

Министерство образования
Российской Федерации

Московский государственный университет леса

ТЕПЛОТЕХНИКА

Программа, методические указания и
контрольные задания

Для студентов-заочников специальности 260100

Издательство Московского государственного университета леса
Москва – 2004

6Л2 Дмитроц В.А. Теплотехника. Программа, методические указания и контрольные задания. Для студентов заочников специальности 260100. –М.: МГУЛ, 2004. – 22 с.: ил.

Разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом ВПО 2000 г. для направления подготовки 656300 на основе примерной программы дисциплины “Теплотехника” для специальности 260100 2003 года

Одобрено и рекомендовано к изданию в качестве методических указаний редакционно-издательским советом университета

Рецензент – доцент В.С. Извеков

Кафедра теплотехники

Составитель – Виктор Андреевич Дмитроц, доцент

Редактор А.П. Головина

Компьютерный набор и верстка И.О. Коломиец

По тематическому плану внутривузовских изданий методической литературы на 2004 г., доп.

©Дмитроц В.А., составитель, 2004

©Московский государственный университет леса, 2004

Лицензия ЛР № 020718 от 02.02.1998 г.

Лицензия ПД № 00326 от 14.02.2000 г.

Подписано к печати

Формат 60×88/16

Бумага 80 г/м² “Снегурочка”

Ризография

Объем 1,5 п. л.

Тираж 300 экз

Заказ №

Издательство Московского государственного университета леса.

141005. Мытищи-5. Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.

Телефоны: (095) 588-57-62, 588-53-48, 588-54-15. Факс: 588-51-09

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая работа предназначена для студентов заочного факультета МГУЛа, обучающихся по специальности 2601.00. Работа включает программу курса «Теплотехника», составленную на основании Примерной программы дисциплины «Теплотехника по неэнергетическим направлениям», одобренной научно-методическим советом по теплотехнике Минобразования Российской Федерации, расчетно-графические работы, перечень лабораторных работ и список рекомендуемой литературы.

По дисциплине «Физические основы теплотехники» студенты выполняют РГР № 1 и № 2. РГР № 1 состоит из 3 задач по разделу «Техническая термодинамика», РГР № 2 состоит из 2 задач по «Основам теории теплообмена». По дисциплине «Теплотехника» студенты выполняют РГР № 3 и № 4. РГР № 3 состоит из задачи 1 по разделу «Теплообменные аппараты», РГР № 4 состоит из 2 задач по разделам «Топливо, топки, котельные установки, теплоснабжение предприятий». Для каждой задачи предусмотрено 100 вариантов данных. Необходимо внимательно выписать исходные данные из таблиц в соответствии с шифром. Шифром являются две последние цифры номера зачетной книжки. Расчетно-графические работы, в которых исходные данные не соответствуют номеру шифра, не проверяются. Расчетно-графические работы, выполненные по любым другим методическим пособиям, также не проверяются.

При изучении курса следует использовать указанную учебную литературу. Рекомендуется обязательно использовать «Справочное пособие для решения задач и выполнения расчетно-графических работ», в котором приведены сводки расчетных зависимостей по разделам курса и справочные таблицы.

К зачету по дисциплине допускаются студенты с зачтенными расчетно-графическими работами и выполнившие лабораторные работы.

ПРОГРАММА КУРСА

Предмет теплотехники, место и роль ее в системе подготовки инженерных кадров. Связь теплотехники со смежными науками. Историческое развитие и проблемы современной теплотехники в связи с развитием новой техники и технологии.

Проблема экономии топлива и снижения норм расхода тепла. Рациональное использование вторичных энергоресурсов. Защита окружающей среды.

1. Техническая термодинамика

1) Основные понятия и определения

Предмет технической термодинамики и ее методы. Теплота и работа как формы передачи энергии. Рабочее тело. Термодинамическая система. Параметры состояния. Уравнение состояния. Термодинамический процесс. Обратимые и необратимые процессы. Изображение обратимых процессов в термодинамических диаграммах. Круговой процесс (цикл).

Газовые смеси: способы задания газовых смесей, соотношение между массовыми и объемными долями, вычисление параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений. Теплоемкость. Массовая, объемная и мольная теплоемкости. Теплоемкость при постоянном давлении и объеме. Средняя и истинная теплоемкости. Формулы и таблицы для определения теплоемкостей. Теплоемкость смеси идеальных газов.

2) Первый закон термодинамики

Сущность первого закона термодинамики. Формулировки первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Принцип эквивалентности теплоты и работы. Выражение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтропия. Первый закон термодинамики для круговых (циклических) процессов.

3) Второй закон термодинамики

Сущность второго закона термодинамики. Основные формулировки второго закона термодинамики. Термодинамические циклы тепловых машин. Прямые и обратные циклы. Термический КПД и холодильный коэффициент. Цикл Карно и его свойства. Термодинамическая шкала температур. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Изменение энтропии в необратимых процессах.

4) Термодинамические процессы

Классификация процессов изменения состояния. Общие методы исследования процессов изменения состояния любых рабочих тел.

Политропные процессы. Уравнение политропы. Определение показателя политропы. Анализ процессов на основе сравнения показателей политропы. Процессы в координатах p, v и T, s .

Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный – частные случаи политропного процесса.

Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Свойства реальных газов. Фазовое равновесие и фазовые переходы. Теплота фазовых переходов. Тройная и критическая точки. Уравнение состояния реальных газов. Пары. Основные определения. Процессы парообразования на p, v и T, s – диаграммах. Водяной пар. Термодинамические таблицы воды и водяного пара: p, v, T, s и i, s – диаграммы водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и i, s – диаграммы.

5) Влажный воздух

Определение понятия “влажный воздух”. Влагосодержание, абсолютная и относительная влажность влажного воздуха. Температура точки росы; i, d – диаграмма влажного воздуха.

6) Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров

Основные положения. Уравнение первого закона термодинамики для потока, его анализ. Понятие о сопловом и диффузорном течении газа. Адиабатные течения. Скорость адиабатного течения. Связь критической скорости истечения с местной скоростью распространения звука. Критическое отношение давлений. Расчет скорости истечения и секундного массового расхода для критического режима. Условия перехода через критическую скорость. Сопло Лавалья. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью i, s – диаграммы. Действительный процесс истечения.

Дросселирование газов и паров. Сущность процесса. Изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля-

Томпсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов. Понятие о температуре инверсии. Практическое использование процесса дросселирования. Условное изображение процесса дросселирования на i, s – диаграмме.

7) Термодинамический анализ процессов в компрессорах

Поршневой компрессор. Принцип действия. Работа, затрачиваемая на привод компрессора. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Термодинамическое обоснование многоступенчатого сжатия. Изображение на p, v и T, s – диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах. Необратимое сжатие. Относительный внутренний КПД компрессора. Понятие о центробежном компрессоре.

8) Циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок

Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Понятие о циклах реактивных двигателей. Анализ циклов. Изображение циклов на p, v и T, s – диаграммах. Термический КПД цикла теплового двигателя. Внутренний относительный КПД и внутренний абсолютный КПД цикла. Методы повышения КПД.

9) Циклы паросиловых установок

Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина. Изображение цикла на p, v, T, s и i, s – диаграммах. Пути повышения экономичности паросиловых установок, теплофикационный цикл.

10) Циклы холодильных машин, теплового насоса и термотрансформаторов (обратные термодинамические циклы)

Циклы холодильных установок. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Циклы паровой и воздушной компрессорной холодильной установки.

2. Теория теплообмена

1) Основные понятия и определения

Предмет и задачи теории теплообмена. Значение теплообмена в промышленных процессах. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция и излучение. Сложный теплообмен.

2) Теплопроводность

Основные положения учения о теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм передачи теплоты в металлах, диэлектриках, полупроводниках, жидкостях и газах. Дифференциальное уравнение теплопроводности для однородных изотропных тел; условия однозначности. Коэффициент температуропроводности.

Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность однослойной и многослойной плоской и цилиндрической стенок при граничных условиях I рода. Теплопроводность сферической стенки.

Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях III рода (теплопередача). Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую и цилиндрическую стенки; коэффициент теплопередачи. Пути интенсификации процесса теплопередачи.

3) Конвективный теплообмен

Основные положения учения о конвективном теплообмене. Физическая сущность конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона-Рихмана. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена: уравнение движения вязкой жидкости (уравнение Навье-Стокса); уравнение теплопроводности для потока движущейся жидкости (уравнение Фурье-Кирхгофа), уравнение теплоотдачи на границе потока и стенки (уравнение Био-Фурье), уравнение закона сохранения массы. Условия однозначности к дифференциальным уравнениям конвективного теплообмена. Основные положения теории пограничного слоя.

Местный и средний коэффициенты теплообмена.

Основы теории подобия и моделирования. Основные определения. Условия подобия физических явлений. Теоремы подобия. Уравнения подобия. Физический смысл чисел подобия.

Теплоотдача при свободном движении жидкости. Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном объеме; ламинарная и турбулентная конвекция у вертикальных поверхностей. Естественная конвекция у горизонтальных труб. Расчетные уравнения.

Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при движении жидкости вдоль плоской поверхности; теплоотдача при ламинарном и турбулентном пограничном слое; аналитическое решение методом теории подобия; расчетные уравнения.

Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах. Расчетные уравнения подобия. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб, расположенных коридорно и шахматно. Расчетные уравнения.

Теплообмен при изменении агрегатного состояния. Теплообмен при конденсации. Пленочная и капельная конденсации. Теплоотдача при конденсации чистых паров. Решение Нуссельта. Расчетные уравнения

коэффициента теплоотдачи для вертикальных и горизонтальных труб. Влияние на теплообмен при конденсации присутствующих в паре неконденсирующихся газов.

Теплообмен при кипении; механизм процесса теплообмена при пузырьковом и пленочном режимах кипения. Кризисы кипения. Теплоотдача при пузырьковом и пленочном кипении жидкости в большом объеме.

Расчетные уравнения для определения коэффициента теплоотдачи.

4) Теплообмен излучением

Общие понятия и определения; баланс лучистого теплообмена. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой; коэффициент облученности и взаимная поверхность; теплообмен излучением между телами, произвольно расположенными в пространстве. Защита от излучения. Излучение газов; лучистый теплообмен в топках и камерах сгорания.

5) Теплопередача. Основы расчета теплообменных аппаратов

Теплопередача при переменных температурах, баланс теплопередачи при переменных температурах, основные схемы движения теплоносителей. Теплообменные аппараты. Классификация. Тепловой расчет теплообменных аппаратов.

3. Теплоснабжение предприятий и промышленная теплотехника

1) Топливо, основы теории горения и топочные устройства

Виды сжигаемого топлива и их характеристики. Классификация топлив. Перспективы применения различных топлив в промышленности. Твердое и жидкое топливо и их основные характеристики. Элементарный состав топлива. Теплота сгорания. Газообразное топливо и его основные характеристики. Условное топливо. Структура топливного баланса. Проблема экономии топлива и пути ее решения. Проблема защиты окружающей среды от выброса продуктов сгорания топлива.

Основы теории горения и организация сжигания топлив в промышленных условиях. Топочные устройства. Сжигание газообразного топлива и газообразных отходов производств; кинетика газовых реакций горения (гомогенное горение), коэффициент избытка воздуха и его значение при сжигании газообразного топлива, воспламенение и температура воспламенения.

Сжигание жидкого топлива и жидких отходов производства. Особенности горения жидкого топлива. Зоны горения факела форсунки. Коэффициент избытка воздуха при сжигании жидкого топлива. Топочные

устройства для сжигания жидкого топлива и жидких отходов производства.

Сжигание твердого топлива и твердых отходов производства; элементы теории горения углерода (гетерогенное горение); кинетическая, диффузионная и переходная области горения углеродных частиц, влияние летучих твердого топлива на процесс воспламенения и горения, стадии горения твердого топлива в реальных условиях.

Способы сжигания твердого топлива: слоевое, в псевдооживленном слое; факельное. Особенности сжигания твердых отходов производства. Топки для сжигания древесных отходов.

Очистка дымовых газов от сернистых газов, окислов азота и пыли.

Расчеты процессов горения твердого, жидкого и газообразного топлива. Определение теоретически необходимого количества воздуха для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива. Определение объема продуктов сгорания при $\alpha_T = 1$ и при $\alpha_T > 1$. Расчет энтальпии дымовых газов. Теоретическая температура горения. Диаграмма $H-T$ продуктов сгорания. Основы расчета топочных устройств.

2) Промышленные котельные установки

Основные понятия. Котлы паровые и водогрейные; классификация и устройство. Теплоносители. Современные парогенераторы.

Поверхности нагрева: экраны, пароперегреватели, водяные экономайзеры, воздухоподогреватели.

Водогрейные котлы.

Водоподготовка. Сепарация пара. Питательные устройства котельных установок. Тягодутьевые устройства.

Основы теплового расчета котельных агрегатов. Задачи и методы теплового расчета.

Тепловой баланс и КПД котельного агрегата; часовой расход топлива.

Расчет теплопередачи в топках паровых котлов и в других рабочих поверхностях нагрева котлоагрегата.

Основы аэродинамического расчета котельного агрегата.

Общие положения об эксплуатации котельных установок. Правила Ростехнадзора и техники безопасности. Принципы защиты окружающей среды при эксплуатации парогенераторов. Современные тенденции повышения эффективности парогенераторов.

Схема производственно-отопительной котельной.

3) Теплоснабжение предприятий промышленности

Характеристика потребителей энергии на предприятиях лесной и деревообрабатывающей промышленности. Характеристика предприятий как потребителей тепла. Современное состояние и перспективы развития

теплоэнергетики и особенности отечественной техники теплоснабжения. Народнохозяйственное значение теплофикации и централизованного теплоснабжения.

Характеристики потребления энергии на предприятиях отрасли.

Производственное теплопотребление. Расход тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение; факторы, влияющие на теплопотребление. Основные схемы теплоснабжения и их анализ. Соотношение между электрическим и тепловым потреблением.

Теплоснабжение предприятий. Выявление тепловой нагрузки предприятий. Понятие о суточном, годовом и многолетнем графиках потребления тепла. Методика и порядок составления графиков нагрузки потребителей. Автоматизация систем теплоснабжения.

4) Вторичные энергоресурсы (ВЭР) лесной и деревообрабатывающей промышленности

Общие положения и классификация ВЭР. Возможность использования ВЭР в отрасли. Определение экономической эффективности использования ВЭР. Роль ВЭР в топливо- и теплопотреблении отрасли. Источники ВЭР отрасли и их использование. Причины недостаточного уровня использования ВЭР и экономия топлива за счет утилизации. Утилизационные установки, показатели их работы и влияние их на эффективность использования ВЭР.

Перспективы развития утилизационной техники и совершенствование методов утилизации.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

РГР № 1. Компрессор, циклы ДВС и ПСУ

Задача 1

Воздух с начальной температурой t_1 сжимается в двухступенчатом поршневом компрессоре от давления $p_1 = 0,1$ МПа до давления p_3 . Объемный расход газа на входе в компрессор V_1 , степень сжатия в ступенях компрессора одинакова. В промежуточном холодильнике воздух охлаждается водой до начальной температуры t_1 . Определить степень повышения давления в ступенях компрессора β , параметры воздуха перед входом в холодильник p_2 , v_2 , t_2 , теоретическую мощность привода компрессора. Расчет провести для политропного (показатель политропы “ n ”) сжатия в компрессоре. Изобразить (в масштабе) процесс сжатия в p, v и T, s – координатах. Исходные данные выбрать из табл. 1.

Указание. Величину энтропии для построения графика в T, s – координатах определять относительно состояния при нормальных условиях ($T_0 = 273$ К, $p_0 = 0,101$ МПа). При расчете для воздуха принять $c_p = 1006$ Дж/(кг·К), $c_v = 719$ Дж/(кг·К), $R = 287$ Дж/(кг·К).

Т а б л и ц а 1

Последняя цифра шифра	t_1 , °С	n	Предпоследняя цифра шифра	p_3 , МПа	$V_1 \cdot 10^{-3}$, м ³ /ч
0	10	1,2	0	1,6	1,3
1	15	1,22	1	2,5	1,2
2	20	1,25	2	3,0	1,1
3	25	1,27	3	3,6	1,0
4	30	1,3	4	4,0	0,9
5	25	1,33	5	4,5	0,8
6	20	1,24	6	4,9	0,7
7	15	1,21	7	5,5	0,6
8	10	1,25	8	6,0	0,5
9	5	1,31	9	6,4	0,4

Задача 2

Для теоретического цикла ДВС со смешанным подводом теплоты (рис. 1) определить количество подведенной теплоты q_1 , количество отведенной теплоты q_2 , полезную работу цикла $l_{ц}$ и термический КПД цикла η_t . Рабочее тело – воздух ($R = 287$ Дж/(кг·К), $c_p = 1006$ Дж/(кг·К)). Параметры воздуха в начале процесса сжатия $P_1 = 0,1$ МПа, t_1 . Заданы следующие характеристики цикла: $\varepsilon = v_1/v_2$; $\lambda = p_3/p_2$; $\rho = v_4/v_3$.

Определить также КПД цикла Карно, имеющего одинаковые с заданным циклом максимальную температуру и минимальную температуры. Исходные данные принять из табл. 2.

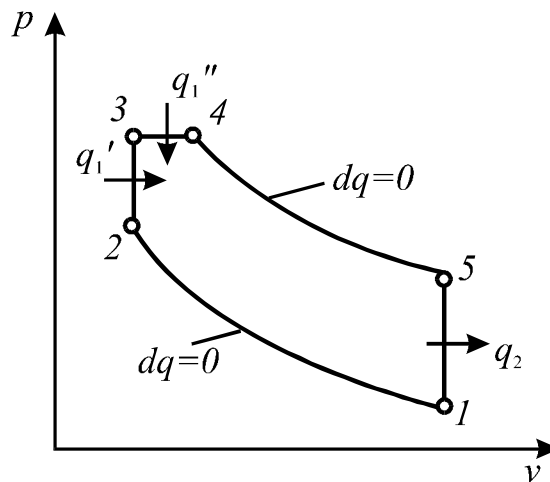


Рис. 1. Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты

Т а б л и ц а 2

Последняя цифра шифра	ε	t_1 , °C	Предпоследняя цифра шифра	ρ	λ
0	14	-20	0	1,9	1,0
1	15	-14	1	1,8	1,1
2	16	-10	2	1,7	1,2
3	17	-5	3	1,6	1,3
4	18	0	4	1,5	1,4
5	19	5	5	1,4	1,5
6	20	10	6	1,3	1,6
7	21	15	7	1,2	1,7
8	22	20	8	1,1	1,8
9	23	25	9	1,0	1,9

Задача 3

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина. Мощность турбины равна N . Пар перед турбиной имеет давление p_1 и температуру t_1 . Внутренний относительный КПД турбины η_{oi} . Температура охлаждающей воды на входе в конденсатор равна $t'_в$. Температура воды на выходе на 5°C меньше температуры насыщения при давлении в конденсаторе.

Определить термический и внутренний КПД цикла, удельный и часовой расход пара, количество теплоты, израсходованной на перегрев 1 кг пара, работу 1 кг пара и расход охлаждающей воды для конденсатора. Исходные данные принять из табл. 3.

Изобразить схему цикла в T, s и i, s – координатах.

РГР № 2. Основы теплообмена

Задача 1

Определить плотность теплового потока через стенку здания, выполненную из двух различных строительных материалов толщиной δ_1 и δ_2 . Определить температуры на внешних поверхностях стены и на границе между слоями, если температуры внутри помещения t_1 , снаружи – t_2 , коэффициент теплообмена с воздухом внутри помещения α_1 , коэффициент теплообмена с наружным воздухом на внешней поверхности стены α_2 . Начертить в масштабе график изменения температур по толщине стены. Исходные данные принять из табл. 4.

Задача 2

Определить потери теплоты с поверхности изолированного горизонтального цилиндрического теплообменника конвекцией и излучением, если наружный диаметр d , длина теплообменника l , температура наружной поверхности изоляции $t_{ст}$, температура

Т а б л и ц а 3

Последняя цифра шифра	p_1 , МПа	t_1 , °С	N , МВт	η_{oi}	Предпоследняя цифра шифра	p_2 , КПа	t'_B , °С
0	3,5	435	1,5	0,70	0	6	8
1	3,4	440	6,0	0,70	1	5	9
2	8,8	535	25	0,72	2	4	10
3	9,0	545	50	0,72	3	3	11
4	9,2	555	100	0,72	4	5	12
5	12,8	540	200	0,74	5	4	8
6	13,0	565	200	0,74	6	3	9
7	16,6	550	150	0,74	7	5	10
8	13,5	540	300	0,76	8	4	11
9	14,0	560	500	0,80	9	3	12

Т а б л и ц а 4

Последняя цифра шифра	Внутренний слой		t_1 , °С	α_1 , Вт/(м ² ·К)	Предпоследняя цифра шифра	Наружный слой		t_2 , °С	α_2 , Вт/(м ² ·К)
	толщина, мм	Материал δ_1				толщина, мм	Материал δ_2		
0	25	Доски сосновые	18	4,0	0	250	Кирпич красный	-50	16
1	30	Доски березовые	19	4,2	1	250	Кирпич силикатный	-45	17
2	20	ДСП	20	4,4	2	300	Бетон	-40	18
3	10	ДВП, $\rho = 150 \text{ кг/м}^3$	21	4,6	3	350	Кладка бутовая	-35	19
4	40	Штукатурка цементная	22	4,8	4	400	Кирпич сырец	-30	20
5	10	Фанера	21	5,0	5	450	Кирпич целевой	-25	21
6	10	ДВП, $\rho = 650 \text{ кг/м}^3$	20	5,2	6	500	Железо-бетон	-20	22
7	15	Сухая штукатурка	19	5,4	7	550	Арболит	-15	23
8	20	Войлок	18	5,6	8	600	Известняк-ракушечник	-10	24
9	15	Алебастровая плита	20	5,8	9	600	Шлако-бетон	-5	25

окружающего воздуха $t_{ж}$. Изоляция заключена в кожух, покрашена масляной краской, степень черноты которой $\varepsilon = 0,94$. Исходные данные принять из табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Последняя цифра шифра	d , мм	l , м	Предпоследняя цифра шифра	$t_{ст}$, °С	$t_{ж}$, °С
0	90	2	0	50	0
1	115	4	1	45	5
2	160	2	2	40	10
3	170	4	3	48	15
4	220	2	4	42	20
5	275	4	5	38	25
6	325	2	6	35	30
7	375	4	7	32	25
8	425	2	8	30	20
9	430	4	9	40	15

РГР № 3. Теплообменники

Задача 1

Определить поверхность нагрева кожухотрубного горизонтального пароводяного подогревателя системы отопления, если давление греющего пара p , степень сухости x . Внутренний диаметр труб $d_1 = 14$ мм, наружный – $d_2 = 16$ мм, материал труб – латунь. Температура воды на входе – t_2' , на выходе – t_2'' , расход воды G_2 . Среднее число труб в вертикальном ряду $n_{в}$. Внутренний диаметр кожуха $D_{вн}$, число труб n . Число ходов по воде – 4. Исходные данные принять из табл. 6.

Указания

1. Средний коэффициент теплообмена со стороны пара подсчитывается по формуле

$$\alpha_1 = \frac{0,609}{n^{0,07}} \left(\frac{g \lambda_{ж}^3 \rho_{ж} r x}{\nu_{ж} (t_{н} - t_{ст}) d_2} \right)^{0,25}.$$

Здесь $t_{н}$ – температура насыщения пара, °С;

$t_{ст}$ – температура стенки, °С;

$g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения;

$\lambda_{ж}$ – коэффициент теплопроводности конденсата, Вт/(м·К);

$\rho_{ж}$ – плотность конденсата, кг/м³;

$\nu_{ж}$ – кинематический коэффициент вязкости конденсата, м²/с;

r – теплота парообразования, Дж/кг;

x – степень сухости пара.

Величины $\lambda_{ж}$, $\rho_{ж}$, $\nu_{ж}$ выбираются при $t_{н}$ [4].

Для вычисления α_1 и α_2 необходимо знать $t_{ст}$. В первом приближении

Т а б л и ц а 6

Последняя цифра шифра	G_2 , кг/с	$D_{вн}$, мм	n , шт	$n_{в}$, шт	Предпоследняя цифра шифра	p , МПа	x	t_2' , °С	t_2'' , °С
0	2,0	152	36	6	0	0,4	0,98	50	90
1	2,5	250	52	6	1	0,45	0,95	50	95
2	3,5	365	88	8	2	0,5	0,92	50	100
3	5,5	410	100	8	3	0,55	0,98	60	105
4	8	410	100	8	4	0,6	0,95	60	110
5	10	519	216	13	5	0,65	0,92	60	115
6	14	519	216	13	6	0,7	0,98	70	120
7	20	620	328	16	7	0,5	0,95	70	125
8	22	620	328	16	8	0,6	0,92	70	130
9	25	620	328	16	9	0,7	0,98	75	140

можно задаться средней температурой стенки, равной среднеарифметическому значению между температурой пара и воды, т. е.

$$t_{ст} = [t_{н} + 0,5(t_2' + t_2'')]/2.$$

2. Коэффициент теплообмена между стенкой и водой α_2 рассчитывается по уравнению подобия для вынужденной конвекции. Уравнение выбирается в учебнике в зависимости от режима движения воды в трубах. Режим движения воды определяется по числу Рейнольдса Re . Физические параметры воды берутся из [4] при температуре

$$t_{ж} = (t_2' + t_2'')/2.$$

Скорость движения воды в трубах W_2 определяется по формуле

$$W_2 = \frac{G_2}{\rho_2 f_2},$$

где f_2 – площадь сечения труб на один ход, м².

3. Коэффициент теплопередачи от пара к воде можно вычислить по формуле для плоской стенки.

4. Поверхность нагрева подогревателя

$$F = Q/(k \cdot \Delta t_{ср}),$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

$\Delta t_{ср}$ – средний температурный напор, °С.

5. После вычисления F расчет уточняется. Из выражения для плотности теплового потока

$$q = k \cdot \Delta t_{\text{cp}} = \alpha_1 (t_{\text{н}} - t_{\text{ст}}^1)$$

определяется температура стенки $t_{\text{ст}}^1$ и сравнивается с $t_{\text{ст}}$, ранее принятой в п. 1. Если расхождение составляет более 2 %, то уточняют α_1 , α_2 , k , F .

6. Определить длину труб аппарата l .
7. Определить расход пара G_1 .
8. Рассчитать диаметры патрубков для входа и выхода греющего и нагреваемого теплоносителей. Скорость движения пара можно принять 15 м/с, воды – 1,2 м/с.
9. Нарисовать схему теплообменного аппарата с указанием основных размеров.

РГР № 4. Топливо, топки, котлы, теплоснабжение предприятий

Задача 1

Выбрать тип топки и определить КПД котла $\eta_{\text{ка}}$, расход топлива B и расход условного топлива $B_{\text{у}}$.

Паропроизводительность котла D , давление пара p , температура пара t , температура питательной воды $t_{\text{п.в}}$. Температура воздуха в помещении котельной $t_{\text{х.в}} = 30$ °С, температура уходящих газов $t_{\text{ух}}$, величина присосов воздуха в газоходах за топкой $\Delta\alpha_{\text{пр}}$. Исходные данные принять из табл. 7.

Указания

1. Тип топки выбирается из справочника [4].
2. Коэффициент избытка воздуха на выходе из котла

$$\alpha_{\text{ух}} = \alpha_{\text{T}} + \Delta\alpha_{\text{пр}}$$

3. Низшая теплота сгорания древесных отходов (кДж/кг) подсчитывается по формуле

$$Q_{\text{н}}^p = 18500 - 212W^p.$$

4. Потери теплоты с уходящими газами (%) определить по приближенной формуле

$$q_2 = \left(m + n\alpha_{\text{ух}} \frac{100 - q_4}{100} \right) \frac{t_{\text{ух}} - t_{\text{х.в}}}{100}$$

где m , n – зависят от вида топлива [4].

5. Величины α_{T} , q_3 , q_4 , q_5 выбрать из [4].

Задача 2

Определить максимальную паропроизводительность котельной предприятия, выбрать количество и тип котлоагрегатов. Принципиальная тепловая схема котельной показана на рис. 2. Исходные данные принять из табл. 8 и табл. 9, марку топлива – из табл. 7.

1. Расход теплоты на технологические нужды $Q_{\text{техн}}$; теплоноситель – сухой насыщенный пар давлением p . Температура конденсата, возвращаемого в котельную $t_{\text{к}}$.

Т а б л и ц а 7

П о с л е д н я я ц и ф р а ш и ф р а	Т о п л и в о Q_n^p , (МДж/кг; МДж/м ³)	D , т/ч	p , МПа	t , °С	П р е д п о с л е д н я я ц и ф р а ш и ф р а	$\Delta\alpha_{пр}$	$t_{ух}$, °С	$t_{п. в.}$, °С
0	Донецкий, А 22,6	2,5	1,0	Насыщ.	0	0,10	140	94
1	Донецкий, Т 24,2	4,0	1,3	250	1	0,12	150	96
2	Кузнецкий, Д 22,8	5,0	1,2	Насыщ.	2	0,14	160	96
3	Древесные отходы $W^p = 40\%$	6,0	1,3	Насыщ.	3	0,16	170	97
4	Канско-Ачинский, Б2 15,7	6,5	1,4	250	4	0,18	180	98
5	Подмосковный, Б2 10,4	8,0	1,3	Насыщ.	5	0,20	190	99
6	Древесные отходы $W^p = 50\%$	9,0	1,2	Насыщ.	6	0,21	200	100
7	Мазут мало- сернистый 40,3	10,0	3,9	440	7	0,22	210	101
8	Газ 37,4	20,0	2,3	370	8	0,23	220	102
9	Челябинский, Б3 14,0	7,0	1,1	Насыщ.	9	0,24	230	103

2. Расход теплоты на отопление в наиболее холодный период $Q_{от}^{макс}$.
Давление пара в сетевом подогревателе $p_{от}$. Температура конденсата после охладителя конденсата t'_k .

3. Расход горячей воды на производственные нужды $G_{г. в.}$, температура горячей воды t_g . От начальной температуры $t_x = 5$ °С вода нагревается насыщенным паром давлением $p_{от}$.

4. Расход пара давлением $p_{от}$ на вентиляцию и кондиционирование D_v .

Указания

1. Паропроизводительность котельной определяется как сумма расходов пара на технологию, отопление, горячее водоснабжение, вентиляцию и собственные нужды.

2. Расход пара на собственные нужды принять равным 6 % от расхода пара внешними потребителями.

3. Расход пара определяется из уравнений теплового баланса соответствующих теплообменников.

Потери теплоты от теплообменников в окружающую среду принять равными 2 % от передаваемой теплоты.

4. Рекомендуются к установке в котельной котлы типа КЕ и ДЕ [4].

Т а б л и ц а 8

Последняя цифра шифра	$Q_{\text{техн}} \cdot 10^{-3}$, кВт	p , МПа	$t_{\text{к}}$, °С	$G_{\text{г.в.}}$, кг/с	$t_{\text{г}}$, °С
0	1	2,4	60	0,2	72
1	2	2,3	70	0,4	70
2	3	2,2	80	0,6	68
3	4	2,1	60	0,8	66
4	5	2,0	70	1,0	64
5	6	1,4	80	1,2	62
6	7	1,3	60	1,4	60
7	8	1,2	70	1,6	58
8	9	1,1	80	1,8	56
9	10	1,0	70	2,0	54

Т а б л и ц а 9

Предпоследняя цифра шифра	$D_{\text{в}}$, кг/с	$Q_{\text{от}}^{\text{макс}} \cdot 10^{-3}$, кВт	$p_{\text{от}}$, МПа	$t'_{\text{к}}$, °С
0	0,2	2	0,3	62
1	0,4	3	0,35	64
2	0,6	4	0,4	66
3	0,8	5	0,45	68
4	1,0	6	0,5	70
5	0,2	7	0,55	72
6	0,4	8	0,6	74
7	0,6	2,5	0,65	76
8	0,8	4,5	0,7	78
9	1,0	6,5	0,75	80

СПИСОК ВЫПОЛНЯЕМЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Измерение температуры.
2. Измерение давления.
3. Определение коэффициента теплопроводности речного песка.
4. Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции воздуха около горизонтального цилиндра.
5. Определение коэффициента теплопередачи от воды к воде в теплообменнике типа “труба в трубе”.

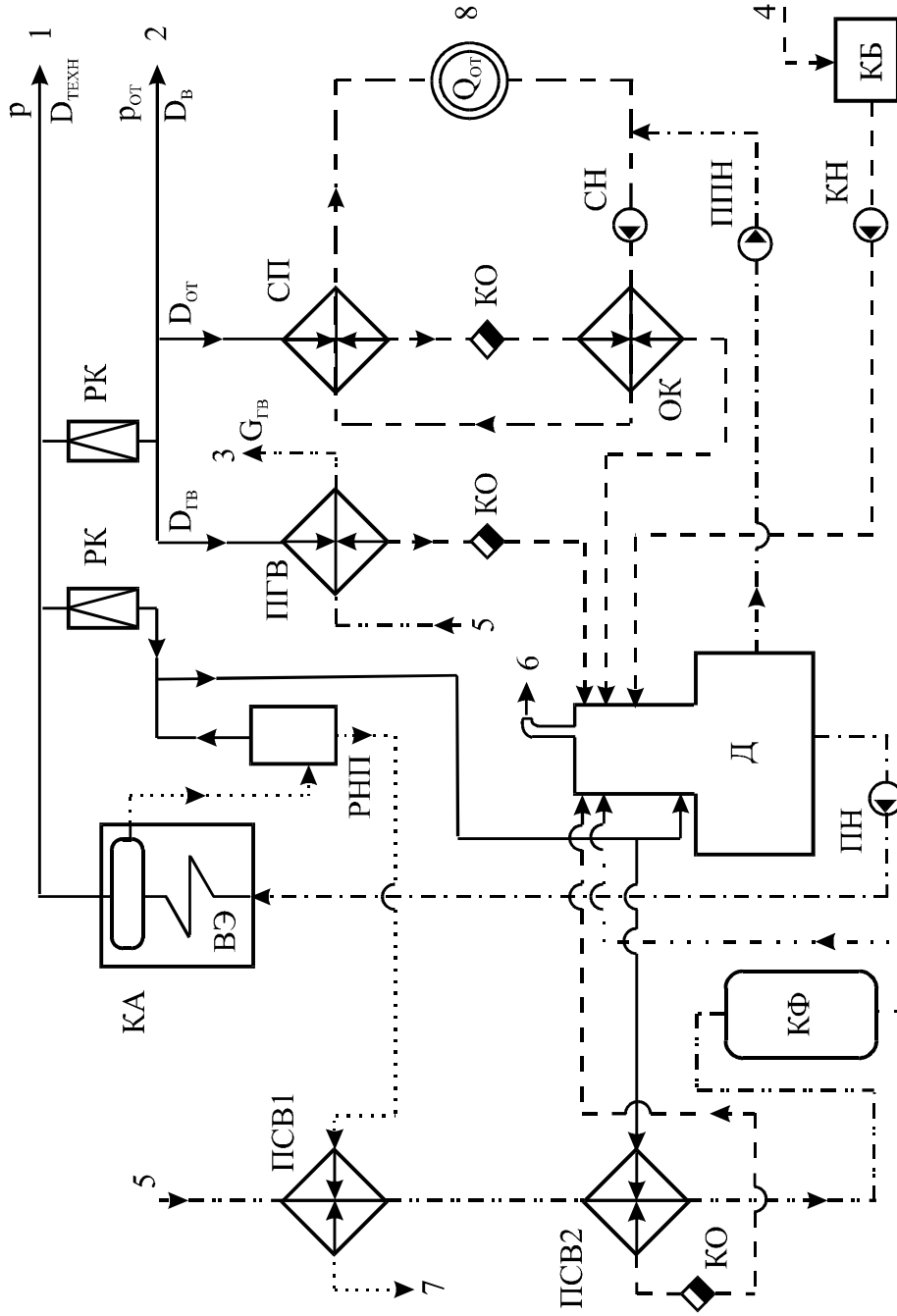


Рис.2 Принципиальная схема котельной:

— пар; — котловая вода; - - - - - сырая вода; - · - · - · сетевая вода; - · - · - · химически очищенная вода
 1— пар на технологию; 2— пар на вентиляцию; 3— горячая вода; 4— конденсат от технологических потребителей; 5— сырая вода; 6— выпар; 7— слив в канализацию; 8— отопительная нагрузка

Пояснения к схеме:

- КА – котлоагрегат;
- ВЭ – водяной экономайзер, теплообменник, в котором питательная вода подогревается уходящими из котла дымовыми газами;
- ПСВ1 и ПСВ2 – подогреватели сырой воды перед химводоподготовкой;
- КФ – катионитовый фильтр служит для умягчения сырой воды;
- Д – деаэратор, устройство для удаления из воды растворенных в ней газов;
- ПН – питательный насос служит для подачи питательной воды в котел;
- РК – редукционные клапаны; устройства, служащие для уменьшения давления пара от давления p до необходимого; в нашем случае до $p_{от}$ и 0,12 МПа;
- ПГВ – подогреватель системы горячего водоснабжения;
- СП – сетевой подогреватель: пароводяной теплообменник, в котором происходит нагрев сетевой воды за счет теплоты, выделяющейся при конденсации пара давлением $p_{от}$;
- ОК – охладитель конденсата: водоводяной теплообменник, в котором происходит нагревание сетевой воды за счет теплоты, выделяющейся при охлаждении конденсата, поступающего из сетевого подогревателя;
- СН – сетевой насос служит для подачи сетевой воды потребителю;
- ППН – подпиточный насос служит для подачи в тепловую сеть воды, компенсирующей потери сетевой воды;
- РНП – расширитель непрерывной продувки, т.е. расширитель воды, выпускаемой из котла для поддержания постоянной допустимой концентрации вредных примесей во внутрикотловой воде;
- КБ – конденсатный бак служит для сбора и отстоя конденсата технологических потребителей;
- КО – конденсатоотводчик.

Литература

1. Брдлик. П.М., Морозов А.В., Семенов Ю.П. Теплотехника и теплоснабжение предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности. –М.: Лесная промышленность, 1988. –453 с.
2. Семенов Ю.П., Левин А.Б. Техническая термодинамика: Учебное пособие. –М.: МГУЛ, 1999. –154 с.
3. Дмитроц В.А. Основы теплообмена: Учебное пособие. –М.: МГУЛ, 2001. –39 с.
4. Левин А.Б., Семенов Ю.П. Теплотехнический справочник студента. – М.: МГУЛ, 2002. – 114 с.
5. Сборник задач по теплотехнике и теплоснабжению предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности/ Под ред. Ю.П. Семенова. –М.: Лесная промышленность, 1986. –144 с.
6. Ривкин С.Л., Александров П.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. –М.: Энергия, 1980. –424 с.
7. Дмитроц В.А., Левин А.Б., Семенов Ю.П. Теплотехнический справочник инженера лесного и деревообрабатывающего предприятия. –М.: МГУЛ, 1999. –333 с.

Содержание

Предисловие.....	3
Программа курса.....	4
Расчетно-графические работы	10
РГР № 1. Компрессор, циклы ДВС и ПСУ.....	10
РГР № 2. Основы теплообмена.....	12
РГР № 3. Теплообменники.....	14
РГР № 4. Топливо, топки, котлы, теплоснабжение предприятий..	16
Список выполняемых лабораторных работ.....	18
Литература.....	21
Содержание.....	22

РЕЦЕНЗИЯ

на методические указания по теплотехнике для студентов
специальности 260100 заочного обучения

По новому учебному плану студенты спец. 260100 изучают дисциплины: “Физические основы теплотехники” – в IV семестре и “Теплотехнику” – в V семестре. Для усвоения этих курсов студентами доцентом кафедры теплотехники Дмитроцем В.А. подготовлены программа, методические указания и контрольные задания для студентов заочного обучения спец. 2601. Контрольные задания состоят из двух контрольных работ. Контрольная работа № 1 включает задачи по физическим основам теплотехники и контрольная работа № 2 – задачи по теплотехнике.

Решение этих задач, выполнение лабораторных работ поможет студентам усвоить основы этих курсов и подготовиться к экзаменам.

Считаю, что целесообразно внутривузовское издание этого пособия.

Рецензент, доцент кафедры
колесных и гусеничных машин

В.С. Извеков