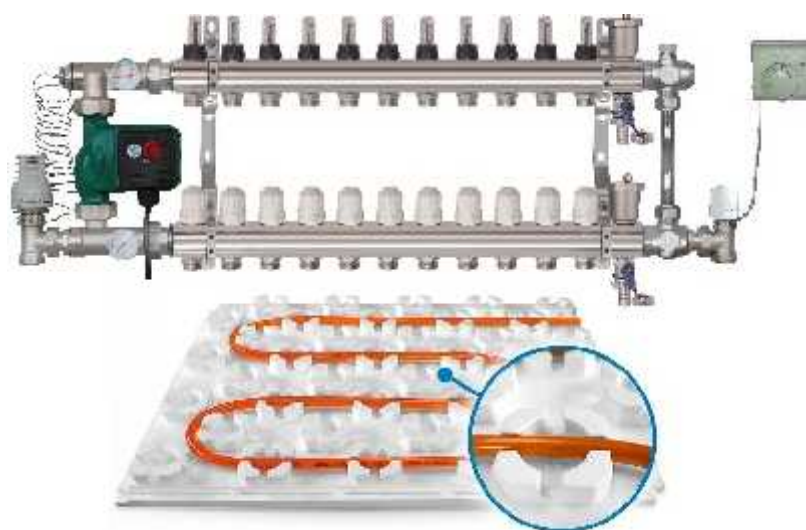


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Методические указания
к выполнению контрольной работы
для студентов направления 19.03.04.
«Технология продукции и организация общественного питания» заочной
формы обучения



Севастополь
СевГУ
2018

УДК 621.9.06.(075.8)

Р е ц е н з е н т:

А.П. Донец - к.т.н., доцент кафедры «Пищевые технологии и оборудование»

Составители: Н.И. Покинтелица, Е.А. Левченко, А.Е. Графова

Теплотехнические процессы и оборудование предприятий общественного питания: метод. указания к выполнению контрольной работы / Сост. Н.И. Покинтелица, Е.А. Левченко, А.Е. Графова. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 27 с.

Настоящие методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении контрольной работы. В методических указаниях изложена методика выполнения контрольной работы, рассмотрены вопросы изучения, расчета и проектирования теплотехнических процессов и оборудования предприятий общественного питания. Приведена методика расчета с использованием современных технологий.

УДК 621.9.06.(075.8)

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Пищевые технологии и оборудование», протокол № 10 от 15 мая 2018 г.

Допущено учебно-методическим отделом Политехнического института СевГУ в качестве методических указаний.

Содержание

Введение.....	4
1 Инструкция по работе с методическими указаниями.....	4
2 Программа дисциплины.....	5
3 Оформление контрольной работы	16
4 Задание на контрольную работу.....	17
5 Вопросы для подготовки к экзамену.....	25
Список рекомендуемой литературы.....	26
Приложение А (справочное).....	27

Введение

Дисциплина «Теплотехнические процессы и оборудование предприятий общественного питания» является базовой дисциплиной, изучающей методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принципы действия и конструктивные особенности тепловых машин, аппаратов и устройств.

Инженеры неэнергетических специальностей в своей практической деятельности сталкиваются с тепловыми процессами и с их конструктивным оформлением в виде теплоэнергетического оборудования, встроенного в технологические процессы.

Задачи дисциплины «Теплотехнические процессы и оборудование предприятий общественного питания» – подготовка специалистов предприятий общественного питания, владеющих навыками грамотной эксплуатации современного теплового оборудования отрасли, с целью максимальной экономии электроэнергии, топлива и материалов, интенсификации и оптимизации современных энерготехнологических процессов.

1 Инструкция по работе с методическими указаниями

В разделе «Программа дисциплины» приведены темы и указывается, что необходимо знать в пределах каждой темы. В конце тем приводятся вопросы для самопроверки и литература из списка рекомендуемой литературы с указанием страниц, где излагается материал темы.

Контрольная работа состоит из четырех задач. Номер варианта соответствует двум последним цифрам шифра зачётной книжки. Данные для решения задач приведены в табл. 1 - 4.

В разделе «Темы практических занятий» приводятся темы, в пределах которых будут даны задания в период экзаменационной сессии.

2 Программа дисциплины

Тема 1. Основные понятия и определения термодинамики

Предмет и методы термодинамики. Термодинамическая система. Основные параметры состояния. Равновесные и неравновесные состояния. Уравнение состояния. Теплота и работа – формы передачи энергии. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы).

Смеси рабочих тел. Способы задания состава смеси.

Теплоемкость. Теплоемкость при постоянном объеме и давлении. Средняя и истинная теплоемкости. Теплоемкость смеси рабочих тел.

Методические указания. Термодинамика – наука о взаимопревращениях различных видов энергии. В её основу положены два основных закона, установленных опытным путём. Первый закон характеризует количественную сторону процесса преобразования энергии, а второй закон устанавливает качественную сторону (направленность) процессов. На основе этих законов получены все основные выводы термодинамики.

Объектом изучения в термодинамике является термодинамическая система, взаимодействие которой с окружающей средой состоит в обмене энергией. Чаще всего рассматривается обмен энергией в форме теплоты q и механической работы l .

Литература: /1, с. 7-19, с. 20-31, с. 62-72/.

Вопросы для самопроверки:

1. Каковы особенности термодинамического метода исследования?
2. Что такое рабочее тело? 3. Что такое параметр состояния? 4. Что понимают под теплотой и работой? 5. Какова связь между истинной и средней теплоёмкостями? 6. Как связаны изобарная и изохорная теплоёмкости идеального газа?

Тема 2. Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Виды энергии и энергетических взаимодействий. Внутренняя энергия и энтальпия. Работа изменения объёма. Аналитическое выражение и формулировки первого закона термодинамики. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока массы. Располагаемая работа. Энтропия.

Методические указания. Первый закон термодинамики является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии применительно к

тепловым явлениям. На основании закона сохранения энергии изменение внутренней энергии системы Δu может быть представлено в виде

$$\Delta u = q - l$$

или в дифференциальной форме

$$du = dq - dl.$$

Следует подчеркнуть, что внутренняя энергия есть функция состояния, поэтому du - полный дифференциал. Теплота и работа – функции процесса, их элементарные количества dq и dl не являются полными дифференциалами.

Для дальнейшего использования необходимо выразить величины, входящие в уравнение первого закона термодинамики, через параметры состояния системы. В простой форме это можно сделать лишь для равновесных процессов.

Литература: /1, с. 46-60, с. 73-77, с. 180-184/.

Вопросы для самопроверки:

1. Что понимают под внутренней энергией, энтальпией и энтропией?
2. Сформулируйте первый закон термодинамики.
3. Запишите различные аналитические выражения первого закона термодинамики.

Тема 3. Второй закон термодинамики

Формулировки второго закона термодинамики. Цикл Карно (прямой и обратный) и анализ его свойств. Свойства обратимых и необратимых циклов. Принцип возрастания энтропии. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Изменение энтропии и работоспособность изолированной термодинамической системы. Понятие об эксергии.

Методические указания. При анализе циклов тепловых двигателей следует обратить внимание на то, что цикл Карно является эталонным в рассматриваемом интервале температур.

Существует несколько формулировок второго закона термодинамики, например, теплота не может сама собой переходить от более холодного тела к более нагретому. Этот принцип может быть использован при рассмотрении ряда теоретических вопросов термодинамики. При этом необходимо иметь в виду, что второй закон термодинамики содержит два независимых друг от друга положения. Первое связано с вопросом существования энтропии ($dq = Tds$), а второе формулируется как принцип возрастания энтропии в необратимых процессах ($ds > dq/T$). Аналитическое выражение второго закона термодинамики может быть представлено в виде соотношения

$$ds \geq \frac{dq}{T},$$

где знак “ = ” относится к обратимым процессам, а знак “ > ” – к необратимым.

Литература: /1, с. 95-114/.

Вопросы для самопроверки:

1. Какой цикл называют прямым и какой обратным? 2. Что понимают под термическим КПД и холодильным коэффициентом? 3. Из каких процессов состоит цикл Карно? 4. Приведите различные формулировки второго закона термодинамики. 5. Приведите аналитическое выражение второго закона термодинамики.

Тема 4. Термодинамические процессы

Общие методы исследования процессов изменения состояния рабочих тел. Политропные процессы. Основные характеристики политропных процессов. Изображение 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. Пары. Основные определения. Процессы парообразования в p - v и T - s координатах. Водяной пар. Термодинамические таблицы воды и водяного пара. T - s -, h - s -диаграммы водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и h - s -диаграммы.

Методические указания. При изучении процессов с идеальным газом основное внимание следует обратить на характерные особенности каждого из них, графическое изображение и то, что политропные процессы являются обобщающими.

Следует помнить, что соотношения, полученные для идеальных газов не применимы для изучения свойств реальных веществ. В связи с этим расчёт процессов для реальных веществ, как правило, проводится либо по таблицам их термодинамических свойств, либо по диаграммам.

Литература: /1, с. 79-91, с. 33-42, с. 161-176/.

Вопросы для самопроверки:

1. Какое значение имеет показатель политропы в изохорном, изобарном, изотермическом и адиабатном процессах? 2. В каких пределах изменяется теплоёмкость политропного процесса? 3. В чём отличия реальных газов от идеальных? 4. Что такое критическое состояние вещества? 5. Какой пар называется влажным, сухим, перегретым? 6. Что такое степень сухости? 7. Изобразите процесс парообразования в фазовых p - v -, T - s -, h - s -диаграммах.

Тема 5. Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров

Основные понятия и определения. Адиабатное истечение газов и паров из геометрического сопла. Зависимость скорости потока и расхода газа через сопло от отношения давлений. Условия перехода через скорость звука. Необратимое истечение.

Процесс адиабатного дросселирования. Техническое применение процессов дросселирования. Температурный эффект адиабатного дросселирования реальных газов. Точка инверсии и кривая инверсии.

Методические указания. Расчётные соотношения для процессов течения получаются на основе уравнения первого закона термодинамики для потока. При этом в большинстве случаев эти процессы можно рассматривать как адиабатные. Следует уяснить, что в суживающихся соплах не может быть получена скорость потока на выходе, превышающая местную скорость звука.

Процесс адиабатного дросселирования широко применяется в технике, например, в циклах холодильных машин. Необходимо представлять, в каких случаях температура в процессе дросселирования уменьшается, увеличивается или остаётся неизменной.

Литература: /1, с. 184-202, с.204-205/.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое сопло и диффузор? 2. Почему в суживающихся соплах нельзя получить скорость истечения больше местной скорости звука? 3. В каких случаях используется сопло Лаваля? 4. Как учитывается влияние трения на скорость истечения? 5. Что такое дросселирование? 6. Что понимают под эффектом Джоуля-Томсона?

Тема 6. Термодинамический анализ процессов в компрессорах

Классификация компрессоров и принцип действия. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Работа, затраченная на привод компрессора. Многоступенчатое сжатие. Изображение в p - v - и T - s -диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах.

Методические указания. При изучении процессов сжатия в компрессоре необходимо иметь в виду, что наивыгоднейшим процессом (минимум затраченной работы) является изотермический процесс. Именно этим объясняется экономия работы в многоступенчатых компрессорах с промежуточным охлаждением газа.

Литература: /1, с. 222-232/.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое объёмный КПД компрессора? 2. Как зависит работа сжатия в компрессоре от показателя политропы? 3. В чём заключаются преимущества многоступенчатого сжатия в компрессоре перед одноступенчатым?

Тема 7. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)

Принцип действия поршневых ДВС. Циклы ДВС с изохорным, изобарным и смешанным подводом теплоты. Изображение циклов в p - v - и T - s -диаграммах. Термический КПД циклов. Сравнительный анализ циклов ДВС.

Методические указания. В технической термодинамике изучают идеальные циклы тепловых двигателей. Эти циклы состоят из обратимых процессов, действительные процессы горения и выхлопа заменяются здесь термодинамическими процессами подвода и отвода теплоты, рабочее тело считается идеальным газом с постоянной теплоёмкостью, массой и химическим составом. Процессы расширения и сжатия в газовых циклах в первом приближении принимают адиабатными, а процессы подвода и отвода теплоты – изохорными или изобарными.

Литература: /1, с.235-247/.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие предпосылки положены в основу идеализации циклов поршневых ДВС? 2. Изобразите цикл ДВС с изохорным подводом теплоты в p - v -диаграмме. 3. Как влияет степень сжатия на термический КПД циклов ДВС?

Тема 8. Циклы газотурбинных установок (ГТУ)

Принцип действия ГТУ. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. Изображение циклов в p - v - и T - s -диаграммах. Влияние необратимости на работу цикла. Термический КПД циклов ГТУ.

Методические указания. Как и идеальные циклы ДВС, идеальные циклы ГТУ состоят из обратимых процессов, рабочее тело считается идеальным газом с постоянной теплоёмкостью, массой и химическим составом. Процессы расширения и сжатия в первом приближении принимают адиабатными, а процессы подвода и отвода теплоты – изохорными или изобарными.

Литература: /1, с. 253-256, с. 259-262/.

Вопросы для самопроверки:

1. Изобразите цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты в p - v -диаграмме и сделайте его описание. 2. Какими методами можно повысить термический КПД ГТУ? 3. От чего зависит величина термического КПД ГТУ?

Тема 9. Циклы паросиловых установок и холодильных машин

Принципиальная схема паросиловых установок. Цикл Ренкина и его характеристики. Изображение цикла Ренкина в p - v -, T - s -диаграммах. Пути повышения экономичности паросиловых установок, теплофикационный цикл.

Классификация холодильных установок. Рабочие тела. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Цикл воздушной холодильной установки. Циклы паровых компрессорных холодильных установок (ПКХУ). Циклы тепловых насосов.

Методические указания. Изучая циклы паросиловых установок (ПСУ), уясните, почему в этих установках не применяется цикл Карно. Особое внимание уделите рассмотрению способов повышения их экономичности. Научитесь анализировать цикл Ренкина с помощью фазовых p - v -, T - s -диаграмм.

При изучении циклов холодильных установок следует иметь в виду, что здесь эталонным является обратный цикл Карно, осуществляемый в соответствующем интервале температур. Поэтому степень совершенства обратных циклов будет тем выше, чем ближе их коэффициенты трансформации к соответствующим значениям для цикла Карно.

Литература: /1, с. 269-284, с. 299-306, с. 309-310/.

Вопросы для самопроверки:

1. Почему основным рабочим телом ПСУ служит водяной пар? 2. Изобразите цикл Ренкина в p - v -, T - s -диаграммах. 3. Для чего применяют промежуточный перегрев пара в циклах ПСУ? 4. Для чего применяют теплофикационные циклы? 5. Что такое холодильный коэффициент и отопительный коэффициент? 6. Изобразите принципиальную схему ПКХУ с дроссельным вентилем и её идеальный цикл в T - s -диаграмме. 7. В чём заключается принцип действия теплового насоса?

Тема 10. Основные понятия и определения теории теплообмена

Предмет и задачи теории теплообмена. Общие понятия и закономерности тепломассопереноса. Виды и режимы тепломассообмена. Сложный теплообмен.

Методические указания. При изучении раздела следует усвоить физическую сущность процессов теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена. Важно понять, что процессы теплопроводности и конвективного теплообмена наблюдаются только при контакте тел с различной температурой, в то время как для лучистого теплообмена таких условий не требуется.

Литература: /1, с. 313-314/.

Вопросы для самопроверки:

1. Каким способом передается теплота через стены помещения? 2. Каким способом передается теплота от Солнца к Земле? 3. При каких условиях возможен конвективный теплообмен? 4. При каких условиях возможна только теплопроводность? 5. Что понимают под сложным теплообменом?

Тема 11. Теплопроводность

Основные положения учения о теплопроводности. Температурное поле, градиент температуры, тепловой поток. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм передачи теплоты в металлах, полупроводниках, жидкостях и газах.

Дифференциальное уравнение теплопроводности для однородных изотропных тел. Условия однозначности. Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность через однослойную и многослойную плоскую и цилиндрическую стенки при граничных условиях первого рода.

Методические указания. Прежде всего необходимо обратить внимание на отличия в механизме теплопроводности тел различной природы.

Следует усвоить, что при решении задач теплопроводности требуется определить распределение температуры в теле и количество передаваемой теплоты. Для этого необходимо использовать дифференциальное уравнение теплопроводности, условия однозначности и закон Фурье.

Литература: /1, с. 315-332/.

Вопросы для самопроверки:

1. Что понимают под коэффициентом теплопроводности? 2. Как изменяется плотность теплового потока с увеличением градиента температуры? 3. Получите размерность коэффициента теплопроводности из закона Фурье. 4. От чего зависит величина коэффициента теплопроводности?

Тема 12. Конвективный теплообмен

Факторы, влияющие на конвективный теплообмен. Уравнение Ньютона-Рихмана. Условия подобия физических явлений. Уравнения подобия. Определяющие числа подобия. Физический смысл чисел подобия.

Теплоотдача при вынужденном течении жидкости: вдоль плоской поверхности и в трубах. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы и пучков труб.

Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном объеме у вертикальных и горизонтальных поверхностей.

Методические указания. Следует усвоить, что интенсивность

конвективного теплообмена определяется физическими свойствами омывающей среды и гидродинамическими условиями ее течения. Термическое сопротивление теплоотдаче создается пограничным слоем, поэтому все факторы, способствующие уменьшению его толщины, интенсифицируют теплоотдачу.

Необходимость моделирования и экспериментального исследования конвективного теплообмена связана со сложностью аналитического решения такого рода задач. Следует знать выражения для основных чисел подобия конвективного теплообмена, что характеризуют эти числа, объяснить вид критериальных уравнений.

Изучая тему, следует разобраться, между какими числами подобия и почему устанавливается связь при описании конкретных случаев конвекции. Необходимо понять, какой геометрический размер изучаемой системы надо выбирать в качестве определяющего в критериальных уравнениях.

Литература: /1, с. 363-368/.

Вопросы для самопроверки:

1. Что характеризует коэффициент теплоотдачи? Какова его размерность?
2. Возможен ли конвективный теплообмен без перемешивания среды?
3. Почему при турбулентном течении теплоотдача выше, чем при ламинарном?
4. Как влияет на теплоотдачу вязкость среды? 5. Как влияет на теплоотдачу коэффициент теплопроводности среды? 6. Покажите, что числа Нуссельта, Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля безразмерны. 7. Что такое определяющий размер и определяющая температура?

Тема 13. Основы теории подобия и моделирования

Основные определения. Условия подобия физических явлений. уравнения подобия. Определяющие числа подобия. Теоремы подобия. Физический смысл чисел подобия. Метод моделирования. Получение уравнений подобия.

Методические указания. Необходимость моделирования и экспериментального исследования конвективного теплообмена связана со сложностью аналитического решения такого рода задач. Следует знать выражения для основных чисел подобия конвективного теплообмена, что характеризуют эти числа, объяснить вид критериальных уравнений.

Литература: /1, с. 368-384/.

Вопросы для самопроверки:

1. Покажите, что числа Нуссельта, Грасгофа, Рейнольдса, Прандтля безразмерны. 2. Равенство каких критериев надо обеспечить при

моделировании конвективного теплообмена? 3. Какие числа подобия называют определяющими, а какие определяемыми? 4. Что понимают под определяющим размером и определяющей температурой?

Тема 14. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости

Теплоотдача при движении жидкости вдоль плоской поверхности. Расчетные уравнения.

Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах: теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении жидкости в гладких и шероховатых, прямых и изогнутых трубах, круглого и некруглого сечения. Расчетные уравнения подобия.

Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб. Расчетные уравнения.

Методические указания. Изучая тему, следует разобраться между какими числами подобия и почему устанавливается связь при описании конкретных случаев вынужденной конвекции. Необходимо понять, какой геометрический размер изучаемой системы надо выбирать в качестве определяющего в критериальных уравнениях.

Особое внимание уделить изучению теплообмена при течении жидкости в пучках труб. Эти случаи наиболее распространены в инженерной практике.

Литература: /1, с. 388-400/.

Вопросы для самопроверки:

1. Почему число Нуссельта для газообразных теплоносителей зависит только от числа Рейнольдса? 2. Как определить эквивалентный диаметр для канала произвольного сечения? 3. Почему отличаются местные коэффициенты теплоотдачи по окружности трубы при поперечном ее омывании жидкостью? 4. Почему на практике применяют как коридорные, так и шахматные пучки труб.

Тема 15. Теплоотдача при свободном движении жидкости

Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном объеме у вертикальных поверхностей. Свободная конвекция у горизонтальных труб. Расчетные уравнения.

Методические указания. Следует разобраться, между какими числами подобия устанавливается связь при описании свободной конвекции, и какой геометрический размер изучаемой системы надо выбрать в качестве определяющего в критериальных уравнениях.

Литература: /1, с. 403-406/.

Вопросы для самопроверки:

1. В чем заключается причина свободной конвекции? 2. Почему число Грасгофа является определяющим при свободной конвекции? 3. Какие факторы влияют на интенсивность теплообмена при свободной конвекции

Тема 16. Теплообмен излучением

Общие понятия и определения, основные законы излучения, баланс лучистого теплообмена. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой: плоскопараллельными поверхностями; между телом и оболочкой; произвольно расположенными в пространстве. Теплообмен излучением между поверхностями, разделенными экраном.

Методические указания. Физическая сущность теплообмена излучением значительно отличается от теплообмена теплопроводностью и конвекцией. Это процесс двойного преобразования: внутренней энергии в энергию излучения, ее распространения в пространстве, поглощения другими телами и преобразования во внутреннюю энергию поглощающего тела.

Следует помнить, что все законы теплового излучения строго справедливы только для абсолютно черного тела.

Обратите внимание на размерность потока излучения, плотности потока излучения, интенсивности излучения.

Литература: /1, с. 421-435/.

Вопросы для самопроверки:

1. Когда степень черноты тела и его поглощательная способность одинаковы? 2. Существует ли эффективный лучистый поток между параллельными стенками с одинаковой температурой? 3. Может ли отражательная, поглощательная и пропускательная способность тела быть больше единицы?

Тема 17. Теплопередача

Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую и цилиндрическую стенки. Коэффициент теплопередачи. Пути интенсификации теплопередачи. Критический диаметр тепловой изоляции.

Методические указания. Следует усвоить, что термическое сопротивление теплопередаче складывается из термических сопротивлений слоев и сопротивлений на границах. Величина, обратная термическому сопротивлению теплопередаче, является коэффициентом теплопередачи.

Литература: /1, с. 337-347, с.440./

Вопросы для самопроверки:

1. В каких случаях при расчете коэффициента теплопередачи можно не учитывать термическое сопротивление на границах стенки? 2. В каких случаях при расчете коэффициента теплопередачи можно не учитывать термическое сопротивление стенки? 3. Какой из двух коэффициентов теплоотдачи целесообразно увеличивать в целях интенсификации теплопередачи: наибольший или наименьший?

Тема 18. Основы расчета теплообменных аппаратов (ТА)

Классификация ТА. Теплопередача при переменных температурах. Уравнение теплового баланса. Схемы движения теплоносителей. Методика теплового расчета ТА. Средний температурный напор.

Методические указания. ТА являются устройствами, в которых могут иметь место все виды теплообмена. Поэтому для понимания теплового расчета ТА необходимо знать основные положения теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена.

В основе теплового расчета ТА лежит уравнение теплового баланса и теплопередачи независимо от того, проектируется ли новый аппарат или оцениваются теплопередающие возможности существующего.

Особое внимание следует уделить анализу изменения температуры теплоносителя по длине канала циркуляции. В них температура теплоносителя может убывать, возрастать и оставаться неизменной.

Литература: /1, с. 447-455/.

Вопросы для самопроверки:

1. Можно ли в прямоточном ТА добиться равенства конечных температур теплоносителей? 2. Что происходит в ТА с “горячим” и “холодным” теплоносителем, если их температура неизменна по длине потока? 3. Какой фундаментальный закон отражает уравнение теплового баланса для ТА? 4. Чем выгоден противоточный ТА по сравнению с прямоточным? 5. В каком случае величину среднелогарифмического и среднеарифметического температурного напора можно считать одинаковой?

Тема 19. Топливо и основы теории горения

Виды топлива и их характеристика. Элементарный состав топлива. Теплота сгорания. Условное топливо. Основы сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива.

Методические указания. Следует разобраться в особенностях горения твердого, жидкого и газообразного топлива. Эти особенности определяют конструкции топочных устройств.

Литература: /2, с. 130-160/.

Вопросы для самопроверки:

1. Запишите элементарный состав рабочей массы твердого топлива и дайте характеристику каждому элементу. 2. В чем разница между высшей и низшей теплотой сгорания рабочей массы топлива? 3. Что входит в состав продуктов сгорания топлива? 4. Какое топливо можно сжигать в слоевой и камерной топке?

Тема 20. Промышленные котельные установки и печи

Классификация и устройство паровых и водогрейных котлов. Котельные установки. Мероприятия по защите окружающей среды при эксплуатации котельных установок.

Классификация печей и режимов их работы. Принципиальная схема промышленной печи. Теплопередача в печах. Тепловой и материальный баланс печи. Термический КПД печи.

Методические указания. При изучении темы обратить внимание на принцип действия котельных установок и печей. Следует разобраться с показателями эффективности работы этих устройств.

Литература: /2, с. 161-168, с. 154-160/.

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите способы организации циркуляции воды в котельном агрегате. 2. Какие потери теплоты существуют в котельном агрегате? 3. Что показывает КПД котлоагрегата брутто? 4. Какие элементы включает схема печной установки? 5. Что показывает КПД печи?

2 Оформление контрольной работы

Контрольная работа выполняется в тетради или на листах формата А4. Текст может быть выполнен рукописно или с помощью средств компьютерной техники.

Вариант контрольной работы выбирается по двум последним цифрам зачетной книжки.

Условие задачи переписывается полностью. В решении задач последовательно объясняется, какая величина определяется и по какой

формуле. Написав формулу, необходимо дать экспликацию входящих в неё величин с размерностью и объяснением, откуда они выбираются.

При решении задач необходимо использовать только систему единиц СИ. Теплофизические характеристики веществ и материалов определять по справочным данным, представленным в рекомендуемой литературе или в приложении к данному пособию.

В конце работы приводится список использованной литературы, дата выполнения работы и личная подпись студента.

3 Задание на контрольную работу

Задача 1. В идеальный поршневой компрессор поступает M кг/с воздуха с начальными параметрами $P_1 = 0,1$ МПа и $t_1 = 27$ °С. Воздух сжимается до давления P_2 .

Определить начальный V_1 и конечный V_2 удельные объемы, м³/кг; конечную температуру t_2 , °С; изменение энтропии ΔS , кДж/(кгК); l удельную работу сжатия, кДж/кг; мощность компрессии N , кВт; а также количество теплоты участвующее в процессе сжатия Q , кВт и при изобарном охлаждении воздуха в промежуточных охладителях Q_0 , кВт.

Расчет произвести последовательно для одноступенчатого компрессора с изотермическим, обратимым адиабатным и политропным сжатием, а также для двухступенчатого компрессора с политропным сжатием и промежуточным охлаждением воздуха. Показатель политропы для отдельных ступеней принять одинаковым и равным n .

Дать сводную таблицу результатов. Изобразить в PV - и TS - координатах процессы сжатия.

Таблица 1 – Исходные данные для задачи 1

Последняя цифра шифра	n	Предпоследняя цифра шифра	P_2 , МПа	M , кг/с
0	1,25	0	0,9	0,08
1	1,22	1	1,0	0,11
2	1,24	2	0,85	0,14
3	1,21	3	0,8	0,17
4	1,20	4	0,95	0,20
5	1,30	5	0,9	0,23
6	1,27	6	0,85	0,26
7	1,26	7	0,9	0,29
8	1,33	8	0,8	0,31
9	1,23	9	0,85	0,34

Указание. Расчет провести без учета зависимости теплоемкости воздуха от температуры.

Считать, что охлаждение сжатого воздуха в промежуточном охладителе производится до начальной температуры t_1 .

1. Одноступенчатый компрессор с изотермическим сжатием

Начальный объем определяем из уравнения состояния:

$$V_1 = \frac{MRT_1}{P_1}$$

где $R = 287$ кДж/(кгК) газовая постоянная воздуха.

Конечный объем определяем из уравнения процесса

$$V_{2T} = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

Конечная температура

$$T_1 = 300\text{K}$$

$$t_{2k} = T_{2k} - 273 =$$

Внутренняя энергия воздуха, как идеального газа, в изотермическом процессе не изменяется, т.е. $\Delta U_T = 0$.

Изменение энтропии может быть представлено функцией V :

$$\Delta S = S_{2T} - S_1 = MR \ln\left(\frac{V_{2T}}{V_1}\right)$$

Работа затрачиваемая на сжатие

$$L_T = P_1 V_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

2. Одноступенчатый компрессор с обратным адиабатическим сжатием:

Начальный объем определяем из уравнения состояния как для изотермического сжатия.

Конечный объем определяем из уравнения адиабаты:

$$V_{2a} = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{k}}$$

где $k = 1,4$ показатель адиабаты для воздуха

$$T_{2a} = \frac{P_2 V_{2a}}{MR}$$

Изменение внутренней энергии определяем по формуле

$$\Delta U_a = U_{2a} - U_1 = \frac{MR(T_{2a} - T_1)}{k-1}$$

3. Одноступенчатый компрессор с политропным сжатием:

Начальный объем определяем из уравнения состояния как в изотермическом процессе.

Конечный объем определяем из уравнения адиабаты:

$$V_{2n} = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$T_{2n} = \frac{P_2 V_{2n}}{MR}$$

$$\Delta U_{\pi} = U_{2\pi} - U_1 = \frac{MR(T_{2\pi} - T_1)}{k-1}$$

Изменение энтропии определяем по формуле

$$\Delta S_{\pi} = S_{2\pi} - S_1 = \frac{MR}{k-1} \frac{n-k}{n-1} \ln \frac{T_{2\pi}}{T_1}$$

Работу сжатия определяем по формуле

$$L_{\pi} = \frac{MR}{n-1} (T_1 - T_{2\pi})$$

Количество теплоты в политропном процессе определяется по формуле

$$Q_{\pi} = \frac{MR}{k-1} \frac{n-k}{n-1} (T_{2\pi} - T_1)$$

Проверяя выполняется ли 1 закон термодинамики для политропного процесса

$$Q_{\pi} = \Delta U_{\pi} + L_{\pi}$$

4. Двухступенчатый компрессор с политропным сжатием и промежуточным охлаждением воздуха.

Степень повышения давления воздуха в отдельных ступенях двухступенчатого компрессора принята одинаковой и определяется из выражения:

$$\pi_{ст} = \sqrt[z]{\frac{P_2}{P_1}}$$

где $z=2$ число ступеней сжатия.

Давление в конце сжатия в 1 ступени

$$P_{21} = \pi_{ст} P_1$$

Начальный объем воздуха перед сжатием в 1 ступени как в одноступенчатом компрессоре.

Объем воздуха в конце сжатия в 1 ступени:

$$V_{21} = V_{11} \left(\frac{P_1}{P_{21}} \right)^{\frac{1}{n}} = V_{11} \pi_{ст}^{-\frac{1}{n}}$$

Температура воздуха в конце сжатия в каждой ступени определяем из уравнения политропы:

$$T_{21} = T_{22} = T_2 = T_1 \left(\frac{P_{21}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = T_1 \pi_{ст}^{\frac{n-1}{n}}$$

Объем воздуха перед сжатием во 2ой ступени (в конце изобарного охлаждения в промежуточном охладителе) определяем согласно закону Гей-Люссака из выражения:

$$V_{12} = \frac{V_{21} T_1}{T_{21}}$$

Конечный объем воздуха (в конце сжатия во 2-й ступени компрессора) определяем из уравнения политропы

$$V_2 = V_{22} = V_{12} \left(\frac{P_{21}}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} = V_{12} \pi_{cr}^{-\frac{1}{n}}$$

Изменение внутренней энергии воздуха при сжатии одинаково для каждой ступени, поэтому общее изменение внутренней энергии составит:

$$\Delta U_n = \Delta U_{n1} + \Delta U_{n2} = \frac{2MR(T_2 - T_1)}{k - 1}$$

где $\Delta U_{n1} = \Delta U_{n2}$ — равные между собой изменения внутренней энергии приходящейся на процессы сжатия в отдельных ступенях.

Аналогично определяем общее изменение энтропии воздуха при его сжатии в обоих ступенях.

При равенстве температур газа у входа в каждую ступень и равенстве отношения давлений во всех цилиндрах имеет место равенство затраченных работ на сжатие в отдельных ступенях компрессора, поэтому общая работа равна

$$L_n = \frac{2MR}{n-1}(T_1 - T_2)$$

При одинаковых условиях сжатия воздуха количества теплоты, отводимые от воздуха в отдельных ступенях, равны между собой, поэтому общее количество теплоты составляет:

$$Q_n = \frac{2MR}{k-1} \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)$$

Проверка. $Q_{\Pi} = \Delta U_{\Pi} + L_{\Pi}$

Количество теплоты, отводимое от воздуха в промежуточном охладителе при изобарном процессе, охлаждения находим по формуле

$$Q_0 = MC_p(T_2 - T_1)$$

где $C_p = 1,0$ кДж/(кгК) средняя массовая изобарная теплоемкость воздуха.

Сводная таблица результатов

[illegible]

Изотермическое сжатие происходит с наименьшей затратой работы.

При переходе от одноступенчатого на двухступенчатое политропное сжатие воздуха затрата работы на привод компрессора уменьшится на

$$\frac{L_{\text{кп1}} - L_{\text{кп2}}}{L_{\text{кп1}}} 100\%$$

Изменение энтропии воздуха при его изобарном охлаждении в охладителе:

$$\Delta S_0 = MC_p \ln \frac{T_1}{T_2}$$

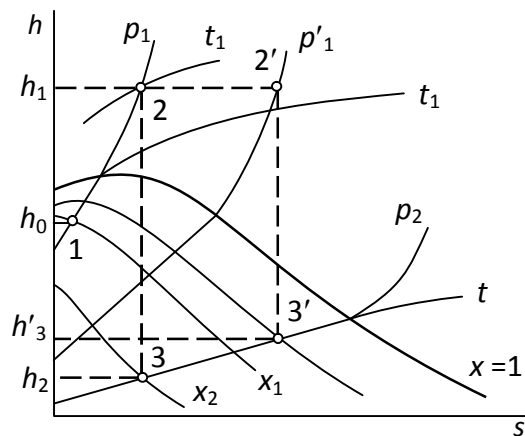
Задача 2. Определить удельную работу l_w и термический КПД цикла η_t простейшей паротурбинной установки (цикла Ренкина), в которой водяной пар с начальным давлением $P_1 = 3$ МПа и степенью сухости $x_1 = 0,95$ поступает в пароперегреватель, где его температура повышается на Δt , затем пар изоэнтальпийно расширяется в турбине до давления P_2 . Определить степень сухости пара в конце расширения. Определить также l_w , η_t и x_2 для условия. Когда пар после пароперегревателя дросселируется до давления P_1^1 (при неизменном давлении P_2). Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 2.

Изобразить схему простейшей паротурбинной установки и дать ее краткое описание, привести изображение цикла Ренкина в PV-, TS-, hS-координатах.

Таблица 2 – исходные данные для задачи 2

Последняя цифра шифра	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра шифра	$P_2, \text{кПа}$	$P_1, \text{МПа}$
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

Указание. Задачу решить с использованием hS-диаграммы. При определении термического КПД цикла повышением энтальпии воды (конденсата) в насосе пренебречь. Алгоритм поиска параметров схематично представлен на рисунке. Поскольку процессы подвода теплоты в пароперегревателе и котле являются изобарными, то количество теплоты определяется по разности энтальпий в конце и начале процесса.



Работу в цикле Ренкина (в данном случае это работа, полученная в турбине) рассчитать также по разности энтальпий в начале и конце процесса, так как процессы 2-3 и 2'-3' являются адиабатными.

Термический КПД цикла Ренкина определить по формуле

$$\eta_t = \frac{l_y}{q_1},$$

где l_y – работа в цикле, кДж/кг;

q_1 – теплота подведенная в цикле, кДж/кг.

Задача 3. По горизонтально расположенной стальной трубе ($\lambda = 40 \dots 50$ Вт/мК) со скоростью ω , м/с; течет вода, имеющая температуру t_v , °С. Снаружи труба охлаждается окружающим воздухом, температура которого $t_{\text{возд}}$, °С.

Определить коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 соответственно от воды к стенке трубы и от стенки трубы к воздуху, коэффициент теплопередачи k_1 и тепловой поток q_1 , отнесенные к 1м длины трубы, если внутренний диаметр трубы равен d_1 , внешний – d_2 .

Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 3.

Таблица 3 – Исходные данные для задачи 3

Последняя цифра шифра	Δt , °С	10- ω , м/с	Предпоследняя цифра шифра	$t_{\text{возд}}$, °С	d_1 , мм	d_2 , 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

Указания. Определить режимы течения воды и воздуха.

k – линейный коэффициент теплопередачи, рассчитывается по формуле

$$k = \left(\frac{1}{\pi \cdot d_1 \cdot \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi \cdot d_2 \cdot \alpha_2} \right)^{-1}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

α_1 – средний коэффициент теплоотдачи от керосина к стенке трубы, определить из критериального уравнения для вынужденной конвекции при движении жидкости в трубе

$$Nu_k = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43},$$

α_2 – средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности труб к воздуху определить из критериального уравнения для случая продольного обтекания трубы

$$Nu_{\text{возд}} = 0,135 Gr_{\text{возд}}^{0,33}$$

где $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$ – число Нуссельта; $Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$ – число Рейнольдса;

Pr – число Прандтля; d – соответствующий диаметр трубы (со стороны керосина – внутренний, со стороны воздуха – наружный), м; w – скорость течения теплоносителя принять для керосина 0,5...2 м/с, для воздуха 10...20 м/с; λ, ν – соответственно коэффициент теплопроводности и кинематической вязкости теплоносителя.

Число Прандтля и теплофизические характеристики выбирать из приложения А при средней температуре теплоносителя.

Линейная плотность теплового потока

$$q_l = k_l (t_{\text{в}} - t_{\text{возд}})$$

Задача 4. Определить поверхность нагрева рекуперативного газоздушного теплообменника при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей, если объемный расход нагреваемого воздуха при нормальных условиях $V_{\text{п}}$, средний коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воздуху k , начальные и конечные температуры продуктов сгорания и воздуха соответственно равны t_1^1, t_1, t_2, t_2^1

Изобразить для обоих случаев с соблюдением глазомерного масштаба графики изменения температур теплоносителей по длине теплообменника. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 4.

Таблица 4 – Исходные данные для задачи 4

Последняя цифра шифра	$V_n \cdot 10^{-3},$ $\text{м}^3/\text{ч}$	$K,$ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Предпоследняя цифра шифра	$t_1^1, ^\circ\text{C}$	$t_1^{11}, ^\circ\text{C}$	$t_2^1, ^\circ\text{C}$	$t_2^{11}, ^\circ\text{C}$
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

Указание. При определении количества теплоты, передаваемой от газа к воздуху, считать теплоемкость воздуха независимой от температуры.

Газовая постоянная воздуха $R_{\text{возд}}$ принимается в соответствии с (1) равной

$$R_{\text{возд}} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

При нормальных условиях ($P_n = 1,033 \cdot 10^5$ Па, $T_n = 273$ К) массовый расход воздуха может быть определен из уравнения состояния по формуле

$$G = \frac{P_n V_n}{R_{\text{возд}} T_n}$$

Средняя массовая теплоемкость воздуха при постоянном давлении определяется по формуле

$$C_{pm} \bigg|_{t_2^1}^{t_2^{11}} = \frac{C_{pm} \big|_{t_2^1}^{t_2^{11}} \cdot t_2^{11} - C_{pm} \big|_{t_2^1}^{t_2^1} \cdot t_2^1}{t_2^{11} - t_2^1}$$

где $C_{pm} \big|_{t_2^1}^{t_2^{11}}$, $C_{pm} \big|_{t_2^1}^{t_2^1}$ – табличные данные значения теплоемкости воздуха.

Тепловая мощность теплообмена

$$Q = G C_{pm} \big|_{t_2^1}^{t_2^{11}} (t_2^{11} - t_2^1)$$

1. Прямоточная схема движения теплоносителя.

Средний температурный напор

$$\Delta t_{\text{ср}}^{\text{прям}} = \frac{(t_1^1 - t_2^1) - (t_1^{11} - t_2^{11})}{\ln \frac{t_1^1 - t_2^1}{t_1^{11} - t_2^{11}}}$$

Поверхность нагрева теплообменника

$$F_{\text{прям}} = \frac{Q}{k \Delta t_{\text{ср}}^{\text{прям}}}$$

2. Противоточная схема движения теплоносителя

$$\Delta t_{\text{ср}}^{\text{прот}} = \frac{(t_1^{11} - t_2^1) - (t_1^1 - t_2^{11})}{\ln \frac{t_1^{11} - t_2^1}{t_1^1 - t_2^{11}}}$$

Поверхность нагрева теплообменника

$$F_{\text{прот}} = \frac{Q}{k \Delta t_{\text{ср}}^{\text{прот}}}$$

4 Вопросы для подготовки к экзамену

1. Основные понятия термодинамики: внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, теплота, работа, теплоемкость.
2. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Процессы с идеальным газом (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный).
3. Первый и второй законы термодинамики. Основные формулировки.
4. Круговые процессы (прямые и обратные, обратимые и необратимые). Характеристики эффективности.
5. Pv - и Ts -диаграммы для жидкости и пара. Термодинамические процессы с паром (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный).
6. Процессы истечения: сопла, дроссели. Основные понятия.
7. Процессы сжатия в одноступенчатом и многоступенчатом поршневом компрессоре. Изображение процессов в Pv -, Ts -диаграммах.
8. Цикл Ренкина. Изображение цикла на Pv - и Ts -диаграммах. Термический КПД цикла.
9. Цикл парокомпрессорной холодильной установки. Холодильный коэффициент.
10. Теплопроводность (основные понятия). Закон Фурье.
11. Конвективный теплообмен (основные понятия). Закон Ньютона-Рихмана.
12. Основные числа подобия конвективного теплообмена. Уравнения подобия.
13. Теплообмен излучением (основные понятия). Законы Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта.
14. Теплопередача (основные понятия). Коэффициент теплопередачи.
15. Основные положения теплового расчета рекуперативных теплообменных аппаратов
16. Топливо. Элементарный состав. Теплота сгорания.
17. Основные типы топочных устройств.
18. Общие сведения о котельной установке.

7 Список рекомендуемой литературы

Основная

1. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. - М.: Высш. школа, 1980. - 469 с.
2. Теплотехника / Под ред. А.П. Баскакова. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 224 с.

Дополнительная

3. Теплотехника / Под ред. В.И. Крутова. - М.: Машиностроение, 1986.- 432 с.
4. Теплотехника / Под ред. В.И. Луканина. - М.: Высш. школа, 2003. - 671 с.
5. Поршаков В.П. Термодинамика и теплопередача (в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности) / В.П. Поршаков, Р.Н. Бикчентай, Б.А. Романов. - М.: Недра, 1987. - 230 с.
6. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 80 с.
7. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена / Под ред. В.И. Крутова. - М.: Высш. школа, 1986. - 383 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Теплофизические свойства воды

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\eta \times 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
120	942,9	4,245	683,0	0,246	1,44
130	934,6	4,263	683,4	0,228	1,33
140	925,8	4,285	682,9	0,212	1,23
150	916,8	4,310	681,7	0,198	1,15
160	907,3	4,339	679,7	0,187	1,08
170	897,3	4,371	676,8	0,177	1,03
180	886,9	4,408	673,2	0,168	0,978
190	876,0	4,449	669,7	0,161	0,938
200	864,7	4,497	663,3	0,155	0,906
210	852,8	4,551	657,1	0,149	0,880
220	840,3	4,614	649,8	0,144	0,856

Таблица А2 - Теплофизические свойства сухого воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda \times 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\eta \times 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
0	1,293	1,005	2,44	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	23,13	0,688
200	0,746	1,026	3,93	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	79,38	0,687

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ОБОРУДОВАНИЕ
ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ**

*Методические указания
к выполнению контрольной работы*

Составители: Покинтелица Н.И.,
Левченко Е.А., Графова А.Е.

Редактор – О.В. Дмитриева

Изд. № 68/18. Объем 1,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»