Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 02.09.2023 15:24:12
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДЕНО
Декан Факультета урбанистики и городского хозяйства
_____ К.И. Лушин
«___» _____ 2022г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теплотехника»

Направление подготовки
13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль
Автоматизированные энергетические установки

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва
2022

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является подготовка обучающихся к производственно-технологической деятельности по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

Задачами дисциплины является приобретение знаний основ преобразования энергии, законов термодинамики и тепломассообмена, термодинамических процессов и циклов, энерготехнологии, энергосбережения, расчета теплообменных аппаратов, способов теплообмена, принципа действия и устройства теплообменных аппаратов, теплосиловых установок и других теплотехнических устройств, применяемых в отрасли, рассчитывать и выбирать рациональные системы теплоснабжения, преобразования и использования энергии.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Теплотехника» относится к числу учебных дисциплин базового цикла основной образовательной программы бакалавриата.

Дисциплина «Теплотехника» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

– Физика;
– Электротехника и электроника.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные	***Знать:*** основные физические явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов профессиональной деятельности и средств контроля и

	программы, пригодные для практического применения	измерения, основные понятия и законы тепловых машин. ***Уметь:*** на основе фундаментальных наук решать задачи управления и контроля рабочими процессами энергетических машин, аппаратов и установок, проводить различные расчеты элементов их конструкций ***Владеть*:** некоторыми экспериментальными методиками и техникой исследований тепловых машин, методикой расчета основных элементов энергетического оборудования, навыками измерения основных физических параметров, методикой расчета простейших теплотехнических агрегатов.
ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	**Знать:** основные понятия и положения фундаментальных наук, которые будут использоваться в профессиональной деятельности. **Уметь:** выбирать технические средства и технологии проведения эксперимента в заданных условиях. **Владеть:** приемами выбора критериев по оценке оптимальности результатов исследований.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **5** зачетных единиц, т.е. **180** академических часов (из них 90 часов – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Теплотехника» изучаются на втором курсе в **третьем** семестре.

Структура и содержание дисциплины «Теплотехника» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины

Третий семестр

Тема 1. Основы термодинамики.

Введение. Основные понятия и определения термодинамики. Определение предмета и его назначение в подготовке специалистов. Роль теплотехники в развитии энергетики страны; основные направления развития топливно-энергетического комплекса страны. Краткие сведения по истории

развития теплотехники. Проблемы топливно-энергетических ресурсов и охраны окружающей среды.

Термодинамическая система и окружающая среда. Термодинамические системы: закрытая, открытая, изолированная.

Смеси идеальных газов. Основные термодинамические параметры смеси идеальных газов. Уравнения состояния для идеальных и реальных газов. Теплоемкость идеальных газов. Энтальпия идеального газа. Понятие о внутренней энергии газа.

Первый и второй законы термодинамики. Круговые процессы. Определение работы газа при его расширении. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Процессы изменения состояния идеальных газов. Второй закон термодинамики. Регенеративный цикл. Интеграл Клаузиуса. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Круговые процессы (циклы). Прямой и обратный циклы Карно.

Тема 2. Термодинамические процессы.

Метод исследования термодинамических процессов. Изопроцессы идеального газа. Политропный процесс. Уравнение Пуассона. Реальные газы. Водяной пар. Влажность воздуха. Свойства реальных газов. Уравнение состояния реальных газов. Процесс парообразования в P – V диаграмме. Определение параметров состояния водяного пара. Процессы изменения состояния водяного пара. Основные характеристики влажного воздуха. Абсолютная и относительная влажности воздуха. Измерение влажности.

Истечение и дросселирование газов и паров.

Основные понятия. Уравнение истечения. Располагаемая работа и скорость истечения. Секундный расход при истечении. Критическое отношение давлений. Расчет скорости истечения и секундного массового расхода для критического режима. Сопло Лаваля. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью hs - диаграммы.

Дросселирование газов и паров. Сущность процесса дросселирования и его уравнение. Понятие об эффекте Джоуля - Томсона.

Тема 3. Основы теплообмена.

Теплопроводность. Основные понятия и определения. Способы переноса тепловой энергии. Стационарный и нестационарный теплообмен. Температурное поле и градиент температур. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности и его зависимость от физических параметров. Стационарная теплопроводность однослойной и многослойной плоской, цилиндрической и сферической стенок. Дифференциальное уравнение теплопроводности при наличии и отсутствии внутренних источников теплоты.

Конвективный теплообмен.

Основные факторы, влияющие на интенсивность конвективного теплообмена. Свободная, смешанная и вынужденная конвекция. Уравнение

Ньютона - Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Термическое сопротивление теплопередачи. Основное уравнение теплопередачи.

Процесс теплообмена при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости. Процессы теплоотдачи при свободной конвекции в неограниченном объеме. Конвективный теплообмен при вынужденном (ламинарном и турбулентном) движении жидкости в трубах и каналах. Методы интенсификации теплообмена. Уравнения теплового баланса.

Теплообмен излучением.

Основные понятия процесса теплообмена излучением. Степень черноты и поглощательная способность. Закон Планка. Закон смещения Вина, Законы Стефана – Больцмана, Кирхгофа. Излучение и поглощение лучистой энергии нечерными телами и газами. Серое тело. Эффективное излучение. Теплообмен излучением между серыми телами, разделенными прозрачной средой. Лучистый теплообмен между двумя параллельными телами. Влияние экранов на теплообмен излучением. Закон Бугера. Поглощательная способность серых тел. Особенности излучения и поглощения газов.

Теплопередача. Теплообменные аппараты. Сложный теплообмен. Теплопередача через плоскую, цилиндрическую, сферическую стенки. Коэффициент теплопередачи. Пути интенсификации процесса теплопередачи. Тепловая изоляция. Понятие о критическом диаметре теплоизоляции. Теплообменные аппараты. Назначение и классификация. Средний температурный напор. Типы теплообменных аппаратов и их основные характеристики. Конструктивный расчет теплообменного аппарата поверхностного типа. Основы расчетов смешивающих теплообменных аппаратов.

Тема 4. Термодинамические циклы ДВС.

Основные понятия. Энергетическое топливо. Виды сжигаемого топлива и их характеристика. Классификация топлив. Теплота сгорания. Состав и основные характеристики автомобильных топлив. Моторные топлива для поршневых ДВС. Реакции окисления и продукты сгорания. Количество воздуха, необходимое для полного сгорания топлива. Структура топливного баланса страны и отрасли. Проблема экономии топлива и пути ее решения.

Циклы поршневых ДВС. Двигатели внутреннего сгорания. Принцип действия поршневых ДВС. Классификация и основные характеристики ДВС. Параметры цикла. Циклы с изобарным подводом теплоты (цикл Отто). Циклы с изохорным подводом теплоты (цикл Дизеля). Цикл со смешанным подводом теплоты (цикл Тринклера). Изображение циклов в PV и TS диаграммах. Индикаторная мощность двигателя. Эффективная мощность двигателя.

КПД циклов поршневых ДВС. Термодинамические КПД циклов ДВС. Сравнительный анализ термодинамических циклов ДВС. Механический и эффективный КПД двигателя. Удельный индикаторный и эффективный расход топлива. Энергетический баланс ДВС. Особенности рабочих процессов

в двигателях, работающих на газообразном топливе. Показатели экономичности работы ДВС.

Тема 5. Термодинамические циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей.

Принцип действия ГТУ. Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты. Цикл ГТУ с изохорным подводом теплоты. Регенеративные циклы. Изображение циклов в PV и TS диаграммах. КПД ГТУ.

Воздушно-реактивные двигатели (ВРД). Принцип действия бескомпрессорного ВРД. Цикл бескомпрессорного ВРД, термический КПД цикла. Компрессорный ВРД. Термодинамический цикл компрессорного ВРД, определение термодинамического КПД цикла.

Жидкостно-реактивные двигатели (ЖРД). Цикл ЖРД, термодинамический КПД цикла. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ). Цикл РДТТ, термодинамический КПД цикла.

Циклы паросиловых установок. Обратные циклы паровых машин. Цикл Стирлинга. Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Карно. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина. Изображение цикла в PV, TS и HS диаграммах. Пути повышения экономичности цикла Ренкина. Регеративный цикл. Теплофикационный цикл.

Обратные циклы паровых машин. Цикл воздушной холодильной установки. Циклы паровых компрессорных холодильных установок. Тепловые насосы.

Утилизация теплоты.

Прирост термического КПД при утилизации теплоты, переданной первому теплоприемнику. Прирост термического КПД при утилизации теплоты, переданной второму теплоприемнику.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Теплотехника» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению практических работ в аудиториях вуза;

– защита и индивидуальное обсуждение выполняемых этапов расчетного задания;

– обсуждение и защита рефератов по дисциплине;

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;

– использование интерактивных форм текущего контроля в форме аудиторного и внеаудиторного интернет-тестирования;

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «**Теплотехника**».

Проведение занятий предусматривается также на сайте http://online.mospolytech.ru на основе разработанных кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем темам дисциплины:

Дисциплина	Ссылка
Теплотехника	https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=8918

Разработанные ЭОР включают промежуточные и итоговые тесты.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- подготовка и выступление на семинарском занятии с презентацией и обсуждением на тему «Современные теплотехнические машины и их характеристики» (индивидуально для каждого обучающегося);
- выполнение расчетного задания (по индивидуальному заданию для каждого обучающегося);

Расчётная работа посвящена выполнению проектных расчетов тепловых машин в объеме, предусматривающем реализацию теоретических и практических навыков, обучающихся по направлению.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины, защита отчетов по лабораторным работам.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
ОПК-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
ОПК-3	Способен применять соответствующий физико- математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей) в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ОПК-2 - Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения				
Показатель	**Критерии оценивания**			
	Оценка «неудовлетворительно» или отсутствие сформированности компетенции	**Оценка «удовлетворительно» или низкой уровень освоения компетенции**	**Оценка «хорошо» или повышенный уровень освоения компетенции**	**Оценка «отлично» или высокий уровень освоения компетенции**
знать: основные физические явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов профессиональной деятельности и средств контроля и	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные физические явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов профессиональной деятельности и средств контроля и	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные физические явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные физические явления и процессы, на которых основаны	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные физические явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов

измерения, основные понятия и законы тепловых машин.	измерения, основные понятия и законы тепловых машин.	профессиональной деятельности и средств контроля и измерения, основные понятия и законы тепловых машин. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	принципы действия объектов профессиональной деятельности и средств контроля и измерения, основные понятия и законы тепловых машин, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	профессиональной деятельности и средств контроля и измерения, основные понятия и законы тепловых машин, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: на основе фундаментальных наук решать задачи управления и контроля рабочими процессами энергетических машин, аппаратов и установок, проводить различные расчеты элементов их конструкций.	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет решать задачи управления и контроля рабочими процессами энергетических машин, аппаратов и установок, проводить различные расчеты элементов их конструкций	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: решать задачи управления и контроля рабочими процессами энергетических машин, аппаратов и установок, проводить различные расчеты элементов их конструкций. Допускаются значительные ошибки,	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: решать задачи управления и контроля рабочими процессами энергетических машин, аппаратов и установок, проводить различные расчеты элементов	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: решать задачи управления и контроля рабочими процессами энергетических машин, аппаратов и установок, проводить различные расчеты элементов их конструкций. Свободно оперирует приобретенным

		проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	их конструкций. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	и умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: некоторыми экспериментальными методиками и техникой исследований тепловых машин, методикой расчета основных элементов энергетического оборудования, навыками измерения основных физических параметров, методикой расчета простейших теплотехнических агрегатов.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет некоторыми экспериментальными и методиками и техникой исследований тепловых машин, методикой расчета основных элементов энергетического оборудования, навыками измерения основных физических параметров, методикой расчета простейших теплотехнических агрегатов.	Обучающийся владеет некоторыми экспериментальными методиками и техникой исследований тепловых машин, методикой расчета основных элементов энергетического оборудования, навыками измерения основных физических параметров, методикой расчета простейших теплотехнических агрегатов в неполном объеме, допускаются значительные	Обучающийся частично владеет некоторыми экспериментальными методиками и техникой исследований тепловых машин, методикой расчета основных элементов энергетического оборудования, навыками измерения основных физических параметров, методикой расчета простейших теплотехнических агрегатов, навыки	Обучающийся в полном объеме владеет некоторыми экспериментальными методиками и техникой исследований тепловых машин, методикой расчета основных элементов энергетического оборудования, навыками измерения основных физических параметров, методикой расчета простейших теплотехнических агрегатов, свободно применяет полученные

		ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	навыки в ситуациях повышенной сложности.
ОПК-3 - Способен применять соответствующий физико- математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач				
знать: основные понятия и положения фундаментальных наук, которые будут использоваться в профессиональной деятельности.	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные понятия и положения фундаментальных наук, которые будут использоваться в профессиональной деятельности.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные понятия и положения фундаментальных наук, которые будут использоваться в профессиональной деятельности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные понятия и положения фундаментальных наук, которые будут использоваться в профессиональной деятельности, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные понятия и положения фундаментальных наук, которые будут использоваться в профессиональной деятельности, свободно оперирует приобретенными знаниями.

		оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	аналитических операциях.	
уметь: выбирать технические средства и технологии проведения эксперимента в заданных условиях.	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет выбирать технические средства и технологии проведения эксперимента в заданных условиях	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: выбирать технические средства и технологии проведения эксперимента в заданных условиях. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: выбирать технические средства и технологии проведения эксперимента в заданных условиях. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: выбирать технические средства и технологии проведения эксперимента в заданных условиях. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: приемами выбора критериев по оценке оптимальности результатов исследований.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет приемами выбора критериев по оценке оптимальности результатов исследований.	Обучающийся владеет приемами выбора критериев по оценке оптимальности результатов исследований в неполном	Обучающийся частично владеет приемами выбора критериев по оценке оптимальности результатов	Обучающийся в полном объеме владеет приемами выбора критериев по оценке оптимальности результатов исследований,

		объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	исследований, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине (прошли промежуточный контроль, выполнили весь объем заданий на семинарских занятиях, выступили с докладом на семинарском занятии).

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно.
Удовлетворительно	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложениях к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Лекции по теплотехнике: конспект лекций [Электронный ресурс] : учеб. пособие. — Электрон. дан. — ОГУ 2011 г. 532 с. — Режим доступа: http://www.knigafund.ru/books/183451

б) дополнительная литература

1. Круглов, Г.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 208 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/3900. — Загл. с экрана.

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Microsoft Office 2007

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте (http://lib.mami.ru/ebooks/ в разделе «Библиотека».

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, практических занятий, самостоятельной работы. АВ2402, АВ2403, АВ2414. 115280 г. Москва, ул. Автозаводская, д. 16. Комплекты мебели для учебного процесса.

АВ2404. 115280 г. Москва, ул. Автозаводская, д. 16. Комплекты мебели для учебного процесса. Проектор, интерактивная доска, ПК.

АВ2406. 115280 г. Москва, ул. Автозаводская, д. 16. Комплекты мебели для учебного процесса.

Маркерная доска. Ноутбук.

Лабораторные установки:

- «Определение коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима»;
- «Определение коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости на цилиндре»;
- «Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом цилиндрического слоя».

Лабораторная установка («Valtec») «Модель системы отопления и теплоснабжения индивидуального жилого дома».

Элементы теплоэнергетического оборудования и систем.

АВ2415. 115280 г. Москва, ул. Автозаводская, д. 16. Комплекты мебели для учебного процесса.

Лабораторные установки:

- «Определение коэффициента температуропроводности стали методом регулярного режима»;
- «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе (труба в трубе)».

Комплект образцов технических средств измерений теплотехнологических параметров.

Проектор, маркерная доска, ПК, экран

Модель паровой котельной установки с механическим приводом.

Теплотехнические средства измерения для учебного процесса.

Элементы теплоэнергетического оборудования и систем.

Индивидуальные тепловые пункты. ул. Автозаводская, д. 16, стр. 1 и 2. Модель паровой котельной установки с механическим приводом. Теплотехнические средства измерения для учебного процесса. Элементы теплоэнергетического оборудования и систем.

Операционная система, Windows 7 (или ниже) – MicrosoftOpenLicense

Лицензия № 61984214, 61984216, 61984217, 61984219, 61984213, 61984218, 61984215

Офисные приложения, Microsoft Office 2013 (или ниже) – MicrosoftOpenLicense

Лицензия № 61984042

Антивирусное ПО, KasperskyEndpointSecurity для бизнеса – Стандартный

Лицензии № 1752161117060156960164.

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

Дисциплина предусматривает лекции и практические занятия. Курс завершается экзаменом.

Успешное изучение курса требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с литературой.

Во время лекции студент должен вести краткий конспект.

Работа с конспектом лекций предполагает просмотр конспекта в тот же день после занятий. При этом рекомендуется помечать материалы конспекта, которые вызывают затруднения для понимания. При этом обучающийся должен стараться найти ответы на затруднительные вопросы, используя рекомендуемую литературу. Если ему самостоятельно не удалось разобраться в материале, необходимо сформулировать вопросы и обратиться за помощью к преподавателю на консультации или ближайшей лекции.

При подготовке к практическим занятиям необходимо просмотреть конспекты лекций и методические указания, рекомендованную литературу по данной теме; подготовиться к ответу на контрольные вопросы.

В ходе выполнения индивидуального задания практического занятия студент готовит отчет о работе (в программе MS Word или любом другом текстовом редакторе). В отчет заносятся результаты выполнения каждого пункта задания (схемы, диаграммы (графики), таблицы, расчеты, ответы на вопросы пунктов задания, выводы и т.п.).

Самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине играет важную роль в ходе всего учебного процесса. Методические материалы и рекомендации для обеспечения СРС готовятся преподавателем и выдаются студенту.

10. Методические рекомендации для преподавателя

При проведении лекций используются наглядные пособия, раздаточный материал, электронные презентации, видеоматериал. Текущий контроль осуществляется с помощью тестирования, контрольных работ и устного опроса.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ПрООП ВО по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» и профилю «Автоматизированные энергетические установки»

Авторы:

Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент Л.А. Марюшин

Ст. преподаватель
кафедры «Промышленная теплоэнергетика» И.Л. Савельев

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 26 мая 2022 г. № 11.

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент Л.А. Марюшин

Руководитель ООП И.Л. Савельев

Приложение 1

Структура и содержание дисциплины «Теплотехника» по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение (бакалавр)

	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
				Л	П/С	Лаб	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реферат	Т	Э	З
	Третий семестр	3													
Тема 1	**Введение.** Основные понятия и определения термодинамики. Определение предмета и его назначение в подготовке специалистов. Роль теплотехники в развитии энергетики страны; основные направления развития топливно-энергетического комплекса страны. Краткие сведения по истории развития теплотехники. Проблемы топливно-энергетических ресурсов и охраны окружающей среды. Термодинамическая система и окружающая среда. Термодинамические системы: закрытая, открытая, изолированная. Смеси идеальных газов. Основные термодинамические параметры смеси идеальных газов. Уравнения состояния для идеальных и реальных газов. Теплоемкость идеальных газов. Энтальпия идеального газа. Понятие о внутренней энергии газа. Первый и второй законы термодинамики. Круговые процессы. Определение работы газа при его расширении. Аналитическое выражение первого	3	1-2	8											

	закона термодинамики. Процессы изменения состояния идеальных газов. Второй закон термодинамики. Регенеративный цикл. Интеграл Клаузиуса. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Круговые процессы (циклы). Прямой и обратный циклы Карно.														
	Семинарское занятие	3	3-4		7		10								
Тема 2	**Термодинамические процессы.** Метод исследования термодинамических процессов. Изопроцессы идеального газа. Политропный процесс. Уравнение Пуассона. Реальные газы. Водяной пар. Влажность воздуха. Свойства реальных газов. Уравнение состояния реальных газов. Процесс парообразования в P – V диаграмме. Определение параметров состояния водяного пара. Процессы изменения состояния водяного пара. Основные характеристики влажного воздуха. Абсолютная и относительная влажности воздуха. Измерение влажности. Истечение и дросселирование газов и паров. Основные понятия. Уравнение истечения. Располагаемая работа и скорость истечения. Секундный расход при истечении. Критическое отношение давлений. Расчет скорости истечения и секундного массового расхода для критического режима. Сопло Лаваля. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью hs - диаграммы. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса дросселирования и его уравнение. Понятие об эффекте Джоуля - Томсона.	3	5-6	7											
	Семинарское занятие	3	7		8		10		+						
	Лабораторное занятие		8			6	12								

Тема 3	**Основы теплообмена.** Теплопроводность. Основные понятия и определения. Способы переноса тепловой энергии. Стационарный и нестационарный теплообмен. Температурное поле и градиент температур. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности и его зависимость от физических параметров. Стационарная теплопроводность однослойной и многослойной плоской, цилиндрической и сферической стенок. Дифференциальное уравнение теплопроводности при наличии и отсутствии внутренних источников теплоты. Конвективный теплообмен. Основные факторы, влияющие на интенсивность конвективного теплообмена. Свободная, смешанная и вынужденная конвекция. Уравнение Ньютона - Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Термическое сопротивление теплопередачи. Основное уравнение теплопередачи. Процесс теплообмена при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости. Процессы теплоотдачи при свободной конвекции в неограниченном объеме. Конвективный теплообмен при вынужденном (ламинарном и турбулентном) движении жидкости в трубах и каналах. Методы интенсификации теплообмена. Уравнения теплового баланса. Теплообмен излучением. Основные понятия процесса теплообмена излучением. Степень черноты и поглощательная способность. Закон Планка. Закон смещения Вина, Законы Стефана – Больцмана, Кирхгофа. Излучение и поглощение лучистой энергии нечерными телами и газами. Серое тело. Эффективное излучение. Теплообмен излучением между серыми телами, разделенными прозрачной средой. Лучистый теплообмен между двумя параллельными телами.	3	9	7											

	Влияние экранов на теплообмен излучением. Закон Бугера. Поглощательная способность серых тел. Особенности излучения и поглощения газов. Теплопередача. Теплообменные аппараты. Сложный теплообмен. Теплопередача через плоскую, цилиндрическую, сферическую стенки. Коэффициент теплопередачи. Пути интенсификации процесса теплопередачи. Тепловая изоляция. Понятие о критическом диаметре теплоизоляции. Теплообменные аппараты. Назначение и классификация. Средний температурный напор. Типы теплообменных аппаратов и их основные характеристики. Конструктивный расчет теплообменного аппарата поверхностного типа. Основы расчетов смешивающих теплообменных аппаратов.														
	Семинарское занятие	3	10		7		10		+						
	Лабораторное занятие		11			6	12								
Тема 4	**Термодинамические циклы ДВС.** Основные понятия. Энергетическое топливо. Виды сжигаемого топлива и их характеристика. Классификация топлив. Теплота сгорания. Состав и основные характеристики автомобильных топлив. Моторные топлива для поршневых ДВС. Реакции окисления и продукты сгорания. Количество воздуха, необходимое для полного сгорания топлива. Структура топливного баланса страны и отрасли. Проблема экономии топлива и пути ее решения. Циклы поршневых ДВС. Двигатели внутреннего сгорания. Принцип действия поршневых ДВС. Классификация и основные характеристики ДВС. Параметры цикла. Циклы с изобарным подводом теплоты (цикл Отто). Циклы с изохорным подводом теплоты (цикл Дизеля). Цикл со смешанным подводом теплоты (цикл Тринклера). Изображение	3	12-13	7											

	циклов в PV и TS диаграммах. Индикаторная мощность двигателя. Эффективная мощность двигателя. КПД циклов поршневых ДВС. Термодинамические КПД циклов ДВС. Сравнительный анализ термодинамических циклов ДВС. Механический и эффективный КПД двигателя. Удельный индикаторный и эффективный расход топлива. Энергетический баланс ДВС. Особенности рабочих процессов в двигателях, работающих на газообразном топливе. Показатели экономичности работы ДВС.														
	Семинарское занятие	3	14		7		10								
Тема 5	**Термодинамические циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей.** Принцип действия ГТУ. Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты. Цикл ГТУ с изохорным подводом теплоты. Регенеративные циклы. Изображение циклов в PV и TS диаграммах. КПД ГТУ. Воздушно-реактивные двигатели (ВРД). Принцип действия бескомпрессорного ВРД. Цикл бескомпрессорного ВРД, термический КПД цикла. Компрессорный ВРД. Термодинамический цикл компрессорного ВРД, определение термодинамического КПД цикла. Жидкостно-реактивные двигатели (ЖРД). Цикл ЖРД, термодинамический КПД цикла. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ). Цикл РДТТ, термодинамический КПД цикла. Циклы паросиловых установок. Обратные циклы паровых машин. Цикл Стирлинга. Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Карно. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина. Изображение цикла в PV, TS и HS	3	15	7											

	диаграммах. Пути повышения экономичности цикла Ренкина. Регеративный цикл. Теплофикационный цикл. Обратные циклы паровых машин. Цикл воздушной холодильной установки. Циклы паровых компрессорных холодильных установок. Тепловые насосы. Утилизация теплоты. Прирост термического КПД при утилизации теплоты, переданной первому теплоприемнику. Прирост термического КПД при утилизации теплоты, переданной второму теплоприемнику.														
	Семинарское занятие	3	16		7		14		+						
	Лабораторное занятие		17			6	12								
	Форма аттестации	3	18											Э	
	Всего часов по дисциплине		180	36	36	18	90								

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление подготовки: 13.03.03 Энергетическое машиностроение
ОП (профиль): «Автоматизированные энергетические установки»
Форма обучения: очная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Теплотехника»

Москва
2022

Таблица 1
к приложению 2

Паспорт фонда оценочных средств

Теплотехника					
ФГОС ВО **13.03.03 Энергетическое машиностроение**					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИНДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
ОПК-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	***Знать:*** основные физические явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов профессиональной деятельности и средств контроля и измерения, основные понятия и законы тепловых машин. ***Уметь:*** на основе фундаментальных наук решать задачи управления и контроля рабочими процессами энергетических машин, аппаратов и установок, проводить различные расчеты элементов их конструкций ***Владеть*:** некоторыми экспериментальными методиками и техникой исследований тепловых машин, методикой расчета основных элементов	Лекция, семинар, лабораторная работа	Экзамен, защита лабораторных работ	Базовый уровень: способен демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках при решении стандартных задач. Повышенный уровень: способен демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках при решении нестандартных задач с последующим их анализом.

		энергетического оборудования, навыками измерения основных физических параметров, методикой расчета простейших теплотехнических агрегатов.			
ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	**Знать:** основные понятия и положения фундаментальных наук, которые будут использоваться в профессиональной деятельности. **Уметь:** выбирать технические средства и технологии проведения эксперимента в заданных условиях. **Владеть:** приемами выбора критериев по оценке оптимальности результатов исследований.	Лекция, семинар, лабораторная работа	Экзамен, защита лабораторных работ, защита курсовой работы	Базовый уровень: способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов при решении стандартных задач. Повышенный уровень: способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов при решении нестандартных задач с последующим их анализом.

Приложение 3

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

Перечень практических работ по дисциплине

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонд
1	Расчётная работа. «Расчёт теплообменного аппарата»	Расчётная работа направлена на формирование умений и навыков по расчету характеристик тепловых агрегатов.	Результатом работы являются вычисления геометрических параметров теплообменного аппарата.

Приложение 4

Методические указания для выполнения расчетной работы «Расчёт рекуперативного теплообменника»

Охотин А.С., Корнеев С.Д., Марюшин Л.И. Теоретические основы теплотехники. Конструирование и расчет рекуперативного теплообменника. Методические указания к выполнению курсовой работы. — М.: МГИУ, 2006.

При конструировании и эксплуатации теплоэнергетических установок возникает необходимость конструирования нового или выбора и расчета стандартного теплообменного оборудования, предназначенного для работы в составе самой установки, либо для вспомогательных целей.

В соответствии с содержанием задачи, которая должна быть решена, целесообразно использование того, или иного вида теплообменной аппаратуры. Для обоснования подобного выбора, как в процессе курсового проектирования, так и при выполнении дипломных проектов возникает необходимость разработать не только схематические, но и конструктивные элементы систем и установок, включающих стандартную теплообменную аппаратуру. Поэтому в данной разработке приведены примеры конструкций современных рекуперативных теплообменников, с указанием их геометрических характеристик и других, необходимых при конструировании и расчете технических данных. Подобные сведения также необходимы и при расчете и конструировании новой теплообменной аппаратуры, для того чтобы сравнить разрабатываемые конструктивные решения теплообменников с уже известными.

Классификация рекуперативных теплообменников

Теплообменным аппаратом (теплообменником) принято называть устройство для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому. Теплообменные аппараты, применяемые на промышленных предприятиях, могут или непосредственно входить в состав технологического оборудования, или служить для вспомогательных целей, например, для подвода теплоты к теплоносителю вне теплоиспользующей установки, или для использования вторичной теплоты отработавших теплоносителей.

По цикличности работы теплообменные аппараты подразделяют на теплообменники непрерывного и периодического действия. Для теплообменников непрерывного действия главным является установившийся режим их работы. В этом режиме остаются неизменными по времени расходы обоих теплоносителей, проходящих через теплообменник, а также их начальная и конечная температура.

Для теплообменных аппаратов периодического действия основным является неустановившийся режим. В этом режиме происходит изменение по

времени начальной и конечной температуры одного или обоих теплоносителей. Возможно также изменение их расходов.

Рекуперативными (рекуператорами) называют аппараты, в которых передача теплоты от одного теплоносителя к другому происходит через разделяющую их стенку. Процесс теплопередачи при этом складывается из теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенке, теплопроводности и теплоотдачи от стенки к нагреваемому теплоносителю. Прямой контакт между теплоносителями отсутствует.

Одним из наиболее важных этапов проектирования теплоэнергетических установок является выбор типа и типоразмера теплообменных аппаратов, входящих в состав установки. Конструктору на самой ранней стадии проектирования следует проанализировать существующие типовые конструкции и выбрать наиболее приемлемую. Если окончательное решение не может быть принято сразу, то на первой стадии проектирования оправдано рассмотрение нескольких более или менее подходящих типов теплообменников. В связи с этим кратко рассмотрим классификацию и наиболее распространенные конструкции стандартных рекуперативных теплообменников.

В зависимости от формы поверхности теплообмена, рекуперативные теплообменники могут быть подразделены на аппараты с поверхностью теплообмена из труб и аппараты с поверхностью теплообмена из листа. Теплообменные аппараты с поверхностью теплообмена из труб, как правило, позволяют допустить значительную разность давлений теплоносителей. Теплообменники с поверхностью теплообмена из листа в ряде случаев более компактны. В начале проанализируем основные варианты теплообменников с поверхностью теплообмена из труб.

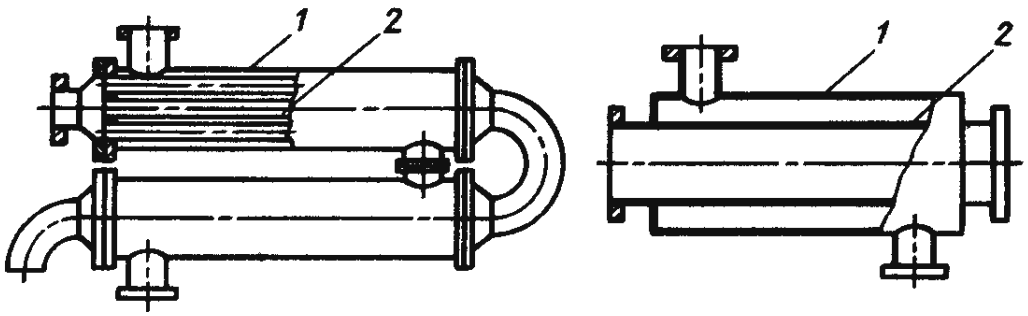
Секционные теплообменники

Само название "секционный" указывает на то, что из таких теплообменников, путем соединения их между собой, может быть набрана требуемая поверхность теплообмена. Секционный теплообменник состоит из одной или нескольких теплопередающих труб, заключенных в общем корпусе. Поверхность теплообмена одной секции используемых в промышленности секционных теплообменников составляет 0,75—30 м^2, а число труб в секции от 4 до 140. Длина трубного пучка в одной секции стандартного теплообменника обычно составляет 2 или 4 м.

К разряду секционных можно отнести и теплообменники типа «труба в трубе». Такой аппарат (рис. 1.1а) содержит только одну теплопередающую трубу, коаксиально расположенную внутри корпуса. Теплообменник снабжается патрубками для подвода и отвода теплоносителей. Один из них движется в полости внутренней трубы 2. Другой теплоноситель движется в кольцевом зазоре между внутренней и наружной трубой 1. Внутренняя труба может иметь продольные ребра, приваренные к ней изнутри или снаружи для

увеличения поверхности теплообмена со стороны потока с меньшим коэффициентом теплоотдачи.

Секции теплообменника по ходу движения теплоносителя могут быть соединены последовательно или параллельно. На рис. 1.1б представлено последовательное соединение секций, как по ходу греющего, так и по ходу нагреваемого теплоносителей.



б) а)

Рис.1.1. Секционные теплообменники

Преимуществами теплообменников типа «труба в трубе» являются высокие коэффициенты теплоотдачи, пригодность для работы при высоком давлении теплоносителей, простота изготовления, монтажа и обслуживания. К недостаткам относятся: низкая компактность, высокая стоимость из-за большого расхода металла на наружные трубы, не участвующие в теплообмене, сложность очистки кольцевого пространства между трубами.

1. Теплообменники типа «труба в трубе» используются в основном для нагревания или охлаждения теплоносителя в тех случаях, когда требуются сравнительно небольшие поверхности теплообмена. Они также могут использоваться в процессах, сопровождающихся кипением или конденсацией теплоносителя. Преимущество теплообменника «труба в трубе» заключается в разнообразии компоновок, и, кроме того, они могут быть быстро собраны из стандартных элементов на месте монтажа. При необходимости поверхность теплообмена может быть увеличена за счет установки дополнительных секций. Упрощается контроль распределения потоков теплоносителя по каждому каналу теплообменника, что особенно важно при охлаждении вязких жидкостей, когда в случае необходимости один насос может быть установлен для группы теплообменников. Главными недостатками теплообменников типа «труба в трубе» являются большой объем и высокая стоимость в расчете на единицу поверхности теплообмена.

Дальнейшее развитие конструкции секционных теплообменных аппаратов представляют собой теплообменники (рис. 1.1б), в корпусе 1 которых размещается не одна труба, а пучок труб 2. Такой аппарат компактнее теплообменника типа "труба в трубе" и, в расчете на единицу площади поверхности теплообмена, дешевле. Конструктивное оформление и основные размеры стандартных секционных теплообменников приведены на рис. 1.2, а

их технические данные — в табл. 1.1. Общая компоновка секций соединенных последовательно как по ходу греющего так и по ходу нагреваемого теплоносителя ясна из рис. 1.3. Трубный пучок выполнен из трубок 16×1 (первое число – наружный диаметр трубки, второе – толщина стенки трубки). В третьем столбце табл.1.1 приведены отношения наружного диаметра корпуса теплообменника D_* к его внутреннему диаметру $D_в$.

Следует отметить, что в секционных теплообменниках длина трубного пучка обычно в десятки раз больше диаметра корпуса. Поэтому в них практически осуществимы лишь две схемы движения теплоносителей: прямоточная и противоточная.

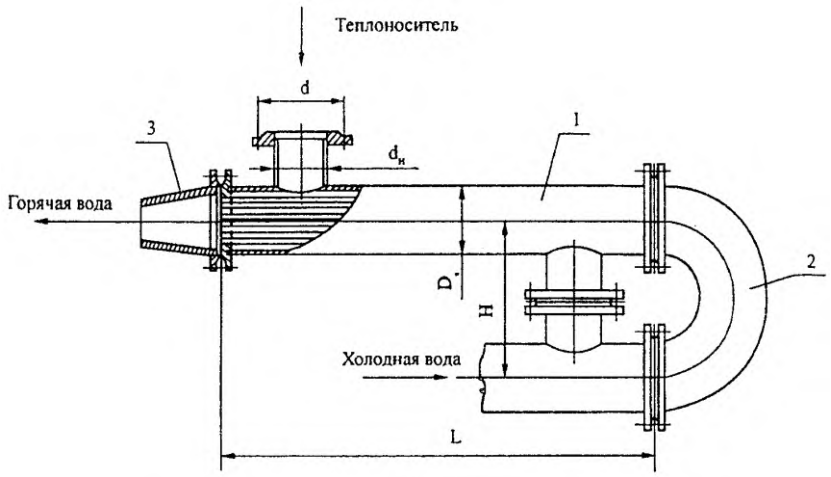


Рис.1.2. Основные размеры секционных теплообменников без компенсатора температурных удлинений:
1 — секция; 2 — калач с фланцем; 3 — переход с фланцем

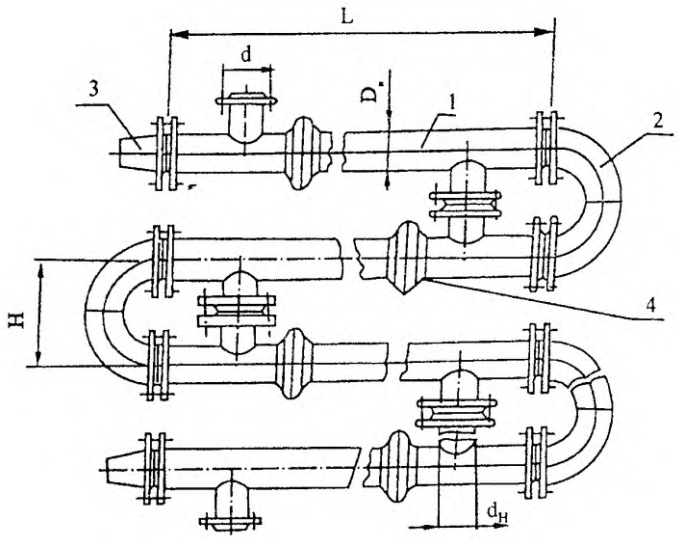


Рис. 1.3. Компоновка секционных теплообменников с компенсатором температурных удлинений:
1 — секция; 2 — калач с фланцем; 3 — переход с фланцем; 4 — компенсатор

Таблица 1.1. Технические данные секционных теплообменников

Условное обозначение	Размеры, мм					Поверхность нагрева, $м^2$	Кол-во трубок, шт	Тепловой поток, кВт	Масса секции, кг
	L	D_*/D_B	$d_н$	d	H				
1-57x2000-P	2000	57/51	48	110	200	0,38	4	14	24
2-57x4000-P	4000					0,75		23,9	37
3-76x2000-P	2000	76/70	57	125	200	0,65	7	22,5	33
4-76x4000-P	4000					1,32		38,9	52
5-89x2000-P	2000	89/82	76	145	240	0,93	10	31,7	40
6-89x4000-P	4000					1,88		54,9	64
7-114x2000-P	2000	114/107	89	160	300	1,79	19	63,8	58
8-114x4000-P	4000					3,58		110	91
9-168x2000-P	2000	168/159	133	210	400	3,49	37	109	113
10-168x4000-P	4000					6,98		191	194
11-219x2000-P	2000	219/207	159	240	500	5,75	61	203	173
12-219x4000-P	4000					11,51		349	301
13-273x2000-P	2000	273/259	219	295	600	10,28	109	398	262
14-273x4000-P	4000					20,56		674	462
15-325x2000-P	2000	325/309	273	350	600	14,24	151	549	338
16-325x4000-P	4000					28.49		931	599

Кожухотрубные теплообменники

Кожухотрубные теплообменные аппараты отличаются от секционных большим числом трубок в трубном пучке, которое обычно составляет от сотен до тысяч. В связи с этим кожухотрубные теплообменники компактнее секционных, т.е. в единице объема такого аппарата размещается большая поверхность теплообмена. Кроме того, конструкция кожухотрубных теплообменников позволяет создавать различные схемы движения теплоносителей.

Кожухотрубные теплообменные аппараты могут быть использованы для любой комбинации теплоносителей: жидкость — жидкость, газ — жидкость, газ — газ. Общим для всех кожухотрубные теплообменников является наличие большого числа труб (трубного пучка), концы которых герметично укреплены в отверстиях трубных досок (решеток), и наличие общего кожуха, охватывающего трубный пучок снаружи. Обычно в промышленных кожухотрубных теплообменниках используют трубы с внутренним диаметром не менее 12 и не более 38 мм. Нижнее ограничение обусловлено удобством очистки внутренней поверхности труб, верхнее — снижением удельной площади поверхности теплообменника. Возможная длина трубного пучка обычно составляет 0,9 ... 6 м, толщина стенок труб — 0,5... 2,5 мм. Трубы диаметром менее 12 мм используют в тех случаях, когда нет опасности загрязнения их внутренней поверхности и когда необходимо увеличить компактность теплообменника.

Теплоносители, способные загрязнять поверхность теплообмена, направляют в полости труб трубного пучка, так как только они доступны для механической очистки.

2. В кожухотрубных теплообменниках достигаются достаточно большие отношения площади поверхности теплообмена к объему и массе. Размеры поверхности теплообмена легко можно варьировать в широких пределах.

Трубы являются основным элементом, обеспечивающим теплопередачу между теплоносителем, протекающим внутри труб и в межтрубном пространстве. Трубы могут быть либо гладкими, либо с невысокими ребрами снаружи. В последнем случае наружный диаметр ребра выбирается немного меньше, чем наружный диаметр неоребренных концов труб, что позволяет вставлять оребренные трубы через отверстия в трубной доске. Трубы закрепляются в трубных досках на каждом конце (за исключением U—образных труб, которые закрепляются только в одной трубной доске). Трубы либо развальцовываются в трубной доске, либо привариваются к ним снаружи.

1. Трубная доска представляет собой металлический диск, в котором имеются отверстия для труб с элементами уплотнений.

Кожух имеет вид цилиндра, внутри которого помещены трубы и циркулирует теплоноситель. Он обычно изготовляется вальцовкой металлического листа соответствующего размера и сваркой продольным швом. Кожух малого диаметра (до 0,6 м) можно изготовить из трубы, обрезав ее до желаемой длины.

Теплоноситель поступает в кожух через входной патрубок и удаляется через выходной. Чаще всего патрубки изготавливаются из стандартных труб, которые привариваются к кожуху. В тех случаях, когда в межтрубное пространство подается двухфазный поток или насыщенный пар, внутри кожуха за входным патрубком могут быть установлены отражающие пластины, имеющие несколько большие размеры, чем сечение самого патрубка. Это защищает зону трубного пучка, на которую истекает входящий поток пара, от абразивного износа.

Важным элементом большинства кожухотрубных теплообменников является набор поперечных перегородок в межтрубном пространстве. Они позволяют повысить скорость теплоносителя, движущегося между трубами, а также предохраняют трубы от изгиба, вибрации. Кроме того, перегородки направляют поток теплоносителя поперек труб, что улучшает теплоотдачу, но увеличивает гидравлические потери давления.

Сегментные перегородки являются наиболее простым вариантом их конструкции. По форме они представляют собой сегмент круга с отверстиями для трубок трубного пучка. Основные требования к перегородкам заключаются в том, чтобы все трубы были одинаково зафиксированы, и чтобы последующие перегородки частично перекрывали, по крайней мере, один полный ряд труб для обеспечения достаточной жесткости трубного пучка.

Ниже, в качестве примера, приводится анализ конструкции современного типа кожухотрубных теплообменных аппаратов.

3. Водо-водяные малогабаритные разборные подогреватели сетевой воды типа ПВМР предназначены для котельных промышленных предприятий, тепловых узлов, могут быть использованы и в составе других видов теплоэнергетического оборудования различных отраслей промышленности. Конструкция подогревателей типа ПВМР, двухходовых по нагреваемой сетевой воде, показана на рис. 1.4, а на рис. 1.5 приведена схема движения теплоносителей в этом аппарате. Можно заметить, что в теплообменнике предусмотрены два хода теплоносителя, движущегося в трубках. Кроме того, на рис. 1.5 показаны пять ходов теплоносителя, движущегося в межтрубном пространстве. Соответственно, изображены 4 сегментные перегородки 7. Если изменить число сегментных перегородок, то изменится и число ходов теплоносителя, движущегося в межтрубном пространстве.

4. Теплообменник работает следующим образом. Нагреваемая вода через патрубок Б поступает в распределительную камеру 1, снабженную перегородкой 8, и направляется в полости трубок нижней (по

рисунку) половины трубного пучка. Затем, пройдя водяную камеру 4, нагреваемая жидкость возвращается по верхней половине трубного пучка в камеру 1 и выходит через патрубок А. Греющая вода поступает в корпус теплообменника через патрубок В и, совершив 5 ходов межу сегментными перегородками 7, выходит через патрубок Г.

В таблице 1.2 приведены основные размеры и характеристики теплообменников типа ПВМР. Для изготовления поверхности теплообмена использованы трубки диаметром 16х1 либо 19х1 мм (по специальному заказу – диаметром 22х1 мм) из латуни, нержавеющей стали или сплава МНЖ—5—1. На рабочее давление 10 кгс/см^2 (1,0 МПа) подогреватели выпускаются с плоскими, а на давление 16 кгс/см^2 (1,6 МПа) - с эллиптическими (рис.1.4) днищами 1,5.

Пояснения к табл. 1.2: 1. Последнее число в обозначении подогревателей означает давление среды в МПа. 2. Характеристики даны для подогревателей с гладкими трубками ∅16х1 и ∅19х1 мм из латуни. 3. Тепловой поток определен при номинальном расходе сетевой воды и разности начальных температур сред 15 °С. 4. Гидравлическое сопротивление трубного пучка для всех подогревателей при чистых гладких трубках не более 0,015 МПа. 5. При применении в пучке профильно-витых труб приведенные в таблице величины тепловых потоков увеличиваются на 20%, а гидравлическое сопротивление – в 1,5 раза. 6. При применении плоских донышек размер «L» в зависимости от типоразмера уменьшается примерно на величину от 100 до 150 мм. 7. Поверхность теплообмена определена по наружному диаметру труб. 8. 8. При применении труб из нержавеющей стали величины тепловых потоков должны быть снижены на 8-10%.

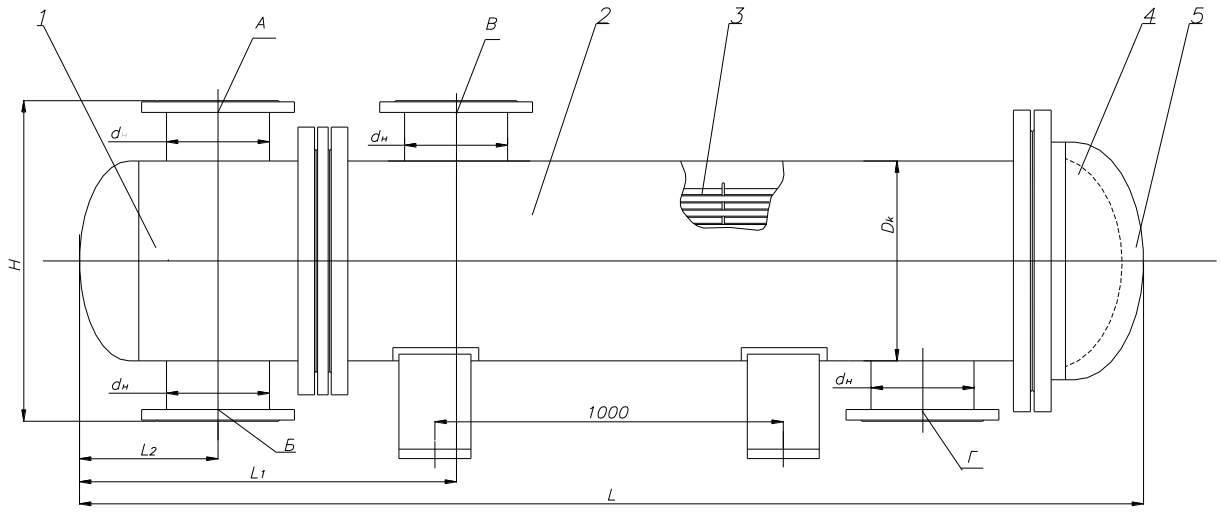


Рис. 1.4. Схема подогревателя ПВМР:
1 – камера распределительная; 2 – корпус; 3 - трубная система; 4 – малая водяная камера; 5 – съемная часть корпуса; А – отвод сетевой воды; Б – подвод сетевой воды; В – подвод греющей воды; Г – отвод греющей воды

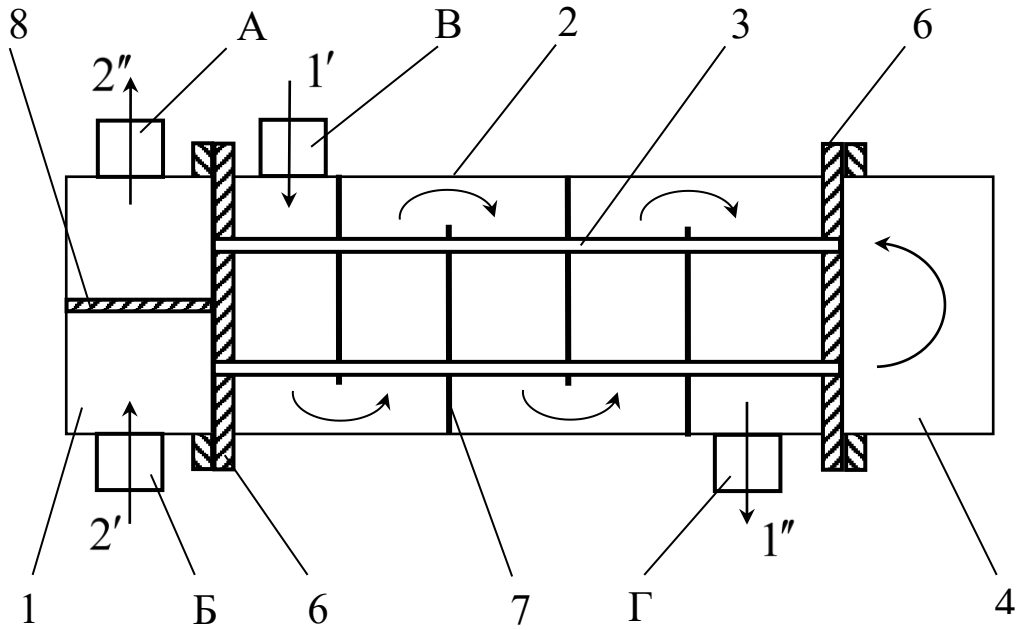


Рис. 1.5. Схема движения теплоносителей в подогревателе ПВМР.

Обозначения те же, что и на рис. 1.4. Кроме того: 6 —трубная решетка; 7 – сегментная перегородка; 8 – перегородка распределительной камеры.

Обозначение подогревателя	Основные размеры, мм							Главные характеристики							
	$D_к$	L	L_1	L_2	L_3	H	$d_н$	Площадь поверхности нагрева, $м^2$		Расход сетевой воды, т/ч		Тепловой поток, кВт, при трубках			
							А, Б, В, Г					гладких		профильно-витых	
								∅16×1	∅19×1	∅16×1	∅19×1	∅16×1	∅19×1	∅16×1	∅19×1
ПВМР114*2-1,0	114	2410	458	129	150	300	57	0,97	0,7	6,0	4,9	31	20	37	24
ПВМР114*2-1,6		2420	508	179											
ПВМР159*2-1,0	159	2436	485	145	160	410	57	2,1	2,0	14,0	11,0	94,5	63,3	113	76
ПВМР159*2-1,0		2470	540	198											
ПВМР168*2-1,0	168	2460	510	145	170	410	89	2,9	2,3	18,0	16,2	112	78	134	94
ПВМР168*2-1,6		2480	577	212											
ПВМР219*2-1,0	219	2510	576	167	190	500	133	5,0	4,6	30,0	32,5	189	170	227	204
ПВМР219*2-1,6		2540	656	247											
ПВМР273*2-1,0	273	2525	580	167	193	600	133	9,4	8,2	55,0	58,4	379	330	455	396
ПВМР273*2-1,6		2540	656	247											
ПВМР325*2-1,0	325	2630	713	210	240	600	219	14,2	12,2	82,0	86,0	586	490	703	588
ПВМР325*2-1,6		2680	819	316											
ПВМР377*2-1,0	377	2705	794	237	267	700	273	18,7	16,7	110,0	118,5	786	703	943	844
ПВМР377*2-1,6		2760	913	356											
ПВМР426*2-1,0	426	2730	798	237	267	700	273	25,4	21,6	150,0	152,6	1098	870	1318	1044
ПВМР426*2-1,6		2780	929	368											
ПВМР480*2-1,0	480	2760	800	240	260	800	273	28,8	26,0	170,0	178,0	1275	1150	1530	1380
ПВМР480*2-1,6		2800	940	380											
ПВМР530*2-1,0	530	2750	750	250	250	900	273	36,6	34,2	216,0	224,0	1642	1480	1970	1776
ПВМР530*2-1,6		2850	900	400											
ПВМР630*2-1,0	630	2880	785	230	239	1030	273	62,0	52,0	353,0	365,0	3140	2832	3768	3398
ПВМР630*2-1,6		2947	973	419											
ПВМР720*2-1,0	720	2970	910	245	250	1150	273	92,0	70,0	485,0	500,0	4671	4213	5605	5055
ПВМР720*2-1,6		3070	1100	445											
ПВМР820*2-1,0	820	3063	1022	270	342	1250	325	108,0	85,0	615,0	655,0	6213	5604	7455	6725
ПВМР820*2-1,6		3230	1257	505											

Таблица 1.2. Технические характеристики и основные размеры подогревателей ПВМР