

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Наименование образовательной программы: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Тепломассообменное оборудование**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гаряев А.Б.
	Идентификатор	R75984319-GariayevAB-a6831ea7

(подпись)

А.Б. Гаряев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

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

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

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере теплоэнергетики и теплотехники

ИД-3 Знает устройство, принцип работы и принимает обоснованные технические решения при разработке схем и/или конструкций энергетического оборудования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 «Расчет рекуперативных теплообменников», (Контрольная работа)

2. Контрольная работа №2 «Расчет выпарных, сушильных и перегонных установок» (Контрольная работа)

3. Расчетное задание «Тепломассообменные аппараты - решение практических задач» (Решение задач)

4. Тест №1 «Классификация теплообменного оборудования. Основные определения и понятия» (Тестирование)

5. Тест №2 «Параметры влажного воздуха» (Тестирование)

6. Тест №3 «Принцип действия теплообменных аппаратов» - тест по лекциям (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Коллоквиум «Основы проектирования и расчета теплообменных аппаратов» (Коллоквиум)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	8	10	12	14	15	15
Виды теплообменного оборудования и общие подходы к их расчету								
Области применения и классификация теплообменного оборудования тепловых электростанций, тепловых сетей, промышленных технологических установок, инженерных систем зданий.	+	+	+	+	+	+	+	+
Виды и методы расчета тепломассообменного оборудования	+	+	+				+	+

Теплопередающие установки							
Рекуперативные теплообменные аппараты	+	+		+		+	+
Регенеративные теплообменные аппараты	+	+		+		+	+
Смесительные теплообменники			+	+		+	+
Теплоиспользующие установки							
Выпарные установки				+	+	+	+
Сушильные установки				+	+	+	+
Перегонные и ректификационные установки				+	+	+	+
Специальные вопросы							
Вспомогательное оборудование теплоиспользующих установок. Подбор основного и вспомогательного оборудования.					+	+	+
Микроканальные теплообменные аппараты						+	+
Вес КМ:	12	20	10	12	20	1	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

### БРС курсовой работы/проекта

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	8	12	14	15
Тепловой расчет		+			
Компоновочный и гидравлический расчет			+		
Подготовка РПЗ				+	
Подготовка чертежей					+
Вес КМ:		30	30	10	30

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-3ПК-1 Знает устройство, принцип работы и принимает обоснованные технические решения при разработке схем и/или конструкций энергетического оборудования	<p>Знать:</p> <p>основные методы расчета теплообменного оборудования предприятий, входящего в состав объектов теплоэнергетики и теплотехники</p> <p>основные термины, определения и понятия (применительно к теплообменному оборудованию предприятий), основные виды теплоносителей, применяемые в теплообменном оборудовании, их свойства и характеристики</p> <p>Уметь:</p> <p>составлять и рассчитывать уравнения теплового баланса и теплопередачи для теплообменного оборудования различного</p>	<p>Тест №1 «Классификация теплообменного оборудования. Основные определения и понятия» (Тестирование)</p> <p>Контрольная работа №1 «Расчет рекуперативных теплообменников», (Контрольная работа)</p> <p>Тест №2 «Параметры влажного воздуха» (Тестирование)</p> <p>Тест №3 «Принцип действия теплообменных аппаратов» - тест по лекциям (Тестирование)</p> <p>Контрольная работа №2 «Расчет выпарных, сушильных и перегонных установок» (Контрольная работа)</p> <p>Расчетное задание «Теплообменные аппараты - решение практических задач» (Решение задач)</p> <p>Коллоквиум «Основы проектирования и расчета теплообменных аппаратов» (Коллоквиум)</p>

		<p>назначения рассчитывать процессы смешения в смесительных теплообменниках и аппаратах влажного воздуха проводить подбор рекуперативного и регенеративного теплообменного оборудования, выпускаемого отечественными и зарубежными предприятиями, в соответствии с их функциональным назначением и требуемыми характеристиками, а также проводить тепловые и гидравлические расчеты теплообменного оборудования и его отдельных элементов рассчитывать основные режимные и конструктивные параметры теплоиспользующего тепломассообменного оборудования (сушильных, выпарных, перегонных</p>	
--	--	--	--

		установок, ректификационных колонн) использовать программы расчетов характеристик теплообменного оборудования анализировать и использовать информацию о новых типах и конструкциях теплообменного оборудования, принципах их действия, методах их расчета и проектирования	
--	--	--	--

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

### КМ-1. Тест №1 «Классификация теплообменного оборудования. Основные определения и понятия»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 12

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование рассчитано на 5-10 минут и проводится в конце практического занятия. Студентам раздаются листы с вопросами. В каждом варианте задания по 6 вопросов с вариантами ответов. На некоторые вопросы нужно отметить несколько вариантов ответа, чтобы ответ считался правильным.

#### Краткое содержание задания:

Выбрать правильный ответ из предложенный вариантов

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: основные методы расчета теплообменного оборудования предприятий, входящего в состав объектов теплоэнергетики и теплотехники</p>	<p>1. Вариант.1.. Назвать области применения теплообменных аппаратов:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a. энергетика</li><li>b. теплоснабжение</li><li>c. промышленность</li><li>d. транспорт</li><li>e. в быту</li><li>f. сельское хозяйство</li><li>g. ничего из вышеперечисленного</li><li>h. все из вышеперечисленного</li></ul> <p>2. По принципу действия теплообменники разделяют на:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a. радиаторные</li><li>b. смесительные</li><li>c. конденсаторные</li><li>d. сушильные</li><li>e. регенеративные</li><li>f. ректификационные</li><li>g. выпарные</li><li>h. кожухотрубные</li><li>i. секционные</li><li>j. стальные</li><li>k. барабанные</li><li>l. теплообменные</li><li>m. квазимонохроматические</li><li>n. пластинчатые</li><li>o. калориферы</li><li>p. охладительные</li><li>q. воздухо-воздушные</li><li>r. конвекторные</li></ul>
---	---

- s. медные
- t. спирально-навивные
- и. рекуперативные
- v. нагревающие
- w. паровые
- x. латунные

3. Наиболее эффективной схемой движения теплоносителей в теплообменнике является:

- a. прямоточная.
- b. одноходовая.
- c. противоточная.
- d. четырехходовая.
- e. перекрестноточная.
- f. схема с двумя ходами по горячему теплоносителю и четырьмя ходами по холодному теплоносителю.
- g. сложная схема тока.

4. Что является поверхностью теплообмена в смесительных теплообменных аппаратах?

- a. поверхность разделяющей стенки труб
- b. поверхность гофрированных пластин
- c. поверхность насадки
- d. смоченная поверхность насадки
- e. поверхность капель и струй жидкости
- f. ничего из вышеперечисленного
- g. все из вышеперечисленного

5. Какие теплоносители могут применяться в кожухотрубных теплообменниках?

- a. газ-газ
- b. воздух-дымовые газы
- 1. c. вода-дымовые газы
- 2. d. воздух-вода
- 3. e. вода
- 4. f. водяной пар
- 5. g. масло

6. Что является целью поверочного расчета?

- a. определение коэффициентов теплоотдачи
- b. определение коэффициента теплопередачи
- c. определение площади поверхности теплообмена
- d. определение тепловой мощности теплообменника
- e. определение температур теплоносителей на выходе
- 1. f. определение температур теплоносителей на входе
- 2. g. определение конструктивных характеристик теплообменного аппарата
- 3. h. определение падения давления теплоносителей
- 4. i. определение мощности, необходимой для прокачки

	<p>теплоносителей</p> <p>5. j. определение толщин элементов конструкции и прочности соединений</p> <p>6. k. определение затрат на производство теплообменника, подбора оптимальных режимов работы и конструктивных параметров аппарата</p> <p>7. l. все из вышеперечисленного</p> <p>8. m. ничего из вышеперечисленного</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

**КМ-2. Контрольная работа №1 «Расчет рекуперативных теплообменников»,**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** На работу отводится от 40 минут во время практического занятия. Студентам раздаются варианты заданий, каждый из которых содержит 1 задачу и 1 теоретический вопрос по материалам лекций. Студент должен дать исчерпывающий ответ на вопрос в письменном виде, а также решить задачу и представить решение в надлежащей форме.

**Краткое содержание задания:**

Решение задач на тему рекуперативных теплообменных аппаратов.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: проводить подбор рекуперативного и регенеративного теплообменного оборудования, выпускаемого отечественными и зарубежными предприятиями, в соответствии с их функциональным назначением и требуемыми характеристиками, а также проводить тепловые и гидравлические расчеты теплообменного оборудования и</p>	<p>1. Вариант 1:</p> <p>1. Назвать типы теплообменных аппаратов по направлению движения теплоносителей. Какой из них является более эффективным?</p> <p>2. Оцените площадь поверхности противоточного трубчатого оребренного теплообменного аппарата, если в нем нагревается воздух от температуры -19 оС до температуры +38 оС. Расход воздуха 435 м<sup>3</sup>/ч. Воздух нагревается горячей водой с температурой +45 оС и расходом 1,1 м<sup>3</sup>/ч. Коэффициент оребрения</p>
--	---

его отдельных элементов	<p>труб принять равным 12. Эффективность оребренной поверхности принять равной 0,91.</p> <p>Вариант 2:</p> <p>1. Рассказать о различии в принципах работы рекуперативных и регенеративных теплообменных аппаратов.</p> <p>2. Пусть имеется теплообменник, работающий по схеме противотока. Известны следующие величины: <math>G_1 = 15,7</math> кг/с, <math>cp_1 = cp_2 = 4,2</math> кДж/(кг·К), <math>t_1' = 156</math> оС, <math>t_1'' = 120</math> оС, <math>t_2' = 12</math> оС, <math>t_2'' = 98</math> оС, <math>k = 3156</math> Вт/м<sup>2</sup>К. Найти <math>t_1''</math>, <math>t_2''</math> для случая, когда данный теплообменник будет работать по схеме прямотока при тех же значениях <math>G_1</math>, <math>G_2</math>, <math>t_1'</math>, <math>t_2'</math> и <math>k</math>.</p>
-------------------------	---

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* - задача решена правильно, указан ход решения, размерности, формулы и ответы в числах (допускается небольшое отклонение чисел от правильных); - дан развернутый и исчерпывающий ответ на теоретический вопрос

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* - задача решена правильно, указан ход решения, размерности, формулы и ответы в числах (допускается небольшое отклонение чисел от правильных); - на теоретический вопрос студент дал правильный ответ, но допустил незначительные ошибки и не показал необходимой полноты.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* - задача решена (доведена до ответа), указан логичный ход решения, размерности, формулы и ответы в числах, но допущены некоторые ошибки; - на теоретический вопрос студент дал непротиворечивый ответ, или при ответе допустил значительные неточности.

### КМ-3. Тест №2 «Параметры влажного воздуха»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** На тест отводится 10-15 минут в конце практического занятия. Студентам раздается лист с 4 заданиями. К заданию прикладывается H-d-диаграмма влажного воздуха.

**Краткое содержание задания:**

**Тестирование на умение определять параметры влажного воздуха по H-d-диаграмме. Студенту предлагается с помощью H-d-диаграммы влажного воздуха найти точку, характеризующую параметры воздуха при заданных условиях.**

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать процессы смешения в смесительных теплообменниках и аппаратах	<p>1.Пример одного из вариантов теста:</p> <p>1. Дать определение абсолютной влажности воздуха.</p>
--	---

влажного воздуха	<p>2. С помощью H-d-диаграммы найти остальные параметры воздуха (энтальпию, температуру, влагосодержание, относительную влажность), если известно, что влагосодержание в данной точке составляет 3 г/кг, а относительная влажность – 65%.</p> <p>3. С помощью H-d-диаграммы найти параметры смешанного потока воздуха, если известно, что смешиваются два потока воздуха в соотношении 5:3. Параметры первого потока воздуха соответствуют температуре 10 оС и энтальпии 12 кДж/кг; параметры второго потока воздуха – влагосодержанию 20 г/кг и относительной влажности 90%.</p> <p>4. С помощью H-d-диаграммы определить параметры воздуха на выходе из оросительной камеры центрального кондиционера, если на входе параметры воздуха составляли: температура по сухому термометру 30 оС и относительная влажность 30%.</p>
------------------	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: даны правильные ответы на все 4 вопроса теста (допускаются незначительные неточности ответов)*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: даны правильные ответы не менее чем 3 из 4 вопросов теста (не дан правильный ответ на 1 вопрос).*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: даны правильные ответы не менее чем 2 из 4 вопросов теста*

**КМ-4. Тест №3 «Принцип действия теплообменных аппаратов» - тест по лекциям**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 12

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** На тестирование отводится 10-15 минут в конце практического занятия. В варианте задания 4 вопроса, на которые необходимо дать краткий, но исчерпывающий ответ. При необходимости, ответ надо пояснить графиком или схемой.

**Краткое содержание задания:**

Тестирование содержит теоретические вопросы, касающиеся расчета рекуперативных, регенеративных теплообменных аппаратов периодического и непрерывного действия, их теплового и гидроаэродинамического расчетов, а также вопросы о принципе работы тепловых труб

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: анализировать и использовать информацию о новых типах и конструкциях теплообменного оборудования, принципах их действия, методах их расчета и проектирования</p>	<p>1. Вариант 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перечислить основные способы интенсификации теплообмена.</li> <li>2. Нарисовать температурный график теплообменника периодического действия.</li> <li>3. Принцип работы тепловой трубы (коротко).</li> <li>4. С чем связано падение давления при прокачке теплоносителей через теплообменный аппарат? (перечислить)</li> </ol> <p>Вариант 2</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чем отличается проектировочный расчёт от поверочного?</li> <li>2. Нарисовать температурный график регенеративного теплообменника.</li> <li>3. Принцип работы тепловой трубы (коротко).</li> <li>4. С чем связано падение давления при прокачке теплоносителей через теплообменный аппарат? (перечислить)</li> </ol>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: даны правильные ответы на все 4 вопроса теста (допускаются незначительные неточности ответов).*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: даны правильные ответы не менее чем 3 из 4 вопросов теста (не дан правильный ответ на 1 вопрос).*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: даны правильные ответы не менее чем 2 из 4 вопросов теста (не дан правильный ответ на 2 вопроса)*

**КМ-5. Контрольная работа №2 «Расчет выпарных, сушильных и перегонных установок»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** На работу отводится от 40 минут во время практического занятия. Студентам раздаются варианты заданий, каждый из которых содержит 1 задачу и 1 теоретический вопрос по материалам лекций. Студент должен дать исчерпывающий ответ на вопрос в письменном виде, а также решить задачу и представить решение в надлежащей форме.

**Краткое содержание задания:**

Задачи и теоретические вопросы по расчету выпарных, сушильных и перегонных установок.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: рассчитывать основные режимные и конструктивные параметры теплоиспользующего теплообменного оборудования (сушильных, выпарных, перегонных установок, ректификационных колонн)</p>	<p>1. Вариант 1</p> <p><b>Вопрос:</b> Температура точки росы и температура мокрого термометра. Что они характеризуют и как соотносятся при прочих равных условиях?</p> <p><b>Задача:</b> В выпарной установке выпаривается раствор поваренной соли с начальной концентрацией – 9% и с расходом 11320 кг/час. Концентрация соли в крепком растворе – 56%. Найти расход вторичного пара, уходящего из установки и расход крепкого раствора. Найти площадь поверхности конденсатора, если коэффициент теплопередачи 670 Вт/м<sup>2</sup>град, температура греющего пара 190 оС, температура вторичного пара в барометрическом конденсаторе 75 оС, суммарные температурные потери 16 оС. Расход греющего пара 150 кг/ч, теплота парообразования 2200 кДж/кг.</p> <p>Вариант 2.</p> <p><b>Вопрос:</b> Чем отличаются процессы перегонки и ректификации?</p> <p><b>Задача:</b> Определить расход воздуха в сушильной установке для удаления 350 кг/ч влаги и тепловую мощность калорифера для подогрева этого воздуха, если энтальпия воздуха перед калорифером 6 кДж/кг, влагосодержание 2,5 г/кг; энтальпия воздуха на выходе из сушильной установки 165 кДж/кг, влагосодержание 100 г/кг. Разность между суммой удельных величин теплопритоков и теплопотерь в сушильной установке -170 кДж/кг испаренной влаги.</p>
---	---

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* задача решена правильно, указан ход решения, размерности, формулы и ответы в числах (допускается небольшое отклонение чисел от правильных); - дан развернутый и исчерпывающий ответ на теоретический вопрос

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* - задача решена правильно, указан ход решения, размерности, формулы и ответы в числах (допускается небольшое отклонение чисел от правильных); - на теоретический вопрос студент дал правильный ответ, но допустил незначительные ошибки и не показал необходимой полноты.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* - задача решена (доведена до ответа), указан логичный ход решения, размерности, формулы и ответы в числах, но допущены некоторые ошибки; - на теоретический вопрос студент дал непротиворечивый ответ, или при ответе допустил значительные неточности.

**КМ-6. Расчетное задание «Тепломассообменные аппараты - решение практических задач»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 1

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В течение семестра на практических занятиях студент получает задания, которые разбираются и решаются по ходу занятия. Студент должен решить все выданные задачи и сообщить преподавателю правильный ответ на вопрос задачи

**Краткое содержание задания:**

В течение семестра на практических занятиях студент получает задания, которые разбираются и решаются по ходу занятия. Студент должен решить все выданные задачи и сообщить преподавателю правильный ответ на вопрос задачи

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: использовать программы расчетов характеристик теплообменного оборудования	1.Примеры задач:  <b>Задача 1.</b> Температуры на входе в прямоточный теплообменник (труба в трубе) $t1'$ и $t2'$ , на выходе - $t1''$ и $t2''$ . Найти разность температур на выходе, если теплообменную поверхность увеличить в два раза. $m$ и $k$ заданы. Найти температуру холодного теплоносителя через расстояние $x$ (диаметр внутренней трубы $d$ ).																																																																																																																																																																																																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>№</th> <th><math>t1'</math>, оС</th> <th><math>t2'</math>, оС</th> <th><math>t1''</math>, оС</th> <th><math>t2''</math>, оС</th> <th><math>k</math>, Вт/м<sup>2</sup>·К</th> <th><math>m</math>, К/Вт</th> <th><math>d</math>, м</th> <th><math>x</math>, м</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>0</b></td> <td><b>180</b></td> <td><b>60</b></td> <td><b>150</b></td> <td><b>132</b></td> <td><b>92</b></td> <td><b>0.2</b></td> <td><b>0.01</b></td> <td><b>0.5</b></td> </tr> <tr><td>1</td><td>110</td><td>10</td><td>77</td><td>32</td><td>45</td><td>0.5</td><td>0.02</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>2</td><td>190</td><td>50</td><td>100</td><td>86</td><td>65</td><td>0.2</td><td>0.04</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>160</td><td>10</td><td>90</td><td>71</td><td>126</td><td>0.9</td><td>0.01</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>4</td><td>180</td><td>60</td><td>110</td><td>109</td><td>47</td><td>0.8</td><td>0.05</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>5</td><td>160</td><td>20</td><td>80</td><td>65</td><td>121</td><td>0.1</td><td>0.05</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>110</td><td>10</td><td>90</td><td>87</td><td>55</td><td>0.8</td><td>0.02</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>7</td><td>170</td><td>30</td><td>100</td><td>94</td><td>90</td><td>0.5</td><td>0.05</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>8</td><td>170</td><td>20</td><td>130</td><td>128</td><td>71</td><td>0.7</td><td>0.04</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>9</td><td>180</td><td>40</td><td>170</td><td>157</td><td>114</td><td>0.7</td><td>0.02</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>10</td><td>200</td><td>40</td><td>150</td><td>140</td><td>94</td><td>0.9</td><td>0.02</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>11</td><td>140</td><td>12</td><td>78</td><td>33</td><td>84</td><td>0.4</td><td>0.02</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>12</td><td>150</td><td>10</td><td>90</td><td>84</td><td>91</td><td>0.3</td><td>0.03</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>13</td><td>140</td><td>30</td><td>80</td><td>62</td><td>120</td><td>0.7</td><td>0.02</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>14</td><td>200</td><td>50</td><td>150</td><td>139</td><td>114</td><td>0.6</td><td>0.01</td><td>1</td></tr> <tr><td>15</td><td>190</td><td>60</td><td>150</td><td>131</td><td>37</td><td>0.9</td><td>0.05</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>16</td><td>90</td><td>10</td><td>50</td><td>39</td><td>86</td><td>0.7</td><td>0.02</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>17</td><td>200</td><td>50</td><td>130</td><td>128</td><td>96</td><td>0.3</td><td>0.04</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>18</td><td>100</td><td>20</td><td>80</td><td>50</td><td>42</td><td>0.8</td><td>0.03</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>19</td><td>190</td><td>20</td><td>100</td><td>83</td><td>144</td><td>0.2</td><td>0.02</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>20</td><td>130</td><td>12</td><td>60</td><td>51</td><td>113</td><td>0.4</td><td>0.02</td><td>0.7</td></tr> </tbody> </table>	№	$t1'$ , оС	$t2'$ , оС	$t1''$ , оС	$t2''$ , оС	$k$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К	$m$ , К/Вт	$d$ , м	$x$ , м	<b>0</b>	<b>180</b>	<b>60</b>	<b>150</b>	<b>132</b>	<b>92</b>	<b>0.2</b>	<b>0.01</b>	<b>0.5</b>	1	110	10	77	32	45	0.5	0.02	0.6	2	190	50	100	86	65	0.2	0.04	1	3	160	10	90	71	126	0.9	0.01	0.4	4	180	60	110	109	47	0.8	0.05	0.2	5	160	20	80	65	121	0.1	0.05	1	6	110	10	90	87	55	0.8	0.02	0.7	7	170	30	100	94	90	0.5	0.05	0.6	8	170	20	130	128	71	0.7	0.04	0.2	9	180	40	170	157	114	0.7	0.02	0.3	10	200	40	150	140	94	0.9	0.02	0.5	11	140	12	78	33	84	0.4	0.02	0.1	12	150	10	90	84	91	0.3	0.03	0.6	13	140	30	80	62	120	0.7	0.02	0.5	14	200	50	150	139	114	0.6	0.01	1	15	190	60	150	131	37	0.9	0.05	0.3	16	90	10	50	39	86	0.7	0.02	0.1	17	200	50	130	128	96	0.3	0.04	0.7	18	100	20	80	50	42	0.8	0.03	0.5	19	190	20	100	83	144	0.2	0.02	0.6	20	130	12	60	51	113	0.4	0.02	0.7
№	$t1'$ , оС	$t2'$ , оС	$t1''$ , оС	$t2''$ , оС	$k$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К	$m$ , К/Вт	$d$ , м	$x$ , м																																																																																																																																																																																															
<b>0</b>	<b>180</b>	<b>60</b>	<b>150</b>	<b>132</b>	<b>92</b>	<b>0.2</b>	<b>0.01</b>	<b>0.5</b>																																																																																																																																																																																															
1	110	10	77	32	45	0.5	0.02	0.6																																																																																																																																																																																															
2	190	50	100	86	65	0.2	0.04	1																																																																																																																																																																																															
3	160	10	90	71	126	0.9	0.01	0.4																																																																																																																																																																																															
4	180	60	110	109	47	0.8	0.05	0.2																																																																																																																																																																																															
5	160	20	80	65	121	0.1	0.05	1																																																																																																																																																																																															
6	110	10	90	87	55	0.8	0.02	0.7																																																																																																																																																																																															
7	170	30	100	94	90	0.5	0.05	0.6																																																																																																																																																																																															
8	170	20	130	128	71	0.7	0.04	0.2																																																																																																																																																																																															
9	180	40	170	157	114	0.7	0.02	0.3																																																																																																																																																																																															
10	200	40	150	140	94	0.9	0.02	0.5																																																																																																																																																																																															
11	140	12	78	33	84	0.4	0.02	0.1																																																																																																																																																																																															
12	150	10	90	84	91	0.3	0.03	0.6																																																																																																																																																																																															
13	140	30	80	62	120	0.7	0.02	0.5																																																																																																																																																																																															
14	200	50	150	139	114	0.6	0.01	1																																																																																																																																																																																															
15	190	60	150	131	37	0.9	0.05	0.3																																																																																																																																																																																															
16	90	10	50	39	86	0.7	0.02	0.1																																																																																																																																																																																															
17	200	50	130	128	96	0.3	0.04	0.7																																																																																																																																																																																															
18	100	20	80	50	42	0.8	0.03	0.5																																																																																																																																																																																															
19	190	20	100	83	144	0.2	0.02	0.6																																																																																																																																																																																															
20	130	12	60	51	113	0.4	0.02	0.7																																																																																																																																																																																															

**Задача 2.** В противоточном теплообменнике конденсируется насыщенный пар ( $t_1', r$ ) при охлаждении его водой. Вода течет в трубке диаметром  $d$  со скоростью  $w$ . Температура воды на выходе из теплообменника  $t_2''$ . Найти температуру воды на расстоянии  $L$  от входа в теплообменник. Коэффициент теплоотдачи при конденсации  $\alpha_{\text{конд}}$ , со стороны воды –  $\alpha_{\text{воды}}$ . Расход пара  $G_1$ .  
 $r = 2200$  кДж/кг;  $\alpha_{\text{конд}} = 12\,000$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{\text{воды}} = 1100$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

№	$t_1', \text{оС}$	$t_2'', \text{оС}$	$G_1, \text{кг/с}$	$d, \text{см}$	$w, \text{м/с}$	$L, \text{м}$
0	136	70	0.09	11	0.5	1
1	101	89	0.05	9	0.7	2
2	199	99	0.05	15	0.5	3
3	163	83	0.09	10	0.4	3
4	138	85	0.07	14	0.2	4
5	107	74	0.04	11	0.7	3
6	146	85	0.05	14	0.4	3
7	114	96	0.03	8	0.7	4
8	105	100	0.03	12	1	1
9	179	74	0.05	11	0.7	4
10	157	84	0.07	16	0.2	3
11	152	88	0.04	16	0.3	4
12	159	80	0.04	13	1	1
13	195	85	0.04	16	0.8	2
14	149	67	0.06	12	0.2	1
15	155	81	0.1	9	0.6	1
16	116	64	0.09	15	0.3	1
17	144	63	0.1	14	0.5	1
18	103	81	0.07	8	0.1	2
19	192	68	0.03	15	0.2	1
20	189	66	0.06	13	1	1

Уметь: составлять и рассчитывать уравнения теплового баланса и теплопередачи для теплообменного оборудования различного назначения

1.  
**Задача 8.2.** В сушилку вводится смесь из свежего воздуха при  $t_0$  и  $\varphi_0$  и отработанного воздуха  $t_2$  и  $\varphi_2$  в массовом соотношении 1:3, считая на сухой воздух. Найти удельный расход сушильного агента и удельный расход теплоты в сушилке, если смесь подогревается в калорифере до  $t_1$ . Определить, теплопотери или теплопритоки преобладают в сушильной установке.

№	$t_0, \text{оС}$	$\varphi_0$	$t_2, \text{оС}$	$\varphi_2$	$t_1, \text{оС}$
0	25	50%	50	80%	80
1	5	59%	75	78%	132
2	23	50%	74	72%	80
3	20	48%	72	84%	114
4	6	70%	56	83%	142
5	14	51%	79	74%	93
6	7	52%	69	70%	89
7	15	61%	55	87%	141

8	20	62%	58	72%	130
9	19	65%	68	78%	137
10	18	57%	64	66%	122
11	26	57%	60	66%	121
12	13	55%	76	90%	99
13	13	68%	63	70%	122
14	9	41%	69	76%	111
15	11	57%	73	76%	116
16	16	53%	57	69%	99

**Задача 12.** Вычислить состав равновесной паровой фазы при температуре  $t1$  для жидкой смеси, состоящей из  $Xб$  мольной доли бензола и  $Xт$  толуола, считая, что данная смесь характеризуется законом Рауля.

Найти также, какого состава смесь бензола и толуола кипит при температуре  $t2$  и при давлении  $P$ .

№	$t1, \text{оС}$	$Xб, \%$	$Xт, \%$	$P_{сб}(t1), \text{мм рт ст}$	$P_{ст}(t1), \text{мм рт ст}$	$t2, \text{оС}$	$P_{сб}(t2), \text{мм рт ст}$	$P_{ст}(t2), \text{мм рт ст}$	$P, \text{мм рт ст}$
0	60	40	60	391	139	90	1022	407	760
1	69	67	33	534	226	90	1000	477	676
2	104	59	41	1520	784	79	720	323	598
3	62	64	36	433	177	96	1196	590	969
4	87	38	62	914	429	105	1566	813	1155
5	95	62	38	1161	570	73	601	261	293
6	83	38	62	811	372	100	1348	680	1286
7	88	56	44	942	444	80	742	335	720
8	103	66	34	1475	757	95	1161	570	1085
9	102	34	66	1432	731	94	1127	550	758
10	68	27	73	518	218	67	503	211	396
11	65	22	78	474	196	103	1475	757	1460
12	92	20	80	1062	512	97	1233	612	1202
13	65	38	62	474	196	102	1432	731	1130
14	78	66	34	698	312	64	460	190	296
15	94	64	36	1127	550	62	433	177	360
16	108	26	74	1713	904	95	1161	570	871

**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-7. Коллоквиум «Основы проектирования и расчета теплообменных аппаратов»**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту предлагается устно ответить на несколько вопросов из разных разделов курса, при необходимости пояснить свой ответ формулами и схемами. Студент должен продемонстрировать знание основных определений, умение объяснить ход решения задач, понимание основных процессов, происходящих в теплообменниках, и методик их расчета. Время беседы с преподавателем может составлять 10-15 минут.

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы по основам проектирования и расчета теплообменных аппаратов

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные термины, определения и понятия (применительно к теплообменному оборудованию предприятий), основные виды теплоносителей, применяемые в теплообменном оборудовании, их свойства и характеристики	<ol style="list-style-type: none"><li>1.</li><li>1. ОБщий список вопросов к коллоквиуму.</li><li>2.</li><li>3. Чем отличаются рекуперативные, регенеративные и смешительные теплообменные аппараты? Дать определение каждому виду т/а.</li><li>4. Какие различают т/а по взаимному направлению движения теплоносителей? Какая схема тока считается наиболее эффективной?</li><li>5. Какие различают рекуперативные т/а по конструкции? Как определить скорость теплоносителя? Как определить число ходов теплоносителя? Уравнение постоянства массового расхода.</li><li>6. Назвать примерные значения коэффициента теплоотдачи для воды, пара, воздуха, дымовых газов.</li><li>7. Зачем в кожухотрубных аппаратах применяются сегментные перегородки?</li><li>8. Что определяется с помощью поверочного (проектного) расчета?</li><li>9. От чего зависит изменение температур теплоносителей в теплообменнике? Нарисовать температурный график для теплообменника с противотоком или прямотоком при различных соотношениях расходных теплоемкостей теплоносителей.</li><li>10. Чем отличается расчет теплообменного аппарата, в котором происходит и фазовый переход одного из теплоносителей и изменение его температуры?</li><li>11. Что такое коэффициент теплоотдачи (дать определение)? От чего он зависит?</li><li>12. Что такое коэффициент теплопередачи (дать определение)? От чего он зависит?</li><li>13. Уравнение теплопередачи и его составляющие.</li><li>14. Записать тепловой и материальный баланс для конкретного типа теплообменника.</li><li>15. Где коэффициент теплоотдачи будет больше: на вертикальной трубе или на горизонтальной?</li><li>16. Физический смысл числа Рейнольдса, Прандля, Грасгофа.</li><li>17. Определение идеального теплообменника.</li></ol>
--	--

	<p>18. Физический смысл эффективности теплообменника, числа единиц переноса.</p> <p>19. Что такое КПД ребра, оребренной поверхности? Как они соотносятся?</p> <p>20. Зачем применяют оребрение?</p> <p>21. Идеальное ребро – что это?</p> <p>22. Степень оребрения. Коэффициент теплопередачи при оребрении с 2х сторон.</p> <p>23. Что такое абсолютная влажность воздуха? Относительная влажность воздуха?</p> <p>24. Что такое влагосодержание воздуха? Чем оно отличается от абсолютной влажности воздуха?</p> <p>25. Температура мокрого термометра и точка росы.</p> <p>26. Процессы в h-d диаграмме: нагрев, охлаждение, адиабатное увлажнение, осушка, смешение.</p> <p>27. Скруббер. Что он из себя представляет. Процессы. Тип т\а. Что является поверхностью теплообмена?</p> <p>26. Построение процесса в скруббере. Зачем строится процесс?</p> <p>27. Изобразить процесс в прямо- и противоточном скруббере.</p> <p>28. При какой температуре воды будет происходить увлажнение воздуха? Осушка?</p> <p>1. Области применения сушильных т/а. Процесс сушки в h-d диаграмме. Удельный расход сушильного агента и удельный расход теплоты – что за величины?</p> <p>2. Теоретическая и реальная сушилка.</p> <p>3. Сушильные агенты.</p> <p>4. Выпарка – что за процесс. Процессы в выпарной установке.</p> <p>5. Физико-химическая температурная депрессия. Виды депрессий.</p> <p>6. Многоступенчатые выпарные установки – принцип действия.</p> <p>7. Материальный баланс выпарной установки.</p> <p>8. Полезный и располагаемый перепад температур.</p> <p>9. Жидкие смеси. Концентрация. Закон Дальтона. Закон Рауля. Диаграммы состояния.</p> <p>10. Перегонка и ректификация. Определение, различия.</p> <p>11. Чем отличается выпарка от перегонки?</p> <p>12. Принцип работы ректификационной установки.</p> <p>13. Определение теоретического числа тарелок. Флегмовое число.</p> <p>14. Многоступенчатая перегонка в диаграмме t-x,y.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент продемонстрировал знание основных определений, понимание основных процес-сов, происходящих в

тепломассообменных аппаратах, знание их конструкции и методик расчета, и сумел объяснить ход решения задач

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент продемонстрировал знание основных определений, понимание основных процессов, происходящих в теплообменных аппаратах, знание их конструкции и методик расчета, и сумел объяснить ход решения задач, но допустил при этом незначительные логические ошибки

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент в целом продемонстрировал знание основных определений, понимание основных процессов, происходящих в теплообменных аппаратах, знание их конструкции и методик расчета, и сумел объяснить ход решения задач, но допустил при этом значительные и даже грубые ошибки в размерностях и формулах, но сумел самостоятельно исправить их в ходе ответа

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 Кафедра ТМПУ	Утверждаю: Зав.кафедрой
<b>МЭИ</b>	Дисциплина: Тепломассообменное оборудование предприятий	
	ИЭВТ	25.12. 2021 г.
<p>студент в целом не продемонстрировал знание основных определений и процессов, происходящих в теплообменных аппаратах, не сумел объяснить ход решения задач, допустил при этом грубые ошибки, которые не смог исправить в ходе ответа</p> <p>1. Применение и классификация теплообменных аппаратов.</p> <p>2. Изменение температур насадки регенератора. Коэффициент аккумуляции насадки. Температурный гистерезис.</p>		

Пример задачи:

1. В кожухотрубном теплообменном аппарате нагревается вода от температуры +60 оС до температуры + 120 оС. Расход воды - 12 м<sup>3</sup>/ч. Вода нагревается насыщенным водяным паром с температурой +160 оС и теплотой парообразования 2200 кДж/кг. Оценить площадь теплообменной поверхности, найти расход пара и эффективность аппарата.

## Процедура проведения

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все текущие контрольные мероприятия на оценку не ниже «Удовлетворительно». Экзамен проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Текст задачи прилагается к билету. Время на выполнение экзаменационного задания/подготовку ответа – 60 минут. Экзаменационное задание выбирается студентом случайным образом и состоит из билета с двумя вопросами по теории дисциплины, предполагающими развернутый ответ с необходимыми письменными пояснениями (схемы и формулы), и практического задания в виде задачи. Экзаменатор также может задать несколько дополнительных вопросов по программе экзамена.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-ЗПК-1 Знает устройство, принцип работы и принимает обоснованные технические решения при разработке схем и/или конструкций энергетического оборудования

## Вопросы, задания

- 1.1. Применение и классификация теплообменных аппаратов.
2. Основные конструкции рекуперативных теплообменных аппаратов.
3. Кожухотрубные и секционные теплообменные аппараты. Конструкции и применение.
4. Пластинчатые теплообменники для жидких и газообразных теплоносителей. Конструкции и применение.

5. Основные конструкции теплообменных аппаратов. Змеевиковые, спиральные теплообменники.
6. Характерные параметры теплоносителей в теплообменных аппаратах - скорости, температуры, коэффициенты теплоотдачи.
7. Виды расчета теплообменных аппаратов – тепловой конструктивный, поверочный, гидравлический и др.
8. Классификация и краткая характеристика основных методов расчета теплообменных аппаратов.
9. Определение тепловой нагрузки аппарата на основании решения системы дифференциальных уравнений переноса.
10. Последовательность теплового конструктивного и компоновочного расчета кожухотрубного теплообменника.
11. Эффективность теплообменника. Ее физический смысл. Число единиц переноса.
12. Последовательность расчета теплообменника методом E - N.
13. Расчет коэффициентов теплоотдачи в теплообменных аппаратах в случае их зависимости от температуры поверхности теплообмена.
14. Оребренные трубчатые теплообменники. Конструкции и применение. Характеристики оребрения. Технология оребрения.
15. Эффективность оребрения. Эффективность оребренной поверхности. Расчет коэффициента теплопередачи для оребренных поверхностей.
16. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов. Основные виды гидравлических потерь в теплообменниках. Определение требуемой мощности на прокачку теплоносителя
17. Способы увеличения тепловой нагрузки в теплообменных аппаратах (оребрение, интенсификация теплообмена).
18. Рекуперативные теплообменники периодического действия с водяным и паровым подогревом. Определение времени нагрева теплоносителя.
19. Регенеративные теплообменные аппараты. Их основные конструкции. Преимущества и недостатки по сравнению с рекуперативными.
20. Изменение температур насадки регенератора. Коэффициент аккумуляции насадки. Температурный гистерезис.
21. Коэффициент теплопередачи регенеративного теплообменника. Сравнение тепловой эффективности регенератора и рекуператора.
22. Принцип работы тепловых труб. Типы фитилей. Определения количества переданного тепла. Ограничения на работу тепловых труб. Теплообменные аппараты на тепловых трубах.
23. H-d диаграмма влажного воздуха. Вид основных процессов обработки воздуха.
24. Конструкции смесительных теплообменников. Тепловой и материальный баланс.
25. Основные процессы обработки воздуха в смесительных теплообменниках в H-d диаграмме.
26. Последовательность построения процесса обработки воздуха в смесительных теплообменниках. Средняя разность температур в смесительных теплообменниках.
27. Последовательность расчета насадочных скрубберов
28. Теплообменники влажного воздуха. Их расчет при помощи коэффициента влаговываждения.
29. Соотношение Льюиса и уравнение Меркеля. Их применение для расчета теплообменных аппаратов влажного воздуха.
30. Системы оборотного водоснабжения. Их назначение и классификация.
31. Градирни, их виды, конструкции и сравнительная характеристика.
32. Вентиляторные градирни и аппараты воздушного охлаждения. Их конструкции.
33. Применение, принцип работы и конструкции выпарных установок.

34. Принцип действия выпарных аппаратов. Материальный и тепловой баланс выпарной установки. Определение количества пара на выпарку.
  35. Располагаемая и полезная разности температур в выпарных установках. Типы депрессий в выпарных установках, их вычисление
  36. Последовательность расчета однокорпусной выпарной установки.
  37. Особенности расчета средней разности температур и коэффициента теплоотдачи в греющей камере выпарного аппарата.
  38. Области применения сушильных установок. Периоды сушки материалов. Равновесное и критическое влагосодержание.
  39. Классификация влажных материалов и принципиальные схемы установок для их сушки. Сушильные агенты.
  40. Кинетика сушки. Методы расчета времени сушки в ее первом и втором периодах.
  41. Перегонка и ректификация. Их применение. Отличие процессов выпарки и перегонки.
  42. Типы смесей жидких компонентов. Закон Рауля.
  43. Диаграммы растворов жидких смесей. (P-x, t-x, y, x-y- диаграммы ). Их построение и назначение. Построение процесса простой перегонки в фазовой диаграмме
  44. Простая, непрерывная и многократная перегонка. Схемы установок. Процесс простой перегонки в t-x, y диаграмме.
  45. Схема и принцип действия ректификационной колонны. Флегмовое число и его влияние на работу колонны.
  46. Схема и принцип работы ректификационной установки. Материальный баланс ректификационной установки. Определение числа теоретических тарелок
- 2. Примерные типы экзаменационных задач по курсу «Тепломассообменное оборудование предприятий».**

1. Оценить площадь поверхности теплообменного аппарата по рекомендуемым значениям коэффициентов теплоотдачи.
2. Рассчитать коэффициент теплопередачи в теплообменном аппарате по характеристикам проточной части, расходу и температурам теплоносителей.
3. Оценить площадь поверхности теплообменного аппарата по заданной эффективности и известной зависимости  $E=f(N)$ .
4. Найти эффективность теплообменного аппарата по известному тепловому балансу.
5. Найти конечные температуры теплоносителей в теплообменнике по его начальным температурам, расходам и значению эффективности.
6. Найти температуру поверхности теплообмена по температурам теплоносителей и коэффициентам теплоотдачи.
7. Найти время нагрева жидкости в рекуперативном теплообменнике периодического действия (бойлере-аккумуляторе).
8. Определить степень оребрения по геометрии ребер.
9. Определить коэффициент теплопередачи со стороны оребренной и неоребренной поверхности.
10. Найти КПД ребра и КПД оребренной поверхности по известным характеристикам ребер и коэффициенту теплоотдачи.
11. Определить перепад давлений в теплообменном аппарате.
12. Определить требуемую мощность на прокачку теплоносителя в теплообменном аппарате.
13. Определить коэффициент теплопередачи в теплообменнике с влаговыведением.
14. Найти конечное влагосодержание (либо температуру газа) в смесительном теплообменнике из его теплового баланса, считая газ на выходе полностью насыщенным.

15. Найти количество вторичного пара (либо крепкого раствора) в выпарной установке, используя материальные балансы.
16. Найти примерный расход пара на выпарку в одноступенчатой выпарной установке.
17. Определить время сушки материала в первом периоде.
18. Определить значение гидростатической депрессии по высоте столба жидкости и давлению в корпусе аппарата.
19. Определить конечное влагосодержания после заданного времени сушки в первом периоде.
20. Определить тепловой поток с поверхности теплообмена в случае зависимости коэффициента теплоотдачи от температуры.
21. Рассчитать конечные разности температур теплоносителей в противоточном (прямоточном) теплообменнике при известной поверхности теплообмена.
22. Найти изменение эффективности оребрения при изменении коэффициента теплоотдачи.
23. Определить изменение перепада давления в теплообменнике при изменении скорости теплоносителя.
24. Определить изменение перепада давлений теплообменнике с при изменении температур теплоносителей

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Назвать области применения теплообменных аппаратов.  
На какие группы разделяют теплообменники по принципу действия?  
Какая схема является наиболее эффективной схемой движения теплоносителей в теплообменнике?  
Что является целью поверочного расчета?  
Как рассчитать средний температурный напор в перекрестноточном теплообменнике?  
Укажите диапазон допустимых значений коэффициентов теплоотдачи для воздуха.  
Что такое идеальный теплообменный аппарат с точки зрения его тепловой эффективности?  
Каковы преимущества метода эффективности и числа единиц переноса?  
Зачем в кожухотрубных теплообменных аппаратах применяются сегментные перегородки?  
Что такое тепловая эффективность теплообменного аппарата?  
Зачем применяют оребрение поверхностей теплообмена?  
Что такое идеальное ребро?  
Верно ли утверждение: эффективность одиночного ребра всегда ниже эффективности оребренной поверхности?  
В кожухотрубном теплообменном аппарате нагревается вода от температуры +60 градусов Цельсия до температуры +120 градусов Цельсия. Расход воды - 12 м<sup>3</sup>/ч. Вода нагревается насыщенным водяным паром с температурой +160 градусов Цельсия и теплотой парообразования 2200 кДж/кг. **Оценить площадь теплообменной поверхности, найти расход пара и эффективность аппарата.**  
Пользуясь h-d-диаграммой влажного воздуха, определить остальные параметры воздуха, если известно, что  
- температура по мокрому термометру 12 оС,  
- влагосодержание 3 г/кг.  
Найти температуру по сухому воздуху, энтальпию воздуха и относительную влажность.

Ответы:

1. Энергетика, промышленность, сельское хозяйство, в быту, теплоснабжение, транспорт, все из вышеперечисленного, ничего из вышеперечисленного 2. радиаторные; смесительные; конденсаторные; сушильные; регенеративные; ректификационные; выпарные; кожухотрубные; секционные; стальные; барабанные; тепломассообменные;

квазимонохроматические; пластинчатые; калориферы; охладительные; воздуховоздушные; конвекторные; медные; спирально-навивные; рекуперативные; нагревающие; паровые; латунные

3. прямоточная; одноходовая; противоточная; четырехходовая; перекрестноточная; схема с двумя ходами по горячему теплоносителю и четырьмя ходами по холодному; теплоносителю; сложная схема тока

4. определение коэффициентов теплоотдачи; определение коэффициента теплопередачи; определение площади поверхности теплообмена; определение тепловой мощности теплообменника; определение температур теплоносителей на выходе; определение температур теплоносителей на входе; определение конструктивных характеристик теплообменного аппарата; определение падения давления теплоносителей; определение мощности, необходимой для прокачки теплоносителей; определение толщин элементов конструкции и прочности соединений; определение затрат на производство теплообменника, подбора оптимальных режимов работы и конструктивных параметров аппарата; все из вышеперечисленного; ничего из вышеперечисленного

5. как разность большего и меньшего температурного напора между входом и выходом, определенную для противоточной схемы тока; как среднюю логарифмическую разность температур, определенную для противоточной схемы тока; как среднюю логарифмическую разность температур, определенную для противоточной схемы тока, с учетом поправки на переменность теплофизических свойств жидкости вблизи стенки; как разность между средними арифметическими температурами теплоносителей, определенную для противоточной схемы тока; как среднюю логарифмическую разность температур; как среднюю логарифмическую разность температур, определенную для прямоточной схемы тока с учетом поправки на переменность теплофизических свойств жидкости вблизи стенки; как среднюю логарифмическую разность температур, определенную для сложной схемы тока, с учетом поправки на схему тока; как среднюю логарифмическую разность температур, определенную для противоточной схемы тока, с учетом поправки на схему тока; 6. 20 – 100 Вт/(м<sup>2</sup>град); 5 – 10 Вт/(м<sup>2</sup>град); 300 – 10 000 Вт/(м<sup>2</sup>град); 300 – 600 Вт/(м<sup>2</sup>град); 20 – 120 Вт/(м<sup>2</sup>град); 10 000 – 15 000 Вт/(м<sup>2</sup>град); 3 000 – 20 000 Вт/(м<sup>2</sup>град); 7. абсолютно гладкая поверхность теплообмена; нет потерь в окружающую среду; имеет шарообразную форму; схема тока - многократный перекрестный ток с общим противотоким; теплоносители движутся противоточно; средний логарифмический температурный напор; нет температурного напора; минимальные затраты на прокачку теплоносителя; горячий теплоноситель охлаждается полностью; полностью срабатывается температурный напор; 8. проектом расчете; поверочном расчете; прочностном расчете; технико-экономическом расчете; любом расчете; 9. для сужения проходного сечения по межтрубному пространству; для сужения проходного сечения по трубному пространству; для повышения прочности конструкции; для облегчения обслуживания аппарата; для уменьшения температур теплоносителей; для компенсации температурных напряжений в элементах конструкции; для красоты - зависит от бренда; для увеличения площади поверхности теплообмена; 10. его коэффициент полезного действия; отношение его тепловой мощности к электрической мощности, требуемой на прокачку теплоносителей; отношение его тепловой мощности к тепловой мощности идеального теплообменника; это то, насколько хорошо передается теплота; 11. чтобы увеличить площадь поверхности теплообмена; чтобы развить площадь поверхности теплообмена со стороны теплоносителя с низким коэффициентом теплоотдачи; чтобы сделать конструкцию аппарата прочнее; чтобы увеличить коэффициент теплоотдачи со стороны газа; чтобы увеличить аэродинамическое сопротивление аппарата; чтобы организовать нужную схему движения теплоносителей; 12. Ввести ответ в поле самостоятельно. 13. Да/нет. 14. Ответ задачи зависит от того, какими значениями коэффициентов теплоотдачи задается студент. Он должен вспомнить и выбрать правильный диапазон значений и задаться любым значением из этого диапазона. Затем определить значение коэффициента теплоотдачи. Тепловую мощность

и расход пара надо определить из теплового баланса. Площадь поверхности теплообмена - из уравнения теплопередачи. Эффективность определяется исходя из физического смысла этой величины. 15. По прилагающейся к вопросу H-d-диаграмме определяем положение точки, характеризующей данное состояние влажного воздуха.

Верный ответ: Энергетика, промышленность, сельское хозяйство, в быту, теплоснабжение, транспорт. 2. Рекуперативные, регенеративные и смешительные. 3. Противоток. 4. Определение тепловой мощности аппарата, а также выходных температур теплоносителей. 5. Как средний логарифмический напор для противоточной схемы движения с учетом поправки на схему тока. 6. 20 - 100 Вт/(м<sup>2</sup>\*К) 7. Это теплообменник с противоточной схемой движения теплоносителя, в котором нет потерь в окружающую среду и в котором полностью срабатывается температурный напор. 8. В поверочном расчете этот метод не требует проведения большого числа итераций. 9. Для сужения площади проходного сечения в межтрубном пространстве. 10. Это отношение тепловой мощности реального теплообменника к тепловой мощности идеального теплообменника. 11. Чтобы развить поверхность теплообмена со стороны теплоносителя с меньшим коэффициентом теплоотдачи (газа). 12. Это ребро, температура которого по всей высоте неизменна и равна температуре основания. 13. Да. Например, если задаться коэффициентом теплоотдачи для воды 1000 Вт/(м<sup>2</sup>\*К), а для насыщенного пара - 10 000 Вт/(м<sup>2</sup>\*К), то получится следующий ответ: площадь поверхности теплообмена составляет 14,2 м<sup>2</sup>, расход пара - 0,38 кг/с, эффективность теплообменника - 60%. По прилагающейся к вопросу H-d-диаграмме определяем положение точки, характеризующей данное состояние влажного воздуха и получаем следующий ответ: температура по сухому термометру составит ~26,5 градусов Цельсия, энтальпия воздуха 34 кДж/кг, относительная влажность ~15%.

## 2.Задача:

В кожухотрубном теплообменном аппарате нагревается вода от температуры +60 оС до температуры + 120 оС. Расход воды - 12 м<sup>3</sup>/ч. Вода нагревается насыщенным водяным паром с температурой +160 оС и теплотой парообразования 2200 кДж/кг. Оценить площадь теплообменной поверхности, найти расход пара и эффективность аппарата

Ответы:

Ответ задачи зависит от того, какими значениями коэффициентов теплоотдачи задается студент. Он должен выбрать правильный диапазон значений и задаться любым значением из этого диапазона. Затем определить значение коэффициента теплоотдачи. Тепловую мощность и расход пара надо определить из теплового баланса. Площадь поверхности теплообмена - из уравнения теплопередачи. Эффективность определяется исходя из физического смысла этой величины

Верный ответ: Ответ к задаче: эффективность теплообменника 0,6 расход пара 0,38 кг/с если задаться коэффициентом теплоотдачи 5000 Вт/(м<sup>2</sup>\*град) для воды и 15000 Вт/(м<sup>2</sup>\*град) для пара, то площадь поверхности теплообмена составит 3,4 м<sup>2</sup>

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач

Оценка: 4

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины

### ***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 экзаменационной составляющих. В приложение к диплому выносятся оценка за 7 семестр и за курсовой проект

**Для курсового проекта/работы:**

**7 семестр**

**Форма проведения: Защита КП/КР**

### ***I. Процедура защиты КП/КР***

Защита принимается комиссией состоящей включающей не менее двух преподавателей. Заслушивается устный доклад студента . Он отвечает на вопросы по проекту.

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

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* - устный рассказ студента был логично выстроен, достаточно развернут, не содержал принципиальных ошибок, употребляемая терминология соответствовала уровню подготовки студента 4-го курса ИПЭЭф НИУ «МЭИ»; - на представленных чертежах, схеме, трехмерной графической модели и в РПЗ не было обнаружено принципиальных ошибок и неточностей; - студентом были даны исчерпывающие и правильные ответы на большинство заданных вопросов (не менее 90%)

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* - устный рассказ студента был логично выстроен, достаточно развернут, не содержал принципиальных ошибок, употребляемая терминология соответствовала уровню подготовки студента 4-го курса ИПЭЭф НИУ «МЭИ»; - представленные чертежи, схема, трехмерная графическая модель и РПЗ были выполнены на высоком уровне, но содержат некоторые неточности и неприципиальные ошибки; - студентом были даны исчерпывающие и правильные ответы на большинство заданных вопросов (не менее 70%)

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* - устный рассказ студента был логично выстроен, достаточно развернут, не содержал принципиальных ошибок, употребляемая терминология соответствовала уровню подготовки студента 4-го курса ИПЭЭф НИУ «МЭИ»; - представленные чертежи, схема, трехмерная графическая модель и РПЗ были выполнены на удовлетворительном уровне, но содержат некоторые неточности и неприципиальные ошибки; - студент в целом дал удовлетворительные ответы на вопросы комиссии (не менее 50%)

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

Оценка за курсовой проект определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ». В приложение к диплому выносятся оценка за 7 семестр и за курсовой проект