

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ДОНЕЦКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕПЛОТЕХНИКИ

2005

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Донецкий национальный технический университет

Кафедра “Промышленная теплоэнергетика”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

для студентов общетехнических специальностей

Утверждено
на заседании кафедры
“Промышленная теплоэнергетика”
протокол № 2 от 29 сентября 2005 г.

Утверждено
на заседании учебно-издательского совета ДонНТУ
протокол № ____ от “ ____ ” _____ 2005 г.

Донецк, ДонНТУ, 2005

УДК 621.1

Методические указания и контрольные задания, “Теоретические основы теплотехники”, для студентов общетехнических специальностей. Сафьянц С.М., Константинов Г.Е., Колесниченко Н.В. – Донецк: ДонНТУ, 2005. - с.

Табл. 7. Библиограф. 12 назв.

Методические указания предназначены для студентов общетехнических специальностей заочной формы обучения, которые изучают дисциплину “Теоретические основы теплотехники”.

Методические указания содержат сведения, полезные при самостоятельном изучении курса “Теоретические основы теплотехники”, а также задания для контрольной работы со справочным материалом для ее выполнения.

Составители: С.М. Сафьянц
Г.Е. Константинов
Н.В. Колесниченко

Рецензент:

СОДЕРЖАНИЕ

стр

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	
ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ТЕМАМ КУРСА.....	
1 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА	
ТЕМА 1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	
ТЕМА 1.2 ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.....	
ТЕМА 1.3 ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.....	
ТЕМА 1.4 ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.....	
ТЕМА 1.5 ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ.....	
ТЕМА 1.6 ТЕРМОДИНАМИКА ПОТОКА.....	
ТЕМА 1.7 КОМПРЕССОРА.....	
ТЕМА 1.8 ЦИКЛЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ГАЗО- ТУРБИННЫХ УСТАНОВОК.....	
ТЕМА 1.9 ЦИКЛЫ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК.....	
ТЕМА 1.10 ЦИКЛЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН (ОБРАТНЫЕ ТЕРМОДИ- НАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ).....	
2 ТЕОРИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕНА.....	
ТЕМА 2.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	
ТЕМА 2.2 ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ.....	
ТЕМА 2.3 КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН.....	
ТЕМА 2.4 ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ.....	
ТЕМА 2.5 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ.....	
ЗАДАНИЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ.....	
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Курс «Теоретические основы теплотехники» состоит из двух теоретических курсов: «Техническая термодинамика» и «Тепломассообмен».

При изучении курса студенты-заочники самостоятельно работают над учебниками и учебными пособиями, выполняют контрольную работу.

Материал курса изучают по основному учебнику (см. список рекомендованной литературы). Для более подробного и глубокого изучения отдельных вопросов и в помощь при выполнении контрольных работ рекомендуется дополнительная литература. При самостоятельной работе над учебником необходимо добиваться отчетливого представления о физической сущности изучаемых явлений и процессов.

При изучении каждого раздела рекомендуется составлять конспект, который будет полезен при повторении материала, и решать задачи для закрепления теоретического материала.

В конце каждой темы и раздела приведены контрольные вопросы, по которым студент может проверить степень усвоения материала. При изучении курса по всем возникшим вопросам студент может получить консультацию на кафедре.

В контрольную работу входит четыре задачи: две из курса технической термодинамики и две из теории тепломассообмена.

ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ТЕМАМ КУРСА

1 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Программа. Предмет технической термодинамики и ее методы. Теплота и работа как формы передачи энергии. Рабочее тело. Термодинамическая система. Основные параметры состояния. Равновесное и неравновесное состояние. Уравнение состояния. Термическое уравнение состояния. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные процессы. 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, вычисления параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений.

Методические указания. Материалы этой темы, по существу, представляют собой необходимый комплекс определений и понятий, на базе которых излагаются последующие темы. Поэтому студент должен четко усвоить эти понятия и определения.

Литература [1, с. 6-11, 42—43]; [2, с. 6—12, 62—68].

Вопросы для самопроверки. Вопросы для самопроверки. 1. Что понимается под термодинамической системой?? 2. Каким числом независимых параметров характеризуется состояние рабочего тела? 3. Какое состояние называется равновесным и какое — неравновесным? 4. Что называется термодинамическим процессом? 5. Какие процессы называются равновесными и какие неравновесными? 6. Какие процессы называются обратимыми и какие необратимыми? 7. Каковы условия обратимости процессов?

ТЕМА 1.2 ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Программа. Сущность первого закона термодинамики. Формулировки первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики, принцип эквивалентности теплоты и работы. Выражение теплоты и работы через термодинамические параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтродия. Первый закон термодинамики для круговых (циклических) процессов. Теплоемкость. Массовая, объемная и мольная теплоемкости. Теплоемкость при постоянных давлении и объеме. Зависимость теплоемкости от температуры. Средняя и истинная теплоемкости. Формулы и таблицы для определения теплоемкостей. Теплоемкость смеси идеальных газов.

Дифференциальные соотношения термодинамики. Значение и использование дифференциальных соотношений.

Методические указания. Изучая эту тему, студент должен обратить внимание на принципиальное различие между внутренней энергией, как функцией состояния газа, и функциями процесса -теплотой и работой. Надо твердо усвоить, что если внутренняя энергия вполне определена для каждого заданного состояния газа, то работа и теплота вообще не существуют для отдельного состояния, а появляются лишь при наличии процесса (изменения состояния) и, естественно, зависят от характера этого процесса.

Литература: [1, с. 12—19]; [2 с. 16-30].

Вопросы для самопроверки. 1. Дайте формулировку и аналитическое выражение первого закона термодинамики. 2. Что такое «функция состояния» и «функция процесса»? Приведите примеры этих функций. 3. Когда теплота, работа и изменение внутренней энергии считаются положительными и когда отрицательными? 4. Почему внутренняя энергия и энтальпия идеального газа зависят только от одного параметра — температуры? 5. В чем отличие понятий «истинная теплоемкость» и «средняя теплоемкость»? 6. Какая из теплоемкостей идеального газа больше: истинная теплоемкость C_{p1} (при заданной t_1), истинная теплоемкость C_{p2} , (при заданной t_2), причем $t_2 > t_1$, средние теплоемкости $C_p|_0^{t_1}$; $C_p|_0^{t_2}$; $C_p|_{t_1}^{t_2}$? Покажите это графически, используя систему координат $C_p - t$. 7. Как с помощью дифференциальных соотношений термодинамики по

известному уравнению состояния определить u , h , s ?

ТЕМА 1.3 ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Программа. Сущность второго закона термодинамики. Основные формулировки второго закона термодинамики. Термодинамические циклы тепловых машин. Прямые и обратные циклы. Термодинамический КПД и холодильный коэффициент. Цикл Карно и его свойства. Термодинамическая шкала температур. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Изменение энтропии в необратимых процессах. Статистическое толкование второго закона термодинамики. Философское толкование второго закона термодинамики. Изменение энтропии изолированной термодинамической системы. Понятие об эксергии.

Методические указания. При изучении этой темы студент должен твердо усвоить следующие вопросы.

1. Так как КПД (η_t) цикла Карно всегда меньше единицы, не зависит от рода рабочего тела и имеет наибольшее значение по сравнению с η_t любых других циклов, ограниченных тем же интервалом температур, то: а) никакими новыми конструкциями тепловых двигателей или применением новых рабочих тел нельзя в цикле всю подведенную теплоту превратить в полезную работу; б) для увеличения η_t нужно стремиться к таким процессам, образующим цикл, чтобы средняя температура подвода теплоты была как можно больше, а средняя температура отвода теплоты как можно меньше.

2. Нельзя смешивать понятия «энтропия тела» и «энтропия системы». Между этими понятиями существует принципиальная разница. Энтропия, как функция состояния определенного тела (например, газа или пара) обладает вполне определенным свойством — изменение ее при протекании какого-либо процесса не зависит от характера процесса, а зависит лишь от параметров тела в начальном и ко-

нечном состояниях. Поэтому изменение ее $\Delta s = s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq}{T}$ может быть поло-

жительным, отрицательным или равным нулю в зависимости от того, подводится или отводится теплота от тела или процесс происходит без теплообмена. Энтропия не является функцией состояния системы, состоящей из нескольких тел (рабочее тело, холодильники и источники теплоты), каждое из которых ха-

рактируется своими параметрами. Поэтому на изменение энтропии системы влияет характер процесса теплообмена между рабочим телом и источниками теплоты. При протекании обратимых процессов энтропия системы остается постоянной: при необратимых процессах энтропия системы растет.

3. Теория Клаузиуса «тепловой смерти» Вселенной несостоятельна. Для этого можно привести следующие доводы: а) дифференциальные соотношения термодинамики несправедливы для микромира, в котором расстояния между частицами материи сравнимы с дифференциалом исследуемого объекта; б) решение дифференциальных уравнений в значительной мере зависит от конкретных условий на границе исследуемой области, но на границе бесконечной Вселенной эти условия неизвестны; в) в изложении Больцмана второй закон имеет статистическое толкование, т. е. не является абсолютным законом природы; г) экспериментальные данные (броуновского движения, новые данные астрономии, космических полетов и др.) также не согласуются с «теорией» Клаузиуса.

Литература: [1, с. 20—31], [2, с. 39—61]

Вопросы для самопроверки. 1. Какой цикл называется прямым и какой обратным? 2. Чем оценивается эффективность прямого и обратного циклов? 3. Для чего служат тепловые машины, работающие по прямому и обратному циклам? 4. Как связано изменение энтропии с теплотой и абсолютной температурой? 5. В чем сущность второго закона термодинамики? Приведите его основные формулировки. 6. Покажите с помощью Ts -диаграммы, что при заданных $T_{\text{макс}}$ и $T_{\text{мин}}$ η_t цикла Карно будет наибольшим по сравнению с η_t других циклов. 7. Покажите с помощью Ts -диаграммы, что η_t цикла Карно не может быть равным единице. 8. Как с помощью выражения $ds = dq/T$ показать, что в круговом процессе не вся подведенная теплота превращается в полезную работу, а часть ее отдается холодильнику? 9. Покажите, в чем состоит общность различных формулировок второго закона термодинамики.

ТЕМА 1.4 ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

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

Политропные процессы. Уравнение политропы. Определение показателя политропы. Анализ процессов на основе сравнения показателей политропы. Про-

цессы в координатах $p\nu$ и Ts . Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный—частные случаи политропного процесса. Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Свойства реальных газов. Фазовые равновесия и фазовые переходы. Теплота фазовых переходов. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки. Уравнение состояния реальных газов. Коэффициент сжимаемости. Пары. Основные определения. Процессы парообразования в $p\nu$ - Ts -диаграммах. Водяной пар. Термодинамические таблицы воды и водяного пара, $p\nu$, Ts , hs -диаграммы водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и hs -диаграммы.

Методические указания. Приступая к изучению этой темы, студент должен четко уяснить себе, что расчетные формулы, применявшиеся при изучении идеального газа, здесь, как правило, недействительны. Так, например, для идеального газа в процессе $T = \text{const}$ изменение внутренней энергии его равнялось нулю, а для пара при $T = \text{const}$ не равно нулю. Линии, изображающие основные термодинамические процессы в $p\nu$ - и Ts -диаграммах, в общем случае различны для газа и пара. При расчете паров мы не имеем такого простого и точного уравнения состояния, как для идеального газа. Поэтому процессы и циклы с паром рассчитываются с помощью таблиц и hs -диаграммы.

При рассмотрении отдельных видов уравнения состояния реального газа (уравнение Ван-дер-Ваальса и др.) необходимо ясно представлять, на каком физическом фундаменте строились эти уравнения и как из них, получить уравнение состояния; идеального газа.

Литература: [1, с 32—41]; [2. с. 31—36, 92—102].

Вопросы для самопроверки. 1. Как называется процесс, в котором вся подведенная теплота идет на увеличение внутренней энергии? 2. Как называется процесс, в котором вся подведенная теплота идет на совершение работы? 3. Как называется процесс, в котором работа совершается лишь за счет уменьшения внутренней энергии? 4. Как называется процесс, в котором подведенная к рабочему телу теплота численно равна изменению энтальпии? Какая доля подведенной теплоты в этом случае идет на совершение работы? 5. Какой процесс называется политропным? 6. Покажите в $p\nu$ -диаграмме работу газа в адиабат-

ном процессе. 7. Можно ли уравнение $n \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0$ при $n \neq \text{Const}$ назвать дифференциальным уравнением политропы идеального газа? 8. При каких значениях показателя политропы n можно получить уравнения основных термодинамических процессов? В чем состоит обобщающее значение политропного процесса? 9. Изобразите схематично в Ts -диаграмме процесс сжатия $p v^{1,2} = \text{const}$ и покажите, какими площадками будут изображаться q , Δu , l . 10. Почему в Ts -диаграмме изохора идет круче, чем изобара, а в $p v$ -диаграмме адиабата идет круче изотермы? 11. Как в Ts -диаграмме по заданной кривой процесса определить знак q и Δu ? 12. Что такое испарение и кипение? 13. Какой пар называется сухим насыщенным? 14. Каков физический смысл пограничных кривых? Какой пар называется перегретым и что такое степень перегрева? 15. Какой пар называется влажным насыщенным и что такое степень сухости? 16. Как определить удельный объем, энтальпию, энтропию влажного пара? 17. Как изменяется теплота парообразования с увеличением давления? 18. Чем характерна критическая точка? 19. Какими параметрами можно охарактеризовать состояние влажного, сухого и перегретого пара? 20. Изобразите $p v$ - и Ts -диаграммы водяного пара и покажите в них характерные области и линии фазовых переходов. 21. Изобразите основные термодинамические процессы с паром в $p v$ - и Ts -диаграммах. Приведите формулы для определения работы, теплоты, изменения внутренней энергии. 22. Как меняются в зависимости от давления энтальпия сухого насыщенного пара, энтальпия жидкости и теплота парообразования? 23. Что учитывается при выводе уравнения Ван-дер-Ваальса? 24. Чем характерна тройная точка? Каковы значения ее параметров для воды? 25. Дайте формулировку правила фаз.

ТЕМА 1.5 ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ

Программа. Определение понятия «влажный: воздух». Влагосодержание, абсолютная и относительная влажность воздуха. Температура точки росы. hd -диаграмма влажного воздуха.

Методические указания. При изучении этой темы необходимо ознакомиться с основными формулами для расчета параметров влажного пара, приобрести навыки в пользовании hd -диаграммой.

Литература: [1, с. 44—46]; [2, с. 147—150].

Вопросы для самопроверки. 1. Дайте определение влажного воздуха. 2. Что такое насыщенный и ненасыщенный влажный воздух? 3. Что такое абсолютная и относительная влажность, влагосодержание? 4. В чем особенность единицы энтальпии влажного воздуха? 5. Что такое температура точки росы? 6. Почему в hs -диаграмме процесс сушки в идеальной сушильной установке протекает при неизменной энтальпии?

ТЕМА 1.6 ТЕРМОДИНАМИКА ПОТОКА

Программа. 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 Лавалю. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью hs -диаграммы. Действительный процесс истечения. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса. Изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля — Томсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов. Понятие о температуре инверсии. Практическое использование процесса дросселирования. Условное изображение процесса дросселирования в hs -диаграмме.

Методические указания. При изучении этой темы студент должен обратить внимание на те допущения, которые кладутся в основу вывода уравнения энергии газового потока. Следует твердо знать условия перехода от дозвуковых скоростей потока к сверхзвуковым, уметь рассчитывать сужающееся сопло и сопло Лавалю. Надо знать, как влияет трение на течение газа или пара и уметь изобразить процессы течения с трением в Ts и hs -диаграммах, уметь объяснить, что такое давление и температура заторможенного потока. Нужно уяснить принципиальную разницу между адиабатным дросселированием, при котором $q = 0$, а $\Delta s > 0$, и адиабатным обратимым процессом расширения, при котором $q = 0$ и $\Delta s = 0$. Необходимо понять смысл температуры инверсии и инверсионной кривой, чтобы объяснить возможность сжижения газов в процессе дросселиро-

вания.

Литература: [1, с. 47—55, 58-59]; [2, с. 132—146]

Вопросы для самопроверки. 1. Напишите уравнение энергии газового потока и дайте объяснение отдельным членам, входящим в него. 2. Что такое работа проталкивания и какой она может иметь знак? 3. Что такое техническая работа? Как показать ее в $p\nu$ -диаграмме? 4. Каков физический смысл критической скорости? Почему в закритической области расход газа не зависит от перепада давлений? 5. Что такое сопло и диффузор? 6. Как связано изменение площади поперечного сечения канала с изменением скорости и числом M ? 7. При каких условиях режим течения в сопле Лаваля становится нерасчетным? 8. Какой процесс называется дросселированием? 9. Как протекает процесс адиабатного дросселирования? 10. Как изменяются параметры влажного пара при дросселировании? Как и в зависимости от чего меняется температура реального газа при дросселировании?

ТЕМА 1.7 КОМПРЕССОРА

Программа. Поршневой компрессор. Принцип действия. Работа, затрачиваемая на привод компрессора. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Термодинамическое обоснование многоступенчатого сжатия. Изображение в $p\nu$ - и Ts -диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах. Необратимое сжатие. Относительный внутренний КПД компрессора. Понятие о центробежном компрессоре.

Методические указания. При изучении поршневых компрессоров студент должен уяснить два важных положения: а) причины применения многоступенчатых компрессоров и б) целесообразность применения промежуточного охлаждения, а также охлаждения самих цилиндров компрессоров.

Литература: [1, с. 56—57], [2, с. 69—74].

Вопросы для самопроверки. 1. Как зависит работа привода компрессора от показателя политропы сжатия? Какова связь между работой привода (технической) и работой процесса сжатия? 2. Можно ли в одноступенчатом поршневом

компрессоре получить любое конечное давление, и если нельзя, то по каким причинам? 3. Как влияет вредное пространство на производительность компрессора? 4. Как влияет показатель политропы сжатия на конечную температуру газа в одноступенчатом компрессоре? 5. В каком из поршневых компрессоров (быстроходном или тихоходном) показатель политропы сжатия будет больше?

ТЕМА 1.8 ЦИКЛЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Программа. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Цикл ДВС с изохорным подводом тепла (Отто). Цикл ДВС с изобарным подводом тепла (Дизеля). Цикл ДВС со смешанным подводом тепла (Тринклера). Циклы газотурбинных установок. Понятие о циклах реактивных двигателей. Анализ циклов. Изображение циклов в диаграммах $p-v$ и $T-s$. Термический КПД цикла теплового двигателя. Внутренний относительный КПД и внутренний абсолютный КПД цикла. Методы повышения КПД.

Методические указания. При изучении идеальных циклов газовых двигателей нужно обратить внимание на следующее. 1. В связи с тем, что технические процессы, протекающие с большими скоростями, можно в первом приближении считать адиабатными, то процессы расширения и сжатия в любых газовых двигателях (поршневых и газотурбинных) можно принимать адиабатными. 2. Принципиальное отличие циклов газотурбинных установок от циклов поршневых двигателей заключается лишь в процессе отвода теплоты. В газотурбинных установках и реактивных двигателях осуществляется полное расширение газов до давления окружающей среды, поэтому процесс отвода теплоты принимается изобарным. В поршневых двигателях газы выбрасываются из цилиндра с давлением, в 2—4 раза большим атмосферного. Поэтому процесс отвода теплоты принимается изохорным. 3. Процесс подвода теплоты не характеризует принадлежность рассматриваемого теплового двигателя к той или иной группе (как для газотурбинного двигателя, так и для поршневого он может быть и изохорным и изобарным). 4. Термический КПД любого цикла растет с увеличением степени сжатия. При анализе циклов ДВС необходимо обратить внимание на то, при каких условиях у цикла Отто термический КПД выше, чем у цикла Дизеля, а при каких наоборот.

Литература: [1, с. 60—64]; [2, с. 75—90].

Вопросы для самопроверки. 1. Какой цикл называется идеальным? 2. Почему процессы сжатия или расширения во всех идеальных циклах тепловых двигателей принимаются адиабатными? 3. Можно ли по характеру процесса подвода теплоты узнать, какой цикл рассматривается (поршневой или газотурбинный двигатель)? 4. Циклы каких двигателей характеризует изохорный отвод теплоты и почему? 5. С ростом какого параметра увеличивается термический КПД любого цикла? 6. Чем ограничивается степень сжатия у различных типов поршневых двигателей? 7. Чем ограничивается и как выбирается степень повышения давления у газотурбинных двигателей?

ТЕМА 1.9 ЦИКЛЫ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Программа. Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина. Изображение цикла в p - v -, T - s - и h - s -диаграммах. Пути повышения экономичности паросиловых установок, теплофикационный цикл. Бинарный и парогазовый циклы. Понятие о циклах атомных силовых установок.

Методические указания. Рассматривая циклы паросиловых установок, следует обратить внимание на вопросы: а) почему для пара цикл Карно не применяется, хотя изотермические; процессы с влажным паром осуществляются достаточно просто? б) каковы преимущества цикла Ренкина перед циклом Карно? в) каковы способы повышения экономичности паросиловой установки?

Литература: [1, с. 65—69]; [2, с. 103—121].

Вопросы для самопроверки. 1. Как изображается работа насоса в p - v -диаграмме для цикла Ренкина и цикла Карно? 2. От каких параметров и как зависит η_t цикла Ренкина? 3. Как меняется степень сухости пара за турбиной при увеличении давления пара турбиной при постоянной начальной температуре? В чем вред работы турбины на паре с большой степенью влажности? 4. Как влияет начальная температура перегретого пара на степень сухости его при выходе из турбины? 5. Для чего применяется вторичный перегрев пара? 6. Что да-

ет и как осуществляется регенеративный подогрев питательной воды? 7. Что дает применение парогазовых циклов? 8. Как влияет на КПД цикла Ренкина и степень сухости пара за турбиной процесс дросселирования перед турбиной? 9. В чем сущность и экономическая целесообразность совместной выработки электроэнергии и теплоты? 10. Какой параметр характеризует экономичность работы теплоэлектростанции?

ТЕМА 1.10 ЦИКЛЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН (ОБРАТНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ)

Программа. Циклы холодильных установок. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Цикл паровой и воздушной компрессорной холодильной установки. Характеристика холодильных агентов, применяемых в паровых холодильных установках. Понятие об абсорбционных и пароэжекторных холодильных установках. Трансформаторы: сущность термотрансформации, коэффициент преобразования теплоты, циклы понижающего и повышающего термотрансформаторов, циклы совместного получения теплоты и холода.

Методические указания. При изучении циклов различных холодильных установок следует обратить внимание на то, что как для тепловых двигателей, так и для холодильных машин эталоном является цикл Карно. Термический КПД цикла Карно определяется формулой $\eta_t = 1 - \frac{T_{мин}}{T_{макс}}$, где $T_{мин}$ – температура холодильника (она же - минимальная температура термодинамической системы); $T_{макс}$ – температура горячего источника (она же максимальная температура системы). Термические КПД любых циклов сравниваем с η_t цикла Карно в этих же пределах температур. Для холодильных установок холодильником является внешняя атмосфера или водопроводная вода, у которой температура ниже температуры хладагента, а источником теплоты - содержимое холодильной камеры, у которого температура выше температуры хладагента. Поэтому эквивалентным циклом Карно для холодильной установки будет цикл, осуществляемый не между $T_{мин}$ и $T_{макс}$ (в случае холодильных: компрессорных установок $T_{мин}$ - температура хладагента после детандера, а $T_{макс}$ - температура хладагента после компрессора), а между температурами холодильника (воздух, вода) и источника (охлаждаемые предметы в холодильной камере).

Кроме того, необходимо уяснить, почему в воздушных компрессорных

установках не применяется процесс дросселирования, почему паровые компрессорные установки имеют холодильный коэффициент значительно больший, чем воздушные.

Литература: [2, с. 151 —160].

Вопросы для самопроверки. 1. Какой параметр характеризует эффективность холодильной установки? 2. Каковы основные недостатки воздушной компрессорной холодильной установки? 3. Изобразите в Ts -диаграмме цикл воздушной компрессорной холодильной установки и эквивалентный ей обратный цикл Карно. 4. Почему в паровых холодильных установках целесообразно применять процесс дросселирования, а в воздушных — адиабатное расширение в турбине? 5. Какими свойствами должны обладать хладагенты? 6. Какими способами получают сжиженные газы? 7. Как работает тепловой насос?

2 ТЕОРИЯ ТЕПЛОМАССООБМЕНА

ТЕМА 2.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Программа. Предмет и задачи теории теплообмена. Значение теплообмена в промышленных процессах. Основные понятия и определения. Температурное поле. Тепловой поток, плотность теплового потока. Температурный градиент. Стационарное и нестационарные температурные поля. Виды переноса теплоты. Теплопроводность, конвекция и излучение. Сложный теплообмен.

Литература: [1, с. 72—73]; [2, с. 161 —163].

ТЕМА 2.2 ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Программа. 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 одно-

слойной и многослойной плоской и цилиндрической стенки 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. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор целесообразного материала тепловой изоляции.

Нестационарный процесс теплопроводности. Методы решения задач нестационарной теплопроводности. Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины. Граничные условия I, II и III рода. Регулярный режим охлаждения (нагревания) тел. Теплопроводность тела с внутренними источниками теплоты.

Методические указания. Рассматривая теплопроводность элементарных тел (пластинка, труба, шар), студент должен уметь применить закон Фурье для каждого случая, т. е. вывести уравнения, определяющие закон распределения температур по толщине стенки и количество теплоты, передаваемой через стенку. При изучении процесса теплопередачи через стенку уметь анализировать влияние отдельных термических сопротивлений на общее сопротивление, а также знать способы уменьшения термических сопротивлений. В нестационарной теплопроводности обратить внимание на решение конкретных задач с помощью критериев Био (Bi) и Фурье (Fo), твердо усвоив их физический смысл и влияние на протекание процессов нагрева или охлаждения.

Литература: [1, с. 73—75, 118—122]; [2, с. 164—177].

Вопросы для самопроверки. 1. Как передается теплота в процессе теплопроводности? 2. Сформулируйте основной закон теплопроводности. 3. Каков закон распределения температуры по толщине плоской и цилиндрической стенок? 4. При каком условии расчет цилиндрической стенки можно заменить расчетом плоской стенки? 5. Всегда ли с увеличением толщины изоляции цилиндрической трубы тепловой поток через нее уменьшается? По какому условию выбирается изоляция трубы? 6. Какова методика расчета нагрева и охлаждения простейших тел с помощью критериев Био и Фурье?

ТЕМА 2.3 КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН

Программа. Основные положения учения о конвективном теплообмене. Физическая сущность конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона — Рихмана. Дифференциальные уравнения теплообмена; уравнение движения вязкой жидкости, уравнение теплопроводности для потока движущейся жидкости, уравнение теплоотдачи на границе потока и стенки, уравнение закона сохранения массы. Условия однозначности к дифференциальным уравнениям конвективного теплообмена. Основные положения теории пограничного слоя. Местный и средний коэффициенты теплоотдачи.

Основы теории подобия и моделирования. Основные определения. Условия подобия физических явлений. Теоремы подобия. Критериальные уравнения, определяющие критерии. Метод моделирования. Физический смысл основных критериев подобия. Анализ размерностей. Понятие о математическом моделировании.

Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при движении жидкости вдоль плоской поверхности; теплоотдача при ламинарном и турбулентном пограничном слое; расчетные уравнения. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах; теплоотдача при ламинарном и турбулентном течениях жидкости в гладких и шероховатых, прямых и изогнутых трубах, круглого и некруглого сечения. Расчетные уравнения. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб коридорно и шахматно расположенных. Расчетные уравнения.

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.

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 процессов теплообмена при пузырьковом и пленочном режимах кипения. Кризисы кипения. Теплоотдача при пузырьковом и пленочном кипении жидкости в большом объеме. Расчетные уравнения для определе-

ния коэффициента теплоотдачи.

Методические указания. Наиболее труден для исследования конвективный теплообмен. Действительно, для расчета передачи теплоты конвекцией необходимо знать числовые значения коэффициента теплоотдачи а для каждого конкретного случая, но а не является физической константой, так как этот коэффициент характеризует не отдельное тело, а тепловое взаимодействие двух тел: жидкости (или газа) и твердого тела. Поэтому α зависит от большого количества факторов. Система уравнений, определяющая конвективный теплообмен и, следовательно, позволяющая (в принципе) определить α , может быть решена только для ограниченного числа простейших случаев и то с определенными допущениями. Получение числовых значений а из эксперимента на натуре экономически нецелесообразно: необходимо провести громадное количество опытов, чтобы выяснить влияние на а каждого из действующих факторов, причем мы получим ответ лишь для частного случая исследуемого объекта. Дело осложняется еще и тем, что различные величины, от которых зависит α , часто связаны между собой; например, при изменении температуры меняется вязкость, теплоемкость, коэффициент теплопроводности и др. Выход из положения дает теория подобия. Она, во-первых, дает возможность проводить эксперименты не на натуре, а на модели, и результаты опытов на модели распространить на все подобные явления; во-вторых, основываясь на системе дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, она четко определяет условия подобия физических явлений и процессов. Обработка экспериментальных данных в критериальной форме позволяет выявить главные факторы, влияющие на величину α , и отбросить второстепенные. Рассматривая, например, вынужденное движение жидкости в трубе и считая температуру жидкости и стенки трубы различными, можно определить тепловой поток между ними. Для этого необходимо знать коэффициент теплоотдачи α . Желательно иметь данные по величине α не только для выбранной трубы, рода жидкости и ее скорости, но и для других условий. Это оказывается возможным с помощью теории подобия. Определяемый критерий Нуссельта Nu , в который входит α ($Nu = \alpha l / \lambda$), при вынужденном движении жидкости зависит в основном от двух параметров: критерия Рейнольдса $Re = wl/v$ определяющего характер движения жидкости, и критерия Прандтля $Pr = \nu/a$, определяющего физические свойства жидкости. Следовательно, $Nu = f(Re, Pr)$. Замеряя величины, входящие в критерии, в серии опытов получим таблицы, определяющие величину Nu (а следовательно, и α) в зависи-

мости от значений Re и Pr . Результаты эти обычно представляют приближенно в виде степенной функции $Nu = cRe^m Pr^n$

По формулам такого типа обычно и рассчитывают коэффициент теплоотдачи α . Студент должен четко уяснить физический смысл основных критериев (Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Нуссельта) и применять при расчетах те критериальные зависимости, которые соответствуют конкретному виду задачи. Переходя к изучению отдельных видов теплообмена, а также конкретных задач, необходимо внимательно изучить те предположения и допущения, на базе которых строится их решение. Поэтому одной из основных задач студента при изучении этой темы является четкое усвоение ответов на следующие вопросы: 1. Каким образом (с помощью каких исходных аналитических зависимостей) находятся определяющие критерии? 2. Какой критериальной зависимостью следует воспользоваться для конкретного случая расчета коэффициента теплоотдачи α ? (Для этого нужно определить характер движения — ламинарный или турбулентный и природу его возникновения — свободное или вынужденное.) 3. Каковы определяющий размер и определяющая температура? (За определяющую температуру при экспериментах выбирается или температура поверхности стенки, или средняя температура жидкости и стенки. На выбор той или иной температуры указывает соответствующий индекс у критериев.) 4. Находятся ли параметры задачи в интервале значений критериев, для которого справедлива выбранная формула?

Литература: [1, с. 79—102]; [2, с. 178—206].

Вопросы для самопроверки. 1. Сформулируйте основной закон теплоотдачи конвекцией. 2. Какой критерий характеризует вынужденную конвекцию? 3. Из каких уравнений выводятся критерии Re , Gr , Pr и Nu ? 4. Какой критерий характеризует свободную конвекцию? 5. Что характеризует критерий Нуссельта? 6. Что такое определяющая температура и определяющий размер? 7. Почему при обтекании стенки жидкостью в непосредственной близости от поверхности стенки температурный градиент резко увеличивается? 8. В чем особенности теплоотдачи при кипении воды и конденсации водяного пара? Какие режимы кипения вам известны?

ТЕМА 2.4 ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ

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

Методические указания. При изучении этой темы студент должен прежде всего уяснить принципиальное отличие теплообмена излучением от теплообмена теплопроводностью и конвекцией. В процессе теплообмена излучением осуществляется двойное превращение энергии — сначала тепловой энергии в энергию электромагнитного излучения, а затем энергии электромагнитного излучения в тепловую энергию. Поскольку тела поглощают лишь часть энергии электромагнитного излучения (частично отражая или пропуская ее через себя), основным вопросом при исследовании теплообмена излучением является вопрос о количественном соотношении между отраженной, поглощенной и пропущенной через тело энергиями. Действительно, при защите объектов от лучистой энергии на пути распространения ее нужно ставить экраны, максимально отражающие лучистую энергию. Наоборот, при необходимости получения максимального количества тепловой энергии за счет лучистой нужно телу, воспринимающему лучистую энергию, придать такие свойства, чтобы оно поглощало максимум ее (покрытие поверхности тела краской, шероховатость поверхности тела). И наконец, если требуется, чтобы максимум лучистой энергии пропускался через твердую стенку (например, свет), то выбирается стенка с соответствующими свойствами. Основные законы излучения и экспериментальные данные свойств отдельных тел позволяют решать конкретные задачи, связанные с лучистым теплообменом. Поэтому студенту необходимо четко усвоить законы Планка, Вина, Кирхгофа, Стефана – Больцмана, методику и границы их применения. Так как в практике, как правило, участвуют все виды теплообмена (теплопроводность, конвекция и излучение) совместно, то студент при решении тех или иных задач должен достаточно четко представлять себе: а) все ли виды теплообмена имеются в рассматриваемом случае? б) какой из видов теплообмена является преобладающим по сравнению с другими? в) можно ли пренебречь каким-либо видом теплообмена с целью упрощения решения задачи (без боль-

ших погрешностей)?

Литература: [1, с. 103—111]; [2, с. 210—218].

Вопросы для самопроверки. 1. Какие длины волны ограничивают видимые и какие – тепловые лучи? 2. Что происходит с лучистой энергией, падающей на поверхность твердого тела? Что такое абсолютно черное, абсолютно белое и диатермическое тело? 3. Что графически изображает закон Планка? Можно ли и как на этом графике показать излучательную способность тела? 4. Сформулируйте закон смещения Вина и объясните его связь с законом Планка. 5. О чем говорит закон Кирхгофа и каково его практическое применение? 6. Сформулируйте закон Стефана — Больцмана и объясните его связь с законом Планка. 7. Дайте определение абсолютно черного и серого тел, поглощательной способности и степени черноты. 8. Докажите, что коэффициент поглощения серого тела равен его степени (коэффициенту) черноты. 9. Что такое «эффективное излучение»? Чем оно отличается от собственного излучения? 10. Для чего нужны экраны и какими свойствами они должны обладать? 11. Как определяется лучистый поток между параллельными плоскими стенками и для тела, находящегося внутри другого полого тела? 12. Что такое сплошной и селективный спектры излучения? У каких тел они наблюдаются? 13. Каковы особенности излучения газов? 14. Какие газы можно считать прозрачными для тепловых лучей? 15. Как определяется степень (коэффициент) черноты газовой среды?

ТЕМА 2.5 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Программа. Теплопередача в теплообменниках. Основные схемы движения и теплообмена потоков теплоносителей. Теплоносители, их основные характеристики. Требования, предъявляемые к теплоносителям. Уравнения для теплового потока и средней разности температур любой схемы теплообмена; сложный теплообмен. Методы интенсификации теплопередачи. Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов. Принцип расчета теплообменных аппаратов. Конструктивный и поверочный тепловые расчеты теплообменных аппаратов. Основы гидродинамического расчета теплообменных аппаратов.

Методические указания. При изучении этой темы студент должен обратить внимание на способы интенсификации теплообмена в теплообменниках, уметь анализировать влияние на коэффициент теплопередачи различных факторов и определять решающие из них. Усвоить методику вывода формулы среднего температурного напора для рекуперативных теплообменников, знать ограничения, допущенные при выводе ее, уметь рассчитывать теплообменники при различных схемах движения теплоносителей (противоток и прямоток), а также анализировать полученные результаты.

Литература: [1, с. 112—117, 121 — 128]; [2, с. 219—227].

Вопросы для самопроверки. 1. Чем отличается теплопередача от теплоотдачи? 2. Как по графику $t = f(R)$, где R — термическое сопротивление, определить температуру стенок? 3. При $\alpha_1 \gg \alpha_2$ какой из коэффициентов теплоотдачи следует увеличить для увеличения коэффициента теплопередачи K . 4. Какие виды теплообменных аппаратов вы знаете? 5. Где применяют рекуперативные теплообменники? 6. На основе каких исходных уравнений построено определение поверхности рекуперативных теплообменников? 7. При каких предположениях выводятся формулы, определяющие среднелогарифмический температурный напор? 8. Когда среднелогарифмический температурный напор можно заменить среднеарифметическим? 9. Какие преимущества имеет противоточная схема теплообменника перед прямоточной? В каких случаях эти схемы эквивалентны?

ЗАДАНИЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

К решению задач контрольного задания следует приступать только после изучения соответствующего раздела курса. Только сознательное (не «механическое») решение задачи приносит пользу и помогает закреплению знаний. Перед выполнением контрольной работы рекомендуется ознакомиться с ходом решения аналогичных задач по учебной литературе. Следует стараться запомнить и примерные значения параметров задачи (исходных и вычисленных): они также содержат полезную информацию.

Контрольные задачи составлены по стовариантной (численной) системе, в которой к каждой задаче исходные данные выбираются из соответствующих таблиц по последней и предпоследней цифрам шифра (личного номера) студен-

та-заочника. Работы, выполненные не по своему варианту, не рассматриваются.

При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие условия:

- а) выписывать условие задачи и исходные данные;
- б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором указывать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся (из условия задачи, из справочника или были определены выше и т. д.);
- в) вычисления проводить в единицах СИ, показывать ход решения. После решения задачи нужно дать краткий анализ полученных результатов и сделать выводы. Всегда, если это возможно, нужно осуществлять контроль своих действий и оценивать достоверность полученных числовых данных;
- г) в конце работы привести список использованной литературы и поставить свою подпись;
- д) для письменных замечаний рецензента оставлять чистые поля в тетради и чистые 1,2 страницы в конце работы;
- е) исправления по замечанию рецензента должны быть записаны отдельно на чистых листах в той же тетради после заголовка «Исправления по замечаниям»;
- ж) работа, в которой вышеназванные пункты не выполнены, не проверяется.

Задача 1. Газ — воздух с начальной температурой $t_1 = 27^\circ\text{C}$ сжимается в одноступенчатом поршневом компрессоре от давления $p_1 = 0,1$ МПа до давления p_2 . Сжатие может происходить по изотерме, по адиабате и по политропе с показателем политропы n . Определить для каждого из трех процессов сжатия конечную температуру газа t_2 ; отведенную от газа теплоту Q , кВт, и теоретическую мощность компрессора, если его производительность G . Дать сводную таблицу и изображение процессов сжатия в pV - и Ts -диаграммах. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы 1.

Указание. Расчет провести без учета зависимости теплоемкости от температуры.

Таблица 1 – Исходные данные к задаче 1

Последняя цифра шифра	n	Предпоследняя цифра шифра	p_2 , МПа	$10^{-3} \cdot G$, кг/ч
0	1,25	0	0,9	0,3
1	1,22	1	1,0	0,4
2	1,24	2	0,85	0,5
3	1,21	3	0,8	0,6
4	1,20	4	0,95	0,7
5	1,30	5	0,9	0,8
6	1,27	6	0,85	0,9
7	1,26	7	0,9	1,0
8	1,33	8	0,8	1,1
9	1,23	9	0,85	1,2

Задача 2. Водяной пар с начальным давлением $p_1 = 3$ МПа и степенью сухости $x_1 = 0,95$ поступает в пароперегреватель, где его температура повышается на Δt ; после перегревателя пар изоэнтропно расширяется в турбине до давления p_2 . Определить (по hs -диаграмме) удельное количество теплоты (на 1 кг пара), подведенной к нему в пароперегревателе, работу цикла Ренкина и степень сухости пара x_2 в конце расширения. Определить также термический КПД цикла. Определить работу цикла и конечную степень сухости, если после пароперегревателя пар дросселируется до давления p_1' . Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы 2.

Таблица 2 - Исходные данные к задаче 2

Последняя цифра шифра	Δt , °С	Предпоследняя цифра шифра	p_2 , кПа	p_1' , МПа
0	250	0	3,0	0,50
1	245	1	3,5	0,48
2	240	2	4,0	0,46
3	235	3	4,5	0,44
4	230	4	4,0	0,42
5	225	5	3,5	0,40
6	220	6	3,0	0,38
7	215	7	3,5	0,36
8	210	8	4,0	0,34
9	205	9	4,5	0,32

Задача 3. По горизонтально расположенной стальной трубе ($\lambda = 20$ Вт/(м·К) со скоростью w течет вода, имеющая температуру $t_в$. Снаружи труба охлаждается окружающим воздухом, температура которого $t_{воз}$, давление 0,1 МПа. Определить коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 соответственно от воды к стенке трубы и от стенки трубы к воздуху; коэффициент теплопередачи k_l и тепловой поток q_l отнесенный к 1 м длины трубы, если внутренний диаметр трубы равен d_1 , внешний – d_2 . Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы 3.

Указание. Для определения α_2 принять в первом приближении температуру наружной поверхности трубы t_2 равной температуре воды.

Таблица 3 - Исходные данные к задаче 3

Последняя цифра шифра	$t_в, ^\circ\text{C}$	$10 \cdot w, \text{ м/с}$	Предпоследняя цифра шифра	$t_{воз}, ^\circ\text{C}$	$d_1, \text{ мм}$	$d_2, \text{ мм}$
0	120	2,5	0	18	190	210
1	130	3,6	1	16	180	200
2	140	2,7	2	14	170	190
3	150	3,8	3	12	160	180
4	160	1,9	4	10	150	170
5	170	2,1	5	8	140	160
6	180	2,3	6	6	130	150
7	200	4,2	7	4	120	140
8	210	4,3	8	2	110	130
9	220	4,4	9	0	100	120

Ответить на вопросы: Какой режим течения внутри трубы в вашем варианте задачи? Какой режим движения окружающего трубу воздуха? Почему можно при расчете принять равенство температур $t_2 = t_в$?

Указание. При определении коэффициента теплоотдачи использовать таблицу 2 приложения.

Задача 4. Определить поверхность нагрева рекуперативного газоздушного теплообменника при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей, если объемный расход нагреваемого воздуха при нормальных условиях V_n , средний коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воздуху K , начальные и конечные температуры продуктов сгорания и воздуха со-

ответственно t_1' , t_1'' , t_2' и t_2'' . Данные необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы 4.

Изобразить графики изменения температур теплоносителей для обоих случаев.

Таблица 4 - Исходные данные к задаче 4

Последняя цифра шифра	$10^{-3} \cdot V_n$, м ³ /ч	K , Вт/(м ² ·К)	Предпоследняя цифра шифра	t_1' , °С	t_1'' , °С	t_2' , °С	t_2'' , °С
0	1	18	0	600	400	20	300
1	2	19	1	625	425	15	325
2	3	20	2	650	450	25	350
3	4	21	3	675	475	30	375
4	5	22	4	700	500	10	400
5	6	23	5	725	525	12	425
6	7	24	6	750	550	18	450
7	8	25	7	775	575	28	475
8	9	26	8	800	600	32	500
9	10	27	9	575	375	8	275

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. Теплотехника / Баскаков А. П., Берг Б. В., Вит О. К. и др. - М., 1982.
2. Теплотехника / Хазен М. М., Матвеев Г. А., Трицевский М. Е. и др. - М., 1981.
3. Теплотехника / Щукин А. А., Сушкин И. Н., Бахмачевский Б. И. и др. - М., 1973.

Дополнительной

4. Мурзаков В.В. Основы технической термодинамики. - М., 1973.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. - М., 1973.
6. Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче / Дрыжаков Е.В., Исаев С.И., Корнейчук Н. К. и др. - М., 1968.
7. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. - М., 1975.
8. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейдлин А.Е. Техническая термодинамика. М., 1979.
9. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М., 1975.
10. Сборник задач по технической термодинамике / Андрианова Т. А., Дзампов Б.В., Зубарев В.Н и др. - М., 1971.
11. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. - М., 1972.
12. Филиппов Ю.П., Старк С.Б., Морозов В.А. Металлургическая теплотехника. - М., 1974.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 - Мольные теплоемкости идеальных газов без учета их зависимости от температуры, кДж/(кмоль · К)

Газы	μc_v	μc_p
Одноатомные	12,5	20,8
Двухатомные	20,8	29,1
Трех- и многоатомные	29,1	37,4

Таблица 2 - Физические параметры сухого воздуха при давлении 101,3 кПа

$t, ^\circ\text{C}$	$10^{-2} \cdot \lambda,$ Вт/(м·К)	$10^6 \cdot \nu, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr
0	2,44	13,28	0,707
100	3,21	23,13	0,688
200	3,94	34,85	0,680
300	4,60	48,33	0,674
400	5,21	63,09	0,678
500	5,75	79,38	0,687
600	6,23	96,89	0,699
700	6,71	115,4	0,706
800	7,19	134,8	0,713
900	7,64	155,1	0,717
1000	8,08	177,1	0,719