

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Интенсификация тепломассообменных процессов в промышленных  
установках

**Код модуля**  
1156687(1)

**Модуль**  
Энергоэффективность и энергосбережение

**Екатеринбург**

Оценочные материалы составлены автором(ами):

№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Мунц Владимир Александрович	доктор технических наук, профессор	Профессор	теплоэнергетики и теплотехники
2	Тупоногов Владимир Геннадьевич	доктор технических наук, доцент	профессор	Теплоэнергетики и теплотехники

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Ю.Д. Маева

**Авторы:**

- Мунц Владимир Александрович, Профессор, теплоэнергетики и теплотехники
- Тупоногов Владимир Геннадьевич, профессор, Теплоэнергетики и теплотехники

## 1. СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ **Интенсификация тепломассообменных процессов в промышленных установках**

1.	Объем дисциплины в зачетных единицах	4	
2.	Виды аудиторных занятий	Лекции Практические/семинарские занятия	
3.	Промежуточная аттестация	Экзамен	
4.	Текущая аттестация	Контрольная работа	1
		Домашняя работа	2
		Расчетная работа	1

## 2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ИНДИКАТОРЫ) ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ **Интенсификация тепломассообменных процессов в промышленных установках**

Индикатор – это признак / сигнал/ маркер, который показывает, на каком уровне обучающийся должен освоить результаты обучения и их предъявление должно подтвердить факт освоения предметного содержания данной дисциплины, указанного в табл. 1.3 РПМ-РПД.

Таблица 1

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)	Контрольно-оценочные средства для оценивания достижения результата обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-4 -Способен разрабатывать технические объекты, системы и технологические процессы в своей профессиональной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных ограничений	Д-1 - Демонстрировать креативное мышление, творческие способности З-1 - Объяснить основные принципы функционирования разрабатываемых технических объектов, систем, технологических процессов З-2 - Изложить принципы расчета экономической эффективности предложенных технических решений З-3 - Привести примеры сравнения предложенных	Домашняя работа № 1 Контрольная работа Лекции Экзамен

	<p>решений с мировыми аналогами</p> <p>З-4 - Описать основные подходы к оценке экологических и социальных последствий внедрения инженерных решений</p> <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов в своей профессиональной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных ограничений</p> <p>У-1 - Предложить нестандартные варианты разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов</p> <p>У-2 - Доказать научно-техническую и экономическую состоятельность и конкурентоспособность предложенных инженерных решений</p> <p>У-3 - Оценить экологические и социальные риски внедрения предложенных инженерных решений</p> <p>У-4 - Провести всесторонний анализ принятых инженерных решений для выполнения разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов</p>	
<p>ОПК-5 -Способен планировать, организовывать и контролировать работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования и технологических процессов в сфере</p>	<p>З-1 - Изложить основные нормы и правила, регламентирующие работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-2 - Объяснить принципы и типовой порядок планирования, организации и контроля</p>	<p>Домашняя работа № 2</p> <p>Контрольная работа</p> <p>Практические/семинарские занятия</p> <p>Расчетная работа</p> <p>Экзамен</p>

<p>своей профессиональной деятельности</p>	<p>выполнения работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-3 - Перечислить основные разделы документов (технического задания, технических условий и т.п.), в соответствии с которыми выполняются работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-4 - Показать возможности использования цифровых технологий (создание цифровых двойников) для оптимизации работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>П-1 - Самостоятельно составить план работ в целом по этапам создания, установки и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем либо отдельных этапов этой работы</p> <p>П-2 - Провести контроль выполнения заданий с учетом соответствия регламентам, срокам исполнения и материальным затратам</p> <p>У-1 - Обосновать детальный план проведения работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p>	
--	--	--

	<p>У-2 - Анализировать задания, распределять и объяснять их работникам коллектива при выполнении работ по созданию, установке и модернизации оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-3 - Оценивать исполнение работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем на соответствие регламентам</p>	
<p>ПК-8 -Способен рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течения в каналах (трубах), передаваемые тепловые потоки, температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкций тепловых и теплотехнологических установок с целью интенсификации процессов теплообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты</p>	<p>Д-1 - Демонстрировать навыки по работе с нормативно-технической документацией, справочной литературой и поиску данных</p> <p>З-2 - Привести примеры интенсификации теплообмена за счет внедрения новых апробированных теплотехнологий</p> <p>З-3 - Характеризовать примеры реализации современных технологий для увеличения КПД теплотехнических установок</p> <p>П-3 - Иметь практический опыт выбора энергосберегающих технологий</p> <p>У-3 - Определять оптимальные методы увеличения энергоэффективности тепловых энергоустановок</p>	<p>Домашняя работа № 1</p> <p>Домашняя работа № 2</p> <p>Контрольная работа</p> <p>Лекции</p> <p>Практические/семинарские занятия</p> <p>Расчетная работа</p> <p>Экзамен</p>

### 3. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО

**ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ В БАЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ  
(ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БРС)**

**3.1. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.5</b>		
Текущая аттестация на лекциях	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<i>контрольная работа</i>	8	35
<i>расчетная работа</i>	15	65
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.4</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0.6</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.5</b>		
Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<i>домашняя работа № 1</i>	10	50
<i>домашняя работа № 2</i>	14	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям– 1</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям–нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям– не предусмотрено</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий –не предусмотрено</b>		
Текущая аттестация на лабораторных занятиях	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям -не предусмотрено</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям –нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – не предусмотрено</b>		
<b>4. Онлайн-занятия: коэффициент значимости совокупных результатов онлайн-занятий –не предусмотрено</b>		
Текущая аттестация на онлайн-занятиях	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по онлайн-занятиям -не предусмотрено</b>		

**Промежуточная аттестация по онлайн-занятиям –нет**  
**Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по онлайн-занятиям – не предусмотрено**

### 3.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта

Текущая аттестация выполнения курсовой работы/проекта	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<b>Весовой коэффициент текущей аттестации выполнения курсовой работы/проекта– не предусмотрено</b>		
<b>Весовой коэффициент промежуточной аттестации выполнения курсовой работы/проекта– защиты – не предусмотрено</b>		

## 4. КРИТЕРИИ И УРОВНИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

4.1. В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре/институте критерии (признаки) оценивания достижений студентов по дисциплине модуля (табл. 4) в рамках контрольно-оценочных мероприятий на соответствие указанным в табл.1 результатам обучения (индикаторам).

Таблица 4

### Критерии оценивания учебных достижений обучающихся

Результаты обучения	Критерии оценивания учебных достижений, обучающихся на соответствие результатам обучения/индикаторам
Знания	Студент демонстрирует знания и понимание в области изучения на уровне указанных индикаторов и необходимые для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Умения	Студент может применять свои знания и понимание в контекстах, представленных в оценочных заданиях, демонстрирует освоение умений на уровне указанных индикаторов и необходимых для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Опыт /владение	Студент демонстрирует опыт в области изучения на уровне указанных индикаторов.
Другие результаты	Студент демонстрирует ответственность в освоении результатов обучения на уровне запланированных индикаторов. Студент способен выносить суждения, делать оценки и формулировать выводы в области изучения. Студент может сообщать преподавателю и коллегам своего уровня собственное понимание и умения в области изучения.

4.2 Для оценивания уровня выполнения критериев (уровня достижений обучающихся при проведении контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля) используется универсальная шкала (табл. 5).

Таблица 5

### Шкала оценивания достижения результатов обучения (индикаторов) по уровням

<b>Характеристика уровней достижения результатов обучения (индикаторов)</b>				
<b>№ п/п</b>	<b>Содержание уровня выполнения критерия оценивания результатов обучения (выполненное оценочное задание)</b>	<b>Шкала оценивания</b>		
		<b>Традиционная характеристика уровня</b>		<b>Качественная характеристика уровня</b>
1.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты в полном объеме, замечаний нет	Отлично (80-100 баллов)	Зачтено	Высокий (В)
2.	Результаты обучения (индикаторы) в целом достигнуты, имеются замечания, которые не требуют обязательного устранения	Хорошо (60-79 баллов)		Средний (С)
3.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты не в полной мере, есть замечания	Удовлетворительно (40-59 баллов)		Пороговый (П)
4.	Освоение результатов обучения не соответствует индикаторам, имеются существенные ошибки и замечания, требуется доработка	Неудовлетворительно (менее 40 баллов)	Не зачтено	Недостаточный (Н)
5.	Результат обучения не достигнут, задание не выполнено	Недостаточно свидетельств для оценивания		Нет результата

## **5. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ**

### **5.1. Описание аудиторных контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля**

#### **5.1.1. Лекции**

Самостоятельное изучение теоретического материала по темам/разделам лекций в соответствии с содержанием дисциплины (п. 1.2. РПД)

#### **5.1.2. Практические/семинарские занятия**

Примерный перечень тем

1. Теплообмен в профилированных трубах и каналах
2. Теплообмен в трубных пучках
3. Теплообмен на оребренной поверхности
4. Расчет конденсационных теплообменных аппаратов для глубокой утилизации

теплоты влажных газов

5. Расчет теплообменных аппаратов с компактными трубными пучками
6. Расчет спирального теплообменного аппарата
7. Расчет пластинчатых теплообменников
8. Теплообмен с поверхностью, погруженной в псевдооживленный слой
9. Теплообмен в тепловых трубах

10. Методика разработки одномерных моделей тепломассобменных процессов в инженерном математическом пакете Mathcad

11. CFD моделирование гидравлических и теплообменных процессов

Примерные задания

В пароводяном теплообменнике сухой насыщенный водяной пар, имеющий давление 2,7 бар конденсируется на внешней поверхности труб. По трубам движется вода и нагревается от 20 оС до 70 оС. Определить среднеинтегральный напор

На латунных трубках теплообменного аппарата конденсируется пар давлением  $p = 4,76$  бар. Наружный диаметр трубок  $d_2$ , внутренний  $d_1$ . Внутри трубок течет вода со скоростью  $w = 1$  м/с. Температура воды на входе  $t_{вх}$ , на выходе  $t_{вых}$ . Расположение трубок шахматное: число рядов по горизонтали  $n_1$ , по вертикали  $n_2$ . Продольный шаг пучка  $S_1$ , поперечный  $S_2$ . Переохлаждение конденсата отсутствует. Определить поверхность теплообмена

В воздухоподогревателе воздух нагревается от 30 оС до 160 оС. Расход воздуха 21,5 кг/с. воздух движется поперек пучка труб со скоростью в узком сечении пучка 18 м/с. Трубы расположены в шахматном порядке с шагом  $S_1 = S_2 = 1,3 d_2$ . Дымовые газы (13% CO<sub>2</sub>, 11% H<sub>2</sub>O) движутся внутри стальных труб диаметром  $d_2/d_1 = 53/50$  мм со скоростью 14 м/с. Температура газов на входе в подогреватель 380 оС, расход газов 19,6 кг/с. Определить площадь поверхности теплообмена.

Воздухоподогреватель выполнен из труб наружным диаметром 38 мм. Трубы скомпонованы в коридорный пучок, продольный и поперечный шаги которого равны:  $s_1 = s_2 = 2,5d$ . Число труб в одном ряду поперек потока 8, число рядов 5. Температура воздуха, поступающего в подогреватель 20 оС, а на выходе из подогревателя 80 оС. Температура наружной поверхности пучка труб 1500С. Скорость воздуха в узком сечении пучка труб 10 м/с. Тепловой поток, передаваемый воздуху от поверхности пучка труб в процессе теплоотдачи 125 кВт. Определить длину одной трубы воздухоподогревателя

Холодильная камера высотой 1 м, размер боковых стенок 0,8 м (в плане камера квадратная) оребрена вертикальными алюминиевыми ребрами длиной 40 мм, толщиной 3 мм. Каждая стенка имеет по 40 ребер. Температура у основания ребра 40 оС, температура окружающей среды 20 оС, коэффициент теплопроводности алюминия 202 Вт/(м•К), а коэффициент теплоотдачи от ребристой поверхности 8 Вт/(м<sup>2</sup>×К). Определить тепловой поток, передаваемый всеми четырьмя боковыми стенками камеры в окружающую среду. Вычислить тепловой поток, передаваемый стенками камеры, если ее стенки не будут оребрены.

LMS-платформа – не предусмотрена

## **5.2. Описание внеаудиторных контрольно-оценочных мероприятий и средств текущего контроля по дисциплине модуля**

Разноуровневое (дифференцированное) обучение.

### **Базовый**

#### **5.2.1. Контрольная работа**

Примерный перечень тем

1. Моделирование и оптимизационные расчеты теплообменников

Примерные задания

Теплообменные поверхности компактных теплообменников

Оценка эффективности интенсификации теплообмена

Примеры проектных теплогидравлических расчетов ТА

Определить площадь поверхности нагрева газовойводяного рекуперативного теплообменника, работающего по противоточной схеме, и теплообменника, работающего по прямоточной схеме. Греющий теплоноситель - дымовые газы с начальной температурой  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  и конечной  $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Расход воды через теплообменник  $G_B = 3,2\text{ кг/с}$ , начальная температура воды  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , конечная  $195\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубы  $\alpha_g = 35\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$  и от стенки трубы к воде  $\alpha_B = 3800\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Теплообменник выполнен из стальных труб с наружным диаметром  $d = 50\text{ мм}$  и толщиной стенки  $\delta = 4\text{ мм}$ . Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda = 62\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Стенку считать чистой с обеих сторон.

Определить часовой расход пара в теплообменнике и площадь поверхности подогревателя, если тепловая мощность, передаваемая от напора к воде,  $Q = 500000\text{ Вт}$ ; коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1 = 60\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$  и  $\alpha_2 = 5000\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ; толщина стенки  $\delta = 100\text{ мм}$ ; коэффициент теплопередачи  $\lambda = 52\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $t_{нас} = 120,2^{\circ}\text{C}$ ;  $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2 = 80^{\circ}\text{C}$

Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для теплообмена между двумя водно-органическими растворами.

Экономайзер парового котла паровой турбины предназначен для подогрева питательной воды с расходом  $G_2 = 230\text{ т/ч}$  от температуры  $t_{20} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $t_{2F} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вода движется снизу вверх по стальным трубам (коэф. теплопроводности  $= 22\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ) диаметром  $d_1/d_2 = 44/51\text{ мм}$  со средней скоростью  $w_2 = 0,6\text{ м/с}$ .

Трубы экономайзера расположены в шахте газохода в шахматном порядке с шагом поперёк потока газов  $s_1 = 2,1d_2$  и вдоль потока  $s_2 = 2,0d_2$ .

Дымовые газы, подогревающие воду в экономайзере, движутся сверху вниз в межтрубном пространстве со средней скоростью в узком сечении пучка  $w_1 = 13\text{ м/с}$ . Расход газов  $G_1 = 500\text{ т/ч}$ , температура газов на входе в экономайзер  $t_{10} = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Состав дымовых газов известен (в частности,  $13\%\text{ CO}_2$  и  $11\%\text{ H}_2\text{O}$ ).

Определить коэффициент теплопередачи экономайзера.

Проанализировать влияние схемы пучка труб в рекуператорном ТОА на коэффициент теплопередачи при следующих одинаковых условиях: нагреваемый воздух при давлении  $p_2 = 3,5\text{ ата}$  со средней температурой  $t_2 = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  движется в латунных трубках,  $d_n/d_v = 20/17\text{ мм}$ , со скоростью  $w_2 = 25\text{ м/с}$ ; греющий воздух

поперечно обтекает трубы в пучке при давлении  $p_1 = 1,0\text{ ата}$  со средней температурой  $t_1 = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , скорость набегающего потока  $w_n = 7\text{ м/с}$ .

Глубина пучка (по ходу первичного теплоносителя)  $H = 0,39\text{ м}$ .

Предусмотрены следующие варианты схемы пучка:

коридорная схема с поперечным  $s_1 = 30\text{ мм}$  и продольным  $s_2 = 32,5\text{ мм}$  шагом;

шахматная схема,  $s_1 = s_2 = 30\text{ мм}$ .

LMS-платформа – не предусмотрена

## 5.2.2. Домашняя работа № 1

Примерный перечень тем

1. Кожухотрубные теплообменники

Примерные задания

Сжатый компрессором воздух, имеющий температуру  $T_2$ , поступает в регенеративный теплообменник, в котором воздух нагревается за счет теплоты уходящих из газовой турбины продуктов сгорания (дымовых газов) до температуры  $T_4$ . Продукты сгорания поступают в теплообменник, имея температуру  $T_4$ , охлаждаются до температуры  $T_6$ . Расход воздуха и дымовых газов одинаковый. Воздух со скоростью  $w_1$  поперечно обтекает шахматный пучок труб, внутри которых движутся дымовые газы со скоростью  $w_2$ . Поперечный и продольный шаг пучка труб одинаковый. Трубы выполнены из стали ( $\lambda = 45,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ). Внутренний диаметр труб  $d_1$  мм, внешний  $d_2$  мм. Количество труб в регенераторе  $N = 5600$  штук. Рассчитать поверхность теплообмена регенеративного теплообменного аппарата.

В подогревателе вода, движущаяся по стальным трубам, нагревается воздухом. Внутренний диаметр трубы  $d_1 = 21$  мм, наружный –  $d_2 = 25$  мм. Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda = 22 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . На входе в подогреватель вода имеет температуру  $t_2' = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ , а на выходе  $t_2'' = 260 \text{ }^\circ\text{C}$ . Скорость воды  $w_2 = 0,2 \text{ м/с}$ . Воздух поперечно обтекают пучок труб со скоростью  $w_1 = 30 \text{ м/с}$  (в узком сечении), расход воздуха  $G_1 = 130 \text{ кг/с}$ , а температура на входе в подогреватель  $t_1 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Компоновка труб в пучке шахматная. Число параллельно включенных труб  $N = 100$ . Поперечный  $S_1$  и продольный  $S_2$  шаг пучка равны:  $S_1 = S_2 = 2 \cdot d_2$ . Рассчитать поверхность теплообмена.

LMS-платформа – не предусмотрена

### 5.2.3. Домашняя работа № 2

Примерный перечень тем

1. Пластинчатые и спиральные теплообменники

Примерные задания

Одно пакетный 10-ти канальный пластинчатый теплообменник выполнен из пластин с гофрированным профилем поверхности и симметричной компоновкой пластин. Толщина пластины 1 мм, ее ширина 300 мм, а приведенная высота 1000 мм (поверхность теплообмена  $0,3 \text{ м}^2$ ). Коэффициент теплопроводности материала пластин  $50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Зазор для прохода рабочей среды в канале 4 мм. Теплообменник предназначен для подогрева воды, используемой для отопления жилого дома. Первичная (горячая) вода на входе в подогреватель имеет температуру  $t_1 = 132 \text{ }^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 680 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вторичная вода, используемая для отопления жилого дома, нагревается от  $t_3 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_4 = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Расход горячего теплоносителя  $2,5 \text{ кг/с}$ . Выполнить тепловой расчет теплообменного аппарата, выбрав схему движения теплоносителей. Сделать вывод может ли данный теплообменник обеспечить требуемые температурные напоры. Оценить мощность насосов на прокачку теплоносителей, учитывать только гидравлические сопротивления трения. Принять к.п.д. насоса  $0,98$ .

LMS-платформа – не предусмотрена

### 5.2.4. Расчетная работа

Примерный перечень тем

1. Расчет подогревателя

Примерные задания

Запроектировать вертикальный пароводяной подогреватель, предназначенный для подогрева воды системы отопления в цехах производственных

помещений, при следующих условиях:

- 1) давление воды  $P_v = 0,148$  МПа;
- 2) температура воды на входе  $t_v' = 21$  °С;
- 3) температура воды на выходе  $t_v'' = 87$  °С;
- 4) расход воды  $G_v = 213$  м<sup>3</sup>/ч;
- 5) давление греющего пара  $P_p = 0,56$  МПа;
- 6) температура греющего пара  $t_p = 185$  °С.

Произвести тепловой расчет водо-водяного теплообменника типа «труба в трубе». Определить площадь поверхности нагрева и число секций противоточного теплообменника при следующих условиях:

- 1) коэффициент теплопроводности стальной трубы  $\lambda_{ст} = 51$  Вт/м · °С;
- 2) длина одной секции  $l = 4$  м;
- 3) температура греющей воды на входе  $t_1' = 125$  °С;
- 4) температура греющей воды на выходе  $t_1'' = 75$  °С;
- 5) греющая вода движется по внутренней стальной трубе диаметром  $d_2/d_1 = 38 / 34$  мм;
- 6) температура нагреваемой воды на входе  $t_2' = 20$  °С;
- 7) температура греющей воды на выходе  $t_2'' = 60$  °С;
- 8) диаметр внешней трубы  $D_2 / D_1 = 57/51$ ;
- 9) количество передаваемой теплоты  $Q = 100$  кВт.

Запроектировать разборный пластинчатый теплообменник для подогрева минерального масла МК конденсирующимся водяным паром при следующих условиях:

- 1) давление на стороне масла  $P_m = 0,6$  МПа;
- 2) температура масла на входе  $t_m' = 30$  °С;
- 3) температура масла на выходе  $t_m'' = 90$  °С;
- 4) располагаемый расход пара  $D = 1,39$  кг/с;
- 5) температура греющего пара  $t_p = 143$  °С;
- 6) температура конденсации  $t_n = 133$  °С;
- 7) давление пара в конденсаторе  $P_k = 0,3$  МПа;
- 8) располагаемый напор на стороне масла  $\Delta P = 100$  кПа.

LMS-платформа – не предусмотрена

### **5.3. Описание контрольно-оценочных мероприятий промежуточного контроля по дисциплине модуля**

#### **5.3.1. Экзамен**

Список примерных вопросов

1. Основные типы аппаратов с промежуточным теплоносителем
2. Сравнительная оценка воды, водяного пара и дымовых газов как теплоносителей и ориентировочный диапазон их скоростей в теплообменных аппаратах
3. В каком теплообменнике текущая отпускаемая мощность может быть выше потребляемой?

4. Для каких теплоносителей выше затраты мощности на перемещение в каналах – газообразных или капельных жидкостей?
  5. В каком из теплообменников- кожухотрубчатом или подогревателе – аккумуляторе – выше коэффициент теплопередачи при использовании одних и тех же теплоносителей с одинаковыми начальными температурами ?
  6. Влияет ли технология изготовления ребристой трубы на коэффициент теплопередачи
  7. Какие основные схемы взаимного движения теплоносителей в аппарате?
  8. Чем ограничивается скорость течения теплоносителей в аппарате?
  9. С какой целью применяются различные методы интенсификации теплообмена ?
  10. Что такое искусственная шероховатость ?
  11. Чем опасны резонансные колебания трубных систем?
  12. Почему необходимо удаление растворенных в паре и воде неконденсирующихся газов ?
  13. Почему компоновка трубного пучка влияет на его работу ?
  14. Почему подогревателями сетевой воды всегда являются аппараты поверхностного типа ?
  15. Вследствие влияния каких факторов возникают термические напряжения в трубках и корпусе аппарата ?
  16. Какие конструктивные решения позволяют скомпенсировать термические напряжения в аппаратах ?
  17. С какой целью производится расчет корпуса теплообменного аппарата на устойчивость ?
  18. Какие материалы применяются для теплообменных поверхностей аппаратов ?
  19. Перечислите основные требования к конструкции теплообменного аппарата
  20. Для каких целей проводят гидравлические испытания аппаратов ?
  21. Назовите основные виды загрязнений поверхности теплообмена аппарата ?
  22. Какие показатели характеризуют тепловую эффективность и термодинамическое совершенство теплообменного аппарата ?
  23. С какой стороны теплообменной поверхности целесообразно интенсифицировать теплообмен ?
  24. За счет чего пластинчатые теплообменники имеют более высокую интенсивность теплообмена по сравнению с кожухотрубчатыми аппаратами ?
  25. Какие показатели характеризуют надежность теплообменных аппаратов ?
- LMS-платформа – не предусмотрена

#### **5.4 Содержание контрольно-оценочных мероприятий по направлениям воспитательной деятельности**

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.