

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

СОГЛАСОВАНО

**Руководитель ОПОП ВО
профессор В.А. Лебедев**

УТВЕРЖДАЮ

**Проректор по образовательной
деятельности
Д.Г. Петраков**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕПЛОМАССОБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ

| | |
|-------------------------------------|---|
| Уровень высшего образования: | Бакалавриат |
| Направление подготовки: | 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника |
| Направленность (профиль): | Энергообеспечение предприятий |
| Квалификация выпускника: | бакалавр |
| Форма обучения: | очная |
| Составитель: | профессор Лебедев В.А. |

Санкт-Петербург

Рабочая программа дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий»
разработана:

- в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», утвержденного приказом Минобрнауки России № 143 от 28.02.2018 г.;
- на основании учебного плана бакалавриата по направлению подготовки «13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника», направленность (профиль) «Энергообеспечение предприятий».

Составитель _____ к.т.н., профессор В.А. Лебедев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Теплотехники и теплоэнергетики от «20» января 2021 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой _____ к.т.н., профессор В.А. Лебедев

Рабочая программа согласована:

Начальник отдела лицензирования, аккредитации и контроля качества образования _____ к.п.н. Дубровская Ю.А.

Начальник отдела методического обеспечения учебного процесса _____ к.т.н. Романчиков А.Ю.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:

Цель дисциплины:

- формирование профессиональных специализированных компетенций в соответствии с принятыми видами профессиональной деятельности;
- формирование у студентов необходимых знаний процессов, конструкций, умений в выполнении расчетов теплообменного, тепломеханического оборудования теплоэнергетических систем, ТЭС и АЭС, а также формирование навыков надежной эксплуатации этого оборудования.

Основные задачи дисциплины:

- получение знаний конструктивных схем, состава, протекающих процессов и режимов работы оборудования;
- овладение методами расчета оборудования и способами их эффективного исследования;
- приобретение практических навыков технической эксплуатации тепломассообменного оборудования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Тепломассообменное оборудование предприятий» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность (профиль) «Энергообеспечение предприятий» и изучается в 6 семестре.

Дисциплина является предшествующей для изучения таких дисциплин, как «Источники и системы теплоснабжения предприятий», «Основы централизованного теплоснабжения», «Котельные установки и парогенераторы», а также для подготовки выпускной квалификационной работы.

Особенностью изучения дисциплины является системность подхода при овладении знаниями и навыками в изучении теплоэнергетического оборудования и использование методов термодинамического анализа при проектировании и эксплуатации теплоэнергетического оборудования предприятий.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий» направлен на формирование следующих компетенций и получение основных результатов обучения:

| Формируемые компетенции по ФГОС | | Основные показатели освоения дисциплины |
|---|-----------------|--|
| Содержание компетенции | Код компетенции | |
| Способен производить оценку технического состояния, поддержание и восстановление работоспособности тепломассообменного оборудования ОПД | ПКС-5 | ПКС-5.1 Производит оценку технического состояния тепломассообменного оборудования ОПД; ПКС-5.2 Производит поддержание работоспособности тепломассообменного оборудования ОПД; ПКС-5.3 Производит восстановление работоспособности тепломассообменного оборудования ОПД |

| Формируемые компетенции по ФГОС | | Основные показатели освоения дисциплины |
|--|-----------------|---|
| Содержание компетенции | Код компетенции | |
| Способен управлять процессами эксплуатации ОПД | ПКС-6 | ПКС-6.1 Управляет процессами эксплуатации ОПД |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 ак. часов).

| Вид учебной работы | Всего ак. часов | Ак. часы по семестрам |
|--|-----------------|-----------------------|
| | | 6 |
| Аудиторные занятия, в том числе: | 102 | 102 |
| Лекции | 51 | 51 |
| Практические занятия (ПЗ) | 51 | 51 |
| Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе | 78 | 78 |
| Аналитический информационный поиск | 18 | 18 |
| Работа в библиотеке | 18 | 18 |
| Подготовка к лекциям | 18 | 18 |
| Подготовка к практическим занятиям | 24 | 24 |
| Вид промежуточной аттестации – экзамен (Э) | 36 | Э(36) |
| Общая трудоемкость дисциплины | - | - |
| ак. час. | 216 | 216 |
| зач. ед. | 6 | 6 |

4.2 Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия, и самостоятельная работа.

4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| № п/п | Наименование разделов | Виды занятий | | | | |
|-------|--|-----------------|--------|----------------------|---------------------|---|
| | | Всего ак. часов | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа студента, в том числе курсовая работа (проект) |
| 1 | Раздел 1. Основные виды промышленных теплообменных процессов, аппаратов, установок | 14 | 4 | 2 | - | 8 |
| 2 | Раздел 2. Рекуперативные теплообменные аппараты. | 24 | 6 | 8 | - | 10 |
| 3 | Раздел 3. Регенеративные теплообменные аппараты | 24 | 6 | 8 | - | 10 |
| 4 | Раздел 4. Выпарные установки | 22 | 6 | 8 | - | 8 |

| | | | | | | |
|---------------|--|------------|-----------|-----------|---|-----------|
| 5 | Раздел 5. Смесительные теплообменные аппараты | 18 | 6 | 4 | - | 8 |
| 6 | Раздел 6. Сушильные установки | 25 | 6 | 9 | - | 10 |
| 7 | Раздел 7. Перегонные и ректификационные установки | 18 | 6 | 4 | - | 8 |
| 8 | Раздел 8. Сорбционные процессы и установки | 18 | 6 | 4 | - | 8 |
| 9 | Раздел 9. Эксплуатация теплообменного оборудования предприятий | 17 | 5 | 4 | - | 8 |
| Итого: | | 180 | 51 | 51 | | 78 |

4.2.2. Содержание разделов дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание лекционных занятий | Трудоемкость в ак. часах |
|-------|---------------------------------|--|--------------------------|
| 1 | Раздел 1. | Основные виды теплоэнергетического и теплотехнологического оборудования промышленных предприятий. Наиболее распространенные промышленные теплообменные процессы, их теплофизическая сущность. Теплообменные и теплообменные аппараты и установки. Классификация теплообменных аппаратов. Перспективные типы теплообменников: тепловые трубы, двухфазные термосифоны. Теплоносители, требования, предъявляемые к ним, основные свойства, области рационального применения. | 4 |
| 2 | Раздел 2. | Конструкции рекуперативных теплообменников (кожухотрубчатых, секционных «труба в трубе», спиральных, пластинчатых), их основные элементы и узлы. Компактные аппараты с ребристыми поверхностями теплообмена, способы их изготовления. Последовательность проектирования теплообменных аппаратов, состав проектного расчета. Тепловой конструктивный и поверочный расчеты теплообменников, основные уравнения. Компонентный расчет кожухотрубчатых и спиральных аппаратов. Гидравлический расчет. Тепловой расчет аппаратов с ребристыми поверхностями теплообмена. Рекуперативные аппараты периодического действия; тепловые балансы, графики температур, нагрузки. Тепловые трубы и двухфазные термосифоны, области применения, расчет передаваемого теплового потока. Методы интенсификации теплообмена. | 6 |
| 3 | Раздел 3. | Конструкции регенеративных теплообменников (с неподвижной и вращающейся насадкой, с промежуточным твердым сыпучим теплоносителем), области их применения. Типы | 6 |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание лекционных занятий | Трудоемкость в ак. часах |
|-------|---------------------------------|---|--------------------------|
| | | насадок, требования, предъявляемые к ним. Перспективы развития регенеративных аппаратов. Теплообмен и поля температур в регенераторах, коэффициент аккумуляции теплоты, тепловой расчет регенеративных теплообменников. | |
| 4 | Раздел 4. | Цели и методы выпаривания. Выпарные установки с аппаратами поверхностного и контактного типов, адиабатного испарения. Области применения выпарных установок, технологические свойства растворов. Конструкции выпарных аппаратов, сепараторы и брызгоотделители. Материальный и тепловой балансы выпарного аппарата, особенности теплообмена. Схемы многоступенчатых выпарных установок. Вспомогательное оборудование. Использование вторичных энергоресурсов. Система уравнений материального и теплового балансов. Располагаемая и полезная разности температур. Распределение полезной разности температур по ступеням. Тепловой расчет многоступенчатой выпарной установки. Техничко-экономические показатели. Оптимальное число ступеней установки. | 6 |
| 5 | Раздел 5. | Технологические процессы и установки с тепломассообменом. Физические свойства влажного воздуха, h-d - диаграмма влажного воздуха, изображение на ней процессов рекуперативного нагревания и охлаждения, смешения потоков, адиабатного испарения. Конструкции аппаратов с непосредственным контактом газов и жидкости: скрубберы (полые, насадочные, тарельчатые, пенные, с псевдооживленной насадкой Вентури), камеры орошения систем кондиционирования воздуха. Материальные и тепловые балансы. Методы расчетов аппаратов. | 6 |
| 6 | Раздел 6. | Методы обезвоживания влажных материалов. Области применения тепловой сушки. Классификация сушилок в зависимости от способа подвода теплоты. Формы связи влаги с материалом, влагосодержание. Кинетика и динамика сушки. Расчет продолжительности сушки. Конвективная сушка. Материальный и тепловой балансы конвективных сушильных установок. Теплотехнологические схемы установок. Расчет расхода воздуха и теплоты. Аппаратурно-технологическое оформление | 6 |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание лекционных занятий | Трудоемк ость в ак. часах |
|---------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|
| | | процессов сушки. Сушка жидкотекучих, твердых, дисперсных и ленточных материалов. Перспективы развития сушильной техники, роль ее в системе защиты окружающей среды. | |
| 7 | Раздел 7. | Назначение, принцип действия и классификация перегонных и ректификационных установок. Физико-химические свойства бинарных смесей. Законы Рауля, Дальтона и Коновалова. Фазовая t, y, x -диаграмма и y-x -диаграмма равновесия бинарных смесей. Расчет ректификационных колонн (метод теоретических тарелок и метод числа единиц переноса). Влияние флегмового числа на экономичность колонны. Конструкции тарельчатых, сетчатых и насадочных колонн. Схемы ректификационных установок для многокомпонентных смесей. Тепловой баланс ректификационной колонны. | 6 |
| 8 | Раздел 8. | Виды и назначение сорбционных процессов. Абсорбционные процессы и установки. Основные законы. Материальный баланс. Процессы в y, x - диаграмме. Принципиальные схемы абсорбции. Адсорбционные процессы и установки. Адсорбенты. Изотерма адсорбции. Принципиальные схемы адсорбции. | 6 |
| 9 | Раздел 9. | Методы оценки технического состояния и остаточного ресурса теплообменного оборудования. Обеспечение надежности и экономичности работы теплообменного оборудования в процессе эксплуатации. Порядок и содержание типовых и плановых испытаний теплообменного оборудования. Организация, виды, периодичность и средства проведения профилактических осмотров и ремонтов теплообменного оборудования. Контроль качества монтажа теплообменного оборудования. Техническая документация на обслуживание и ремонт теплообменного оборудования, оформление заявок на оборудование и запасные части. Программы испытаний теплообменных аппаратов и методы их численных и экспериментальных исследований . | 5 |
| Итого: | | | 51 |

4.2.3. Практические занятия

| № п/п | Раздел | Тематика практических занятий | Трудоемкость в ак. часах |
|---------------|----------|---|--------------------------|
| 1 | Раздел 1 | Конструктивные схемы теплообменных аппаратов | 2 |
| 2 | Раздел 2 | Тепловой и гидравлический расчет рекуперативного теплообменника | 8 |
| 3 | Раздел 3 | Расчет смесительного теплообменника | 8 |
| 4 | Раздел 4 | Расчет подогревателя низкого давления | 8 |
| 5 | Раздел 5 | Расчет деаэратора струйно-барботажного типа | 4 |
| 6 | Раздел 6 | Расчет калориферной установки | 9 |
| 7 | Раздел 7 | Расчет испарительной установки | 4 |
| 8 | Раздел 8 | Расчет абсорбционной установки | 4 |
| 9 | Раздел 9 | Испытания теплообменных аппаратов | 4 |
| Итого: | | | 51 |

4.2.4. Лабораторные работы

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.2.5. Курсовые работы (проекты)

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

Лекции, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся.

Цели лекционных занятий:

- дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;
- стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

Лабораторные работы. Цели лабораторных работ:

- связать теоретические знания с практической деятельностью;
- получить навыки использования возможностей пакетов прикладных программ для решения задач, связанных с профессиональной деятельностью.

Практические занятия. Цели практических занятий:

- совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

Консультации (текущая консультация, накануне экзамена) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Тематика для самостоятельной подготовки

Раздел 1. Основные виды промышленных теплообменных процессов, аппаратов, установок

1. Основные виды теплоэнергетического и теплотехнологического оборудования промышленных предприятий.
2. Наиболее распространенные промышленные теплообменные процессы, их теплофизическая сущность.
3. Классификация теплообменных аппаратов.
4. Перспективные типы теплообменников: тепловые трубы, двухфазные термосифоны.
5. Теплоносители и требования, предъявляемые к ним.

Раздел 2. Рекуперативные теплообменные аппараты

1. Конструкции рекуперативных теплообменников (кожухотрубчатых, секционных «труба в трубе», спиральных, пластинчатых), их основные элементы и узлы.
2. Тепловой конструктивный и поверочный расчеты теплообменников, основные уравнения.
3. Компонентный расчет кожухотрубчатых и спиральных аппаратов.
4. Гидравлический расчет.
5. Тепловые трубы и двухфазные термосифоны, области применения.
6. Методы интенсификации теплообмена.

Раздел 3. Регенеративные теплообменные аппараты.

1. Конструкции регенеративных теплообменников (с неподвижной и вращающейся насадкой, с промежуточным твердым сыпучим теплоносителем), области их применения.
2. Типы насадок, требования, предъявляемые к ним.
3. Перспективы развития регенеративных аппаратов.
4. Теплообмен и поля температур в регенераторах, коэффициент аккумуляции теплоты. Тепловой расчет регенеративных теплообменников.

Раздел 4. Выпарные установки

1. Выпарные установки с аппаратами поверхностного и контактного типов, адиабатного испарения.
2. Конструкции выпарных аппаратов, сепараторов и брызгоотделителей.
3. Материальный и тепловой балансы выпарного аппарата.
4. Схемы многоступенчатых выпарных установок.
5. Распределение полезной разности температур по ступеням. Тепловой расчет многоступенчатой выпарной установки.
6. Оптимальное число ступеней выпарной установки.

Раздел 5. Смесительные теплообменные аппараты

1. Технологические процессы и установки с тепломассообменом.
2. Физические свойства влажного воздуха, $h-d$ - диаграмма влажного воздуха.
3. Конструкции аппаратов с непосредственным контактом газов и жидкости: скрубберы (полые, насадочные, тарельчатые, пенные, с псевдооживленной насадкой Вентури).
4. Материальные и тепловые балансы в смесительных ТОА.
5. Методы расчетов смесительных аппаратов.

Раздел 6. Сушильные установки

1. Методы обезвоживания влажных материалов.
2. Области применения тепловой сушки.
3. Классификация сушилок в зависимости от способа подвода теплоты.
4. Формы связи влаги с материалом, влагосодержание.
5. Кинетика и динамика сушки.
6. Расчет продолжительности сушки.
7. Конвективная сушка.
8. Материальный и тепловой балансы конвективных сушильных установок.
9. Особенности сушки жидкотекучих, твердых, дисперсных и ленточных материалов.

Раздел 7. Перегонные и ректификационные установки

1. Назначение, принцип действия и классификация перегонных и ректификационных установок.
2. Физико-химические свойства бинарных смесей.
3. Законы Рауля, Дальтона и Коновалова.
4. Фазовая t, y, x -диаграмма и $u-x$ -диаграмма равновесия бинарных смесей.
5. Расчет ректификационных колонн (метод теоретических тарелок и метод числа единиц переноса).
6. Влияние флегмового числа на экономичность колонны.
7. Конструкции тарельчатых, сетчатых и насадочных колонн.
8. Тепловой баланс ректификационной колонны.

Раздел 8. Сорбционные процессы и установки

1. Виды и назначение сорбционных процессов.
2. Абсорбционные процессы и установки.
3. Основные законы.
4. Уравнение материального баланса.
5. Принципиальные схемы абсорбции.
6. Адсорбционные процессы и установки.
7. Принципиальные схемы адсорбции.

Раздел 9. Эксплуатация тепломассообменного оборудования предприятий

1. Методы оценки технического состояния и остаточного ресурса тепломассообменного оборудования.
2. Обеспечение надежности и экономичности работы тепломассообменного оборудования в процессе эксплуатации.
3. Порядок и содержание типовых и плановых испытаний тепломассообменного оборудования.
4. Организация, виды, периодичность и средства проведения профилактических осмотров и ремонтов тепломассообменного оборудования.

5. Контроль качества монтажа теплообменного оборудования.
6. Техническая документация на обслуживание и ремонт теплообменного оборудования, оформление заявок на оборудование и запасные части.
7. Программы испытаний теплообменных аппаратов и методы их численных и экспериментальных исследований

6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (экзамена)

6.2.1. Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену (по дисциплине):

1. Классификация теплообменных аппаратов по способу передачи теплоты.
2. Классификация теплообменных аппаратов по характеру температурного режима.
3. Рабочий диапазон среднетемпературных процессов и установок.
4. Требования к физическим свойствам теплоносителей.
5. Скрытая теплота парообразования или конденсации.
6. Коэффициент теплопередачи.
7. Принцип действия *рекуперативных* аппаратов.
8. Коэффициент теплоотдачи от газового потока к стенке в рабочем диапазоне скоростей.
9. Методика прямого теплового расчёта теплообменного аппарата.
10. Уравнение теплового баланса ТОО.
11. Коэффициент теплопередачи.
12. Влияние направления движения теплоносителей в пароводяном теплообменнике.
13. График температурного напора с прямоточной схемой движения теплоносителей.
14. График температурного напора с противоточной схемой движения теплоносителей.
15. График температурного напора с перекрёстным током.
16. График температурного напора с фазовым превращением одного из теплоносителей
17. Определение среднелогарифмического температурного напора в ТОО.
18. Особенности теплопередачи в газо-газовых ТОО.
19. Особенности теплопередачи в газожидкостных ТОО.
20. Особенности теплопередачи в парожидкостных ТОО.
21. Особенности теплопередачи в жидкостно-жидкостных ТОО.
22. Условие, когда средний температурный напор можно рассчитывать как среднеарифметический.
23. Особенности противоточной схемы движения теплоносителей.
24. Упрощённый расчет коэффициента теплопередачи при расчёте газо-газовых теплообменников.
25. Поверочный тепловой расчёт теплообменника.
26. Основной закон теплопроводности.
27. Определение потери напора на трение.
28. Гидравлический (аэродинамический) расчёт ТОО.
29. Коэффициент сопротивления трению в автомобильной области.
30. Затраты мощности на преодоление сопротивления.
31. Снижение эффективности работы теплообменных аппаратов.
32. Повышение тепловой эффективности в газожидкостных теплообменниках.
33. Назначение конденсатного насоса в схеме установки регенеративных подогревателей питательной воды на ТЭЦ.
34. Конструктивное обеспечение жёсткости в парожидкостных аппаратах.
35. Требования к материалам, из которых изготавливается трубный пучок в подогревателях сетевой воды.
36. Особенности конструкции регенеративных подогревателей питательной воды, работающих под большим давлением.

37. Порядок прямого теплового расчёта парожидкостного теплообменника.
38. Особенности выбора давления греющего пара в регенеративных подогревателях питательной воды низкого давления.
39. Формула Нуссельта для расчёта коэффициента теплоотдачи при плёночной конденсации водяного пара.
40. Отличие методики Лабунцова от методики Нуссельта для определения коэффициента теплоотдачи при конденсации водяного пара на длинных вертикальных трубах.
41. Физический смысл коэффициента теплоотдачи при движении жидкости внутри трубы в соответствии с формулой Михеева

$$\alpha = 0,021 \cdot \frac{\lambda}{d_b} \cdot Re_n^{0,8} \cdot Pr_n^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_n}{Pr_c}\right)^{0,25}$$

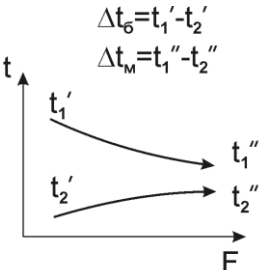
42. Определение коэффициента теплоотдачи при движении жидкости внутри изогнутых труб.
43. Потери напора на трение в трубках.
44. Потери напора в теплообменнике в зависимости от скорости среды.
45. Допустимое давление воды в теплообменниках типа «труба в трубе».
46. Определение эквивалентного диаметра каналов некруглого сечения.
47. Какой из теплоносителей обладает наибольшей теплопроводностью.
48. Определение режима движения потока.
49. Коэффициент заполнения трубной доски $\eta_{тр}$.
50. Определение коэффициента оребрения.
51. Связь коэффициента компактности с типом поверхности нагрева.
52. Тепловая эффективность теплообменных аппаратов.
53. Связь скорости воды и расхода при постоянном диаметре трубопровода.
54. Принцип действия контактного (смесительного) теплообменника.
55. Материалы, используемые в тепломассообменном оборудовании.
56. Особенности конструкции пароперегревателя при сверхкритических параметрах пара.

6.2.2. Примерные тестовые задания к экзамену

Вариант 1.

| № п/п | Вопросы | Ответы |
|-------|---|--|
| 1. | По способу передачи теплоты теплообменные аппараты классифицируются следующим образом: | 1. подогреватели, испарители, холодильники, калориферы, радиаторы 2. рекуперативные (поверхностные), регенеративные, смесительные (контактные) 3. парожидкостные, газожидкостные, жидкостно-жидкостные, газо-газовые 4. высокотемпературные, среднетемпературные, криогенные, низкотемпературные |
| 2. | По характеру температурного режима теплообменные аппараты классифицируются следующим образом: | 1. высокотемпературные, среднетемпературные, низкотемпературные, криогенные 2. подогреватели, испарители, холодильники, калориферы, радиаторы 3. с установившимся (стационарным) тепловым режимом, с неуставившимся (нестационарным) тепловым режимом 4. рекуперативные, регенеративные, смесительные |

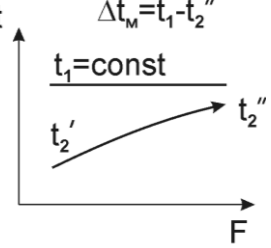
| | | |
|----|--|--|
| 3. | Рабочий диапазон <i>среднетемпературных</i> процессов и установок составляет ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. до 200 °С 2. от 150 до 700 °С 3. свыше 200 °С 4. ниже 300 °С |
| 4. | <i>Идеальный</i> теплоноситель должен обладать следующими физическими свойствами: | <ol style="list-style-type: none"> 1. низкая плотность, вязкость, теплопроводность, высокая теплоёмкость и теплота фазового перехода 2. высокая плотность, вязкость, теплота фазового перехода, низкая теплопроводность и теплоёмкость 3. низкая вязкость, теплопроводность, высокая теплоёмкость, плотность и теплота фазового перехода 4. высокая плотность, теплоёмкость, теплопроводность и теплота фазового перехода, низкая вязкость |
| 5. | Скрытая теплота парообразования или конденсации – это ... Какая из формулировок <i>неверна</i> ? | <ol style="list-style-type: none"> 1. количество теплоты, выделяющейся при конденсации 1 кг пара при данном давлении 2. количество теплоты, которое надо затратить, чтобы 1 кг кипящей воды при данном давлении превратить в пар 3. количество теплоты, которое выделяется при конденсации 1 кг пара или которое надо затратить, чтобы 1 кг кипящей воды превратить в пар при данном давлении 4. количество теплоты, которое надо затратить, чтобы 1 кг пара при данном давлении превратить в воду |
| 6. | В системе СИ коэффициент теплопередачи измеряется в ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. Вт/(м²·К) 2. Дж/(кг·К) 3. Вт/(м·К) 4. Дж/(м²·К) |
| 7. | В <i>рекуперативных</i> аппаратах передача теплоты происходит ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. периодически (циклически) в результате соприкосновения греющей среды с насадкой, которая аккумулирует тепло и отдаёт его нагреваемой среде 2. при непосредственном соприкосновении греющей и нагреваемой рабочих сред на поверхности насадки 3. при непосредственном перемешивании греющей и нагреваемой рабочих сред в объёме аппарата 4. непрерывно во времени через разделяющую твёрдую стенку |
| 8. | Коэффициент теплоотдачи от <i>газового</i> потока к стенке в рабочем диапазоне скоростей составляет величину ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. 2–10 Вт/(м²·°С) 2. 100–1000 Вт/(м²·°С) 3. 10–100 Вт/(м²·°С) 4. 1000–20000 Вт/(м²·°С) |

| | | |
|-----|--|--|
| 9. | Целью <i>прямого теплового расчёта</i> является определение ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. поверхности нагрева теплообменника 2. температурного напора 3. коэффициента теплопередачи 4. тепловой производительности |
| 10. | Из уравнения теплового баланса $G_1 \cdot C_{p1} \cdot (t_1' - t_1'') = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2'' - t_2')$ обычно определяют ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. температурный напор 2. коэффициент теплопередачи 3. расход греющей или нагреваемой среды или одну из неизвестных температур теплоносителей 4. термическое сопротивление |
| 11. | В расчётной формуле $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$ для определения коэффициента теплопередачи λ – это ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. теплопроводность греющей среды 2. теплопроводность материала стенки 3. теплопроводность нагреваемой среды 4. теплопроводность накипи |
| 12. | Направление движения теплоносителей в пароводяном теплообменнике <i>не влияет</i> на величину температурного напора, потому что ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. водяной эквивалент одного из теплоносителей значительно больше другого 2. скорость воды значительно ниже скорости пара 3. температура пара при конденсации не изменится 4. коэффициенты теплоотдачи с обеих сторон – величины одного порядка |
| 13. | График температурного напора $\Delta t_{\bar{}} = t_1' - t_2'$ $\Delta t_M = t_1'' - t_2''$  соответствует теплообменнику... | <ol style="list-style-type: none"> 1. с прямоточной схемой движения теплоносителей 2. с противоточной схемой движения теплоносителей 3. с перекрёстным током 4. с фазовым превращением одного из теплоносителей |
| 14. | Среднелогарифмический температурный напор рассчитывается по формуле ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{}} - \Delta t_M}{\ln(\Delta t_{\bar{}} / \Delta t_M)}$ 2. $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{}} + \Delta t_M}{2}$ 3. $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{}} + \Delta t_M}{\ln(\Delta t_{\bar{}} / \Delta t_M)}$ 4. $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{}} - \Delta t_M}{2}$ |
| 15. | В каких теплообменниках коэффициент теплопередачи практически равен коэффициенту теплоотдачи с одной из сторон $k = \alpha_r$? | <ol style="list-style-type: none"> 1. в газо-газовых 2. в газожидкостных 3. в парожидкостных 4. в жидкостно-жидкостных |

| | | |
|-----|--|--|
| 16. | Средний температурный напор <i>можно</i> рассчитывать как <i>среднеарифметический</i> , если ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. $\Delta t_m / \Delta t_g \leq 0,5$ 2. Δt_m значительно меньше, чем Δt_g 3. $\Delta t_m / \Delta t_g$ стремится к нулю 4. $\Delta t_m / \Delta t_g \geq 0,6$ |
| 17. | Основное преимущество <i>противоточной</i> схемы движения теплоносителей по сравнению с <i>прямоточной</i> – ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. температура нагреваемой среды на выходе из теплообменника стремится к температуре греющей среды на выходе 2. упрощённая формула для расчёта температурного напора 3. температура нагреваемой среды на выходе из теплообменника может превышать температуру греющей среды на выходе 4. для определения Δt_g и Δt_m нет необходимости строить температурный график |
| 18. | При расчёте <i>газо-газовых</i> теплообменников можно воспользоваться упрощённой формулой определения коэффициента теплопередачи $k = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$, потому что ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. коэффициенты теплоотдачи с обеих сторон – величины одного порядка 2. термическое сопротивление теплопроводности стенки значительно ниже термического сопротивления теплоотдачи и им можно пренебречь 3. термическое сопротивление теплоотдачи значительно ниже термического сопротивления теплопроводности стенки 4. коэффициенты теплоотдачи со стороны газов очень велики |
| 19. | Целью <i>поверочного теплового</i> расчёта теплообменника является определение ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. поверхности нагрева при известных начальных параметрах теплоносителей 2. конструктивных характеристик теплообменника 3. тепловой нагрузки и конечных температур теплоносителей при известных начальных параметрах, поверхности нагрева и конструкции 4. мощности насоса (вентилятора) |
| 20. | Основной закон <i>теплопроводности</i> : | <ol style="list-style-type: none"> 1. закон Стефана-Больцмана $E = \sigma \cdot T^4$ 2. закон Фика $j = -D \cdot \text{grad}C$ 3. закон Фурье $q = -\lambda \cdot \text{grad}t$ 4. закон Ньютона-Рихмана $q = \alpha(t_n - t_{ct})$ |

Вариант 2.

| № п/п | Вопросы | Ответы |
|----------|---|--|
| 1. | По направлению и характеру движения рабочих сред теплообменные аппараты классифицируются следующим образом: | 1. подогреватели, испарители, холодильники, калориферы, радиаторы 2. парожидкостные, газожидкостные, жидкостно-жидкостные, газо-газовые 3. прямоточные, противоточные, перекрёстным и смешанным током, c однопоточные и многопоточные 4. рекуперативные, регенеративные, смесительные |
| 2. | К высокотемпературному тепломассообменному оборудованию относятся установки с рабочим диапазоном температур ... | 1. от 150 до 700 °С 2. свыше 200 °С 3. от 200 до 1000 °С 4. от 400 до 2000 °С |
| 3. | Основной закон конвективного теплообмена: | 1. закон Фурье $q = -\lambda \cdot \text{grad}t$ 2. закон Стефана-Больцмана $E = \sigma \cdot T^4$ 3. закон Фика $j = -D \cdot \text{grad}C$ 4. закон Ньютона-Рихмана $q = \alpha(t_n - t_{ст})$ |
| 4. | Идеальный теплоноситель должен обладать следующими физическими свойствами: | 1. низкая плотность, вязкость, теплопроводность, высокая теплоёмкость и теплота фазового перехода 2. высокая плотность, теплоёмкость, теплопроводность и теплота фазового перехода, низкая вязкость 3. низкая вязкость, теплопроводность, высокая теплоёмкость, плотность и теплота фазового перехода 4. высокая плотность, вязкость, теплота фазового перехода, низкая теплопроводность и теплоёмкость |
| 5. | В системе СИ коэффициент теплоотдачи измеряется в ... | 1. Дж/(кг·К) 2. Вт/(м·К) 3. Вт/(м ² ·К) 4. Дж/(м·К) |
| 6. | В смесительных теплообменных аппаратах передача теплоты происходит ... | 1. при непосредственном соприкосновении (перемешивании) греющей и нагреваемой рабочих сред либо на поверхности насадки, либо в объёме аппарата 2. непрерывно во времени через разделяющую твёрдую стенку 3. периодически в результате обтекания рабочими средами выпукло-вогнутой поверхности 4. периодически (циклически) в результате соприкосновения греющей среды с насадкой, которая аккумулирует тепло и отдаёт его нагреваемой среде |

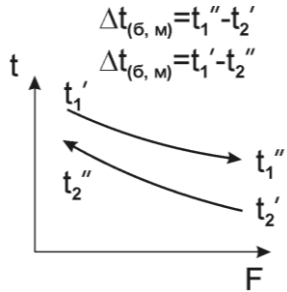
| | | |
|-----|--|--|
| 7. | Коэффициент теплоотдачи <i>при плёночной конденсации водяного пара</i> обычно находится в пределах ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. 10–100 Вт/(м²·°С) 2. не выше 1000 Вт/(м²·°С) 3. 100–1000 Вт/(м²·°С) 4. 3000–15000 Вт/(м²·°С) |
| 8. | <p>В расчётной формуле</p> $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$ <p>для определения коэффициента теплопередачи</p> <p>$\frac{1}{\alpha_1}$ – это ...</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. термическое сопротивление теплоотдачи со стороны греющей среды 2. термическое сопротивление теплоотдачи со стороны нагреваемой среды 3. термическое сопротивление теплопроводности стенки 4. термическое сопротивление слоя накипи |
| 9. | Направление движения теплоносителей в теплообменнике <i>не влияет</i> на величину температурного напора, если ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. температура одного из теплоносителей постоянна 2. скорости теплоносителей равны 3. скорости теплоносителей значительно отличаются друг от друга 4. коэффициенты теплоотдачи с обеих сторон – величины одного порядка |
| 10. | <p>График температурного напора</p> $\Delta t_{\text{б}} = t_1 - t_2'$ $\Delta t_{\text{м}} = t_1 - t_2''$  <p>соответствует теплообменнику...</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. с прямоточной схемой движения теплоносителей 2. с фазовым превращением одного из теплоносителей 3. с противоточной схемой движения теплоносителей 4. с перекрёстным током |
| 11. | Среднелогарифмический температурный напор рассчитывается по формуле ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. $\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}})}$ 2. $\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}})}$ 3. $\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}}{2}$ 4. $\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2}$ |
| 12. | <p>Расчётный коэффициент теплопередачи в водяном экономайзере практически равен коэффициенту теплоотдачи со стороны дымовых газов</p> $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{ж}}}} = \alpha_2$ <p>потому что ...</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов значительно выше, чем со стороны воды 2. коэффициенты теплоотдачи с обеих сторон – величины одного порядка 3. можно пренебречь термическим сопротивлением теплопроводности стенки и теплоотдачи со стороны воды 4. термическое сопротивление со стороны дымовых газов ничтожно мало |

| | | |
|-----|---|--|
| 13. | Средний температурный напор <i>нельзя</i> рассчитывать как <i>среднегеометрический</i> , если ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. $\Delta t_m / \Delta t_{\delta} = 0,3 \div 0,7$ 2. Δt_m значительно меньше, чем Δt_{δ} 3. $\Delta t_m = \Delta t_{\delta}$ 4. $\Delta t_m / \Delta t_{\delta}$ стремится к нулю |
| 14. | Одно из преимуществ <i>противоточной</i> схемы движения теплоносителей по сравнению с <i>прямоточной</i> – ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. требуется меньшая поверхность нагрева при одинаковых исходных данных 2. меньший температурный напор 3. для определения Δt_{δ} и Δt_m нет необходимости строить температурный график 4. температурный напор можно рассчитывать как среднеарифметический |
| 15. | В каких теплообменниках при расчёте коэффициента теплопередачи можно пренебречь термическим сопротивлением теплопроводности стенки и получить упрощённую расчётную формулу $k = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} ?$ | <ol style="list-style-type: none"> 1. в газо-газовых 2. в газожидкостных 3. в парожидкостных 4. в жидкостно-жидкостных |
| 16. | К <i>низкотемпературным</i> установкам относятся: | <ol style="list-style-type: none"> 1. промышленные печи 2. отопительные, вентиляционные, холодильные установки, тепловые насосы, кондиционеры 3. сушилки, ректификационные установки 4. выпарные установки |
| 17. | <i>Гидравлический (аэродинамический)</i> расчёт производится с целью определения ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. поверхности нагрева 2. расхода теплоносителей 3. оптимальных скоростей теплоносителей 4. потерь напора при движении теплоносителей и затрат мощности на преодоление сопротивления |
| 18. | Потери напора на <i>трение</i> определяются по формуле Дарси-Вейсбаха: | <ol style="list-style-type: none"> 1. $\Delta P_{\text{тр}} = \sum \psi_i \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}$ 2. $\Delta P_{\text{тр}} = \xi \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}$ 3. $\Delta P_{\text{тр}} = \xi \cdot \frac{d}{1} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}$ 4. $\Delta P_{\text{тр}} = \sum \psi_i \cdot \frac{\rho^2 \cdot W}{2}$ |
| 19. | Эффективность работы теплообменных аппаратов <i>снижается</i> в результате ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. увеличения скорости теплоносителей 2. уменьшения геометрических размеров каналов 3. снижения скорости теплоносителей 4. повышения давления теплоносителей |

| | | | |
|-----|---|--|--------|
| 20. | В теплообменниках с резко отличающимися коэффициентами теплоотдачи повышение тепловой эффективности достигается посредством ... | 1. оребрения со стороны теплоносителя высоким коэффициентом теплоотдачи 2. оребрения со стороны теплоносителя малым коэффициентом теплоотдачи 3. снижения скорости теплоносителей 4. снижения давления теплоносителей | с с |
|-----|---|--|--------|

Вариант 3.

| № п/п | Вопросы | Ответы |
|-------|---|--|
| 1. | По роду применяемых теплоносителей теплообменные аппараты классифицируются следующим образом: | 1. подогреватели, испарители, холодильники, калориферы, радиаторы 2. парожидкостные, газожидкостные, жидкостно-жидкостные, газо-газовые 3. рекуперативные (поверхностные), регенеративные, смесительные (контактные) 4. высокотемпературные, среднетемпературные, криогенные, низкотемпературные |
| 2. | По температурному уровню теплообменные аппараты классифицируются следующим образом: | 1. высокотемпературные, среднетемпературные, низкотемпературные, криогенные 2. подогреватели, испарители, холодильники, калориферы, радиаторы 3. с установившимся (стационарным) тепловым режимом, с неустановившимся (нестационарным) тепловым режимом 4. прямоточные, противоточные, перекрёстным и смешанным током |
| 3. | Рабочий температурный диапазон криогенных процессов и установок ... | 1. не выше 100 °С 2. ниже 0 °С 3. ниже 150 °С 4. от 0 до 100 °С |
| 4. | Идеальный теплоноситель должен обладать следующими физическими свойствами: | 1. низкая вязкость, теплопроводность, высокая теплоёмкость, плотность и теплота фазового перехода 2. высокая плотность, теплоёмкость, теплопроводность и теплота фазового перехода, низкая вязкость 3. высокая плотность, вязкость, теплота фазового перехода, низкая теплопроводность и теплоёмкость 4. низкая плотность, вязкость, теплопроводность, высокая теплоёмкость и теплота фазового перехода |

| | | |
|-----|--|---|
| 5. | В <i>регенеративных</i> аппаратах передача теплоты происходит ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. при непосредственном соприкосновении греющей и нагреваемой рабочих сред на поверхности насадки 2. непрерывно во времени через разделяющую твёрдую стенку 3. при непосредственном перемешивании греющей и нагреваемой рабочих сред в объёме аппарата 4. периодически (циклически) в результате соприкосновения греющей среды с насадкой, которая аккумулирует тепло и отдаёт его нагреваемой среде |
| 6. | В системе СИ теплопроводность измеряется в ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. Вт/(м·К) 2. Вт/(м²·К) 3. Дж/(м·К) 4. Дж/(кг·К) |
| 7. | Коэффициент теплоотдачи от <i>воды</i> к стенке в рабочем диапазоне скоростей составляет величину ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. 10–100 Вт/(м²·°С) 2. не выше 1000 Вт/(м²·°С) 3. 1000–15000 Вт/(м²·°С) 4. 100–1000 Вт/(м²·°С) |
| 8. | В расчётной формуле $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$ для определения коэффициента теплопередачи $\frac{\delta}{\lambda}$ – это ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. термическое сопротивление теплоотдачи со стороны греющей среды 2. термическое сопротивление теплопроводности стенки 3. термическое сопротивление теплоотдачи со стороны нагреваемой среды 4. теплопроводность стенки |
| 9. | Направление движения теплоносителей в теплообменнике <i>не влияет</i> на величину температурного напора, если ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. скорости теплоносителей равны 2. водяной эквивалент одного из теплоносителей значительно выше другого 3. скорости теплоносителей значительно отличаются друг от друга 4. коэффициенты теплоотдачи с обеих сторон – величины одного порядка |
| 10. | График температурного напора $\Delta t_{(б, м)} = t_1'' - t_2'$ $\Delta t_{(б, м)} = t_1' - t_2''$  соответствует теплообменнику... | <ol style="list-style-type: none"> 1. с фазовым превращением одного из теплоносителей 2. с прямоточной схемой движения теплоносителей 3. с противоточной схемой движения теплоносителей 4. с перекрёстным током |
| 11. | Произведение расхода теплоносителя на теплоёмкость $G \cdot C_p$ называется ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. теплопроизводительностью 2. водяным эквивалентом 3. термическим сопротивлением 4. тепловой эффективностью |

| | | |
|-----|--|---|
| 12. | Среднелогарифмический температурный напор рассчитывается по формуле ... | <ol style="list-style-type: none"> $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)}$ $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2}$ $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{\ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)}$ $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2}$ |
| 13. | Коэффициент теплопередачи в газожидкостных теплообменниках практически равен коэффициенту теплоотдачи с газовой стороны $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ж}}} = \alpha_2$, потому что ... | <ol style="list-style-type: none"> можно пренебречь термическим сопротивлением теплопроводности стенки и теплоотдачи со стороны жидкости коэффициенты теплоотдачи – величины одного порядка термическое сопротивление со стороны газа ничтожно мало можно пренебречь термическим сопротивлением теплопроводности стенки |
| 14. | Средний температурный напор <i>нужно</i> рассчитывать как <i>среднелогарифмический</i> , если ... | <ol style="list-style-type: none"> $\Delta t_m / \Delta t_6 \geq 0,8$ $\Delta t_m / \Delta t_6 < 0,6$ $\Delta t_m = \Delta t_6$ $\Delta t_m / \Delta t_6$ стремится к единице |
| 15. | Одно из преимуществ <i>противоточной</i> схемы движения теплоносителей по сравнению с <i>прямоточной</i> – ... | <ol style="list-style-type: none"> для определения Δt_6 и Δt_m нет необходимости строить температурный график упрощается формула для расчёта температурного напора более высокий температурный напор при одинаковых исходных данных температурный напор можно рассчитывать как среднеарифметический |
| 16. | При расчёте <i>газо-газовых</i> теплообменников можно упростить формулу определения коэффициента теплопередачи $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$, потому что ... | <ol style="list-style-type: none"> термическое сопротивление теплоотдачи значительно ниже термического сопротивления теплопроводности стенки коэффициенты теплоотдачи со стороны газов невелики, а термическое сопротивление теплоотдачи значительно выше термического сопротивления теплопроводности стенки, которым, как следствие, можно пренебречь коэффициенты теплоотдачи с обеих сторон – величины одного порядка коэффициенты теплоотдачи со стороны газов очень велики |
| 17. | Основной закон <i>лучистого</i> теплообмена: | <ol style="list-style-type: none"> закон Ньютона-Рихмана $q = \alpha(t_n - t_{ст})$ закон Стефана-Больцмана $E = \sigma \cdot T^4$ закон Фика $j = -D \cdot \text{grad}C$ закон Фурье $q = -\lambda \cdot \text{grad}t$ |

| | | |
|-----|--|--|
| 18. | Гидравлический (аэродинамический) расчёт производится с целью определения ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. расхода теплоносителей 2. потерь напора при движении теплоносителей и затрат мощности на преодоление сопротивления 3. поверхности нагрева 4. оптимальных скоростей теплоносителей |
| 19. | Потери напора на <i>местные сопротивления</i> определяются по формуле: | <ol style="list-style-type: none"> 1. $\Delta P_M = \xi \cdot \frac{d}{1} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}$ 2. $\Delta P_M = \sum \psi_i \cdot \frac{\rho^2 \cdot W}{2}$ 3. $\Delta P_M = \xi \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}$ 4. $\Delta P_M = \sum \psi_i \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}$ |
| 20. | Эффективность работы теплообменных аппаратов <i>снижается</i> в результате ... | <ol style="list-style-type: none"> 1. увеличения давления теплоносителей 2. использования материала стенки с высоким коэффициентом теплопроводности 3. повышения температурного напора 4. увеличения толщины стенки |

6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

6.3.2. Критерии оценок промежуточной аттестации (экзамен)

| Оценка | | | |
|---|---|---|--|
| «2» (неудовлетворительно) | Пороговый уровень освоения «3» (удовлетворительно) | Углубленный уровень освоения «4» (хорошо) | Продвинутый уровень освоения «5» (отлично) |
| Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы | Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос | Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос. | Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос |
| Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий | Иногда находит решения, предусмотренные программой обучения заданий | Уверенно находит решения, предусмотренные программой обучения заданий | Безошибочно находит решения, предусмотренные программой обучения заданий |
| Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено | Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно | Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены | Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены |

Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:

| Количество правильных ответов, % | Оценка |
|----------------------------------|---------------------|
| 0-49 | Неудовлетворительно |
| 50-65 | Удовлетворительно |
| 66-85 | Хорошо |
| 86-100 | Отлично |

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Рекомендуемая литература

7.1.1. Основная литература

1. Иванов, А. Н. Тепломассообменное оборудование предприятий [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Иванов, В. Н. Белоусов. - СПб. : Горн. ун-т, 2013. - 167 с. Режим доступа: http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=374&task=set_s_tatic_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D553882<.>

7.1.2. Дополнительная литература

1. Андреев В.В. Теплотехника [Электронный ресурс]: Учебник/ Андреев В.В., Лебедев В.А., Спесивцев Б.И.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2016.— 288 с. Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=71706>
2. Дресвянкин, В. С. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. С. Дресвянкин. - СПб. : Горн. ун-т, 2013. - 139 с. Режим доступа: http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_s_tatic_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D044110<.>
3. Теплоэнергетика и теплотехника [Текст] : справочник : в 4 кн. / под общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. - 4-е изд., стер. - М. : Изд. дом МЭИ, 2007. - ISBN 978-5-383-00015-1. Кн. 4 : Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / [Б. Г. Борисов и др.]. - 2007. - 630 с.

7.1.3. Учебно-методическое обеспечение

1. Тепломассообменное оборудование предприятий: Тексты лекций [электр. Ресурс] / Лебедев В.А. - СПбГУ, 2016.- 352 с. -Режим доступа: / http://ior.spmi.ru/sites/default/files/l/l_1495787036.pdf, свободный.
2. Тепломассообменное оборудование предприятий: Методические указания к практическим занятиям – [электр. Ресурс] / Сост. Лебедев В.А. - СПбГУ, 2016.- 50 с. - Режим доступа: http://ior.spmi.ru/sites/default/files/pr/pr_1495787036.pdf
3. Тепломассообменное оборудование предприятий: Методические указания к лабораторным работам – [электр. Ресурс] / Сост. Лебедев В.А. - СПбГУ, 2016.- 29 с. - Режим доступа: / http://ior.spmi.ru/sites/default/files/lp/lp_1495787036.pdf, свободный.

7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>
2. КонсультантПлюс: справочно - поисковая система [Электронный ресурс]. - www.consultant.ru/ .
3. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
4. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
5. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
6. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>.

7. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.
8. Система ГАРАНТ: электронный периодический справочник [Электронный ресурс] www.garant.ru/.
9. Термические константы веществ. Электронная база данных, <http://www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv.pl>
10. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»: <https://e.lanbook.com/books>
11. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://elibrary.rsl.ru>
12. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
13. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» www.biblio-online.ru.
14. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»»: <http://rucont.ru/>
15. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:

Аудитории для проведения лекционных занятий

128 посадочных мест

Оснащенность: Стол письменный – 65 шт., стул аудиторный – 128 шт., кресло аудиторное – 1 шт., трибуна – 1 шт., трибуна настольная – 1 шт., доска настенная – 2 шт., компьютер 400G1, N9E88ES – 1 шт., монитор PROLITE TF1734MC-B1X – 1 шт., экран SCM-4308 – 1 шт., проектор XEED WUX6010 – 1 шт., система акустическая Sound SM52T-WH – 8 шт., плакат – 9 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus, Microsoft Open License, Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

60 посадочных мест

Стол письменный – 31 шт., стул аудиторный – 60 шт., кресло аудиторное – 1 шт., трибуна настольная – 1 шт., доска напольная мобильная – 1 шт., ноутбук 90NBOAO2-VQ1400 – 1 шт., проектор XEED WUX450ST – 1 шт., экран SCV-16904 Champion – 1 шт., плакат – 5 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 8 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus, Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО)

Аудитории для проведения практических занятий

32 посадочных места

Стол письменный – 17 шт., стул аудиторный – 32 шт., кресло аудиторное – 1 шт., трибуна настольная – 1 шт., доска настенная – 1 шт., плакат – 6 шт.

Перекатная мультимедийная установка (ноутбук Acer Aspire7720 (Intel(R) Core (TM)2 Duo CPU T7700 2.40GHz 2 ГБ); мышь проводная Genius Laser; проектор DLP Texas Instruments VLT XD600LP; стойка передвижная металлическая многоярусная).

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows Pro 7 RUS, Microsoft Office Std 2007 RUS, Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), Sea Monkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java 8 Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), do PDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), Xn View (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

30 посадочных мест

Стол письменный – 16 шт., стул аудиторный – 30 шт., кресло аудиторное – 1 шт., трибуна настольная – 1 шт., доска настенная – 1 шт., плакаты – 5 шт.

Перекатная мультимедийная установка (ноутбук Acer Aspire7720 (Intel(R) Core (TM)2 Duo CPU T7700 2.40GHz 2 ГБ); мышь проводная Genius Laser; проектор DLP Texas Instruments VLT XD600LP; стойка передвижная металлическая многоярусная).

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows Pro 7 RUS, Microsoft Office Std 2007 RUS, Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), Sea Monkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java 8 Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), do PDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), Xn View (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

28 посадочных мест

Стол письменный – 15 шт., стул аудиторный – 28 шт., кресло аудиторное – 1 шт., трибуна настольная – 1 шт., доска настенная – 1 шт., плакат – 5 шт.

Перекатная мультимедийная установка (ноутбук Acer Aspire7720 (Intel(R) Core (TM)2 Duo CPU T7700 2.40GHz 2 ГБ); мышь проводная Genius Laser; проектор DLP Texas Instruments VLT XD600LP; стойка передвижная металлическая многоярусная).

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows Pro 7 RUS, Microsoft Office Std 2007 RUS, Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), Sea Monkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java 8 Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), do PDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), Xn View (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

8.2. Помещения для самостоятельной работы:

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional:ГК № 1464-12/10 от 15.12.10 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 959-09/10 от 22.09.10 «На поставку компьютерной техники» ГК № 447-06/11 от 06.06.11 «На поставку оборудования» ГК № 984-12/11 от 14.12.11 «На поставку

оборудования" Договор № 1105-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» , Договор № 1106-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции» , Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 ,

Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012 , Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012

Kaspersky antivirus 6.0.4.142

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Операционная система Microsoft Windows XP Professional: Microsoft Open License 16020041 от 23.01.200.

Операционная система Microsoft Windows 7 Professional Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 .

Microsoft Office 2007 Standard Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 .

Microsoft Office 2007 Professional Plus: Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010

CorelDRAW Graphics Suite X5 Договор №559-06/10 от 15.06.2010 «На поставку программного обеспечения»

Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1

Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО), Quantum GIS (свободно распространяемое ПО), Python (свободно распространяемое ПО), R (свободно распространяемое ПО), Rstudio (свободно распространяемое ПО), SMath Studio (свободно распространяемое ПО), GNU Octave (свободно распространяемое ПО), Scilab (свободно распространяемое ПО)

8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., балон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 2 шт., стуля – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

8.4. Лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Windows 8 Professional
2. Microsoft Office 2007 Standard
3. Microsoft Office 2010 Professional Plus