

**Методические материалы для обучающихся
по освоению дисциплины (модуля)**

Б1.В.07 Тепломассообменное оборудование предприятий
наименование дисциплины (модуля)

Направление подготовки /специальность 13.03.01 Теплотехника и теплоэнергетика
код и наименование направления подготовки /специальности

Направленность (профиль)/специализация «Энергообеспечение предприятий»
наименование направленности (профиля) /специализации

Мурманск
2024

Составитель – Пантилеев Сергей Петрович преподаватель кафедры Строительства энергетики и транспорта ФГАОУ ВО «МГТУ».

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины (модулю) рассмотрены и одобрены на заседании кафедры Строительства энергетики и транспорта.

Общие положения

Цель методических материалов по освоению дисциплины (модуля) - обеспечить обучающемуся оптимальную организацию процесса изучения дисциплины (модуля), а также выполнения различных форм самостоятельной работы.

Освоение дисциплины (модуля) осуществляется на аудиторных занятиях и в процессе самостоятельной работы обучающихся. Основными видами аудиторной работы по дисциплине (модулю) являются занятия лекционного и семинарского типа. Конкретные формы аудиторной работы обучающихся представлены в учебном плане образовательной программы и в рабочих программах дисциплин (модулей).

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины (модуля), ее структурой и содержанием, фондом оценочных средств.

Работая с рабочей программой, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемому перечню основной и дополнительной литературы и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего контроля и промежуточной аттестации.

Каждая рабочая программа по дисциплине (модулю) сопровождается методическими материалами по ее освоению.

Отдельные учебно-методические разработки по дисциплине (модулю): учебные пособия или конспекты лекций, методические рекомендации по выполнению РГР, контрольных работ и решению задач и т.п. размещены в ЭИОС МГТУ.

Обучающимся рекомендуется получить в библиотеке МГТУ учебную литературу, необходимую для работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины (модуля).

Виды учебной работы, сроки их выполнения, запланированные по дисциплине (модулю), а также система оценивания результатов, зафиксированы в технологической карте дисциплины (модуля) таблица 1.

Таблица 1 - Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (промежуточная аттестация – «экзамен»)

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов	График прохождения
----------	--------------------------	-----------------------------------	---------------------------

		min	max	(недели сдачи)
Текущий контроль				
1.	Выполнение практических работ (8 практ.)	20	30	По расписанию
2.	Расчетно-графическое задание	20	30	По расписанию
3.	Тестирование	5	10	
4.	Посещение лекций и занятий	5	10	По расписанию
	ИТОГО за работу в семестре	50	80	16-ая неделя
Промежуточная аттестация «экзамен»				
	Экзамен	10	20	Сессия
	ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	min – 60	max - 100	

Работа по изучению дисциплины (модуля) должна носить систематический характер. Для успешного усвоения теоретического материала по предлагаемой дисциплине (модулю) необходимо регулярно посещать лекции, активно работать на учебных занятиях, выполнять письменные работы по заданию преподавателя, перечитывать лекционный материал, значительное внимание уделять самостоятельному изучению дисциплины (модуля).

Важным условием успешного освоения дисциплины (модуля) является создание самим обучающимся системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с календарным учебным графиком.

- **Методические рекомендации при работе на занятиях лекционного типа**

К занятиям лекционного типа относятся лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации преподавателем.

Лекция представляет собой последовательное изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера. Цель лекционного занятия – организация целенаправленной познавательной деятельности обучающихся по овладению программным материалом учебной дисциплины (модуля).

В ряде случаев лекция выполняет функцию основного источника информации, например, при отсутствии учебников и учебных пособий; в случае, когда новые научные данные по той или иной теме не нашли отражения в учебниках; отдельные разделы и темы очень сложные для самостоятельного изучения обучающимися.

В ходе проведения занятий лекционного типа необходимо вести конспектирование излагаемого преподавателем материала.

Наиболее точно и подробно в ходе лекции записываются следующие аспекты: название лекции; план; источники информации по теме; понятия, определения; основные формулы; схемы; принципы; методы; законы; гипотезы; оценки; выводы и практические рекомендации.

Конспект - это не точная запись текста лекции, а запись смысла, сути учебной информации. Конспект пишется для последующего чтения и это значит, что формы записи следует делать такими, чтобы их можно было легко и быстро прочитать спустя некоторое время. Конспект должен облегчать понимание и запоминание учебной информации.

Рекомендуется задавать лектору уточняющие вопросы с целью углубления теоретических положений, разрешения противоречивых ситуаций. При подготовке к

занятиям семинарского типа, можно дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из изученной литературы, указанной в рабочей программе дисциплины (модуля).

Тематика лекций дается в рабочей программе дисциплины (модуля).

- **Методические рекомендации по подготовке и работе на занятиях семинарского типа**

Важной составной частью учебного процесса в университете являются занятия семинарского типа. К ним относятся: семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия.

Эффективность этих занятий во многом зависит от качества предшествующих занятий лекционного типа и самоподготовки обучающихся. Занятия семинарского типа проводятся по дисциплинам (модулям), требующим научно-теоретического обобщения литературных источников, и помогают обучающимся глубже усвоить учебный материал, приобрести навыки творческой работы с различными источниками информации.

Планы занятий семинарского типа, их тематика, рекомендуемая литература, цель и задачи ее изучения сообщаются преподавателям на вводных занятиях, в методических указаниях, которые размещаются в ЭИОС МГТУ.

Подготовка к занятию семинарского типа включает 2 этапа.

1 этап – организационный. Обучающийся планирует свою работу, которая включает: уяснение задания; подбор рекомендованной литературы; составление плана работы, в котором определяются основные пункты предстоящей подготовки. Составление плана дисциплинирует и повышает организованность в работе.

2 этап - закрепление и углубление теоретических знаний. Включает непосредственную подготовку обучающегося к занятию. Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Необходимо помнить, что на лекционном занятии обычно рассматривается не весь материал, а только его часть. В связи с этим работа с рекомендованной литературой обязательна. Особое внимание при этом необходимо обратить на суть основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы обучающийся должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале. Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам.

Различаются четыре типа конспектов:

План-конспект - это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении.

Текстуальный конспект - это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника.

Свободный конспект - это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом.

Тематический конспект - составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу).

Практическое занятие - это форма организации учебного процесса, предполагающая выполнение студентами по заданию и под руководством преподавателя одной или нескольких практических работ. И если на лекции основное внимание

студентов сосредоточивается на разьяснении теории конкретной учебной дисциплины, то практические занятия служат для обучения методам ее применения. Главной их целью является усвоение метода использования теории, приобретение практических умений, необходимых для изучения последующих дисциплин.

Подготовку к практическому занятию лучше начинать сразу же после лекции по данной теме или консультации преподавателя. Необходимо подобрать литературу, которая рекомендована для подготовки к занятию и просмотреть ее. Любая теоретическая проблема должна быть осмыслена студентом с точки зрения ее связи с реальной жизнью и возможностью реализации на практике.

Семинар. Семинарские занятия предполагают активную работу студентов – выступления с рефератами или докладами, устные ответы на вопросы преподавателя, коллективное обсуждение проблем курса. Тема семинара является общей для всей группы студентов, и каждый должен подготовить ответы на все вопросы, если преподаватель не распределил вопросы для подготовки персонально. Сообщения или доклады, сделанные на семинаре, обсуждаются, студенты выступают с дополнениями и замечаниями. Таким образом, семинары учат студентов умению четко излагать свои мысли, аргументировать свои суждения, вести научную полемику, считаться с точкой зрения оппонентов. Кроме этого, в ходе семинара выявляются недостаточно понятые и усвоенные вопросы, положения.

Практическая работа №1.

Тепловой расчет четырехходового рекуперативного теплообменника

Цель практического занятия: получить навыки проведения теплового расчета четырехходового рекуперативного теплообменника на конкретных примерах. Самостоятельно решить одну из предложенных задач.

Вопросы и задачи для самостоятельного изучения

1. В каком из теплообменников - кожухотрубчатом или подогревателе-аккумуляторе - выше коэффициент теплопередачи при использовании одних и тех же теплоносителей с одинаковыми начальными температурами
2. Перечислите способы компенсации температурных удлинений в кожухотрубчатых теплообменниках.
3. Если теплоноситель может загрязнить поверхность теплообмена в кожухотрубчатом теплообменнике, куда его следует направлять - в трубки или в межтрубное пространство
4. Какой из теплообменников удобней чистить: кожухотрубчатый, спиральный или пластинчатый
5. Какие достоинства и недостатки имеют спиральные и пластинчатые теплообменники по сравнению с кожухотрубчатыми
6. В каких случаях в теплообменниках целесообразно применять ребристые трубы
7. Влияет ли технология изготовления ребристой трубы на коэффициент теплопередачи
8. Определите расход нагреваемой воды G_2 и площадь поверхности нагрева F прямоточного водо-водяного теплообменника, если известны: расход греющей воды $G_1 = 15$ кг/с, температура греющей воды на входе и выходе теплообменника $t'_1 = 120^\circ\text{C}$, $t''_1 = 80^\circ\text{C}$, температура нагреваемой воды на входе и выходе $t'_2 = 10^\circ\text{C}$ и $t''_2 = 60^\circ\text{C}$, коэффициент теплопередачи $k = 100$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{K}$) и коэффициент, учитывающий потери теплоты $\eta = 0,98$.
9. В противоточный водо-водяной теплообменник, имеющий площадь поверхности нагрева $F = 2\text{ м}^2$, греющая вода поступает с температурой $t'_1 = 90^\circ\text{C}$, ее расход $G_1 = 0,3$ кг/с.

Расход нагреваемой воды $G_2 = 0,5$ кг/с, и ее температура на входе в теплообменник $t'_2 = 30^\circ\text{C}$. Определите тепловую нагрузку теплообменника Q и конечные температуры теплоносителей t''_1 и t''_2 , если известно, что коэффициент теплопередачи от нагретой воды к холодной $k = 1400$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{K}$).

Литература: [1 - 3]

Методические рекомендации

Для самостоятельного решения задач, студенту необходимо опираться на полученные знания на лекции и на рассмотренные примеры с решениями на занятии. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Практическая работа №2.

Тепловой расчет трубчатых теплообменных аппаратов жесткой конструкции

Целью теплового расчёта теплообменного аппарата является выбор стандартного теплообменника при заданных массовых расходах (G_1, G_2) и температурных режимах теплоносителей (t_1'', t_1', t_2'', t_2').

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Теплообменные аппараты»:

- уметь выбирать стандартный теплообменник для заданных параметров теплоносителей;
- знать основные формулы определения коэффициентов теплоотдачи.

Вопросы и задачи

1. Назовите основные виды теплообмена и режимы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах.
2. Чем отличается коэффициент теплоотдачи от коэффициента теплопередачи?
3. При какой схеме движения теплоносителей, не меняющих агрегатное состояние, средний температурный напор будет наименьшим, и при какой – наибольшим?
4. Влияет ли схема движения теплоносителей на средний температурный напор, если происходит фазовое превращение обоих или хотя бы одного из теплоносителей?
5. Когда коэффициент теплоотдачи выше: при внешнем поперечном обтекании трубы или при движении теплоносителя с той же скоростью в трубе?
6. Ориентировочный расчет парового подогревателя толуола.
Исходные данные для расчета:
Массовый расход толуола $G_T = 5$ кг/с;
начальная температура толуола $t''_T = 20^\circ\text{C}$;
конечная температура толуола $t''_T = 70^\circ\text{C}$;
давление технологического водяного пара $P_{изб} = 1$ кгс / см^2 .
Тип теплообменника - кожухотрубный.
7. Определить величину поверхности теплообменника и основные размеры вертикального четырёхходового трубчатого теплообменника, предназначенного для

нагрева воды от $t'_2 = 30^\circ\text{C}$ до $t''_2 = 90^\circ\text{C}$. Вода движется внутри латунных трубок [$\lambda_{\text{лат}}=102\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$] диаметром $d_2/d_1 = 16/14\text{мм}$, $\delta=0,5(d_2- d_1)=1\text{мм}$, со скоростью $v_2=1\text{м}/\text{с}$. Греющим теплоносителем является сухой насыщенный водяной пар с давлением $P=0,143\text{МПа}$ и скоростью $v_1 = 10\text{м}/\text{с}$, который конденсируется на внешней поверхности трубок. Количество передаваемой теплоты $Q = 2200\text{ кВт}$. Потери теплоты в окружающую среду не учитывать.

Литература: [1 - 3]

Методические рекомендации

Для самостоятельного решения задач, студенту необходимо опираться на полученные знания на лекции и на рассмотренные примеры с решениями на занятии. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Практическая работа №3.

Гидравлический расчет трубчатых теплообменных аппаратов рекуперативного типа

Расчёт теплообменника состоит в определении затрат механической энергии на перемещение теплоносителей в аппарате. При гидравлическом расчёте теплообменника необходимо учитывать сопротивление трения, местные сопротивления и тепловое сопротивление. Последнее сопротивление обусловлено ускорением потока вследствие изменения объёма теплоносителя при постоянном сечении канала, что связано с изменением температуры. Для капельных жидкостей этим сопротивлением можно пренебречь.

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Теплообменные аппараты»:

- Изучить методику гидравлического расчёта трубчатых теплообменных аппаратов рекуперативного типа;
- получить навыки проведения гидравлического расчета рекуперативного теплообменника на конкретных примерах.
- самостоятельно решить одну из предложенных задач.

Контрольные вопросы

1. Для каких теплоносителей выше затраты мощности на перемещение в каналах - газообразных или капельных жидкостей?
2. От чего зависит сопротивление трения при движении теплоносителя в каналах?
3. При неизотермическом течении жидкости от чего зависит величина коэффициента сопротивления трения?
4. Что такое тепловое гидравлическое сопротивление?

5. От каких параметров зависит мощность, необходимая для перемещения каждого теплоносителя в теплообменнике?

Методические указания

Для самостоятельного решения задач, студенту необходимо опираться на полученные знания на лекции и на рассмотренные примеры с решениями на занятии. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №4. «Расчет тепловых труб и термосифонов»

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Тепловые трубы»

- изучить методику расчёта тепловых труб и термосифонов;
- получить навыки проведения расчета тепловых труб и термосифонов на конкретных примерах.
- самостоятельно решить одну из предложенных задач.

Вопросы и задачи

1. Какие достоинства и недостатки имеют тепловые трубы и двухфазные термосифоны?
2. Как влияет присутствие неконденсирующегося газа в тепловой трубе на ее теплопередающую способность?
3. Какими факторами ограничивается максимальный тепловой поток для тепловой трубы?
4. Какие задачи можно решать с помощью тепловых труб?
5. Определите тепловой поток Q , передаваемый вертикально расположенным двухфазным термосифоном, заполненным водой и выполненным из медной трубы диаметром $d_b/d_n = 21/25$ мм. Транспортная зона отсутствует, длина конденсатора равна длине испарителя, то есть $L_k = L_i = 0,5$ м. Температура наружной стенки испарителя $t_n = 90^\circ\text{C}$, температура наружной стенки конденсатора $t_k = 70^\circ\text{C}$. При расчете принять: коэффициент теплопроводности меди $\lambda = 350$ Вт/(м·К), коэффициент теплоотдачи в испарителе $\alpha_i = 18$ Вт/(м²·К), коэффициент теплоотдачи в конденсаторе $\alpha_k = 6000$ Вт/(м²·К).
6. Определите предельный тепловой поток Q , ограниченный капиллярными силами, для горизонтально расположенной тепловой трубы. Корпус трубы и сетчатая капиллярная структура выполнены из нержавеющей стали, в качестве теплоносителя используется вода, температура насыщения которой $t_n = 107^\circ\text{C}$. Тепловая труба имеет следующие геометрические характеристики: диаметр корпуса $d_b/d_n = 23/25$ мм, длины испарителя, конденсатора и транспортной зоны соответственно $L_i = 0,2$ м, $L_k = 0,25$ м, $L_t = 0,3$ м, толщина капиллярной структуры $\delta = 1,2$ мм, коэффициент проницаемости фитиля $K = 0,77 \cdot 10^{-10}$ м², радиус капиллярных пор $R = 0,06$ мм

Методические указания

Для самостоятельного решения задач, студенту необходимо опираться на полученные знания на лекции и на рассмотренные примеры с решениями на занятии. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1, 5]

Практическая работа №5. «Расчет вакуумных выпарных аппаратов»

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «**Вакуумные выпарные аппараты**»

- изучить методику расчёта вакуумных выпарных аппаратов;
- получить навыки проведения расчета вакуумных выпарных аппаратов на конкретных примерах.
- самостоятельно решить одну из предложенных задач.

Вопросы и задачи

1. Чем отличается выпаривание водных растворов от испарения чистой воды
2. Как изменяется коэффициент теплоотдачи от стенки кипящему раствору с повышением концентрации раствора
3. Назовите основные методы выпаривания растворов.
4. Какие три вида депрессий приходится учитывать при расчете выпарной установки, и какая из них имеет наибольшее значение
5. Какие преимущества имеет применение вакуума в выпарной установке
6. Для каких целей применяют выпарные установки с тепловыми насосами
7. Какое значение имеет многоступенчатый принцип выпаривания
8. Назовите источники вторичной теплоты в выпарных установках и пути ее использования.
9. Как определить располагаемую и полезную разности температур при тепловом расчете выпарной установки
10. Напишите уравнения материального и теплового балансов для выпарного аппарата.
11. Определите, пользуясь законом Бабо, температуру кипения t и температурную депрессию 1 для водного раствора хлористого кальция при давлении $p_p = 0,198$ МПа, если температура кипения его при атмосферном давлении ($p_p = 0,101$ МПа) составляет $t_n = 115^\circ\text{C}$.
12. Определите располагаемую $t_{\text{общ}}$ и полезную $t_{\text{пол}}$ разности температур в выпарном аппарате поверхностного типа с барометрическим конденсатором при выпаривании водного раствора КОН. Температура вторичного пара на входе в конденсатор $t_k = 80^\circ\text{C}$, температура греющего пара $t_1 = 140^\circ\text{C}$. Значения температурной, гидростатической и гидродинамической депрессий примите соответственно: $1 = 24$ К, $2 = 2$ К, $3 = 1$ К.

13. Производительность выпарной установки для очистки промышленных сточных вод при начальной концентрации примесей $b_n = 2\%$ составляет $G_n = 0,75$ кг/с. Рассчитайте производительность установки по очищенной воде W и по концентрированным стокам G_k , если конечная концентрация примесей $b_k = 30\%$.

14. Определите расход греющего пара D в многоступенчатой выпарной установке для опреснения морской воды с производительностью по исходной воде $G_n = 6$ кг/с, если известны режимные характеристики первого аппарата: производительность по дистилляту $W = 4$ кг/с, температура морской воды на входе в аппарат $t_n = 90^\circ\text{C}$, температура кипения $t_k = 110^\circ\text{C}$, энтальпия вторичного пара $h_{вп} = 2683$ кДж/кг, энтальпия греющего пара $h_r = 2706$ кДж/кг, энтальпия конденсата греющего пара $h = 504$ кДж/кг, потерями теплоты в окружающую среду можно пренебречь.

Методические указания

Для самостоятельного решения задач, студенту необходимо опираться на полученные знания на лекции и на рассмотренные примеры с решениями на занятии. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №6.

Контрольная работа

Выполнение контрольной работы

Контрольная работа одна из форм проверки и оценки усвоенных знаний, а также получения информации об уровне самостоятельности и активности обучающихся. Конкретные формы контрольных работ, перечень контрольных заданий, требования к оформлению размещены в ЭИОС МГТУ.

Контрольная работа предусматривается после изучения определенного раздела (разделов) дисциплины и представляет собой письменную работу, выполненную в соответствии с заданиями.

Выполнение контрольной работы позволяет усвоить отношения между понятиями или отдельными разделами темы, закрепить теоретические знания, развить готовность использовать индивидуальные способности для решения профессиональных и исследовательских задач.

Этапы выполнения контрольной работы:

- изучение конспектов лекций, раскрывающих материал, знание которого проверяется контрольной работой;
- изучение дополнительной литературы, в которой конкретизируется содержание проверяемых знаний;
- составление ответов на поставленные в контрольной работе вопросы;
- решение контрольных задач.

Каждая контрольная работа состоит из трёх теоретических вопросов и одной задачи. Выбор трех вопросов в первой контрольной осуществляется в соответствии с двумя последними цифрами шифра зачетной книжки студента из таблицы 4.1. и задача №1; во второй выбор трех вопросов осуществляется в соответствии с двумя последними цифрами шифра зачетной книжки студента, увеличенными на один из таблицы 4.1. и задача №2.

В контрольную работу записываются контрольные вопросы с их номерами и условия задач. Решение задач сопровождается кратким пояснением, подробным вычислением расчетных величин, в случае необходимости изображаются графики, схемы. Все физические величины в результате расчетов должны быть выражены в системе СИ. При использовании справочных величин и других материалов делается сноска на литературный источник. В конце контрольной работы указывается список литературы, которой пользовался студент при выполнении контрольной работы

Контрольные вопросы

1. Назначение и применение теплотехнического оборудования в промышленности.
2. Классификация теплообменных и теплоиспользующих аппаратов и установок.
3. Основные направления и перспективы развития теплообменных и теплоиспользующих аппаратов и установок.
4. Теплоносители, применяемые в теплообменных аппаратах, их характеристика, преимущества и недостатки
5. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты, их устройства, область применения.
6. Секционные теплообменные аппараты, устройство, область применения, преимущества и недостатки по сравнению с кожухотрубчатыми
7. Причины температурных деформаций в теплообменных аппаратах, способы их компенсации.
8. Характеристика веществ, применяемых в качестве холодильных агентов, их преимущества и недостатки.
9. Свойства высокотемпературных теплоносителей, и в каких случаях их рационально применять?
10. Способы крепления трубок в трубной решетке теплообменника.
11. Достоинства и недостатки спирального теплообменника по сравнению с кожухотрубчатым. Чем ограничивается его применение?
12. Последовательность конструктивного расчета теплообменного аппарата поверхностного типа.
13. Цель и задачи теплового конструктивного и поверочного расчетов теплообменных аппаратов.
14. Тепловой баланс рекуперативного теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей.
15. Тепловой баланс рекуперативного теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей.
16. Тепловой баланс испарителя.
17. Определение среднего температурного напора для прямоточных, противоточных и сложных схем течения теплоносителей.
18. Уравнение теплопередачи для теплообменного аппарата и определение площади поверхности нагрева.
19. Назначение, область применения и отличие испарителей и паропреобразователей.
20. Какие скорости допускаются для жидких и газообразных теплоносителей, не меняющих агрегатного состояния в аппаратах поверхностного типа? Причины ограничения минимальных и максимальных значений.
21. Порядок поверочного расчета аппарата поверхностного типа.

22. 22. Особенности теплового расчета ребристых теплообменников.
23. 23. Преимущества и недостатки ребристых теплообменников и сравнение их с гладкотрубными.
24. 23. Пластинчатые теплообменники, назначение, область применения, устройство, преимущества и недостатки перед другими типами поверхностных теплообменников.
25. 24. Преимущества электрообогрева, причины сдерживания расхода электроэнергии на тепловые нужды.
26. 25. Способы электронагрева.
27. 26. Трубчатые электрические нагревательные элементы, устройство, виды, преимущества по сравнению с другими электрическими нагревателями. Их выбор для технологических установок.
28. 27. Индукционные нагреватели: использование в промышленности, преимущества, основные элементы установки.
29. 28. Определение рекуперативного, регенеративного и смешительного теплообменников.
30. 29. Определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи для теплообменного аппарата поверхностного типа.
31. 30. Из каких видов сопротивлений складывается гидравлическое сопротивление и как определяется мощность на преодоление этого сопротивления?
32. 31. Как определяется необходимый напор насоса для теплообменников, включенных в систему параллельно?
33. 32. Как определяется необходимый напор насоса для теплообменников, включенных в систему последовательно?
34. 33. Задача механического расчета теплообменного аппарата.
35. 34. Расчет толщины стенки цилиндрического корпуса теплообменника.
36. 35. Водонагреватели-аккумуляторы, назначение, область применения, устройство, их достоинства и недостатки.
37. 36. Особенности теплового расчета рекуперативных аппаратов периодического действия.
38. 37. Сравнение технико-экономических показателей водонагревателей-аккумуляторов с аппаратами непрерывного действия.
39. 38. Регенеративные аппараты с подвижной и неподвижной насадкой, их преимущества и недостатки по сравнению с рекуперативными теплообменниками.
40. 39. Преимущества и недостатки теплообменных аппаратов с кипящим слоем по сравнению с кожухотрубчатыми.
41. 40. Принцип теплообмена в регенераторах, в чем его отличие от теплообмена в рекуператорах?
42. 41. Пуск в работу реакционных аппаратов, график расхода теплоты и пара для реакционных аппаратов.
43. 42. По каким факторам производится сравнение и выбор различных типов теплообменных аппаратов?
44. 43. Процесс охлаждения влажного воздуха в $i-d$ -диаграмме. К чему приводит охлаждение ниже точки росы?
45. 44. Процесс нагрева влажного воздуха в $i-d$ -диаграмме, определение расхода теплоты.
46. 45. Процесс смешения горячего и холодного воздуха в $i-d$ -диаграмме, коэффициент смешения, определение параметров смеси.
47. 46. Достоинства и недостатки насадочных и безнасадочных теплообменников.
48. 47. Преимущества и недостатки смешительных теплообменников по сравнению с трубчатыми при нагреве водяным паром.

49. 48. Какие насадки, из мелких или крупных элементов, имеют большую поверхность в единице объема, больший свободный объем для прохода газа и большее гидравлическое сопротивление при одной и той же высоте слоя?
50. 49. Процесс выпаривания, назначение, область применения, его сущность.
51. 50. Классификация выпарных аппаратов и установок.
52. 51. Виды температурных депрессий в процессе выпаривания.
53. 52. Схемы многокорпусных выпарных установок, их сравнительная характеристика.
54. 53. Тепловой баланс выпарного аппарата, определение поверхности теплообмена.
55. 54. Какие типы выпарных аппаратов следует применять для выпаривания кристаллизующихся растворов и какие для пенящихся?
56. 55. Процессы дистилляции и ректификации, их сущность.
57. 56. Сравнительная характеристика ректификационных установок непрерывного и периодического действия.
58. 57. Тепловой баланс и определение расхода пара в ректификационной установке непрерывного действия.
59. 58. Способы и схемы, применяемые для разделения многокомпонентных смесей.
60. 59. Процесс абсорбции, назначение, область применения, его сущность.
61. 60. Процесс адсорбции, назначение, область применения, его сущность.
62. 61. Процесс сушки, назначение, область применения, его сущность.
63. 62. Формы связи влаги с материалом.
64. 63. Равновесная влажность. Как она изменяется с повышением и понижением температуры и относительной влажности теплоносителя?
65. 64. Сравнительная характеристика сушки топочными газами и сушки воздухом.
66. 65. Основные способы сушки материалов. Приведите примеры.
67. 66. Классификация сушильных установок.
68. 67. Пути экономии теплоты в сушильных установках.
69. 68. Материальный баланс сушильной установки, определение количества испаренной влаги.
70. 69. Тепловой баланс действительной непрерывно действующей сушилки.
71. 70. Построение действительного процесса сушки с однократным использованием воздуха в $i-d$ -диаграмме.
72. 71. Построение процесса сушки с однократным использованием топочных газов в $i-d$ -диаграмме.
73. 72. Определение удельных расходов теплоты и воздуха на 1 кг испаренной влаги в сушилке с однократным использованием воздуха.
74. 73. Определение удельных расходов теплоты и смеси топочных газов с воздухом в сушилке с однократным использованием теплоносителя.
75. 74. Отличие действительной сушилки от теоретической.
76. 75. Принципиальная схема барабанной сушилки, характеристика основных ее элементов, преимущества и недостатки.
77. 76. Сравнительная характеристика пневмосушилок, распылительных и сушилок с кипящим слоем.
78. 77. Сравнительная характеристика конвективных туннельных и радиационно-конвективных конвейерных сушилок.
79. 78. Конденсатоотводчики, их назначение и классификация.
80. 79. Установка конденсатоотводчиков и контроль за их работой.
81. 80. Конденсатоотводчики с открытым и закрытым поплавком, конструкция, принцип работы, сравнительная характеристика.
82. 81. Конденсатоотводчики термостатические и термодинамические, конструкция, принцип работы, сравнительная характеристика.
83. 82. Источники загрязнения атмосферы.

84. 83. Способы борьбы с выбросами вредных газов.
 85. 84. Способы очистки выбросов от примесей газов и пыли.
 86. 85. Способы рационального использования вторичных энергетических ресурсов на промышленных предприятиях.
 87. 86. Общая характеристика вторичных энергоресурсов промышленности и их классификация.
 88. 87. Методы использования вторичных энергоресурсов в высокотемпературных производственных процессах.
 89. 88. Методы использования низкопотенциальных вторичных энергоресурсов.
 90. 89. Энергетическая эффективность использования низкотемпературных вторичных тепловых ресурсов для теплоснабжения.

Таблица 4.1 - Выбор вопросов контрольной работы

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,31,61	2,32,62	3,33,63	4,34,64	5,35,65	6,36,66	7,37,67	8,38,68	9,39,69	10,40,70
1	11,41,71	12,42,72	13,43,73	14,44,74	15,45,75	16,46,76	17,47,77	18,48,78	19,49,79	20,50,80
2	21,51,81	22,52,82	23,53,83	24,54,84	25,55,85	26,56,86	27,57,87	28,58,88	29,59,89	30,60,90
3	1,56,90	2,57,89	3,58,88	4,59,87	5,60,86	6,31,85	7,32,84	8,33,83	9,34,82	10,35,81
4	11,36,70	12,37,69	13,38,68	14,39,67	15,40,66	16,41,65	17,42,64	18,43,63	19,44,62	20,45,61
5	21,46,80	22,47,79	23,48,78	24,49,77	25,50,76	26,51,75	27,52,74	28,53,73	29,54,72	30,55,71
6	1,35,90	2,34,87	3,33,84	4,32,81	5,31,78	6,80,75	7,59,72	8,58,69	9,57,66	10,56,63
7	11,40,89	12,39,86	13,38,83	14,37,80	15,36,77	16,55,74	17,54,71	18,53,68	19,52,65	20,51,62
8	21,45,88	22,44,85	23,43,82	24,42,79	25,41,76	26,50,73	27,49,70	28,48,67	29,47,64	30,46,61
9	1,50,81	2,49,82	3,48,83	4,47,84	5,46,85	6,45,86	7,44,87	8,43,88	9,42,89	10,41,90

Задача №1

Определить поверхность нагрева рекуперативного водо-воздушного теплообменника при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей, если объемный расход воздуха при нормальных условиях V_1 , средний коэффициент теплопередачи от воздуха к воде K , начальные и конечные температуры воздуха и воды равны, соответственно, t_1', t_1'', t_2', t_2'' . Также определить расход воды G_2 через теплообменник. Объемная теплоемкость воздуха C_{p1} Дж/(м³·°C) из таблицы 4.4 для влажного воздуха. Данные, необходимые для решения задачи выбрать из таблицы 4.2. Потери в окружающую среду пренебречь.

Таблица 4.2 – Данные для задачи 1.

Предпоследняя цифра шифра	V_1 , 10 ³ м ³ /ч	K , Вт/(м ² ·°C)	Последняя цифра шифра	$t_1', °C$	$t_1'', °C$	$t_2', °C$	$t_2'', °C$
0	15	18	0	500	250	10	90
1	20	19	1	480	240	15	95
2	25	20	2	460	230	20	100
3	30	21	3	440	210	25	105
4	45	22	4	420	200	30	110
5	40	23	5	400	180	35	115
6	35	24	6	380	160	40	120
7	30	25	7	360	130	45	120
8	55	26	8	340	140	50	130
9	10	27	9	320	120	15	100

Задача №2

Сушильная установка имеет производительность по влажному материалу G_1 . Начальная влажность материала w_1 , конечная w_2 . Теплоноситель – атмосферный воздух с температурой $t_0=20^\circ\text{C}$, относительной влажностью $\phi_0=70\%$. Температура воздуха после калорифера t_1 , отработанного воздуха t_2 . Тепловые потери составляют Q_T . Определить удельный расход воздуха и теплоты (на испарение 1 кг влаги), секундный расход воздуха и теплоты, а также расход пара на калорифер, если пар сухой насыщенный с давлением $p=0,3\text{МПа}$. Данные к задаче необходимо выбрать по таблице 4.3 в соответствии с шифром.

Таблица 4.3 – Данные для задачи 2.

Предпоследняя цифра шифра	G_1 , кг/с	w_1 , %	w_2 , %	Последняя цифра шифра	t_1 , °C	t_2 , °C	Q_T , кВт
0	0,22	25	9	0	80	40	20
1	0,25	12	1	1	100	40	21
2	0,45	22	8	2	110	45	26
3	0,38	24	8	3	120	45	23
4	0,23	11	2	4	90	40	17
5	0,27	18	2	5	100	40	20
6	0,33	26	10	6	120	45	27
7	0,50	18	7	7	100	40	34
8	0,27	20	9	8	110	45	24
9	0,26	10	1,5	9	120	45	25

Таблица 4.4

Теплоемкости

Приложение 2

Средняя объемная теплоемкость продуктов полного сгорания и воздуха, кДж/(м³·К), при постоянном давлении в интервале температур от 0 до t

Температура t , °C	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂ O	Сухой воздух	Влажный воздух
0	1,603	1,295	1,306	1,494	1,297	1,319
100	1,704	1,296	1,317	1,505	1,300	1,324
200	1,791	1,299	1,335	1,521	1,307	1,332
300	1,867	1,308	1,356	1,541	1,316	1,342
400	1,934	1,316	1,377	1,564	1,328	1,355
500	1,993	1,328	1,398	1,588	1,341	1,368

Практическая работа №7.

«Расчет скруббера для охлаждения воздуха водой»

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Скруббер для охлаждения воздуха водой»:

- изучить методику расчёта скруббера;

- получить навыки проведения расчета скруббера на конкретных примерах.
- самостоятельно решить одну из предложенных задач.

Вопросы и задачи

1. Почему энтальпию и влагосодержание воздуха рассчитывают на 1 кг сухого воздуха
2. При какой относительной влажности воздуха температура мокрого термометра равна температуре сухого термометра
3. Какую воду, холодную или горячую, следует применять для осушения воздуха, какую для его увлажнения
4. Какая температура является пределом нагревания или охлаждения воздуха в скруббере
5. Перечислите достоинства и недостатки скрубберов с насадкой и без нее.
6. Определите тепловой поток Q , который необходимо отводить в рекуперативном воздухоохладителе, и количество выпадающей на его поверхности влаги W , если при температуре воздуха $t_1 = 60^\circ\text{C}$ и его относительной влажности $\phi_1 = 30\%$ производительность воздухоохладителя $L = 30\text{ м}^3/\text{с}$, Охлаждение воздуха производится до $t_2 = 30^\circ\text{C}$.
7. Смешиваются $L_1 = 1000\text{ кг}$ воздуха с температурой $t_1 = 20^\circ\text{C}$, относительной влажностью $\phi_1 = 60\%$ и $L_2 = 3000\text{ кг}$ воздуха с параметрами $t_2 = 50^\circ\text{C}$, $\phi_2 = 50\%$. Для полученной смеси определите по $h-d$ - диаграмме следующие параметры: энтальпию $h_{\text{см}}$, влагосодержание, температуру $t_{\text{см}}$ и относительную влажность $\phi_{\text{см}}$.
8. Определите тепловой поток Q , переданный в скруббере, и расход охлаждающей воды $G_{\text{в}}$, если в скруббер поступает воздух в количестве $L = 3\text{ кг/с}$ при температуре $t' = 150^\circ\text{C}$ с энтальпией $h' = 418\text{ кДж/кг}$ и выходит из него с энтальпией $h'' = 209\text{ кДж/кг}$. Охлаждающая вода имеет температуру на входе $t_{\text{в}}' = 15^\circ\text{C}$ и на выходе $t_{\text{в}}'' = 55^\circ\text{C}$.

Методические указания

Для самостоятельного решения задач, студенту необходимо опираться на полученные знания на лекции и на рассмотренные примеры с решениями на занятии. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №8.

Расчет одно и многоступенчатой холодильной машины

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Холодильные машины»:

- изучить методику расчёта холодильной машины;
- получить навыки проведения расчета холодильной машины на конкретных примерах.
- самостоятельно решить одну из предложенных задач.

Вопросы и задачи

1. По каким направлениям технического прогресса используется хладотехника?
2. Какие виды установок входят в состав техники низких температур?
3. Назовите области применения холодильной техники?
4. Назовите основные способы получения искусственного холода?
5. Какой способ получения холода наиболее распространен и почему?
6. Что называют дроссельэффектом и как он используется в технике низких температур?
7. Что представляет собой детандер и где он используется?
8. Какое устройство называют вихревой трубой?
9. В чем заключается термоэлектрический способ получения холода?
10. Как классифицируются холодильные машины по виду используемой энергии?
11. Как классифицируются ХМ в зависимости от схемы и вида термодинамического цикла?
12. Назовите достоинства и недостатки парокompрессионных ХМ с поршневыми компрессорами.
13. Назовите достоинства и недостатки парокompрессионных ХМ с турбокompрессорами.
14. Назовите достоинства и недостатки холодильных машин с винтовыми компрессорами.
15. Назовите достоинства и недостатки теплоиспользующих холодильных машин.
16. Как осуществить выбор оптимального типа холодильной машины для системы холодоснабжения предприятия?
17. Какие требования предъявляются к хладагентам?
18. Какие основные теплофизические параметры характеризуют ХА?
19. По какому принципу осуществляется выбор хладагента?
20. Какие типы компрессоров используются в парожидкостных компрессорных холодильных машинах?
21. Перечислите минимально необходимые составные элементы компрессорной холодильной машины?
22. Какие преимущества имеются у процесса многоступенчатого сжатия перед одноступенчатым сжатием?
23. Как получают холод в абсорбционных холодильных машинах?
24. Задача. Расчет ПХМ, работающей на аммиаке.

Методические указания

Для самостоятельного решения задач, студенту необходимо опираться на полученные знания на лекции и на рассмотренные примеры с решениями на занятии. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №9.

Изучение конструктивных характеристик сетевого подогревателя

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «**Сетевые подогреватели**»:

- изучить конструкции сетевых подогревателей;
- получить навыки определения характеристик сетевых подогревателей на конкретных примерах.

Контрольные вопросы.

1. Как осуществляется централизованное водоснабжение?
2. Что такое теплофикация?
3. Как работает отопительная ТЭЦ?
4. Назовите показатели, которыми характеризуется экономичность работы ТЭЦ
5. Что такое выработка электроэнергии на тепловом потреблении и в чем его физический смысл?
6. Из каких основных элементов состоит сетевой подогреватель?
7. Какую функцию выполняют перегородки в водяных камерах?
8. Какими элементами укреплены трубные доски?
9. Как компенсируются тепловые расширения элементов подогревателей?
10. Как крепятся трубки в трубных досках?
11. Что делают с трубками подогревателей, в которых обнаружены свищи?
12. Почему в сетевых подогревателях применяют только прямые трубы?
13. Что применяют в сетевых подогревателях для защиты поверхности нагрева от эрозии со стороны входа пара?
14. Для чего в горизонтальных подогревателях трубный пучок разбивают на сектора и между ними устанавливают лотки?

Методические указания

Для изучения конструктивных характеристик сетевого подогревателя использовать информацию заводов изготовителей. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №10.

Изучение конструктивных характеристик деаэраторов разных типов

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «**Деаэраторы**»:

- изучить конструкции деаэраторов;
- получить навыки определения характеристик деаэраторов на конкретных примерах.

Контрольные вопросы.

1. Какие функции выполняет деаэратор на ТЭС и АЭС?
2. Какой метод удаления газов используется в деаэраторе?
3. Как влияет недогрев воды до температуры насыщения на процесс деаэрации?
4. Какой процесс дробления воды наиболее эффективен для деаэрации?
5. Какую главную роль выполняет струйный отсек в деаэраторе?
6. Как влияет скорость пара в струйном отсеке на выход газов?
7. Как влияет скорость воды в струйном отсеке на выход газов?
8. Как влияет диаметр отверстий в струйном отсеке на выходе газов?
9. Какую роль играет паровая подушка под барботажным листом?
10. Какие параметры контролируют в деаэраторе?
11. Какие параметры регулируют в деаэраторе?
12. Чем опасно резкое падение давления в деаэраторе?
13. Чем опасна потеря уровня воды в баке деаэратора?
14. Чем опасно чрезмерное повышение уровня воды в баке деаэратора?
15. Какую защиту имеют деаэраторы от недопустимого повышения давления?
16. Какую защиту имеют деаэраторы от чрезмерного повышения уровня воды в баке деаэратора?
17. Какие виды сигнализации применяют в деаэраторе?
18. Что определяет минимальная скорость пара в отверстиях барботажного листа?
19. Для чего барботажный лист пароперепускное устройство?
20. О чём говорит отрицательный динамический уровень на барботажном листе?

Методические указания

Для изучения конструктивных характеристик деаэраторов использовать информацию заводов изготовителей. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №11.

Расчет и конструирование деаэраторных колонок

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «**Деаэраторы**»:

- изучить конструкции деаэраторных колонок;
- получить навыки расчёта и определения характеристик деаэраторных колонок на конкретных примерах.

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается сущность процесса термической деаэрации?
2. Какие требования предъявляют к конструкции деаэраторов?
3. Опишите технологию удаления диоксида углерода в декарбонизаторе.
4. Опишите схему декарбонизатора струйного типа.
5. Технология удаления газов в декарбонизаторах.

6. Как классифицируются деаэраторы по давлению, по способу контакта воды с паром?
7. Объясните конструкцию и принцип действия колонки атмосферного типа.
8. Объясните конструкцию и принцип действия деаэрационной колонки пленочного типа.
9. Объясните конструкцию и принцип действия деаэрационной колонки струйно-барботажного типа.

Методические указания

Для изучения конструктивных характеристик деаэрационных колонок использовать информацию заводов изготовителей. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №12.

Изучение конструктивных характеристик аппаратов с кипящим слоем

Для проведения данного занятия необходимо изучить материал раздела 1.2.4 и 2.11 [1].

В качестве аппарата с кипящим слоем рассмотрим сушилку зернистого материала.

Сушка материалов происходит в так называемом «кипящем слое» зернистого материала, когда под действием восходящего потока газа (сушильного агента) частицы слоя переходят во взвешенное состояние

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Сушилки»:

- изучить конструкции сушилок с кипящим слоем;
- получить навыки определения характеристик сушилок с кипящим слоем на конкретных примерах.

Контрольные вопросы.

1. Условия существования взвешенного слоя.
2. Что такое порозность зернистого слоя ϵ ?
3. Численные значения порозности взвешенного слоя ϵ .
4. Число псевдооживления.
5. Что такое критическая скорость?
6. Что такое скорость витания?
7. Объясните постоянство сопротивления слоя при изменении скорости потока от критической до скорости уноса.
8. Свойства, присущие взвешенному слою.
9. какую функцию выполняют в сушильных агрегатах циклоны и скруббера?

Методические указания

Для изучения конструктивных характеристик сушилок с кипящим слоем использовать информацию заводов изготовителей. Ответы на контрольные вопросы должны быть чёткими и конкретными. В первом предложении ответа должны

присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №13.

Изучение конструктивных характеристик сушильных установок

Для проведения данного занятия необходимо изучить материал раздела 1.2.4 и 2.12 [1].

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Сушилки»:

- изучить существующие конструкции сушилок;
- получить навыки определения характеристик сушилок различных типов на конкретных примерах.

Контрольные вопросы.

- Что называется сушкой? Какие виды сушки вам известны?
- Дайте определение основных параметров влажного воздуха.
- Схематично изобразите диаграмму Л.К. Рамзина, как с ее помощью определять параметры влажного воздуха?
 - Как на диаграмме Л.К. Рамзина изображаются процессы нагревания, охлаждения, теоретической и адиабатической сушки? Что такое температура росы и температура мокрого термометра?
 - Какие формы связи влаги с материалом вам известны?
 - Что характеризует влажность материала и какие способы ее выражения вам известны?
 - От чего зависит равновесная влажность материала? Какую влажность называют гигроскопической?
 - Запишите уравнения материального баланса конвективной сушки.
 - Запишите уравнение теплового баланса конвективной сушки.
 - Что называют внутренним тепловым балансом сушильной камеры (сушилки)?
 - Получите уравнение действительной (реальной) сушки, проанализируйте его.
 - Какие зависимости называют кривыми сушки и скорости сушки?
 - Какие периоды сушки принято выделять, чем они характерны?
 - Как меняется температура материала в процессе сушки?
 - Как определить продолжительность сушки и приведенную критическую влажность материала?
 - По каким признакам и каким образом классифицируются сушилки?
 - Изобразите и опишите устройство, преимущества и недостатки конвективных сушилок с неподвижным или движущимся плотным слоем материалом.
 - Изобразите и опишите устройство, преимущества и недостатки конвективных сушилок с перемешиванием материала.
 - Изобразите и опишите устройство, преимущества и недостатки контактных сушилок.
 - Изобразите и опишите устройство, преимущества и недостатки радиационных, диэлектрических и сублимационных сушилок.
 - Сформулируйте основные этапы расчета сушилок.

Вопросы для обсуждения

Подготовиться к диспуту по следующим вопросам.

- В чем заключается отличие теоретической сушки от адиабатической? Могут ли они быть идентичными? Если да, то при каком условии?
- С помощью каких факторов и каким образом можно увеличить скорость сушки?
- Чем обусловлены сложности расчета сушилок?

Методические указания

Для изучения конструктивных характеристик сушилок использовать информацию заводов изготовителей. Ответы на контрольные вопросы должны быть четкими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопроса и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками на литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №14.

Расчет и конструирование сушильных установок

Для проведения данного занятия необходимо изучить материал раздела 1.2.4 и 2.13 [1].

Цель практического занятия: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Сушилки»:

- изучить существующие конструкции сушилок;
- получить навыки расчёта и конструирования сушилок различных типов на конкретных примерах.

Контрольные вопросы.

1. В чем состоит различие между абсолютной и относительной влажностью воздуха? Поясните понятие о влагосодержании и энтальпии влажного воздуха.
2. Раскройте принципы построения **J-d** диаграммы состояния влажного воздуха. Как определяются параметры влажного воздуха с помощью этой диаграммы?
3. Какие виды обезвоживания материалов наиболее распространены?
4. Перечислите и охарактеризуйте виды связи влаги с материалом.
5. Как называются периоды сушки материала? Объясните, как изменяются влажность и температура материала в эти периоды.
6. Что такое критическая влажность материала? Какую конечную влажность должен иметь материал: а) чтобы отсутствовал период падающей скорости сушки; б) чтобы отсутствовал период постоянной скорости сушки?
7. Что такое гигроскопическая влажность и какое она имеет практическое значение? Какая влажность имеет большее численное значение при сушке материалов: критическая или гигроскопическая? Для каких материалов эта разница больше: толстых или тонких и как она изменяется с повышением скорости сушки?
8. Что такое равновесная влажность и как она изменяется с повышением и понижением температуры и относительной влажности сушильного агента?
9. От каких параметров зависит интенсивность испарения влаги с поверхности материала?

10. Какая влажность материала, на общую или сухую массу, используется в тепловых расчетах и какая - при анализе кинетики процессов сушки?
11. Какая влага, содержащаяся в материале, не замерзает при низких температурах?
12. Какая влага (связанная химически, физико-химически, физико- механически) может быть удалена механическим путем?
13. Какие существуют движущие силы внутреннего переноса влаги в материале?
14. Объясните, что такое потенциал сушки, какое он имеет значение и какая из трех разностей: $p_n - p$, $t_c - t_m$ или $d_2 - d_1$ получила большее распространение в качестве потенциала сушки?

Методические указания

Для изучения конструктивных характеристик сушилок использовать информацию заводов изготовителей. Ответы на контрольные вопросы должны быть четкими и конкретными. В первом предложении ответа должны присутствовать основные слова из вопрос и конкретный ответ, который далее обосновывается аналитическими выкладками или ссылками литературные источники.

Литература [1 - 3]

Практическая работа №15. Расчёт теплообменников

Для выполнения данной работы необходимо изучить материал по теме «Теплообменные аппараты». Описание основной теоретической части РГР приведено в [1] в практических работах 1 и 2 данного документа.

Цель практической работы: закрепить теоретические знания и навыки самостоятельной работы, полученные в процессе обучения по теме «Теплообменные аппараты»:

- изучить существующие конструкции теплообменников;
- получить навыки расчёта и конструирования теплообменников различных типов на конкретных примерах;
- самостоятельно выполнить расчёты отопительного пароводяного подогревателя горизонтального типа и секционного водо-водяного подогревателя;
- по полученным расчётным данным подобрать стандартный теплообменник.

В РГР необходимо произвести тепловой и конструктивный расчет **отопительного пароводяного подогревателя** горизонтального типа и **секционного водоводяного подогревателя** производительностью $Q = 1,2 \cdot 10^6$ ккал/ч. Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель $t_2' = 65^\circ\text{C}$ и при выходе $t_2'' = 95^\circ\text{C}$. Температура сетевой воды при входе в водоводяной подогреватель $t_1' = 140^\circ\text{C}$ и при выходе $t_1'' = 80^\circ\text{C}$. Влияние загрязнения поверхности нагрева подогревателя и снижение коэффициента теплопередачи при низких температурах воды учесть понижающим коэффициентом $=0,65$.

Таблица 1 - Исходные данные

№ варианта	Производительность, $Q \cdot 10^{-6}$, кДж/ч	Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель, $t_2', ^\circ\text{C}$	Давление сухого насыщенного водяного пара, р, ат
------------	--	---	--

1	3,78	75	3,5
2	5,04	70	4,0
3	5,88	65	4,5
4	6,72	60	5,0
5	7,56	75	3,5
6	8,40	70	4,0
7	9,24	65	4,5
8	10,1	60	5,0
9	3,78	70	3,5
10	5,04	75	4,0
11	5,88	65	3,5
12	6,72	65	5,0
13	7,56	70	3,5
14	8,40	75	4,0
15	3,78	65	4,5
16	5,04	65	4,0
17	5,88	65	4,0

Для расчета **отопительного пароводяного подогревателя** приняты следующие дополнительные данные:

- давление сухого насыщенного водяного пара $p = 4$ ат ($t_n = 143,62^\circ\text{C}$), см. Таблицу вода-водяной пар на линии насыщения;
- температура конденсата, выходящего из подогревателя, $t_k = t_n$;
- число ходов воды $z = 2$;
- поверхность нагрева выполнена из латунных труб ($\lambda = 90$ ккал/м·ч·град) диаметром $d = 14/16$ мм.

Загрязнение поверхности учесть дополнительным тепловым сопротивлением $\alpha_3 = 0,00015 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал}$.

В обоих вариантах скорость воды w_t (в трубках) принять по возможности близкой к $0,9$ м/сек.

Для упрощения расчета принять $\rho = 1000$ кг/м³.

На основе расчетов выбрать аппараты, выпускаемые серийно, и сделать сопоставление полученных результатов.

Для расчетов необходимо пользоваться справочными материалами:

- Рабинович О. М. Сборник задач по технической термодинамике. – М.: Машиностроение, 1973. – 344 с. (Таблица Насыщенный водяной пар (по давлениям))
- Таблица зависимости кинематической вязкости воды от температуры.

Пример расчета пароводяного подогревателя

Исходные данные: температура нагреваемой воды при входе в подогреватель $t_2' = 65^\circ\text{C}$, мощность $Q = 1,2 \cdot 10^6$ ккал/ч.

Расчет: определим расход воды:

(кг/ч)

или $V = 40$ м³/ч.

Число трубок в одном ходе:

(шт.)

где d_v – внутренний диаметр теплообменных труб (из дополнительных данных).

Общее число трубок в корпусе:
(шт.)

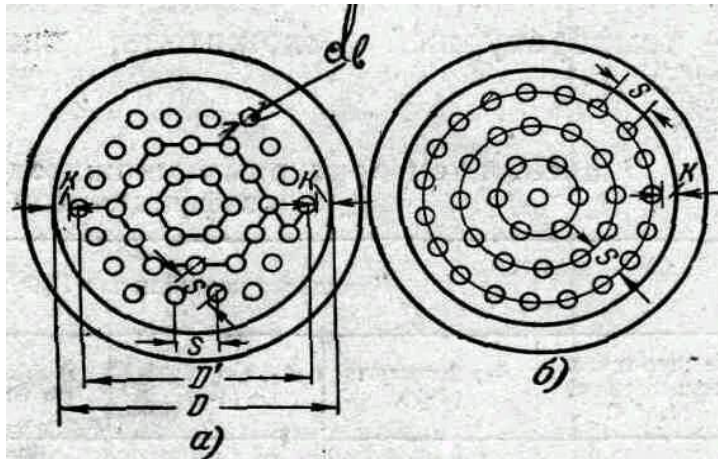


Рисунок 1. Размещение трубок в трубной решетке трубчатого подогревателя: а – по вершинам равносторонних треугольников; б – по концентрическим окружностям.

Принимая шаг трубок $s = 25$ мм, угол между осями трубной системы $= 60^\circ$ и коэффициент использования трубной решетки $= 0,7$, определим диаметр корпуса:
(м) $= 378$ (м)

Определим также диаметр корпуса по таблице 1.7 и Рисунку 1 в приложении 1 при ромбическом размещении трубок.

Для числа трубок $n = 144$ находим в Таблице 1.7 значение $D'/s = 14$ и, следовательно, $D' = 14 \cdot 25 = 350$ (мм).

Диаметр корпуса составит:

$$D = D' + d_n + 2k = 350 + 16 + 2 \cdot 20 = 406 \text{ (мм)}.$$

Приведенное число трубок в вертикальном ряду:
(шт.)

Определим коэффициент теплоотдачи α от пара к стенке:

Температурный напор:

($^\circ\text{C}$)

Средние температуры воды и стенки:

($^\circ\text{C}$)

($^\circ\text{C}$)

Режим течения пленки конденсата определяем по приведенной длине трубки (критерий Григулля) для горизонтального подогревателя, равной:

,

где m – приведенное число трубок в вертикальном ряду, шт.;

d_n – наружный диаметр трубок, м;

A_1 – температурный множитель, значение которого выбирается по Таблице 2:

($1/(\text{м} \cdot \text{град})$)

($^\circ\text{C}$)

Таблица 2 - Значения температурных множителей в формулах для определения коэффициентов теплоотдачи

Конденсирующийся пар					Вода при турбулентном движении	
Температу-ра насыщения, $t_n, ^\circ\text{C}$	A_1	A_2	A_3	$A_4 \cdot 10^3$	Температу-ра $t, ^\circ\text{C}$	A_5
20	5,16	–	–	1,88	20	1746
30	7,88	–	–	2,39	30	1909
40	11,4	–	–	2,96	40	2064
50	15,6	–	–	3,56	50	2213
60	20,9	–	–	4,21	60	2350
70	27,1	–	–	4,91	70	2490
80	34,5	7225	10439	5,68	80	2616
90	42,7	7470	10835	6,48	90	2740
100	51,5	7674	11 205	7,30	100	2850
110	60,7	7855	11524	8,08	110	2957
120	70,3	8020	11 809	8,90	120	3056
130	82,0	8140	12039	9,85	130	3150
140	94,0	8220	12249	10,8	140	3235
150	107	8300	12375	11,8	150	3312
160	122	8340	12469	12,9	160	3385
170	136	8400	12554	14,0	170	2450
180	150	8340	12579	15,0	180	3505

При $t_n = 143,62^\circ\text{C}$ имеем $A_1=98,71$ (1/(м·град)), тогда $L = 12 \cdot 0,016 \cdot 30,62 \cdot 98,71 = 580,32$, т. е. меньше величины $L_{кр} = 3900$ (для горизонтальных труб), следовательно, режим течения пленки ламинарный.

Для этого режима коэффициент теплоотдачи от пара к стенке на горизонтальных трубках может быть определен по преобразованной формуле Д.А. Лабунцова:

При $t_n = 143,62^\circ\text{C}$ по Таблице 2 находим множитель $A_2 = 8248,96$, тогда:
(ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$))

Определяем коэффициент теплоотдачи от стенки к воде.

Режим течения воды в трубках турбулентный, так как:

где ν – коэффициент кинематической вязкости воды (по справочнику); $\nu = 0,373 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при средней температуре воды $t = 81,42^\circ\text{C}$.

Коэффициент теплоотдачи при турбулентном движении воды внутри трубок:

где $d_3 = d_v$.

При $t = 81,42^\circ\text{C}$ по Таблице 2 множитель $A_5=2633,6$, следовательно:
(ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$))

Расчетный коэффициент теплопередачи (с учетом дополнительного теплового сопротивления $\lambda/3$) определяем по формуле для плоской стенки, так как ее толщина меньше 2,5мм:

(ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$))

Уточненное значение температуры стенки трубок:
($^\circ\text{C}$)

Поскольку уточненное значение $t_{ст}$ мало отличается от принятого для предварительного расчета, то пересчета величины α не производим (в противном случае, если отличие в данных температурах более 3%, необходимо производить пересчет до достижения данной точности).

Расчетная поверхность нагрева:
(m^2)

Ориентируясь на полученную величину поверхности нагрева и на заданный в условии диаметр латунных трубок $d = 14/16mm$, выбираем **пароводяной подогреватель горизонтального типа конструкции Я.С. Лаздана** (Рисунок 1.1, Таблица 1.1 в приложении) с поверхностью нагрева $F = 10,4m^2$, площадью проходного сечения по воде (при $z = 2$) $f_T = 0,0132m^2$, количеством и длиной трубок $172 \times 1200mm$, числом рядов трубок по вертикали $t = 12$. Основные размеры подогревателя приведены в Таблице 1.2.

Уточним скорость течения воды w в трубках подогревателя:
(m/c)

Поскольку активная длина трубок $l = 1200mm$, длина хода воды $L = l \cdot z = 1200 \cdot 2 = 2400 (mm)$.

Определяем гидравлические потери в подогревателе. Коэффициент гидравлического трения при различных режимах течения жидкости и различной шероховатости стенок трубок можно подсчитать по формуле А.Д. Альтшуля:

где k_1 – приведенная линейная шероховатость, зависящая от высоты выступов, их формы и частоты.

Принимая $k_1 = 0$ (для чистых латунных трубок), формулу можно представить в более удобном для расчетов виде (для гидравлически гладких труб):

Уточняем критерий Рейнольдса:

Таблица 3 - Значения $\tau = f(Re)$ для гидравлически гладких труб

$Re \cdot 10^{-3}$	τ	$Re \cdot 10^{-3}$	τ	$Re \cdot 10^{-3}$	τ	$Re \cdot 10^{-3}$	τ
10	0,0303	80	0,0184	200	0,0153	340	0,0139
20	0,0253	90	0,0179	220	0,0150	360	0,0137
30	0,0230	100	0,0175	240	0,0147	380	0,0135
40	0,0215	120	0,0168	260	0,0146	400	0,01345
50	0,0205	140	0,0164	280	0,0144		
60	0,0197	160	0,0160	300	0,0142		
70	0,0190	180	0,0156	320	0,0140		

Используя Таблицу 3, по известной величине Re находим $\tau = 0,023$.

Таблица 4 - Значение коэффициента загрязнения труб $x_{ст}$

Материал труб и состояние их поверхности	$x_{ст}$
Медные и латунные чистые гладкие трубы	1,0
Новые стальные чистые трубы	1,16
Старые (загрязненные) медные или латунные трубы	1,3
Старые (загрязненные) стальные трубы	1,51 – 1,56

Потерю давления в подогревателе определяем с учетом дополнительных потерь от шероховатости в результате загрязнений труб по Таблице 4 и потерь от местных сопротивлений по Таблице 5.

Таблица 5 - Коэффициенты местного сопротивления арматуры и отдельных элементов теплообменного аппарата

Наименование детали	
Вентиль проходной $d = 50\text{мм}$ при полном открытии	4,6
То же $d = 400\text{мм}$	7,6
Вентиль Косва	1,0
Задвижка нормальная	0,5 – 1,0
Кран проходной	0,6 – 2,0
Угольник 90°	1,0 – 2,0
Колено гладкое 90° , $R = d$	0,3
То же, $R = 4d$	1,0
Входная или выходная камера (удар и поворот)	1,5
Поворот на 180° из одной секции в другую через промежуточную камеру	2,5
То же через колено в секционных подогревателях	2,0
Вход в межтрубное пространство под углом 90° к рабочему потоку	1,5
Поворот на 180° в U-образной трубке	0,5
Переход из одной секции в другую (межтрубный поток)	2,5
Поворот на 180° через перегородку в межтрубном пространстве	1,5
Огибание перегородок, поддерживающих трубы	0,5
Выход из межтрубного пространства под углом 90°	1,0

Для условий проектируемого теплообменника по Таблице 4 для загрязненных латунных труб $\chi_{ст} = 1,3$, а по Таблице 5А коэффициенты местных сопротивлений имеют следующие значения.

Таблице 5А - Коэффициенты местных сопротивлений

Наименование детали	
Вход в камеру	$1,5 \cdot 1 = 1,5$
Вход в трубки	$1,0 \cdot 2 = 2,0$
Выход из трубок	$1,0 \cdot 2 = 2,0$
Поворот на 180°	$2,5 \cdot 1 = 2,5$
Выход из камеры	$1,5 \cdot 1 = 1,5$

Потеря давления в подогревателе (при условии $w = \text{const}$):
(мм вод. ст.)

Гидравлическое сопротивление пароводяных подогревателей по межтрубному пространству, как правило, не определяется, так как его величина вследствие небольших скоростей пара (до 10м/с) очень мала.

Пример расчета секционного водоводяного подогревателя

Исходные данные: давление сухого насыщенного водяного пара $p = 4\text{ат}$ ($t_n = 143,62^\circ\text{C}$), мощность $Q = 1,2 \cdot 10^6$ ккал/ч.

Расчет: определим расходы сетевой воды и воды, нагреваемой в межтрубном пространстве:

(кг/ч)

или $V_T = 20,0 \text{ м}^3/\text{ч}$;

(кг/ч)

или $V_{MT} = 40,0 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Площадь проходного сечения трубок (при заданной в условии расчета скорости течения воды в трубках $w=1 \text{ м/с}$):

(м^2)

Выбираем подогреватель **МВН 2050-32** (Рисунок 1.2, Таблица 1.4 в приложении). Согласно Таблице 1.3 он имеет: наружный диаметр корпуса 219мм и внутренний – 209мм, число стальных трубок (размером 16×1,4мм) $n = 69$ шт., площадь проходного сечения трубок $f_T = 0,00935 \text{ м}^2$, площадь проходного сечения межтрубного пространства $f_{MT} = 0,0198 \text{ м}^2$.

Скорость воды в трубках и в межтрубном пространстве:

(м/с)

(м/с)

Таким образом, в результате расчета совершенно случайно получены одинаковые скорости воды ($W_T=W_{MT}$).

Эквивалентный диаметр для межтрубного пространства:

(м)

Средняя температура воды в трубках:

($^{\circ}\text{C}$)

При этой температуре температурный множитель, необходимый для дальнейших расчетов (по Таблице 2), $A_{5T} 2960$.

Средняя температура воды между трубками:

($^{\circ}\text{C}$)

При этой температуре температурный множитель (по Таблице 2)

$A_{5MT} 2616$.

Режим течения воды в трубках (при $t_1 = 110^{\circ}\text{C}$ $v_T = 0,271 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) и межтрубном пространстве (при $t = 80,0^{\circ}\text{C}$ $v_{MT} = 0,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) турбулентный, так как:

Коэффициенты теплоотдачи (для турбулентного режима течения воды):

Коэффициент теплоотдачи при турбулентном движении воды внутри трубок:

($\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$)

где $d_3 = d_B$.

($\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$)

Расчетный коэффициент теплопередачи (коэффициент теплопроводности стали = $39 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$) определяем по формуле для плоской стенки, так как ее толщина меньше 2,5мм:

($\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$)

Температурный напор:

($^{\circ}\text{C}$)

Поверхность нагрева подогревателя:
(м²)

Длина хода по трубкам при среднем диаметре трубок
 $d = 0,5 \cdot (0,016 + 0,0132) = 0,0146$ (м):
(м)

Число секций (при длине одной секции $l_T = 4$ м):
секции; принимаем 3 секции.

Уточненная поверхность нагрева подогревателя согласно технической характеристике выбранного аппарата составит:
(м²)

Действительная длина хода воды в трубках и межтрубном пространстве $L_T = 4 \cdot 3 = 12$ (м), $L_{MT} = 3,5 \cdot 3 = 10,5$ (м) (при подсчете L_{MT} расстояние между патрубками входа и выхода сетевой воды, равное 3,5м, выбрано из конструктивных соображений).

Определяем гидравлические потери в подогревателе. Коэффициенты гидравлического трения для трубок и межтрубного пространства определяем по формуле Альтшуля при $k = 0,3 \cdot 10^{-3}$ мм (для бесшовных стальных труб изготовления высшего качества):

Коэффициенты местных сопротивлений для потока воды в трубках, принимаем по Таблице 5.

Вход в трубки	$1,5 \cdot 4 = 6,0$
Выход из трубок	$1,5 \cdot 4 = 6,0$
Поворот в колене	$0,5 \cdot 3 = 1,5$
	$\xi = 13,5$

Суммарный коэффициент местных сопротивлений для потока воды в межтрубном пространстве определяется из выражения:

Отношение сечений входного или выходного патрубка: $f_{MT}/f_{патр} = 1$.

Потери давления в подогревателе с учетом дополнительных потерь $x_{ст}$ от шероховатости (для загрязненных стальных труб по Таблице 4 принимаем $x_{ст} = 1,51$):

(мм вод. ст.)

Потери в межтрубном пространстве подсчитываются по аналогичной формуле, но лишь в том случае, когда сумма значений коэффициентов местных сопротивлений $_{MT}$ определена по указанной выше формуле, в противном случае расчет потерь $_{рMT}$ значительно усложняется.

(мм вод. ст.)

Сведем полученные результаты в Таблицу 6 и сравним их между собой.

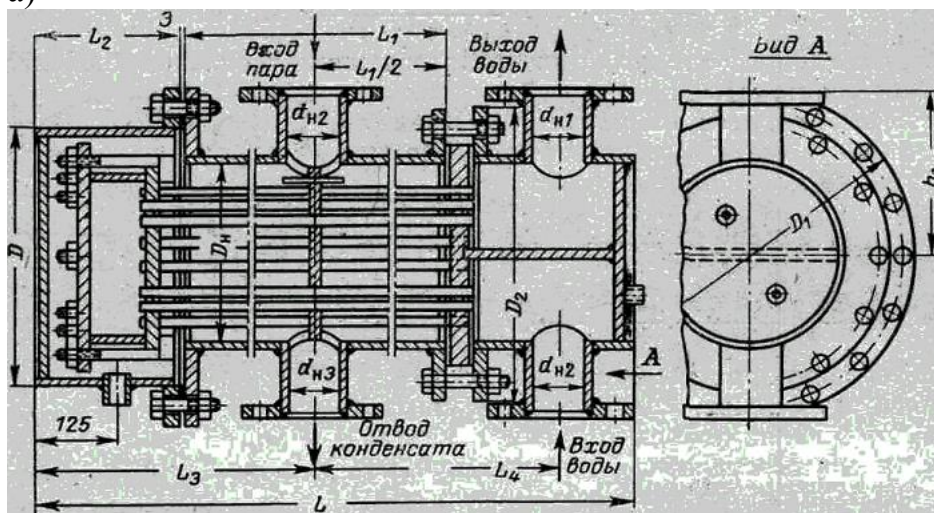
Таблица 6 - Расчетные данные кожухотрубчатого и секционного водоводяного теплообменников

Тип теплообменника	Коэффициент теплопередачи k , ккал/($m^2 \cdot ч \cdot град$)	Температурный напор t , $^{\circ}C$	Поверхность нагрева F , m^2	Диаметр корпуса D , м	Длина корпуса L , м	Гидравлическое сопротивление, мм вод. ст	Число ходов z
Кожухотрубчатый	1953	62,2	9,88	0,414	1,81	0,526	2
Секционный	1240	27,3	38,25	219	4,44	1,17	3

Сравнение показывает, что для данных условий кожухотрубчатый теплообменник имеет те преимущества, что он более компактен и гидравлическое сопротивление его меньше.

Приложение 1

а)



б)

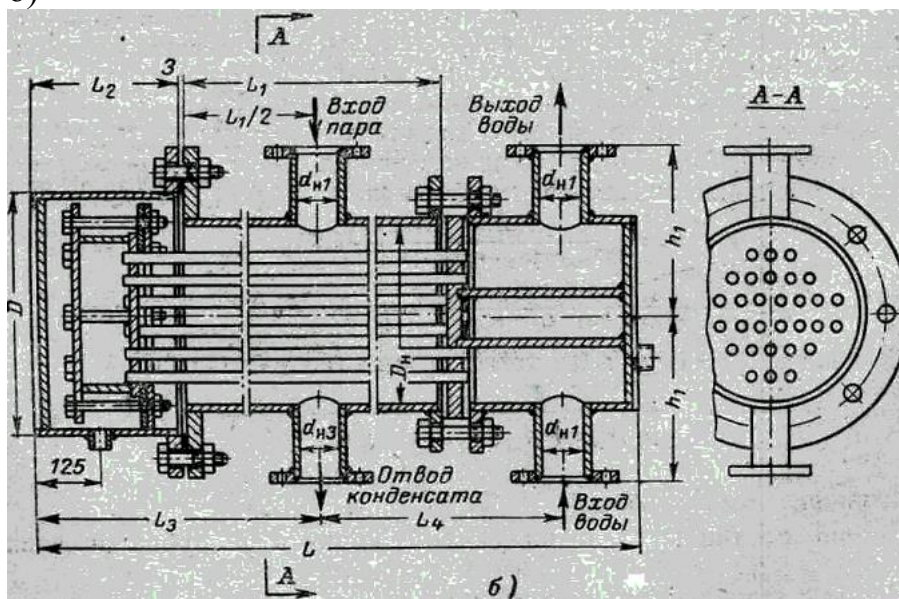


Рисунок 1.1. Горизонтальные пароводяные подогреватели конструкции Я.С. Лаздана: а – двухходовые; б – четырехходовые.

Таблица 1.1 - Расчетные характеристики горизонтальных пароводяных подогревателей конструкции Я.С. Лаздана (Рисунок 1.1)

№ подогревателей	№ корпусов	Количество и длина трубок, мм	Поверхность нагрева, м ²	Площадь проходного сечения по воде, м ²		Число рядов трубок по вертикали	Наибольший расход воды, т/ч
				При четырех ходах	при двух ходах		
1		32 * 900	1,47				
2		32 * 1 200	1,93				
3	1	32 * 1 600	2,58	0,0012	0,0024	5	22/11
4		32 * 2 000	3,18				
5		32 * 2 400	3,800				
6		56 * 1 200	3,38				
7	2	56 * 1 600	4,47	0,0022	0,004	7	40/20
8		56 * 2 000	5,66				
9		56 * 2 400	6,66				
10		172 * 900	7,78				
11	3	172 * 1 200	10,40	0,0066	0,0132	12	120/60
12		172 * 1 600	13,75				
13		172 * 2 000	15,8				
14		172 * 2 400	20,40				

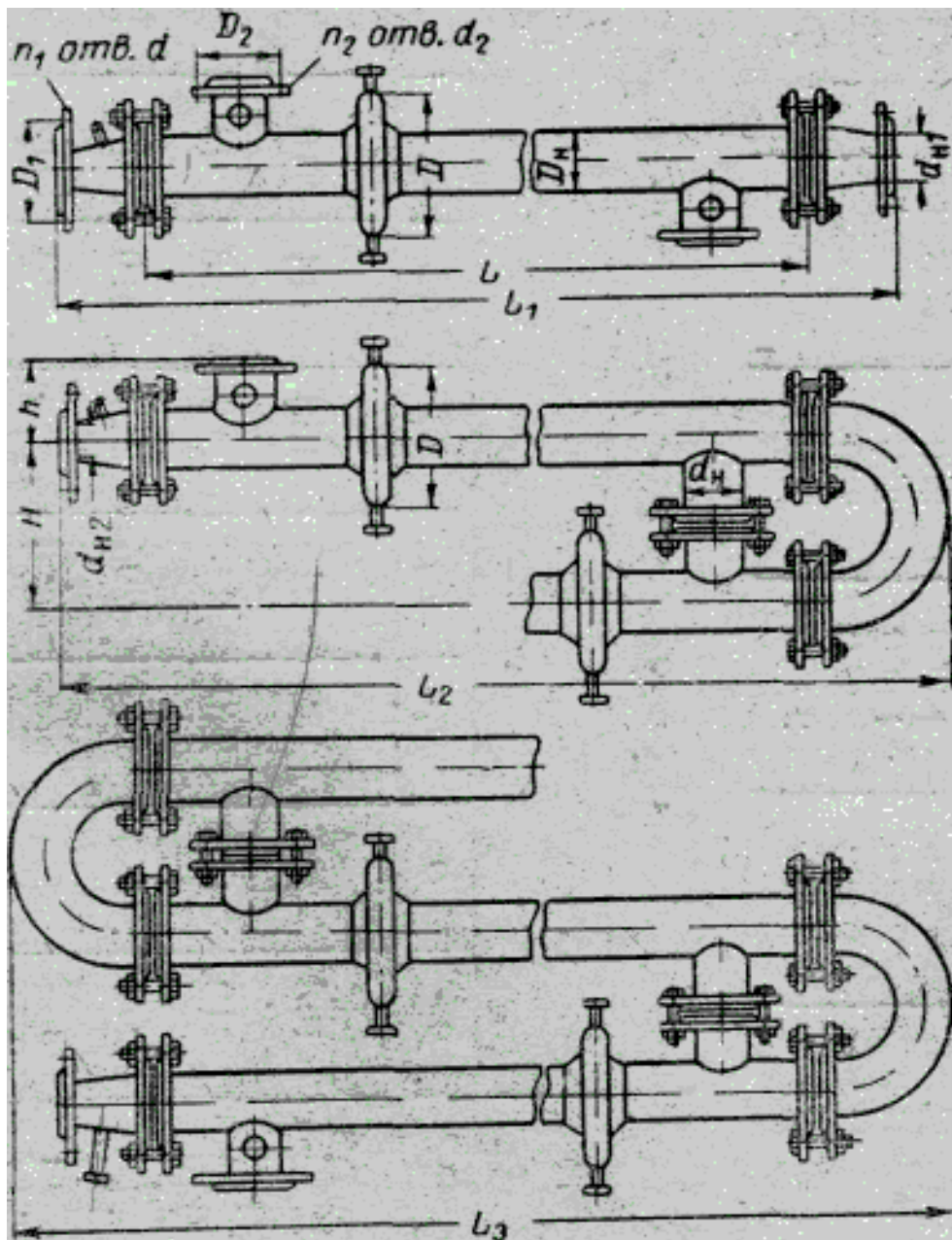


Рисунок 1.2. Водо-водяной подогреватель МВН-2050-62.

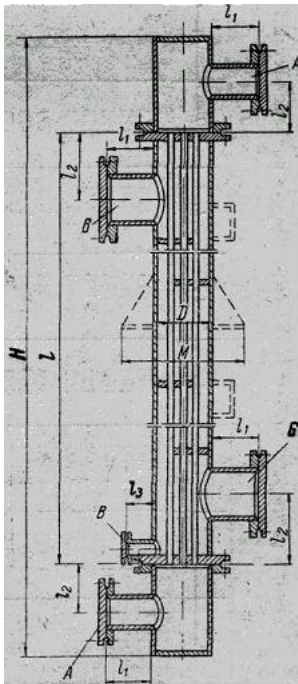


Рисунок 1.3. Одноходовой теплообменный аппарат типа ТН с диаметром корпуса 159 или 273мм, имеющий две камерные сварные крышки с плоскими доньшками

Таблица 1.2 - Основные размеры горизонтальных пароводяных подогревателей конструкции Я. С. Лаздана (Рисунок 1.1)

№ подогревателей	№ корпусов	Размеры, мм													Вес, кг
		D _H	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	D	D ₁	D ₂	d _{H1}	d _{H2}	d _{H3}	h ₁	
1	1	219	1265	900	162	615	58	273	–	–	76	76	57	210	124
2		219	1565	1200	162	765	730	273	–	–	76	76	57	210	138
3		219	1965	1600	162	965	930	273	–	–	76	76	57	210	158
4		219	2365	2000	162	1165	1130	273	–	–	76	76	57	210	177
5		219	2,765	2400	162	1365	1330	273	–	–	76	76	57	210	197
6	2	265	1 664	1200	200	803	766	339	455	375	89	89	76	233	–
7		265	2043	1600	200	1003	951	339	455	375	89	89	76	233	209
8		265	2449	2000	200	1203	1151	339	445	375	89	89	76	233	228
9		265	2849	2400	200	1403	1351	339	445	375	89	89	76	233	247
10	3	414	1509	900	260	713	656	528	64	540	102	102	89	307	437
11		414	1809	1200	260	883	806	528	645	540	102	102	89	307	437
12		414	2209	1600	260	1063	1006	528	645	540	102	102	89	307	535
13		414	2609	2000	260	1263	1206	528	645	540	102	102	89	307	591
14		414	3009	2400	260	1463	1406	528	645	540	102	102	89	307	646

Таблица 1.3 - Основные размеры водоводяных подогревателей МВН 2050-62 (Рисунок 1.2)

Типоразмер	Размеры, мм	Количество	Вес,
------------	-------------	------------	------

															отверстий		кг
	D_H	D	D_1	D_2	d_H	d_{H1}	d_1	d_2	H	h	L	L_1	L_2	L_3	n_1	n_2	
MBH 2050-29 MBH 2050-30	168	360	180	210	133	114	18	18	400	200	2040 4080	2322 4362	2502 4542	2682 4722	8	8	141 220
MBH 2050-31 MBH 2050-32	219	410	240	240	168	168	23	23	500	250	2040 4080	2402 4442	2640 4680	2877 4917	8	8	222 358
MBH 2050-33 MBH 2050-34	273	450	295	295	219	219	23	23	600	300	2040 4080	2422 4462	2729 4769	3035 5075	8	8	325 531
MBH 2050-35 MBH 2050-36	325	513	295	350	273	219	23	23	700	350	2040 4080	2492 4532	2840 4880	3187 5227	8	12	440 735

Примечание: Вес приведен для разъемных односекционных подогревателей.

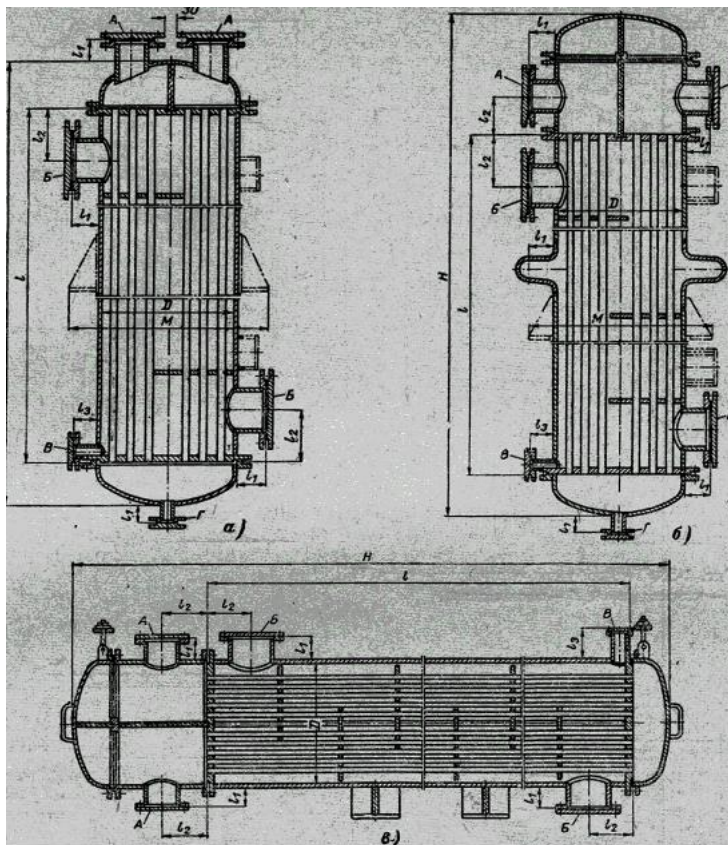


Рисунок 1.4. Двухходовые теплообменные аппараты типа ТН и ТЛ:
а – типа ТН с двумя эллиптическими крышками;
б – типа ТЛ с одной сварной и одной эллиптической крышками;
в – горизонтальный типа ТН с одной камерной сварной и одной эллиптической крышками.

Таблица 1.4 - Расчетные характеристики водоводяных подогревателей МВН 2050-62 (Рисунок 1.2)

Типоразмер	Количество и длина трубок, мм	Поверхность нагрева, м ²	Площади проходных сечений, м ²		Эквивалентный диаметр сечения между трубками, м	Наибольшие расходы воды, т/ч	
			по трубкам	между трубками		через трубки	через корпус
МВН 2050-29 МВН 2050-30	37 * 2 046 37 * 4 086	3,38 6,84	0,00507	0,0122	0,0212	46/27	110/66
МВН 2050-31 МВН 2050-32	69 * 2 046 69 * 4 036	6,30 12,75	0,00935	0,0198	0,0193	84/50	178/107
МВН 2050-33 МВН 2050-34	109 * 2046 109*4086	9,93 20,13	0,0147	0,0308	0,0201	132/80	276/166
МВН 2050-35 МВН 2050-36	151 * 2046 151 * 4086	13,73 27,86	0,0204	0,0446	0,0208	184/110	400/240

Примечания:

- Все данные приведены для одной секции.
- Наибольшие расходы воды определены при ее объемном весе 1000 кг/м³. Приведенные в числителе расходы воды соответствуют ее скорости 2,5м/с, наибольшей при установке в местных системах.

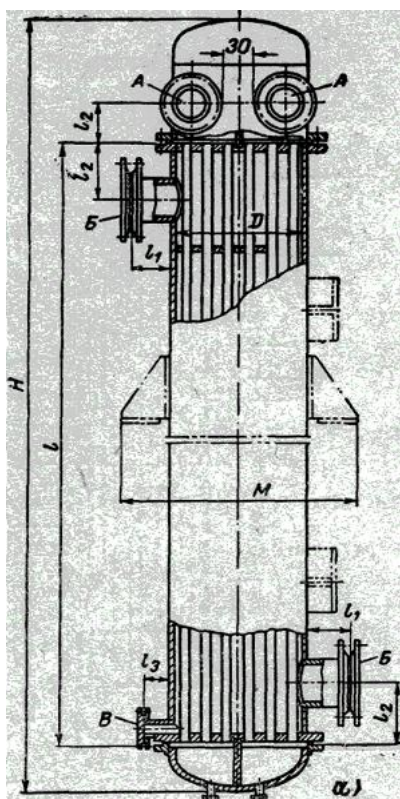


Рисунок 1.5. Теплообменные аппараты типа ТН:
а – четырехходовой;

б – шестиходовой.

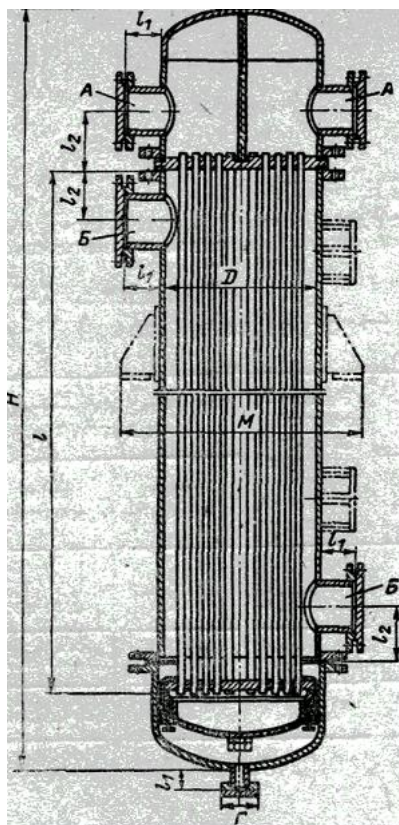


Рисунок 1.6. Двухходовой теплообменный аппарат типа ТП

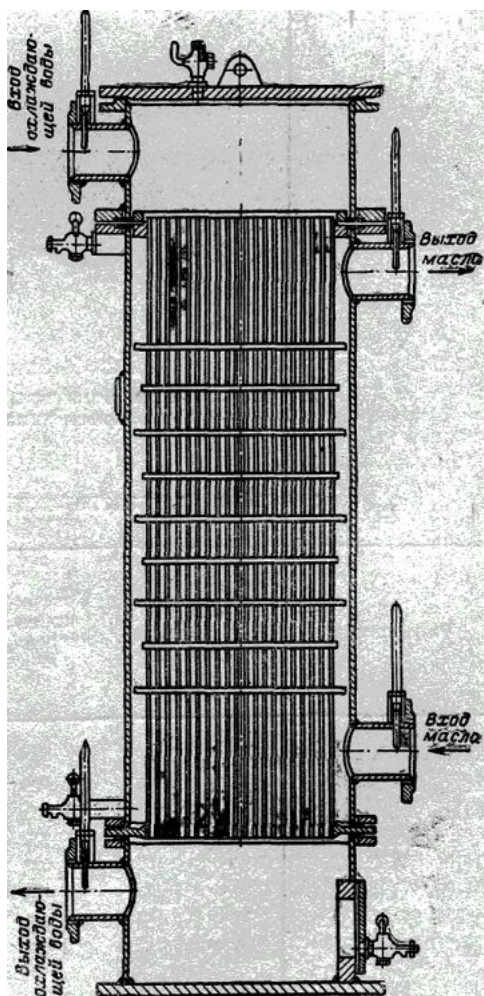


Рисунок 1.7. Маслоохладитель завода Пергале типа МП-37

Таблица 1.5 - Технические характеристики вертикальных пароводяных подогревателей

Типоразмер	Количество трубок, шт.*	Длина трубок, мм	Поверхность нагрева, м ²	Число ходов	Площадь проходного сечения по воде, м ²	H, м**	Необходимый расход воды, т/ч***	Расчетное избыточное давление, ат	
								в трубках (вода)	в корпусе (пар)
БП-43м	236	3170	43	4	0,0142	1,25	125	12	7
БП-65м	360	3170	65	2	0,0433	1,45	380	14	5
БО-90м	488	3170	90	4	0,0293	1,45	250	14	2,5
БП-90м	488	3170	90	2	0,586	1,45	500	14	5
БО-130м	708	3166	130	4	0,0426	1,45	380	14	2,5
БО-200м	1018	3410	200	2	0,0613	1,67	550	14	2,5
БП-200м	1 018	3410	200	4	0,1225	1,67	1 100	14	7
БГТ-200у	1018	3410	200	2	0,1225	1,67	1 100	14	13
БО-350м	1320	4545	350	4	0,0792	1,61	700	14	2,5
БП-300-2м	1 144	4545	300	2	0,1375	1,61	1 200	14	13
БО-550-3м	2092	4545	550	4	0,1251	1,80	1 100	14	2,5
БП-500м	1880	4545	500	2	0,226	1,6	250	14	13

* Трубки латунные 19/17,5 мм.

** Н – расстояние между соседними перегородками каркаса подогревателя.

*** Наибольшие расходы воды определены при ее скорости $w = 2,5$ м/с.

Таблица 1.6 - Условные давления, весовые данные и технические характеристики одноходовых теплообменных аппаратов типа ТН (Рисунок 1.3)

Технические характеристики	Диаметр корпуса, мм	
	159	273
p_y , атм	2,5 6 10 16 25 40	2,5 6 10 16 25 40
G_1 , кг	83 89 108 119 166 175	108 117 151 180 243 321
G_2 , кг	32	96
G_3 , кг	8	37
G_4 , кг	18,6	54,3
F_y , м ²	1 2 4 6	4 6 10 12 16 20
F_p , м ²	0,9 1,9 4 6	3,0 6,5 9,6 13 16 19,5
l , мм	1000 2000 4000 6000	1000 2000 3000 4000 5000 6000
H , мм	1520 2520 4520 6520	1620 2620 3620 4620 5620 6620
n , шт.	13	42
d/t , мм	25/32	25/32
f_1 , м ²	0,011	0,032
f_2 , м ²	0,0044	0,014

Таблица 1.7 - Относительные значения диаметра трубной решетки в зависимости от числа трубок при ромбическом и концентрическом размещении

D'/s	n'_1	n'_2	D'/s	n'_1	n'_2
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	1 165	1066
18	301	279	38	1 306	1 185
20	367	341	40	1459	1310

Здесь n'_1 – общее количество трубок, размещаемых на трубной доске по вершинам равносторонних треугольников ("ромбическое" размещение); n'_2 – общее количество трубок, размещаемых на трубной доске по концентрическим окружностям (Рисунок 1.1).

• Групповые и индивидуальные консультации

Слово «консультация» латинского происхождения, означает «совещание», «обсуждение».

Консультации проводится в следующих случаях:

- когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции;

- с целью оказания консультативной помощи в самостоятельной работе (при написании рефератов, эссе, контрольных работ, расчетно-графических работ, выполнении курсовых работ (проектов), подготовке к промежуточной аттестации, участию в конференции и др.);
- если обучающемуся требуется помощь в решении спорных или проблемных вопросов, возникающих при освоении дисциплины (модуля).

Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения. В частности, если затруднение возникло при изучении теоретического материала, то конкретно укажите, что вам непонятно, на какой из пунктов обобщенных планов вы не смогли самостоятельно ответить.

Если же затруднение связано с решением задачи или оформлением отчета о лабораторной работе, то назовите этап решения, через который не могли перешагнуть, или требование, которое не можете выполнить.

• **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы**

Успешное освоение компетенций, формируемых учебной дисциплиной (модуля), предполагает оптимальное использование времени для самостоятельной работы.

Самостоятельная работа обучающегося - деятельность, которую он выполняет без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию, под его руководством и наблюдением. Обучающийся, обладающий навыками самостоятельной работы, активнее и глубже усваивает учебный материал, оказывается лучше подготовленным к творческому труду, к самообразованию и продолжению обучения.

Самостоятельная работа может быть аудиторной и внеаудиторной. Границы между этими видами работ относительны, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется во время проведения учебных занятий по дисциплине (модулю) по заданию преподавателя. Включает в себя:

- выполнение самостоятельных работ, участие в тестировании;
- выполнение контрольных, практических и лабораторных работ;
- решение задач и упражнений, составление графических изображений (схем, диаграмм, таблиц и т.п.);
- работу со справочной, методической, специальной литературой;
- оформление отчета о выполненных работах;
- подготовка к дискуссии, выполнения заданий в деловой игре и т.д.

Внеаудиторная самостоятельная работа (в библиотеке, в лаборатории МГТУ, в домашних условиях, в специальных помещениях для самостоятельной работы в МГТУ и т.д.) является текущей обязательной работой над учебным материалом (в соответствии с рабочей программой), которая не предполагает непосредственного и непрерывного руководства со стороны преподавателя.

Внеаудиторная самостоятельная работа может включать в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим занятиям, лабораторным работам и др.) и выполнение необходимых домашних заданий;
- работу над отдельными темами дисциплины (модуля), вынесенными на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой;
- проработку материала из перечня основной и дополнительной литературы по дисциплине, по конспектам лекций;
- написание рефератов, докладов, эссе, отчетов, подготовка мультимедийных презентаций, составление глоссария и др.;

- подготовку ко всем видам практики и выполнение заданий, предусмотренных их рабочими программами;
- выполнение курсовых работ (проектов) и расчетно-графических работ;
- подготовку ко всем видам текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации, в том числе выполнение и подготовку к процедуре защиты выпускной квалификационной работы;
- участие в исследовательской, проектной и творческой деятельности в рамках изучаемой дисциплины (модуля);
- подготовка к участию в конкурсах, олимпиадах, конференциях, работа в студенческих научных обществах и кружках;
- другие виды самостоятельной работы.

Содержание самостоятельной работы определяется рабочей программой дисциплины (модуля). Задания для самостоятельной работы имеют четкие календарные сроки выполнения.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение обучающимся следующих этапов:

1. Определение цели самостоятельной работы.
2. Конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи.
3. Самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи.
4. Выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения).
5. Планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи.
6. Реализация программы выполнения самостоятельной работы.
7. Самоконтроль выполнения самостоятельной работы, оценивание полученных результатов.
8. Рефлексия собственной учебной деятельности.

Работа с научной и учебной литературой

Работа с учебной и научной литературой является главной формой самостоятельной работы и необходима при подготовке к устному опросу на семинарских занятиях, к контрольным работам, тестированию, зачету.

В процессе работы с учебной и научной литературой студент может:

- делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике);
- составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора);
- готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы);
- создавать конспекты (развернутые тезисы, которые).

Выбрав нужный источник, следует найти интересующий раздел по оглавлению или алфавитному указателю, а также одноименный раздел конспекта лекций или учебного пособия. В случае возникших затруднений в понимании учебного материала следует обратиться к другим источникам, где изложение может оказаться более доступным. Необходимо отметить, что работа с литературой не только полезна как средство более глубокого изучения любой дисциплины, но и является неотъемлемой частью профессиональной деятельности будущего выпускника.

Подготовка информационного сообщения

Это вид самостоятельной работы по подготовке небольшого по объему устного сообщения для озвучивания на семинаре, практическом занятии. Сообщаемая информация носит характер уточнения или обобщения, несет новизну, отражает современный взгляд по определенным проблемам.

Сообщение отличается от докладов и рефератов не только объемом информации, но и ее характером - сообщения дополняют изучаемый вопрос фактическими или статистическими материалами. Возможно письменное оформление задания, оно может включать элементы наглядности (иллюстрации, демонстрацию).

Регламент времени на озвучивание сообщения - до 5 мин.

Подготовка доклада

Это публичное сообщение, которое содержит информацию и отражает суть вопроса или исследования применительно к определенной теме, является эффективным средством разъяснения результатов проделанной работы.

Обычно в качестве тем для докладов преподавателем предлагается тот материал учебного курса, который не освещается в лекциях, а выносится на самостоятельное изучение обучающимися. Поэтому доклады, сделанные обучающимися на семинарских занятиях, с одной стороны, позволяют дополнить лекционный материал, а с другой – дают преподавателю возможность оценить умения обучающихся самостоятельно работать с учебным и научным материалом.

Подготовка доклада требует от обучающегося самостоятельности и серьезной интеллектуальной работы, которая принесет наибольшую пользу, если будет включать с себя следующие этапы:

- изучение наиболее важных научных работ по данной теме, перечень которых, как правило, дает сам преподаватель;
- анализ изученного материала, выделение наиболее значимых для раскрытия темы доклада фактов, мнений разных ученых и научных положений;
- обобщение и логическое построение материала доклада, например, в форме развернутого плана;
- написание текста доклада с соблюдением требований научного стиля.

Построение доклада, как и любой другой научной работы, традиционно включает три части: вступление, основную часть и заключение. Во вступлении указывается тема доклада, устанавливается логическая связь ее с другими темами или место рассматриваемой проблемы среди других проблем, дается краткий обзор источников, на материале которых раскрывается тема, и т.п. В заключении обычно подводятся итоги, формулируются выводы, подчеркивается значение рассмотренной проблемы и т.п.

5. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение. Основные виды и классификация теплообменного оборудования промышленных предприятий.

Основные виды и классификация теплообменного оборудования промышленных предприятий. Понятия, определения и классификация промышленного теплообменного оборудования. Теплообменные и тепломассообменные аппараты. Теплоносители.

Основная литература: [1] стр. 3 - 13.

Дополнительная литература: [2] стр. 3 - 12.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение и применение теплотехнического оборудования в промышленности.

2. Классификация теплообменных и теплоиспользующих аппаратов и установок.
3. Основные направления и перспективы развития теплообменных и теплоиспользующих аппаратов и установок.
4. Теплоносители, применяемые в теплообменных аппаратах, их характеристика, преимущества и недостатки.
5. Свойства высокотемпературных теплоносителей, и в каких случаях их рационально применять?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заврин В. Г. Тепломассообменное оборудование предприятий. Учеб. пособие / Том. политех. ун-т. – Томск, 2004. – 163 с.
2. Губарева В. В., Губарев А.В. Г93 Тепломассообменное оборудование предприятий учеб. пособие /В. В. Губарева, А. В. Губарев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 201 с.
- 3 Тепломассообменное оборудование ТЭС и АЭС: учебное пособие/ В.А. Суслов, В.Н. Белоусов, С.В. Антуфьев, Е.Н. Громова, А.Н. Кузнецов, В.А. Кучмин, С.Н. Смородин. – СПб.: СПбГТУРП, 2015. – 83 с: ил. 66.
4. Лакомкин В.Ю., Смородин С.Н., Громова Е.Н. Тепломассообменное оборудование предприятий (Сушильные установки): учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016. -142 с.: ил. 68.
5. Голубков Б.Н., Данилов О.Л. и др. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий. Учебник. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 416 с.: ил.
6. Промышленные тепломассообменные процессы и установки. Учебник для вузов / Под ред. А. М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
7. Морозова, Н.Н. Расчет теплообменных аппаратов. Индивидуальные задания и методические указания для самостоятельной работы студентов[Текст]/ Н.Н. Морозова, С.А. Тужилина.- Саратов: Изд-во «КУБиК», 2012.-33с.-ISBN978-5-91818-187-4.
8. Кирюшатов, А.И. Тепломассообменное оборудование. Часть I. Тепломассообмен: учебное пособие [Текст]/А.И.Кирюшатов, Н.Н.Морозова.- Саратов:ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2006.- 144с.- ISBN5-7011-0374-4
9. Выпарные и кристаллизационные установки: Учеб. пособие / Конахин А.М., Конахина И.А. и др. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2006.
10. Кузнецова Л.Н., Селянина Л.И., Третьяков СИ. Расчет выпарных установок: Учебное пособие. - Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. - 72 с.
11. Портнов В.В. Смесительные теплообменные аппараты: учеб. пособие / В.В. Портнов. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2015. 75 с.
12. Дячек П.И. Холодильные машины и установки: Учеб. Пособие / П.И. Дячек. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. -424с.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. Назначение и применение теплотехнического оборудования в промышленности.
2. Классификация теплообменных и теплоиспользующих аппаратов и установок.
3. Основные направления и перспективы развития теплообменных и теплоиспользующих аппаратов и установок.
4. Теплоносители, применяемые в теплообменных аппаратах, их характеристика, преимущества и недостатки.
5. Свойства высокотемпературных теплоносителей, и в каких случаях их рационально применять?

Методические рекомендации:

Начиная изучение дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий», студентам необходимо обновить знания по дисциплине «Тепломассообмен». В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо пройти тест «Основные виды и классификация теплообменного оборудования промышленных предприятий». Метод оценивания: Высшая оценка.

Тема 2. Рекуперативные теплообменные аппараты.

Конструкции рекуперативных теплообменных аппаратов. Расчет и последовательность проектирования теплообменных аппаратов (тепловой конструктивный расчет, поверочный тепловой расчет, компоновочный и гидравлический расчеты). В рекуперативных аппаратах теплообмен происходит через разделительную стенку. По конфигурации поверхности теплообмена рекуперативные аппараты делят: на кожухотрубные с прямыми гладкими трубами; кожухотрубные с U-образными трубами; кожухотрубные с оребренными трубами; секционные «труба в трубе»; змеевиковые; спиральные; пластинчатые; пластинчато-ребристые.

Основная литература:[1], стр. 14 - 20; [2]. стр. 12 - 54.

Дополнительная литература: [7], [8]

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные виды теплообмена и режимы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах.
2. Чем отличается коэффициент теплоотдачи от коэффициента теплопередачи?
3. В каких случаях нельзя пользоваться формулой, полученной для плоской стенки при расчете коэффициента теплопередачи через стенку круглой трубы?
4. С какой из сторон стенки, разделяющей холодный воздух и горячую воду, целесообразно интенсифицировать теплообмен, чтобы увеличить коэффициент теплопередачи?
5. При какой схеме движения теплоносителей, не меняющих агрегатное состояние, средний температурный напор будет наименьшим, и при какой – наибольшим?
6. Влияет ли схема движения теплоносителей на средний температурный напор, если происходит фазовое превращение обоих или хотя бы одного из теплоносителей?
7. Когда коэффициент теплоотдачи выше: при внешнем поперечном обтекании трубы или при движении теплоносителя с той же скоростью в трубе?
8. В каком из теплообменников кожухотрубчатом или подогревателе-аккумуляторе – выше коэффициент теплопередачи при использовании одних и тех же теплоносителей с одинаковыми начальными температурами?
9. В каких случаях целесообразно применять ребристые трубы?
10. Когда выше коэффициент теплоотдачи – при конденсации на вертикальной или горизонтальной трубе?
11. Назовите достоинства и недостатки воды и воздуха по сравнению с водяным паром и высокотемпературными теплоносителями.
12. Какой из теплоносителей – воду, прошедшую термическую и химическую обработку, или дымовой газ – следует подавать в межтрубное пространство кожухотрубчатого теплообменника?
13. Перечислите способы компенсации температурных напряжений в теплообменнике.
14. Назовите наиболее распространенные способы крепления труб в трубной решетке.

15. Какие уравнения являются основными и общими для расчета теплообменных аппаратов различных конструкций?

Список литературы в теме 1.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. Назовите основные виды теплообмена и режимы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах.
2. Чем отличается коэффициент теплоотдачи от коэффициента теплопередачи?
3. В каких случаях нельзя пользоваться формулой, полученной для плоской стенки при расчете коэффициента теплопередачи через стенку круглой трубы?
4. С какой из сторон стенки, разделяющей холодный воздух и горячую воду, целесообразно интенсифицировать теплообмен, чтобы увеличить коэффициент теплопередачи?
5. При какой схеме движения теплоносителей, не меняющих агрегатное состояние, средний температурный напор будет наименьшим, и при какой – наибольшим?
6. Влияет ли схема движения теплоносителей на средний температурный напор, если происходит фазовое превращение обоих или хотя бы одного из теплоносителей?
7. Когда коэффициент теплоотдачи выше: при внешнем поперечном обтекании трубы или при движении теплоносителя с той же скоростью в трубе?
8. В каком из теплообменников – кожухотрубчатом или подогревателе-аккумуляторе – выше коэффициент теплопередачи при использовании одних и тех же теплоносителей с одинаковыми начальными температурами?
9. В каких случаях целесообразно применять ребристые трубы?
10. Когда выше коэффициент теплоотдачи – при конденсации на вертикальной или горизонтальной трубе?
11. Назовите достоинства и недостатки воды и воздуха по сравнению с водяным паром и высокотемпературными теплоносителями.
12. Какой из теплоносителей – воду, прошедшую термическую и химическую обработку, или дымовой газ – следует подавать в межтрубное пространство кожухотрубчатого теплообменника?
13. Перечислите способы компенсации температурных напряжений в теплообменнике.
14. Назовите наиболее распространенные способы крепления труб в трубной решетке.
15. Какие уравнения являются основными и общими для расчета теплообменных аппаратов различных конструкций?

Методические рекомендации

При изучении данной темы студенту необходимо опираться на знания, полученные на лекциях и практических занятиях, обратить внимание на особенности расчёта различных конструкций рекуперативных теплообменных аппаратов. В ЗИОС МГТУ_ВО необходимо пройти тест «Рекуперативные теплообменники». Метод оценивания: Высшая оценка.

Тема 3. Тепловые трубы

Принцип действия тепловой трубы (ТТ) был описан в 1944 г. Гоуглером. Широкое применение началось после работ Гровера в 1964 г. Тепловые трубы применяются в

энергетике, металлургии, химической промышленности и др. ТТ позволяют утилизировать низко потенциальную теплоту (100°C и ниже). Тепловая труба представляет собой герметичную полость различной геометрии.

В тепловой трубе теплота от охлаждающей среды отбирается в зоне испарения, в виде пара переносится на значительные расстояния в зону охлаждения. Основные преимущества ТТ по сравнению с другими типами теплообменников являются: простота конструкции, отсутствие нагнетателей (затрат энергии на перемещение теплоносителя внутри ТТ), герметичность (можно использовать агрессивные теплоносители), легкость регулирования, высокая теплопроводность, превосходящая теплопроводность самых теплопроводных металлов.

Основная литература:[1], стр. 28 - 36.

Дополнительная литература: [7], [8]

Вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип работы тепловых и вихревых труб.
2. Для чего нужны фитили в ТТ (тепловой трубе) с капиллярно-пористым материалом?
3. Для каких материалов – с малым или большим радиусом пор – сила капиллярного впитывания больше?
4. Как зависит расход жидкости по фитилю от коэффициента проницаемости «К»?
5. Какие конструкции фитилей Вы знаете?
6. Как влияет присутствие нейтрального газа в ТТ на ее теплопередающую способность?
7. Какие свойства теплоносителей влияют на теплопередающую способность ТТ.
8. Что подразумевается под совместимостью материалов фитиля, корпуса ТТ и теплоносителя?

Список литературы в теме 1.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы тепловых и вихревых труб.
2. Для чего нужны фитили в ТТ (тепловой трубе) с капиллярно-пористым материалом?
3. Для каких материалов – с малым или большим радиусом пор – сила капиллярного впитывания больше?
4. Как зависит расход жидкости по фитилю от коэффициента проницаемости «К»?
5. Какие конструкции фитилей Вы знаете?
6. Как влияет присутствие нейтрального газа в ТТ на ее теплопередающую способность?
7. Какие свойства теплоносителей влияют на теплопередающую способность ТТ.
8. Что подразумевается под совместимостью материалов фитиля, корпуса ТТ и теплоносителя?

Методические рекомендации

При изучении данной темы студенту необходимо опираться на знания, полученные на лекциях и практических занятиях, обратить внимание на особенности расчёта различных конструкций тепловых труб и термосифонов. В ЗИОС МГТУ_ВО необходимо пройти тест «Тепловые трубы». Метод оценивания: Высшая оценка.

Тема 4. Регенеративные теплообменные аппараты и установки.

Конструкции регенеративных теплообменных аппаратов и установок. Особенности теплообмена в слое. Тепловой расчет регенераторов. Аппараты с кипящим слоем.

Основная литература:[1] стр. 20 -23, 36.39; [2]. стр. 54 - 58.

Дополнительная литература: [3] стр. 38 – 57.

Вопросы для самопроверки

1. Конструкции регенеративных теплообменных аппаратов.
2. Тепловой расчет регенераторов.
3. Регенеративные аппараты с кипящим слоем.
4. Условия существования взвешенного слоя.
5. Что такое порозность зернистого слоя ϵ ?
6. Численные значения порозности взвешенного слоя ϵ .
7. Число псевдооживления.
8. Что такое критическая скорость?
9. Что такое скорость витания?
10. Объясните постоянство сопротивления слоя при изменении скорости потока от критической до скорости уноса.
11. Свойства, присущие взвешенному слою.
12. какую функцию выполняют в сушильных агрегатах циклоны и скруббера?

Список литературы в теме 1.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. Конструкции регенеративных теплообменных аппаратов.
2. Тепловой расчет регенераторов.
3. Регенеративные аппараты с кипящим слоем.
4. Условия существования взвешенного слоя.
5. Что такое порозность зернистого слоя ϵ ?
6. Численные значения порозности взвешенного слоя ϵ .
7. Число псевдооживления.
8. Что такое критическая скорость?
9. Что такое скорость витания?
10. Объясните постоянство сопротивления слоя при изменении скорости потока от критической до скорости уноса.
11. Свойства, присущие взвешенному слою.
12. какую функцию выполняют в сушильных агрегатах циклоны и скруббера?

Методические рекомендации

При изучении данной темы студенту необходимо опираться на знания, полученные на лекциях и практических занятиях, обратить внимание на особенности расчёта различных конструкций регенеративных теплообменных аппаратов. В ЗИОС МГТУ_ВО необходимо пройти тест «Регенеративные теплообменные аппараты». Метод оценивания: Высшая оценка.

Тема 5. Выпарные и кристаллизационные установки.

Свойство растворов. Выпаривание растворов. Технологические схемы выпарных установок. Выпарные аппараты. Тепловой расчет. Расчет выпарных аппаратов. Кристаллизационные установки.

Основная литература:[1], стр. 102 - 112; [2]. стр. 88 - 103.

Дополнительная литература: [9] стр. 6 - 36; [2] стр. 7 – 65; [5] стр. 125 - 156.

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается выпаривание водных растворов от испарения чистой воды
 2. Как изменяется коэффициент теплоотдачи от стенки кипящему раствору с повышением концентрации раствора
 3. Назовите основные методы выпаривания растворов.
 4. Какие три вида депрессий приходится учитывать при расчете выпарной установки, и какая из них имеет наибольшее значение
 5. Какие преимущества имеет применение вакуума в выпарной установке
 6. Для каких целей применяют выпарные установки с тепловыми насосами
 7. Какое значение имеет многоступенчатый принцип выпаривания
 8. Назовите источники вторичной теплоты в выпарных установках и пути ее использования.
 9. Как определить располагаемую и полезную разности температур при тепловом расчете выпарной установки
 10. Напишите уравнения материального и теплового балансов для выпарного аппарата.
- Список литературы в теме 1.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. Чем отличается выпаривание водных растворов от испарения чистой воды
2. Как изменяется коэффициент теплоотдачи от стенки кипящему раствору с повышением концентрации раствора
3. Назовите основные методы выпаривания растворов.
4. Какие три вида депрессий приходится учитывать при расчете выпарной установки и какая из них имеет наибольшее значение
5. Какие преимущества имеет применение вакуума в выпарной установке
6. Для каких целей применяют выпарные установки с тепловыми насосами
7. Какое значение имеет многоступенчатый принцип выпаривания
8. Назовите источники вторичной теплоты в выпарных установках и пути ее использования.
9. Как определить располагаемую и полезную разности температур при тепловом расчете выпарной установки
10. Напишите уравнения материального и теплового балансов для выпарного аппарата.

Методические рекомендации

При изучении данной темы студенту необходимо опираться на знания, полученные на лекциях и практических занятиях, обратить внимание на особенности расчёта различных конструкций [в](#) HYPERLINK

["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) ["ыпарны](#) HYPERLINK

["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) ["х](#) HYPERLINK

["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) [и кристаллизационны](#)

[HYPERLINK "https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) ["х](#) HYPERLINK

["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) ["установ](#) HYPERLINK

["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) ["о](#) HYPERLINK

["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) ["к. В ЗИОС МГТУ_ВО](#)

необходимо пройти тест [«В](#) HYPERLINK

["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) ["ыпарны](#) HYPERLINK

["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291) ["е](#) HYPERLINK

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291>" и кристаллизационны
HYPERLINK "<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291>"е HYPERLINK
"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23291>" установки». Метод
оценивания: Высшая оценка

Тема 6. Смесительные теплообменники

Применение смесительных теплообменников. Аппараты с неподвижным контактом газов и жидкости. Скрубберы. Пример расчета скруббера.

Основная литература: [2]. стр. 61 - 82.

Дополнительная литература: [5] стр. 74 – 102; [11].

Вопросы для самопроверки

1. Классификация смесительных ТОА.
2. Основные конструкции смесительных аппаратов.
3. Аппараты с непосредственным контактом газов и жидкости (скрубберы).
4. Барботажные и пенные аппараты.
5. Насадочные аппараты.
6. Струйные смесительные аппараты.
7. Эжекторные скрубберы.

Список литературы в теме 1.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. Классификация смесительных ТОА.
2. Основные конструкции смесительных аппаратов.
3. Аппараты с непосредственным контактом газов и жидкости (скрубберы).
4. Барботажные и пенные аппараты.
5. Насадочные аппараты.
6. Струйные смесительные аппараты.
7. Эжекторные скрубберы.

Методические рекомендации

При изучении данной темы студенту необходимо опираться на знания, полученные на лекциях и практических занятиях, обратить внимание на особенности расчёта различных конструкций смесительных теплообменников. В ЗИОС МГТУ_ВО необходимо пройти тест «Смесительные теплообменники». Метод оценивания: Высшая оценка.

Тема 7. Сушильные установки

Механическое обезвоживание. Свойства влажных материалов как объектов сушки. Процесс сушки. Динамика сушки. Кинетика сушки. Конвективная сушка. Материальный и тепловой балансы конвективных сушильных установок. Сушка твердых дисперсионных материалов. Сушка жидкотекучих материалов.

Основная литература:[1], стр. 55 - 80; [2]. стр. 103 - 189.

Дополнительная литература: [4].

Вопросы для самопроверки

1. Назовите установки, применяемые для сушки жидкотекучих материалов.
2. Опишите устройство и принцип действия распылительной сушилки.
3. Назовите основные способы интенсификации сушки материала в распылительных сушилках.
4. Опишите схему сушки распылением с рециркуляцией пылевых фракций и их агломерацией.
5. Опишите схему сушки термостойких растворов с предварительным перегревом.
6. Опишите схему испарительного сушильного агрегата для термочувствительных растворов.
7. Опишите устройство и принцип действия барабанной сушилки-гранулятора.
8. Назовите установки, применяемые для сушки дисперсных сыпучих материалов.
9. Опишите устройство и принцип действия камерной сушилки с подвижными полками.
10. Опишите устройство и принцип действия барабанной сушилки.

Список литературы в теме 1.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. Назовите установки, применяемые для сушки жидкотекучих материалов.
2. Опишите устройство и принцип действия распылительной сушилки.
3. Назовите основные способы интенсификации сушки материала в распылительных сушилках.
4. Опишите схему сушки распылением с рециркуляцией пылевых фракций и их агломерацией.
5. Опишите схему сушки термостойких растворов с предварительным перегревом.
6. Опишите схему испарительного сушильного агрегата для термочувствительных растворов.
7. Опишите устройство и принцип действия барабанной сушилки-гранулятора.
8. Назовите установки, применяемые для сушки дисперсных сыпучих материалов.
9. Опишите устройство и принцип действия камерной сушилки с подвижными полками.
10. Опишите устройство и принцип действия барабанной сушилки.

Методические рекомендации

При изучении данной темы студенту необходимо опираться на знания, полученные на лекциях и практических занятиях, обратить внимание на особенности расчёта различных конструкций [с HYPERLINK](#)

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23293>" [ушильны](#) [HYPERLINK](#)

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23293>" [х](#) [HYPERLINK](#)

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23293>" [установ](#) [HYPERLINK](#)

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23293>" [о](#) [HYPERLINK](#)

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23293>" [к](#). В ЗИОС МГТУ_ВО необходимо пройти тест «[с](#) [HYPERLINK](#)

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23293>" [ушильны](#) [HYPERLINK](#)

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23293>" [е](#) [HYPERLINK](#)

"<https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23293>" [установки](#)». Метод оценивания: Высшая оценка.

Тема 8. Перегонные и ректификационные установки.

Общие сведения о перегонке и ректификации. Ректификационные установки. Конструкции ректификационных колонн. Роторные, центробежные и пленочные колонны.

Основная литература:[1], стр. 80 -89; [2]. стр. 191 -198.

Дополнительная литература: [5] стр. 157 – 179.

Вопросы для самопроверки

1. Конструкции ректификационных колонн.
2. Перегонка и ректификация (процессы тепло и массообмена).
3. Процессы дистилляции и ректификации, их сущность.
4. Сравнительная характеристика ректификационных установок непрерывного и периодического действия
5. Тепловой баланс и определение расхода пара в ректификационной установке непрерывного действия.

Список литературы в теме 1.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. Конструкции ректификационных колонн.
2. Перегонка и ректификация (процессы тепло и массообмена).
3. Процессы дистилляции и ректификации, их сущность.
4. Сравнительная характеристика ректификационных установок непрерывного и периодического действия.
5. Тепловой баланс и определение расхода пара в ректификационной установке непрерывного действия.

Методические рекомендации

При изучении данной темы студенту необходимо опираться на знания, полученные на лекциях и практических занятиях, обратить внимание на особенности расчёта различных конструкций [п](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [ерегонны](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [х](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [и](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [ректификационны](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [х](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [установ](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [о](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [к](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294). В ЗИОС МГТУ ВО необходимо пройти тест «[П](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [ерегонны](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [е](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [и](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [ректификационны](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [е](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) [установки](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294)». Метод оценивания: Высшая оценка.

Тема 9. Холодоснабжение предприятий

Термодинамические основы охлаждения. Адиабатическое расширение и дросселирование. Вихревой и термоэлектрические эффекты. Функциональные схемы и теоретические циклы работы одноступенчатой паровой холодильной машины, и их теоретические расчеты. Рабочие вещества паровых холодильных машин и хладоносители. Анализ теоретических и действительных рабочих процессов в цилиндре компрессора.

Объемные и энергетические потери в компрессоре. Компрессоры холодильных машин (классификация, Герметичные, Ротационные, Винтовые, Бессальниковые, Турбокомпрессоры). Абсорбционные, парожеткорные и воздушные холодильные машины. Теплообменные аппараты и вспомогательное оборудование холодильных машин. Расчет компрессоров, испарителей и охлаждающих батарей, воздухоохлаждателей и вспомогательных аппаратов.

Основная литература:[12].

Дополнительная литература: [12].

Вопросы для самопроверки

1. По каким направлениям технического прогресса используется хладотехника?
2. Какие виды установок входят в состав техники низких температур?
3. Назовите области применения холодильной техники?
4. Назовите основные способы получения искусственного холода?
5. Какой способ получения холода наиболее распространен и почему?
6. Что называют дроссель-эффектом и как он используется в технике низких температур?
7. Что представляет собой детандер и где он используется?
8. Какое устройство называют вихревой трубой?
9. В чем заключается термоэлектрический способ получения холода?
10. Как классифицируются холодильные машины по виду используемой энергии?
11. Как классифицируются ХМ в зависимости от схемы и вида термодинамического цикла?
12. Назовите достоинства и недостатки пароконпрессиионных ХМ с поршневыми компрессорами.
13. Назовите достоинства и недостатки пароконпрессиионных ХМ с турбокомпрессорами.
14. Назовите достоинства и недостатки холодильных машин с винтовыми компрессорами.
15. Назовите достоинства и недостатки теплоиспользующих холодильных машин.
16. Как осуществить выбор оптимального типа холодильной машины для системы холодоснабжения предприятия?
17. Какие требования предъявляются к хладагентам?
18. Какие основные теплофизические параметры характеризуют ХА?
19. По какому принципу осуществляется выбор хладагента?
20. Какие типы компрессоров используются в парожидкостных компрессорных холодильных машинах?
21. Перечислите минимально необходимые составные элементы компрессорной холодильной машины?
22. Какие преимущества имеются у процесса многоступенчатого сжатия перед одноступенчатым сжатием?
23. Как получают холод в абсорбционных холодильных машинах?
24. Задача. Расчет ПХМ, работающей на аммиаке.
25. Хладоносители их свойства и область применения.
26. Анализ теоретических и действительных рабочих процессов в цилиндре компрессора.
27. Энергетические потери в действительном цикле компрессора.
28. Схема и цикл работы двух ступенчатых холодильных машин.
29. Теоретический расчет одно ступенчатой холодильной машины.

Список литературы в теме 1.

В ЗИОС МГТУ-ВО необходимо ответить на контрольные вопросы

1. По каким направлениям технического прогресса используется хладотехника?
2. Какие виды установок входят в состав техники низких температур?
3. Назовите области применения холодильной техники?
4. Назовите основные способы получения искусственного холода?
5. Какой способ получения холода наиболее распространен и почему?
6. Что называют дроссельэффектом и как он используется в технике низких температур?
7. Что представляет собой детандер и где он используется?
8. Какое устройство называют вихревой трубой?
9. В чем заключается термоэлектрический способ получения холода?
10. Как классифицируются холодильные машины по виду используемой энергии?
11. Как классифицируются ХМ в зависимости от схемы и вида термодинамического цикла?
12. Назовите достоинства и недостатки парокомпрессионных ХМ с поршневыми компрессорами.
13. Назовите достоинства и недостатки парокомпрессионных ХМ с турбокомпрессорами.
14. Назовите достоинства и недостатки холодильных машин с винтовыми компрессорами.
15. Назовите достоинства и недостатки теплоиспользующих холодильных машин.
16. Как осуществить выбор оптимального типа холодильной машины для системы холодоснабжения предприятия?
17. Какие требования предъявляются к хладагентам?
18. Какие основные теплофизические параметры характеризуют ХА?
19. По какому принципу осуществляется выбор хладагента?
20. Какие типы компрессоров используются в парожидкостных компрессорных холодильных машинах?
21. Перечислите минимально необходимые составные элементы компрессорной холодильной машины?
22. Какие преимущества имеются у процесса многоступенчатого сжатия перед одноступенчатым сжатием?
23. Как получают холод в абсорбционных холодильных машинах?
24. Задача. Расчет ПХМ, работающей на аммиаке.
25. Хладоносители их свойства и область применения.
26. Анализ теоретических и действительных рабочих процессов в цилиндре компрессора.
27. Энергетические потери в действительном цикле компрессора.
28. Схема и цикл работы двух ступенчатых холодильных машин.
29. Теоретический расчет одно ступенчатой холодильной машины.

Методические рекомендации

При изучении данной темы студенту необходимо опираться на знания, полученные на лекциях и практических занятиях, обратить внимание на особенности расчёта различных конструкций установ ["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) ["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23294) холодоснабжени ["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23295"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23295) ["https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23295"](https://moodle.mstu.edu.ru/vo/mod/quiz/view.php?id=23295) предприятий. В ЗИОС

МГТУ_ВО необходимо пройти тест «Холодоснабжение предприятий». Метод оценивания: Высшая оценка.

6. Методические рекомендации по подготовке обучающегося к промежуточной аттестации

Учебным планом по дисциплине Тепломассообменное оборудование предприятий предусмотрена следующая форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация направлена на проверку конечных результатов освоения дисциплины (модуля).

Форма промежуточной аттестации «экзамен» предполагает установление факта сформированности компетенций на основании оценки освоения обучающимся программного материала по результатам текущего контроля дисциплины (модуля) в соответствии с технологической картой.

Если обучающийся набрал зачетное количество баллов согласно установленному диапазону по дисциплине, то он считается аттестованным.

Таким образом, подготовка к экзамену предполагает подготовку к аудиторным занятиям и внеаудиторному текущему контролю всех форм.

Список литературы для практических занятий

1. Малышев, В. С. Тепломассообменное оборудование предприятий : учебное пособие : в 2 частях / В. С. Малышев, С. П. Пантеев. — Мурманск : МГТУ, 2022 — Часть 1 : Теоретический курс — 2022. — 204 с. — ISBN 978-5-907368-46-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/318941> (дата обращения: 20.07.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Малышев, В. С. Тепломассообменное оборудование предприятий : учебное пособие : в 2 частях / В. С. Малышев, С. П. Пантеев. — Мурманск : МГТУ, 2022 — Часть 2 : Практический курс — 2022. — 182 с. — ISBN 978-5-907368-47-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/318944> (дата обращения: 20.07.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Малышев, В. С. Тепломассообменное оборудование предприятий : учебное пособие по дисциплине "Тепломассовое оборудование предприятий" для направления 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" / В. С. Малышев, С. П. Пантеев. — Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. — 320 с. - ISBN 978-5-9729-1876-8.

4. Губарева, В. В. Тепломассообменное оборудование предприятий : учебное пособие / В. В. Губарева, А. В. Губарев. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2016. — 202 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/80447.html> (дата обращения: 10.02.2019). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

5. Берман, С.С. Расчет теплообменных аппаратов / С.С. Берман. — Москва : Гос. энергетическое изд-во, 1962. — 241 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=bookHYPERLINK> "<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=220685>"&HYPERLINK "<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=220685>"[id=220685](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=220685) (дата обращения: 10.02.2019). — ISBN 978-5-4458-5070-0. — Текст: электронный.

6. Теория, примеры и задачи по расчету тепломассообменного оборудования предприятий: Учеб. пособие. Ч. 1 [Электронный ресурс] / А. Р. Богомолов, Е. Ю. Темникова; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – Ч. I. - 180 с.

7. Вукалович М. П. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / М. П. Вукалович, С. П. Рывкин, А. А. Александров. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 408 с.

8. Заврин В. Г. Тепломассообменное оборудование предприятий. Учеб. пособие / Том. политех. ун-т. – Томск, 2004. – 163 с.

9. РАСЧЕТ ДИНАМИКИ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОДИНОЧНОГО ТЕРМОСИФОНА Г.В. Аникин, С.Н. Плотников, К.А. Спасенникова. Институт криосферы Земли СО РАН, Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 1, с. 51–55
<http://www.izdatgeu.ru>

Дополнительная литература

• 1. Акулич, П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок / П.В. Акулич. – Минск: Белорусская наука, 2010. – 444 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=bookHYPERLINK>
"<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89349>"&HYPERLINK
"<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89349>"id=89349 (дата обращения: 10.02.2019). – ISBN 978-985-08-1192-9. – Текст: электронный.

• 2. Теплообменные аппараты систем теплоснабжения: отраслевой каталог 12-04 / Ин-т пром. кат. "Инпромкаталог"; [авт.-сост. Н. Н. Бакланова и др.]. - Москва: Инпромкаталог, 2004. - 112 с.: ил. - 920-40.

• 3. Салова, Т.Ю. Перегонные и ректификационные установки: Методические указания для обучающихся по дисциплине «Тепломассообменное оборудование предприятий» по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» уровень высшего образования бакалавриат / Т.Ю. Салова; Министерство сельского хозяйства РФ, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Кафедра «Энергообеспечение предприятий и электротехнологии». – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2016. – 36 с.: ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=bookHYPERLINK>
"<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445956>"&HYPERLINK
"<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445956>"id=445956 (дата обращения: 10.02.2019). – Библиогр. в кн. – Текст: электронный.