


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович
Должность: ректор ФГБОУ ВО Вавиловский университет
Дата подписания: 17.08.2024 11:49:30
Уникальный программный ключ:
528682d78e671e58ab07f03e1ba2171735a12

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»**

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

 / Абдразаков Ф.К./
«26» августа 2019 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

| | |
|------------------------------|--|
| Дисциплина | ТЕПЛОМАССООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ |
| Направление подготовки | 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника |
| Направленность (профиль) | Энергообеспечение предприятий |
| Квалификация выпускника | Бакалавр |
| Нормативный срок обучения | 4 года |
| Кафедра-разработчик | Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение |
| Ведущий преподаватель | Глухарев В.А., профессор |

Разработчики: профессор, Глухарев В.А.


(ПОДПИСЬ)

Саратов 2019

Содержание

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения ОПОП | 3 |
| 2 | Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания ... | 4 |
| 3 | Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы..... | 8 |
| 4 | Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы их формирования | 19 |

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения ОПОП

В результате изучения дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий» обучающиеся, в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 28.02.2018 г. № 143, формируют следующие компетенции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Формирование компетенций в процессе изучения дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий»

| Компетенция | | Индикаторы достижения компетенций | Этапы формирования компетенции в процессе освоения ОПОП (курс) | Виды занятий для формирования компетенции | Оценочные средства для оценки уровня сформированности компетенции |
|-------------|---|---|--|--|---|
| Код | Наименование | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ПК-1 | способностью участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией | ПК-1.1 Участвует в сборе и анализе данных для проектирования теплообменного оборудования и его элементов в соответствии с нормативной документацией | 4 | лекции практические занятия лабораторные занятия | типовой расчет лабораторная работа самостоятельная работа промежуточная аттестация |
| ПК-5 | способностью проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием | ПК-5.2 Проектирует теплообменное оборудование в соответствии с техническим заданием | 4 | лекции практические занятия лабораторные занятия | типовой расчет лабораторная работа самостоятельная работа промежуточная аттестация |

Примечание:

Компетенция ПК-1 также формируется в ходе освоения дисциплин: Нагнетатели и тепловые двигатели, Электрическая часть станций и подстанций, Электроснабжение предприятий, Технологические энергоносители и системы, Топливоснабжение и топливное хозяйство, Котельные установки и парогенераторы, Источники и системы теплоснабжения предприятий, Энергооборудование потребителей теплоты, Теплотехническое оборудование потребителей теплоты, Физико-химические методы водоподготовки в системах энергообеспечения; Водоподготовка в системах энергообеспечения, Введение в малую энергетику, История развития энергетики, Тенденции развития современной энергетики, а так же в ходе прохождения ознакомительной практики, преддипломной практики и защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты.

Компетенция ПК-5: также формируется в ходе освоения дисциплин: Начертательная геометрия. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, Нагнетатели и тепловые двигатели, Электрическая часть станций и подстанций, Электроснабжение предприятий, Технологические энергоносители и системы, Топливоснабжение и топливное хозяйство, Котельные установки и парогенераторы, Энергооборудование потребителей теплоты, Теплотехническое оборудование потребителей теплоты, Физико-химические методы водоподготовки в системах энергообеспечения, Водоподготовка в системах энергообеспечения, Программные продукты в системах энергообеспечения, Программные комплексы в системах энергообеспечения, а так же защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты.

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Перечень оценочных средств

Таблица 2

| № п/п | Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в ФОС |
|-------|----------------------------------|---|---|
| 1 | типовой расчет | средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по разделу или нескольким разделам | комплект заданий по вариантам |
| 2 | лабораторная работа | средство, направленное на изучение практического хода тех или иных процессов, исследование явления в рамках заданной темы с применением | лабораторные работы |

| | | | |
|---|--------------------------|--|--|
| | | методов, освоенных на лекциях, сопоставление полученных результатов с теоретическими концепциями, осуществление интерпретации полученных результатов, оценивание применимости полученных результатов на практике | |
| 3 | промежуточная аттестация | средство контроля, позволяет оценить степень восприятия учебного материала дисциплины | вопросы по темам дисциплины: - перечень вопросов для устного опроса - комплект расчетных заданий |

Программа оценивания контролируемой дисциплины

Таблица 3

| № п/п | Контролируемые разделы (темы дисциплины) | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Наименование оценочного средства |
|-------|--|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Основные понятия и определения. Теплоносители. Теплообменники. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 2 | Рекуперативные теплообменники. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 3 | Расчет теплообменных аппаратов. | ПК-5 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 4 | Тепловой расчет водяного теплообменного аппарата. | ПК-5 | Типовой расчет. |
| 5 | Регенеративные теплообменники. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 6 | Пластинчатые теплообменники. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 7 | Исследование пластинчатого теплообменного аппарата. | ПК-1 | Лабораторная работа |
| 8 | Калориферные установки. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |

| № п/п | Контролируемые разделы (темы дисциплины) | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Наименование оценочного средства |
|-------|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9 | Расчет калориферных установок | ПК-5 | Типовой расчет. |
| 10 | Деаэраторы. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 11 | Испарительные, опреснительные, выпарные и кристаллизационные установки. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 12 | Тепловой расчет выпарных установок. | ПК-5 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 13 | Расчет выпарных установок. | ПК-5 | Типовой расчет |
| 14 | Перегонные и ректификационные установки. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 15 | Расчет перегонных и ректификационных установок. | ПК-5 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 16 | Сорбционные аппараты. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 17 | Сушка материалов. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 18 | Изучение конструкции и принципа работы сушильной установки. | ПК-1 | Лабораторная работа |
| 19 | Сушильные установки. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 20 | Расчет сушильной установки. | ПК-5 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 21 | Расчет конвективной сушильной установки. | ПК-5 | Типовой расчет |
| 22 | Теплообменники-утилизаторы. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |
| 23 | Расчет теплообменника-утилизатора в вентиляционной системе. | ПК-5 | Типовой расчет |
| 24 | Вспомогательное оборудование теплообменных установок. | ПК-1 | Самостоятельная работа. Промежуточная аттестация. |

Описание показателей и критериев оценивания компетенций по дисциплине «Тепломассообменное оборудование предприятий» на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Таблица 4

| Код компетенции, этапы освоения компетенции | Индикаторы достижения компетенций | Показатели и критерии оценивания результатов обучения | | | |
|---|--|---|---|---|--|
| | | ниже порогового уровня (неудовлетворительно) | пороговый уровень (удовлетворительно) | продвинутый уровень (хорошо) | высокий уровень (отлично) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ПК-1 4 курс | ПК-1.1 Участует в сборе и анализе данных для проектирования тепломассообменного оборудования и его элементов в соответствии с нормативной документацией | обучающийся не знает основные виды, назначение, конструкции, принципы действия тепломассообменного оборудования, свойства и виды теплоносителей, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет самостоятельную работу, большинство заданий, предусмотренных программой дисциплины, не выполнено | обучающийся демонстрирует знания только основного материала, но не знает деталей, допускает неточности, допускает неточности в формулировках, нарушает логическую последовательность в изложении программного материала | обучающийся демонстрирует знание материала, не допускает существенных неточностей | обучающийся демонстрирует знание значительной части основных видов, назначения, конструкций, принципов действия тепломассообменного оборудования, свойств и видов теплоносителей, исчерпывающе и последовательно, четко и логично излагает материал, хорошо ориентируется в материале, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий |

| | | | | | |
|----------------|---|---|--|--|--|
| ПК-5 4 курс | ПК-5.2 Проектирует тепломассооб- менное оборудование в соответствии с техническим заданием | обучающийся не знает физикохимичес- кие и термодинамичес- кие основы тепломассообме- нных процессов, не владеет методами проектирования тепломассообме- нного оборудования предприятий, допускает существенные ошибки | обучающийся демонстриру- ет знания только основного материала, но не знает деталей, допускает неточности, в целом успешное, но не системное владение методами проектирова- ния тепломассоо- бменного оборудовани- я предприятий | обучающийся демонстриру- ет знание материала, не допускает существенны- х неточностей, в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы или сопровождая- щееся отдельными ошибками владение методами проектирова- ния тепломассоо- бменного оборудовани- я предприятий | обучающийся демонстриру- ет знание физикохимич- еских и термодинами- ческих основ тепломассоо- бменных процессов, успешное и системное владение методами проектирова- ния тепломассоо- бменного оборудовани- я предприятий |
|----------------|---|---|--|--|--|

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

3.1 Типовой расчет

Тематика типовых расчетов устанавливается в соответствии с рабочей программой дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий», рабочим учебным планом по направлению подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника.

Задание на выполнение типового расчета выдается преподавателем индивидуально для каждого обучающегося, количество заданий соответствует количеству обучающихся.

Пример типового расчета:

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ВОДО-ВОДЯНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Варианты заданий

| № варианта | D_{θ} , кг/с | t'_{θ} , °C | t''_{θ} , °C | t'_{κ} , °C | t''_{κ} , °C | Схема движения теплоносителей, трубная система |
|------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 6,2 | 5 | 45 | 100 | 55 | Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по вершинам равностороннего треугольника. Трубки латунные. |
| 2 | 6,2 | 10 | 55 | 110 | 65 | |
| 3 | 6,2 | 15 | 65 | 120 | 75 | |
| 4 | 6,2 | 20 | 60 | 95 | 70 | |
| 5 | 6,2 | 25 | 50 | 80 | 60 | |
| 6 | 10,8 | 5 | 45 | 100 | 55 | Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по концентрическим окружностям. Трубки латунные. |
| 7 | 10,8 | 10 | 55 | 110 | 65 | |
| 8 | 10,8 | 15 | 65 | 120 | 75 | |
| 9 | 10,8 | 20 | 60 | 95 | 70 | |
| 10 | 10,8 | 25 | 50 | 80 | 60 | |
| 11 | 15,4 | 5 | 45 | 100 | 55 | Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по вершинам равностороннего треугольника. Трубки стальные. |
| 12 | 15,4 | 10 | 55 | 110 | 65 | |
| 13 | 15,4 | 15 | 65 | 120 | 75 | |
| 14 | 15,4 | 20 | 60 | 95 | 70 | |
| 15 | 15,4 | 25 | 50 | 80 | 60 | |
| 16 | 29,3 | 5 | 45 | 100 | 55 | Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по концентрическим окружностям. Трубки стальные. |
| 17 | 29,3 | 10 | 55 | 110 | 65 | |
| 18 | 29,3 | 15 | 65 | 120 | 75 | |
| 19 | 29,3 | 20 | 60 | 95 | 70 | |
| 20 | 29,3 | 25 | 50 | 80 | 60 | |
| 21 | 57,0 | 5 | 45 | 100 | 55 | Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по вершинам равностороннего треугольника. Трубки латунные. |
| 22 | 57,0 | 10 | 55 | 110 | 65 | |
| 23 | 57,0 | 15 | 65 | 120 | 75 | |
| 24 | 57,0 | 20 | 60 | 95 | 70 | |
| 25 | 57,0 | 25 | 50 | 80 | 60 | |

Порядок расчета

Для выполнения теплового конструкторского расчета водо-водяного теплообменного аппарата давления греющего (вода) и нагреваемого (вода) теплоносителей принимаются в пределах от 0,5 до 1 Мпа.

Рассчитаем средние температуры теплоносителей:

средняя температура греющей воды

$$t_{\kappa, \text{cp}} = (t_{\kappa}' + t_{\kappa}'') / 2 \quad (1)$$

средняя температура нагреваемой воды

$$t_{\theta, \text{cp}} = (t_{\theta}' + t_{\theta}'') / 2 \quad (2)$$

По этим температурам по таблице 1 определим для каждого теплоносителя коэффициент теплопроводности λ_v и λ_k , плотность ρ_v и ρ_k , коэффициент кинематической вязкости ν_v и ν_k , теплоемкость воды c_v и c_k .

Таблица 1

Теплофизические свойства воды на линии насыщения.

| t , °C | P , МПа | ρ , кг/м ³ | c , кДж/(кг °C) | λ , Вт/(м °C) | $\nu \cdot 10^6$, м ² /с | Pr , |
|-------------|--------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|---|--------|
| 0 | 0,101 | 999,9 | 4,212 | 0,551 | 1,789 | 13,67 |
| 10 | 0,101 | 999,7 | 4,191 | 0,574 | 1,306 | 9,52 |
| 20 | 0,101 | 998,2 | 4,183 | 0,699 | 1,0006 | 7,02 |
| 40 | 0,101 | 992,2 | 4,174 | 0,634 | 0,659 | 4,31 |
| 60 | 0,101 | 983,2 | 4,178 | 0,659 | 0,478 | 2,98 |
| 80 | 0,101 | 971,8 | 4,195 | 0,674 | 0,365 | 2,21 |
| 100 | 0,101 | 958,4 | 4,220 | 0,683 | 0,295 | 1,75 |
| 120 | 0,199 | 943,1 | 4,250 | 0,686 | 0,252 | 1,47 |
| 140 | 0,362 | 926,1 | 4,287 | 0,685 | 0,217 | 1,26 |
| 160 | 0,618 | 907,4 | 4,346 | 0,683 | 0,191 | 1,10 |
| 180 | 1,003 | 886,9 | 4,417 | 0,674 | 0,173 | 1,00 |
| 200 | 1,555 | 863,0 | 4,505 | 0,663 | 0,158 | 0,93 |

Из уравнения теплового баланса

$$Q = D_K \cdot c_k \cdot (t_k' - t_k'') \cdot \eta_n = D_v \cdot c_v \cdot (t_v'' - t_v') \quad (3)$$

определим количество теплоты Q , воспринимаемое нагреваемой водой

$$Q = D_v \cdot c_v \cdot (t_v'' - t_v') \quad (4)$$

и массовый расход греющего теплоносителя D_K , приняв коэффициент η_n , учитывающий потери теплоты в окружающую среду равным 0,95-0,99

$$D_K = \frac{Q}{c_k (t_k' - t_k'') \eta_n} \quad (5)$$

Для определения количества трубок необходимо задаться скоростью движения воды в трубках $w_v = 0,5-3$ м/с и определить режим течения воды в трубках

$$Re = \frac{w_v \cdot d_{вн}}{\nu_v} \quad (6)$$

где $d_{вн} = d - 2\delta$ - внутренний диаметр трубок, м, ν_v - коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с.

Желательно задаваться скоростью движения воды в трубках w_v так, чтобы режим течения воды в трубках был турбулентным $Re > 10^4$.

Для заданной схемы движения теплоносителей (нагреваемый теплоноситель движется внутри трубок) и заданного наружного диаметра трубок определим общее число трубок одного хода подогревателя:

$$n = 4D_v / (w_v \cdot \rho_v \cdot \pi \cdot d_{вн}^2) \quad (7)$$

где ρ_v - плотность воды при $t_{ср}$, кг/м³.

При заданном расположении трубок в трубной решетке определяем по таблице 2 действительное значение числа трубок и относительный диаметр трубной решетки D'/S .

Таблица 2

Число труб в зависимости от расположения их в трубной решетке

| Относительный диаметр трубной решетки, D'/S | Число труб, n | | Относительный диаметр трубной решетки, D'/S | Число труб, n | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Расположение по вершинам равностороннего треугольника | Расположение по concentрическим окружностям | | Расположение по вершинам равностороннего треугольника | Расположение по concentрическим окружностям |
| 2 | 7 | 7 | 22 | 439 | 410 |
| 4 | 19 | 19 | 24 | 517 | 485 |
| 6 | 37 | 37 | 26 | 613 | 566 |
| 8 | 61 | 62 | 28 | 721 | 653 |
| 10 | 91 | 93 | 30 | 823 | 747 |
| 12 | 127 | 130 | 32 | 931 | 847 |
| 14 | 187 | 173 | 34 | 1045 | 953 |
| 16 | 241 | 223 | 36 | 1165 | 1066 |
| 18 | 301 | 279 | 38 | 1306 | 1185 |
| 20 | 367 | 341 | 40 | 1459 | 1310 |

Определим диаметр расположения крайних трубок трубной решетки

$$D' = (D'/S) S. \quad (8)$$

Определим внутренний диаметр корпуса или трубной решетки

$$D = D' + d + 2k \quad (9)$$

где k -кольцевой зазор между крайними трубками и кожухом принимается из конструктивных соображений, но не менее 6 мм.

Рассчитанное значение внутреннего диаметра корпуса округляют до ближайшего стандартного размера из следующих значений: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 4000 мм.

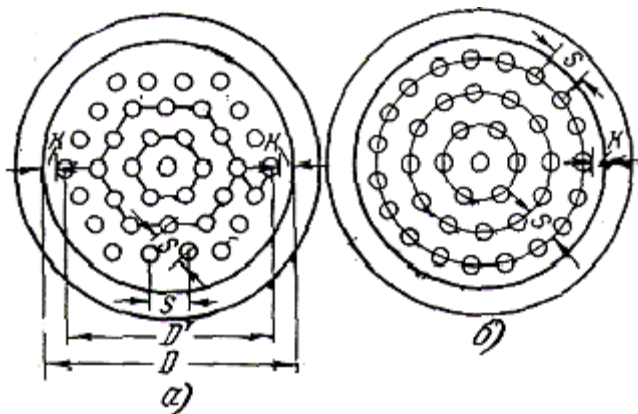


Рис. 1. Схемы размещения труб в решетках: а - по вершинам равносторонних треугольников; б - по концентрическим окружностям.

При расположении труб по вершинам равностороннего треугольника число шестиугольников для размещения труб равно

$$m = \frac{\sqrt{12n - 3} - 3}{6} \quad (10)$$

Число труб по диагонали наибольшего шестиугольника составит

$$n_{uu} = 2m + 1 \quad (11)$$

Общее число труб в шестиугольниках

$$n = 1 + 3m + 3m^2 \quad (12)$$

Размещение труб по концентрическим окружностям производится так, чтобы был выдержан шаг между трубками. Радиусы окружностей определим как

$$R_i = iS \quad (13)$$

где i – номер окружности, начиная от центра.

Длины окружностей

$$L_i = 2\pi iS \quad (14)$$

Число труб на каждой окружности

$$n_i = 2\pi i \quad (15)$$

Для определения коэффициента теплопередачи определим предварительно коэффициенты теплоотдачи с разных сторон трубки.

По ранее определенному режиму течения воды внутри трубок (турбулентный режим) найдем критерий Нуссельта по формуле

$$Nu_g = 0,023 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,4} \varepsilon_l \quad (16)$$

где Pr - число Прандтля для воды определяемое по таблице 1 в зависимости от температуры; ε_l - поправочный коэффициент, при соотношении длины трубок к их диаметру $l/d > 50$, $\varepsilon_l = 1$.

Из критериального уравнения Нуссельта определяем коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки трубок к воде

$$\alpha_g = \frac{Nu_g \cdot \lambda_g}{d_g} \quad (17)$$

Находим скорость движения воды в межтрубном пространстве.

Для этого необходимо рассчитать площадь межтрубного пространства и площадь, занятую трубами.

Площадь поперечного сечения корпуса с D

$$F_l = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (18)$$

Площадь занятая трубами :

$$f = \frac{\pi d_n^2 n}{4} \quad (19)$$

Площадь межтрубного пространства :

$$f_1 = F_1 - f \quad (20)$$

Скорость воды в межтрубном пространстве:

$$w_k = \frac{D_k}{f_1 \cdot \rho_k} \quad (21)$$

Для определения коэффициента теплоотдачи от греющей воды к трубкам находим число Рейнольдса по формуле

$$Re = \frac{w_k \cdot d_э}{\nu_k} \quad (22)$$

где $d_э$ - эквивалентный диаметр, м, рассчитываем по формуле

$$d_э = \frac{4f_1}{U} \quad (23)$$

где $U = \pi \cdot (D + n \cdot d_{вн})$ - смоченный периметр, м.

Желательно чтобы значение числа Рейнольдса соответствовало турбулентному режиму течения воды, тогда критерий Нуссельта Nu_k определяется по формуле (16), а коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенке трубок

$$\alpha_k = \frac{Nu_k \cdot \lambda_k}{d_k} \quad (24)$$

Коэффициент теплопередачи через стенку трубки вычисляем по формуле

$$K = \frac{1}{d_{cp} \left(\frac{1}{\alpha_{в} d_{вн}} + \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{d_{н}}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_k d_{н}} \right) + R_{заг}} \quad (25)$$

где $\lambda_{ст}$ - теплопроводность материала трубок Вт/(м°C),

$R_{заг}$ - термическое сопротивление загрязнения трубок, определяемое по таблице 3.

Таблица 3

Ориентировочные термические сопротивления
различных загрязнений на стенках теплообменников

| Загрязнения в виде твердых веществ при толщине слоя $\delta=0,5$ мм: | $R_{заг}$, (м ² ·К)/Вт |
|--|------------------------------------|
| накипь | 0,00033 |
| ржавчина | 0,00050 |

Поверхность нагрева подогревателя

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} \quad (26)$$

где Δt_{cp} средняя логарифмическая разность температур (температурный напор) определяемый по формуле для различных схем движения теплоносителей прямоток или противоток

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{m}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{m}}}, \quad (27)$$

где Δt_{δ} - температурный напор больших температур, Δt_{m} - температурный напор меньших температур.

Длина трубок

$$L = \frac{F}{\pi d_{cp} \cdot n} \quad (28)$$

где $d_{cp} = (d_{вн} + d_{н})/2$

Для расчета диаметров штуцеров аппарата принимаем скорость воды в штуцере нагреваемой воды w_1 и в штуцере греющей воды w_2 получим

$$f_{um1} = \frac{D_{\delta}}{w_1 \rho_{\delta}} \quad (29)$$

$$f_{um2} = \frac{D_{\kappa}}{w_2 \rho_{\kappa}} \quad (30)$$

Диаметр штуцера:

$$d_{um} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_{um}}{\pi}} \quad (31)$$

Если величина длины трубок L окажется больше рекомендуемой длины прямого участка, устанавливаемой из условия расчета тонких сосудов находящихся под давлением (не более 6 м), то устанавливается несколько теплообменников с расстоянием между трубными досками, не превышающем рекомендуемой длины прямого участка. Для U - образных трубок наличие закруглений не учитывается.

3.2 Лабораторная работа

Тематика лабораторных занятий устанавливается в соответствии с рабочей программой дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий», рабочим учебным планом по направлению подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника.

Перечень тем лабораторных работ:

1. Исследование пластинчатого теплообменного аппарата.
2. Изучение конструкции и принципа работы сушильной установки.

Лабораторные работы выполняются в соответствии с Методическими указаниями по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Тепломассообменное оборудование предприятий».

3.3 Вопросы для самостоятельного изучения

1. Классификация тепломассообменных процессов, теплоносителей и теплообменных аппаратов.
2. Способы крепления труб в трубных решетках кожухотрубного рекуперативного теплообменника.
3. Способы компенсации напряжений и деформаций в кожухотрубных рекуперативных теплообменниках.
4. Определение напряженного состояния трубной решетки кожухотрубного рекуперативного теплообменника.
5. Принцип образования кипящего слоя в регенеративном теплообменнике.
6. График изменения температур для идеального регенеративного теплообменника.
7. Схемы движения теплоносителей в пластинчатых теплообменных аппаратах.
8. Параметры пластинчатых теплообменных аппаратов.
9. Схемы оребрения трубок калориферов.
10. Параметры калориферов.
11. Критерии энергетической эффективности калориферов.
12. Гидравлические сопротивления калориферов.
13. Принцип действия деаэраторов.
14. Тепловые потери деаэратора в окружающую среду.
15. Принцип действия испарительных установок.
16. Тепловые схемы и конструкции испарительных установок.
17. Принцип действия опреснительных установок.
18. Тепловые схемы и конструкции опреснительных установок.
19. Принцип действия кристаллизационных установок.
20. Тепловые схемы и конструкции кристаллизационных установок.
21. Расход пара на выпарную установку.
22. Принцип действия дистилляционной установки.
23. Тепловые схемы и конструкции дистилляционных установок.
24. Определение расхода пара в ректификационных установках.
25. Принцип действия солнечных сорбционных установок.
26. Тепловые схемы и конструкции сорбционных установок.
27. Способы обезвоживания материалов.
28. Конструкции и принцип работы сушильных установок для зерна.
29. Определение параметров сушильного агента.
30. Схемы утилизации теплоты из зданий и теплотехнических установок.

31. Определение экономии топливных ресурсов при применении теплообменников-утилизаторов.

32. Вспомогательное оборудование теплотехнических установок.

3.4. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация обучающихся по дисциплине «Тепломассообменное оборудование предприятий» проводится в виде экзамена.

Вопросы, выносимые на экзамен

1. Основные виды тепломассообменных процессов.
2. Теплообменные устройства.
3. Массообменные устройства.
4. Тепломассообменные устройства.
5. Теплоносители, их свойства и область применения.
6. Принцип работы рекуперативного теплообменника.
7. Конструкции рекуперативных теплообменников непрерывного действия.
8. Конструкции рекуперативных теплообменников периодического действия.
9. Проектирование теплообменных аппаратов.
10. Тепловой конструкторский расчет теплообменного аппарата.
11. Гидравлический расчет теплообменного аппарата.
12. Прочностной расчет теплообменного аппарата.
13. Принцип работы регенеративного теплообменника.
14. Конструкции регенеративных теплообменников непрерывного действия.
15. Конструкции регенеративных теплообменников периодического действия.
16. Расчет регенеративного теплообменного аппарата.
17. Смесительные теплообменные аппараты.
18. Конструкции пластинчатых теплообменных аппаратов.
19. Конструкции тепловых труб и термосифонов.
20. Принципы работы и преимущества тепловых труб.
21. Классификация калориферных установок.
22. Расчет калориферных установок.
23. Классификация тепломассообменных процессов.
24. Классификация теплоносителей.
25. Классификация теплообменных аппаратов.
26. Принцип образования кипящего слоя.
27. Принцип действия и режимы эксплуатации калориферных установок.
28. Назначение и принцип действия деаэратора.

29. Конструкции деаэраторов.
30. Расчет деаэраторов.
31. Принцип действия выпарных установок.
32. Тепловые схемы и конструкции выпарных установок.
33. Физико-химические и термодинамические основы процессов выпаривания и кристаллизации.
34. Тепловой расчет выпарных установок.
35. Принцип действия и конструкции перегонных аппаратов.
36. Принцип действия и конструкции ректификационных установок.
37. Физико-химические и термодинамические основы процессов перегонки и ректификации.
38. Фазовые диаграммы состояния смесей жидкостей.
39. Основы кинематики массообмена в ректификационных установках.
40. Материальный расчет ректификационных установок.
41. Тепловой расчет ректификационных установок.
42. Принцип действия и конструкции сорбционных аппаратов.
43. Основы расчета абсорбционных и адсорбционных аппаратов.
44. Принцип действия испарительных установок.
45. Тепловые схемы и конструкции испарительных установок.
46. Принцип действия опреснительных установок.
47. Тепловые схемы и конструкции опреснительных установок.
48. Принцип действия кристаллизационных установок.
49. Тепловые схемы и конструкции кристаллизационных установок.
50. Основные процессы сушильных установок.
51. Формы связи влаги с материалом.
52. Основы кинетики и динамики сушки.
53. Назначение и принцип действия сушильных установок.
54. Конструкции сушильных установок.
55. Классификация сушильных установок.
56. Тепловой баланс конвективной сушильной установки.
57. Материальный баланс конвективной сушильной установки.
58. Назначение и принцип действия теплообменников-утилизаторов.
59. Принципиальные схемы и основные конструкции теплообменников-утилизаторов.
60. Вспомогательное оборудование теплообменных установок.
61. Основы расчета и подбора вспомогательного оборудования теплообменных установок.

Комплект расчетных заданий, выносимый на экзамен

ЗАДАЧА 1. Определить количество теплоты (в кВт), получаемое водой в теплообменнике при противотоке, если расход воды составляет 10000 кг/ч, вода нагревается с 40 °С до 140 °С, теплоемкость воды при 40 °С равна 4,174 кДж/(кг К), теплоемкость воды при 140 °С равна 4,287 кДж/(кг К).

ЗАДАЧА 2. Определить поверхность теплообмена (в м²) при прямотоке и противотоке, если тепловая производительность равна 1,2 МВт, коэффициент теплопередачи 16,5

Вт/(м² °С), температуры греющего теплоносителя изменяются с 350°С до 150°С, температуры нагреваемого теплоносителя изменяются с 40°С до 140°С.

ЗАДАЧА 3. Определить средний объемный расход (в м³/с) греющей воды в теплообменном аппарате, если тепловая производительность аппарата 1,75 МВт, вода изменяет температуру с 140°С до 100°С, теплоемкость воды при 100 °С равна 4,220 кДж/(кг К), теплоемкость воды при 140 °С равна 4,287 кДж/(кг К), плотность воды при 100 °С равна 958,4 кг/м³, плотность воды при 140 °С равна 926,1 кг/м³, коэффициент тепловых потерь в окружающую среду равен 0,97.

ЗАДАЧА 4. Определить коэффициент теплопередачи (в Вт/(м² °С)) для чистой плоской стенки, если коэффициент теплоотдачи со стороны греющего теплоносителя равен 10000 Вт/(м² °С), коэффициент теплоотдачи со стороны нагреваемого теплоносителя равен 4600 Вт/(м² °С), толщина плоской стенки 1 мм, коэффициент теплопроводности материала стенки 105 Вт/(м °С).

ЗАДАЧА 5. Определить массовый расход нагреваемой воды (в кг/с) в теплообменном аппарате, если расход греющей воды равен 54 м³/ч, греющая вода изменяет температуру с 140°С до 100°С, теплоемкость воды при 100 °С равна 4,220 кДж/(кг К), теплоемкость воды при 140 °С равна 4,287 кДж/(кг К), плотность воды при 100 °С равна 958,4 кг/м³, плотность воды при 140 °С равна 926,1 кг/м³, нагреваемая вода изменяет температуру с 60 °С до 80 °С, 4,195 кДж/(кг К), коэффициент тепловых потерь в окружающую среду равен 0,97.

ЗАДАЧА 6. Определить запас площади поверхности калориферов (в %), если требуемая тепловая мощность составляет 200 кВт, коэффициент теплопередачи 40 Вт/(м² К), площадь поверхности теплообмена калориферов 55 м², средняя логарифмическая разность температур 115 °С.

ЗАДАЧА 7. Определить расход греющего пара (в кг/с) в пароводяном подогревателе, если расход воды составляет 432 т/ч, вода подогревается с 60 °С до 100 °С, теплоемкость воды при 60 °С равна 4,174 кДж/(кг К), теплоемкость воды при 100 °С равна 4,220 кДж/(кг К), энтальпия пара изменяется с 2723 кДж/кг до 534 кДж/кг, коэффициент тепловых потерь в окружающую среду равен 0,97.

ЗАДАЧА 8. Определить количество воды (в кг/с), подлежащее выпарке, если производительность выпарной установки по концентрируемому веществу равна 650 кг/ч, начальная концентрация вещества в растворе 20 %, конечная концентрация вещества в растворе 88 %.

ЗАДАЧА 9. Определить теплоемкость раствора (в кДж/(кг К)) в корпусе выпарной установки, если количество выпаренной воды составляет 0,44 кг/кг, начальная концентрация вещества в растворе 20 %, теплоемкость выпариваемого вещества равна 2,41 кДж/(кг К), теплоемкость воды 4,187 кДж/(кг К).

ЗАДАЧА 10. Определить молярный процент содержания (в %) низкокипящего компонента в дистилляте, если молярная масса низкокипящего компонента равна 76, молярная масса высококипящего компонента равна 155, концентрация низкокипящего компонента в дистилляте 90 %.

Образец экзаменационного билета

«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Кафедра «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине «Тепломассообменное оборудование предприятий»

1. Основные виды тепломассообменных процессов.
2. Физико-химические и термодинамические основы процессов выпаривания и кристаллизации.
3. Определить количество теплоты (в кВт), получаемое водой в теплообменнике при противотоке, если расход воды составляет 10000 кг/ч, вода нагревается с 40 °С до 140 °С, теплоемкость воды при 40 °С равна 4,174 кДж/(кг К), теплоемкость воды при 140 °С равна 4,287 кДж/(кг К).

26.08.2019 г.

Зав. кафедрой

Ф.К. Абдразаков

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

4.1 Процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Контроль результатов обучения студентов, этапов и уровня формирования компетенций по дисциплине «Тепломассообменное оборудование предприятий» осуществляется через проведение контроля самостоятельной работы и промежуточной аттестации.

Формы текущего, промежуточного и итогового контроля и контрольные задания для текущего контроля разрабатываются кафедрой исходя из специфики дисциплины, и утверждаются на заседании кафедры.

4.2 Критерии оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Описание шкалы оценивания достижения компетенций по дисциплине

приведено в таблице 5.

Таблица 5

| Уровень освоения компетенции | Отметка по пятибалльной системе (промежуточная аттестация)* | Описание |
|------------------------------|---|---|
| высокий | «отлично» | Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, обучающийся проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании материала |
| базовый | «хорошо» | Обучающийся обнаружил полное знание учебного материала, успешно выполняет предусмотренные в программе задания, усвоил основную литературу, рекомендованную в программе |
| пороговый | «удовлетворительно» | Обучающийся обнаружил знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляется с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя |
| — | «неудовлетворительно» | Обучающийся обнаружил пробелы в знаниях основного учебного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении |

| Уровень освоения компетенции | Отметка по пятибалльной системе (промежуточная аттестация)* | Описание |
|------------------------------|---|--|
| | | предусмотренных программой практических заданий, не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании образовательной организации без дополнительных занятий |

4.2.1. Критерии оценки устного (письменного) ответа при промежуточной аттестации

При ответе на вопрос обучающийся демонстрирует:

знания: основные виды, назначение, конструкции, принципы действия теплообменного оборудования, свойства и виды теплоносителей, физикохимические и термодинамические основы теплообменных процессов, фазовые диаграммы состояния смесей, формы связи влаги с материалом, основы кинетики и динамики сушки;

умения: на основе расчетов подбирать стандартное и вспомогательное оборудование, выбирать прогрессивные принципы и схемы организации теплообменных процессов с рациональным использованием источников энергии, выполнять тепловые, материальные, гидравлические и прочностные расчеты теплообменного оборудования;

владение навыками: методами разработки и оформления проектной и рабочей технической документации теплообменного оборудования предприятий с использованием нормативных правовых документов, методами проектирования теплообменного оборудования предприятий.

Критерии оценки

| | |
|----------------|--|
| отлично | <ul style="list-style-type: none"> - обучающийся демонстрирует знание значительной части основных видов, назначения, конструкций, принципов действия теплообменного оборудования, свойств и видов теплоносителей, физикохимических и термодинамических основ теплообменных процессов, фазовых диаграмм состояния смесей, формы связи влаги с материалом, основ кинетики и динамики сушки, исчерпывающе и последовательно, четко и логично излагает материал, хорошо ориентируется в материале, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий; - уверенно умеет на основе расчетов подбирать стандартное и вспомогательное оборудование, выбирать прогрессивные принципы и схемы организации теплообменных процессов с рациональным использованием источников энергии, выполнять тепловые, материальные, гидравлические и прочностные расчеты |
|----------------|--|

| | |
|----------------------------|---|
| | <p>теплообменного оборудования;</p> <ul style="list-style-type: none"> - успешное и системное владение навыками методов разработки и оформления проектной и рабочей технической документации теплообменного оборудования предприятий с использованием нормативных правовых документов, методов проектирования теплообменного оборудования предприятий. |
| хорошо | <ul style="list-style-type: none"> - обучающийся демонстрирует знание материала, не допускает существенных неточностей; - в целом успешно, но не уверенно умеет на основе расчетов подбирать стандартное и вспомогательное оборудование, выбирать прогрессивные принципы и схемы организации теплообменных процессов с рациональным использованием источников энергии, выполнять тепловые, материальные, гидравлические и прочностные расчеты теплообменного оборудования; - в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы или сопровождающееся отдельными ошибками владение методами разработки и оформления проектной и рабочей технической документации теплообменного оборудования предприятий с использованием нормативных правовых документов, методами проектирования теплообменного оборудования предприятий. |
| удовлетворительно | <ul style="list-style-type: none"> - обучающийся демонстрирует знания только основного материала, но не знает деталей, допускает неточности, допускает неточности в формулировках, нарушает логическую последовательность в изложении программного материала; - в целом успешно, но не системно умеет на основе расчетов подбирать стандартное и вспомогательное оборудование, выбирать прогрессивные принципы и схемы организации теплообменных процессов с рациональным использованием источников энергии, выполнять тепловые, материальные, гидравлические и прочностные расчеты теплообменного оборудования; - в целом успешное, но не системное владение методами разработки и оформления проектной и рабочей технической документации теплообменного оборудования предприятий с использованием нормативных правовых документов, методами проектирования теплообменного оборудования предприятий. |
| неудовлетворительно | <ul style="list-style-type: none"> - обучающийся не знает основные виды, назначение, конструкции, принципы действия теплообменного оборудования, свойства и виды теплоносителей, физикохимические и термодинамические основы теплообменных процессов, фазовые диаграммы состояния смесей, формы связи влаги с материалом, основы кинетики и динамики сушки, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет самостоятельную работу, большинство заданий, предусмотренных программой дисциплины, не выполнено; - не умеет на основе расчетов подбирать стандартное и |

| | |
|--|--|
| | <p>вспомогательное оборудование, выбирать прогрессивные принципы и схемы организации тепломассообменных процессов с рациональным использованием источников энергии, не умеет выполнять тепловые, материальные, гидравлические и прочностные расчеты тепломассообменного оборудования, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет самостоятельную работу, большинство заданий, предусмотренных программой дисциплины, не выполнено;</p> <p>- обучающийся не владеет методами разработки и оформления проектной и рабочей технической документации тепломассообменного оборудования предприятий с использованием нормативных правовых документов, методами проектирования тепломассообменного оборудования предприятий, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет самостоятельную работу, большинство предусмотренных программой дисциплины не выполнено.</p> |
|--|--|

4.2.2. Критерии оценки выполнения типовых расчетов

При выполнении типовых расчетов обучающийся демонстрирует:

знания: последовательность проведения расчетов с целью получения результатов, наиболее близких к требуемым,

умения: грамотно обосновывать принятые в ходе расчета решения,

владение навыками: применения теоретических положений при выполнении расчета.

Критерии оценки выполнения типовых расчетов

| | |
|----------------------------|---|
| отлично | в процессе выполнения типового расчета обучающийся не допустил существенных неточностей в расчетах, грамотно обосновал принятые решения, правильно применил теоретические положения при выполнении расчета |
| хорошо | в процессе выполнения типового расчета обучающийся не допустил существенных неточностей в расчетах, не смог грамотно обосновать принятые решения, правильно применил теоретические положения при выполнении расчета |
| удовлетворительно | в процессе выполнения типового расчета обучающийся допустил неточности в расчетах, не оказывающие значительного влияния на конечный результат, не смог грамотно обосновать принятые решения, не правильно применил теоретические положения при выполнении расчета |
| неудовлетворительно | в процессе выполнения типового расчета обучающийся допустил существенные неточности в расчетах, не смог грамотно обосновать принятые решения, не смог правильно применить теоретические положения при выполнении расчета |

4.2.3. Критерии оценки лабораторных работ

При выполнении лабораторных работ обучающийся демонстрирует:

знания: последовательность проведения опытов и измерений;


умения: представлять полученные результаты в виде отчета;

владение навыками: анализа погрешностей.

Критерии оценки выполнения лабораторных работ

| | |
|----------------------------|---|
| отлично | обучающийся выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально выбрал и подготовил для опыта необходимое оборудование, все опыты провел в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью; в представленном отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и сделал выводы; правильно выполнил анализ погрешностей; соблюдал требования безопасности труда. |
| хорошо | опыт проводился в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерений, было допущено два-три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета. |
| удовлетворительно | работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы, или если в ходе проведения опыта и измерений были допущены не существенные ошибки, опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большей погрешностью, в отчете были допущены в общей сложности не более двух ошибок (в записях единиц, измерениях, в вычислениях, графиках, таблицах, схемах, анализе погрешностей и т. д.), не принципиального для данной работы характера, но повлиявших на результат выполнения, не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей; работа выполнена не полностью, однако объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы. |
| неудовлетворительно | работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов, опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно |

Разработчик: профессор Глухарев В.А.


(подпись)