поперечно-точных теплообменных аппаратов
2. Тепловая мощность теплообменника типа «труба в трубе» равна 300 Вт, средний температурный напор равен 15 К, коэффициенты теплоотдачи для горячего и холодного потока равны 250 Вт/(м<sup>2</sup>·К) и 150 Вт/(м<sup>2</sup>·К) соответственно. Найти длину теплообменника, если наружный диаметр внутренней трубы равен 25 мм, а толщина стенки равна 1,5 мм.

## 6.Билет 4

1. Теплогидравлический расчет кожухотрубных теплообменных аппаратов
2. Найти потери давления на трение при течении гелия в трубе диаметром 25 мм и длиной 5 м, если средняя температура гелия равна 150 К, давление равно 1 МПа, массовый расход равен 0,01 кг/с. Динамическая вязкость гелия при температуре 150 К равна  $128 \cdot 10^{-7}$  Па·с.

## 7.Билет 3

1. Конструкция кожухотрубных теплообменных аппаратов
2. Найти коэффициент теплоотдачи при течении гелия в трубе диаметром 20 мм, если средняя температура гелия равна 150 К, а массовый расход равен 0,01 кг/с. Динамическая вязкость и теплопроводность гелия при температуре 150 К равны  $128 \cdot 10^{-7}$  Па·с и 0,095 Вт/(м·К) соответственно.

## 8.Билет 2

1. Теплогидравлический расчет теплообменных аппаратов типа «труба в трубе»
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 300$  К,  $T_{гвых} = 250$  К,  $G_g = 0,1$  кг/с) охлаждается потоком азота ( $T_{хвх} = 200$  К,  $G_x = 0,62$  кг/с). Найти средний температурный напор для прямотока и противотока.

## 9.Билет 1

1. Конструкция теплообменных аппаратов типа «труба в трубе»
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 110$  К,  $T_{гвых} = 85$  К) охлаждается азотом, кипящим при атмосферном давлении. Массовый расход азота  $G_x = 0,05$  кг/с, на входе – насыщенная жидкость, а на выходе – насыщенный пар. Найти массовый расход гелия. Теплота парообразования азота 198 кДж/кг.

## 10.Билет 7

1. Конструкция пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов
2. В теплообменнике поток гелия ( $T_{гвх} = 300$  К,  $T_{гвых} = 180$  К,  $G_g = 0,1$  кг/с) охлаждается потоком азота ( $T_{хвх} = 140$  К). Найти требуемый расход азота и

эффективность теплообменника для прямотока и противотока, если недорекуперация составляет 5 К.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В чем заключается главный недостаток пластинчато-ребристых теплообменников?

Ответы:

- 1) Высокая стоимость
- 2) Низкая прочность**
- 3) Сложность изготовления

Верный ответ: Низкая прочность

2. Какие теплообменники с трубчатой поверхностью имеют самую высокую компактность?

Ответы:

- 1) Витые поперечно-точные**
- 2) Кожухотрубные
- 3) Труба в трубе

Верный ответ: Витые поперечно-точные

3. Почему в кожухотрубных теплообменниках трубы размещают по сторонам правильных шестиугольников или по окружностям?

Ответы:

- 1) Для удобства изготовления
- 2) Для равномерного распределения теплоносителя по трубам
- 3) Для равномерного обтекания трубного пучка теплоносителем, который течет в межтрубном пространстве**

Верный ответ: Для равномерного обтекания трубного пучка теплоносителем, который течет в межтрубном пространстве

4. Какой общий недостаток всех теплообменников с трубчатой поверхностью теплообмена?

Ответы:

- 1) Низкий коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубок**
- 2) Высокие потери давления внутри трубок
- 3) Низкая компактность

Верный ответ: Низкий коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубок

5. Как разделены теплоносители в рекуператорах и в регенераторах?

Ответы:

- 1) В рекуператорах – в пространстве, в регенераторах – во времени**
- 2) В рекуператорах – в пространстве, в регенераторах не разделены
- 3) В рекуператорах – во времени, в регенераторах – в пространстве

Верный ответ: В рекуператорах – в пространстве, в регенераторах – во времени

6. Сколько регенераторов необходимо для непрерывной работы воздухоразделительной установки?

Ответы:

- 1) Один
- 2) Два
- 3) Четыре**

Верный ответ: Четыре

7. За счет какого процесса происходит очистка воздуха от примесей в регенераторах воздухоразделительных установок?

Ответы:

- 1) Вымораживание**
- 2) Адсорбция
- 3) Фильтрация

Верный ответ: Вымораживание

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

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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 семестровой и аттестационной составляющих.