

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



Кафедра теоретических
тепло- и хладотехники

ОСНОВ

ТЕРМОДИНАМИКА ТЕПЛОМАССОБМЕН ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Рабочая программа и контрольные работы
для студентов специальностей
140401, 140504, 190603 факультета
заочного обучения и экстерната,
в том числе сокращенной формы обучения

Санкт-Петербург 2006

УДК 621.565

Клецкий А.В. Термодинамика. Тепломассообмен. Теплопередача: Раб. программа и контрольные работы для студентов спец. 140401, 140504, 190603 факультета заочного обучения и экстерната, в том числе сокращенной формы обучения / Под ред. О.Б. Цветкова.. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 25 с.

Приведены рабочая программа, задачи контрольных работ по термодинамике, тепломассообмену, теплопередаче, список рекомендуемой учебной литературы.

Рецензент

Доктор техн. наук, проф. А.Я. Эглит

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургский государственный
университет низкотемпературных
и пищевых технологий, 2006

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ КУРСОВ

Курсы «Термодинамика», «Тепломассообмен» и «Теплопередача» изучаются студентами заочной формы обучения самостоятельно по рекомендованным в списке учебной литературы учебникам, учебным пособиям, методическим указаниям и закрепляются выполнением контрольной работы. В период лабораторно-экзаменационной сессии для студентов проводятся обзорные лекции по основным вопросам курсов и лабораторные работы. В процессе освоения дисциплины студенты получают консультации на кафедре ТОТХТ.

Изучение курсов рекомендуется вести в следующем порядке: внимательно ознакомиться с содержанием соответствующего раздела рабочей программы и методическими указаниями; прочитать по учебнику материал, рекомендуемый в программе для изучения данной темы. Изучение курса полезно начинать с уяснения принципиальных положений, затем переходить к разбору его конкретных особенностей. Усвоив смысл изучаемого раздела и разобравшись в ходе математических выкладок, важно самостоятельно повторить вывод той или иной зависимости. Такой метод способствует лучшему усвоению идей и методов, положенных в основу математических выводов. При изучении материала полезно составлять конспекты по каждой теме изучаемых курсов.

Для закрепления пройденного материала студент в процессе изучения дисциплин выполняет контрольные и лабораторные работы.

Для положительной аттестации по дисциплине от студента требуется знание теоретических положений курсов, понимание физической сущности изучаемых явлений и процессов, умение применять теоретические положения к решению практических задач и выполнению лабораторных работ.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Курс I. Термодинамика

Содержание программы

Введение.

Предмет термодинамики, этапы ее развития. Значение тепловых процессов в холодильной технике и теплоэнергетике. Рабочее вещество. Параметры состояния.

Тема 1. Идеальные газы и их смеси.

Термическое уравнение состояния идеального газа. Универсальная и удельная газовые постоянные. Смеси идеальных газов.

Единицы измерения параметров состояния. Расчет неизвестных параметров по уравнению состояния для чистого идеального газа и смесей.

Тема 2. Первый закон термодинамики.

2.1. Первый закон термодинамики.

Классификация термодинамических систем. Работа и теплота, как формы энергетического обмена. Формулировка и аналитическое выражение первого закона термодинамики.

Формулы для расчета теплоты и работы. Функции состояния и функции процесса. Применение рабочей диаграммы.

2.2. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости газов. Энтальпия. Энтропия. Характеристические функции.

Классификация теплоемкости. Связь теплоемкости с атомностью газа. Функции состояния – энтальпия и энтропия. Термодинамические диаграммы $\ln p-h$ и $T-s$. Основные дифференциальные уравнения термодинамики.

Тема 3. Термодинамические процессы идеальных газов.

3.1. Классификация термодинамических процессов.

Квазистатические или равновесные процессы. Причины и условия необратимости процессов. Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы.

Определение параметров рабочего тела в начальной и конечной точках процесса. Расчет характеристик процесса. Изображение на диаграммах.

3.2. Политропный процесс. Процессы в газовых компрессорах.

Общий анализ процессов на основе сравнения показателей политропы. Изображение в диаграммах. Процессы газового компрессора.

Тема 4. Реальные газы. Пары.

4.1. Фазовая диаграмма $p-T$.

Диаграмма $p-T$ для идеального и реального газа. Правило фаз Гиббса. Тройная и критические точки. Нормальная температура кипения. Обозначение хладагентов.

Измерение зависимости между температурой насыщения и давлением. Аппроксимация опытных данных.

4.2. Диаграмма $p-v$ для пара.

Изотермическое сжатие реального газа. Процесс парообразования при постоянном давлении. Параметры влажного пара. Широкодиапазонная диаграмма $p-v$.

4.3. Уравнение состояния реального газа. Термодинамические таблицы и диаграммы. Паровые процессы.

Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса. Метастабильные состояния. Уравнение состояния Боголюбова–Майера. Структура таблиц термодинамических свойств. Термодинамические диаграммы. Процессы реального газа.

Изучение формы представления данных в различных термодинамических таблицах и диаграммах.

Тема 5. Второй закон термодинамики.

5.1. Сущность и формулировки второго закона термодинамики.

Условия получения работы в тепловом двигателе и переноса теплоты от горячего источника к холодному. Прямые и обратные циклы. Цикл Карно. Теорема Карно. МТШ-90.

5.2. Основные положения второго закона термодинамики.

Общие свойства обратимых и необратимых циклов. Интеграл Клаузиуса. Потеря работоспособности системы из-за необратимости протекающих в ней процессов.

Тема 6. Процессы истечения и дросселирования газов и паров.

6.1. Первый закон термодинамики для потока. Процессы истечения.

Процессы течения газов и паров. Уравнение энергии или первого закона термодинамики для потока. Сопла и диффузоры. Скорость и расход газа при истечении. Условие перехода к сверхзвуковым скоростям.

Расчет скорости и расхода газа при истечении с помощью термодинамических диаграмм и таблиц.

Исследование адиабатного процесса истечения воздуха через суживающееся сопло. Построение графика зависимости расхода от отношения давлений.

6.2. Процесс дросселирования. Эффект Джоуля–Томсона.

Закономерности процесса адиабатного дросселирования газов и паров. Дифференциальный и интегральный эффект Джоуля–Томсона. Кривая инверсии.

Определение энтальпии водяного пара при помощи адиабатического дросселирования.

Тема 7. Циклы паросиловых установок.

7.1. Циклы Карно и Ренкина.

Схемы установок реализации циклов Карно и Ренкина. Изображение циклов в диаграммах. Расчет работы, подведенной и отведенной теплоты, термический КПД. Расчет цикла Ренкина для перегретого пара.

7.2. Методы повышения эффективности паросиловых установок. Теплофикация.

Влияние параметров пара на термический КПД. Способы его повышения. Теплофикация.

Тема 8. Циклы паровых холодильных машин и тепловых насосов.

8.1. Обратный цикл Карно. Цикл холодильной машины с дроссельным вентилем.

Схема холодильной машины, реализующей цикл Карно в области влажного пара. Недостатки машины. Холодильная машина с дроссельным вентилем. Схема машины. Изображение цикла в диаграммах.

8.2. Анализ циклов паровой холодильной машины. Цикл теплового насоса.

Термический анализ замены расширительного цилиндра дроссельным вентилем. Цикл теплового насоса. Схема установки.

Тема 9. Циклы газовых машин.

9.1. Прямые газовые циклы.

Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей. Термический КПД.

9.2. Цикл воздушной холодильной машины.

Схема машины. Расчет характеристик цикла. Достоинства и недостатки воздушной холодильной машины.

Тема 10. Основы термодинамики влажного воздуха.

10.1. Параметры влажного воздуха.

Применение воздуха в технологических процессах. Состав атмосферного воздуха. Параметры влажного воздуха. Таблицы свойств влажного воздуха. Диаграмма $h-d$.

10.2. Процессы влажного воздуха.

Процессы охлаждения и нагревания влажного воздуха. Процессы смешения двух потоков влажного воздуха. Подмешивание к воздуху воды и водяного пара.

Курс II. Теплообмен. Теплопередача

Содержание программы

Введение.

Развитие техники искусственного холода. Задачи дисциплины. Русская школа теплофизиков. Основные способы переноса теплоты и массы.

Тема 1. Теплопроводность и теплопередача.

1.1. Теория теплопроводности.

Стационарный тепловой поток в неподвижной среде. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.

1.2. Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме.

Передача теплоты через плоскую и цилиндрическую стенки.

Закон Ньютона–Рихмана. Граничные условия. Критический диаметр изоляции.

Расчет передачи теплоты через плоскую и цилиндрическую стенки при граничных условиях первого и третьего рода.

Определение коэффициента теплопроводности методом шара. Определение коэффициента теплопроводности жидкости методом коаксиальных цилиндров.

Тема 2. Конвективный теплообмен.

2.1. Основные понятия и определения.

Математическое описание и методы решения задач конвективного теплообмена в однофазной среде.

Дифференциальные уравнения энергии, движения, сплошности.

2.2. Подобие и моделирование процессов конвективного теплообмена.

Подобие физических процессов. Анализ размерностей.

Теоремы подобия. Фундаментальные критерии подобия. Моделирование. Уравнения подобия. Обобщение экспериментальных данных методом подобия.

2.3. Теплоотдача при продольном обтекании плоской поверхности вынужденным потоком несжимаемой жидкости.

Гидродинамика течения. Ламинарный и турбулентный пограничные слои. Аналитическое описание теплоотдачи.

2.4. Теплоотдача при вынужденном движении среды в трубах и каналах.

Стабилизированное ламинарное и турбулентное течения. Аналогия Рейнольдса.

Теплоотдача в каналах некруглого сечения и в изогнутых каналах.

2.5. Теплоотдача при внешнем обтекании вынужденным потоком одиночных цилиндров и трубных пучков.

Поперечное обтекание одиночной трубы и пучков труб. Расчет теплообмена при вынужденном движении среды.

2.6. Теплообмен при естественной конвекции.

Естественная конвекция вдоль вертикальной пластины и горизонтальных труб. Ламинарный и турбулентный пограничные слои. Конвекция в замкнутом объеме. Определение коэффициента теплоотдачи при естественном движении воздуха. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном движении.

2.7. Теплообмен при фазовых превращениях.

Кипение. Режимы кипения в большом объеме. Кризисы кипения. Конденсация. Решение Нуссельта. Факторы, не учитываемые теорией Нуссельта. Конденсация внутри труб. Капельная конденсация.

Теплообмен при кипении и конденсации. Определение коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости. Определение коэффициента теплоотдачи при конденсации.

Тема 3. Теплообмен излучением.

Законы излучения. Излучение серых тел. Излучение газов. Расчет теплообмена между плоскопараллельными серыми поверхностями. Диффузное излучение. Экраны. Сложный теплообмен.

Тема 4. Передача теплоты через ребренные поверхности.

Интенсификация теплопередачи. Прямое ребро постоянного сечения. Эффективность ребрения. Приведенные коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Передача теплоты через ребренные поверхности. Лучистый и сложный теплообмен.

Тема 5. Основы расчета теплообменных аппаратов.

5.1. Классификация аппаратов

Назначение теплообменников. Виды теплового расчета. Схемы движения сред в аппарате. Исследование теплообменного аппарата.

5.2. Расчет теплопередачи в аппаратах рекуперативного типа энергетических установок.

Тепловой баланс. Средняя разность температур. Итеративный метод расчета. Интенсификация теплопередачи. Расчет теплообменного аппарата.

Тема 6. Нестационарные задачи теплопроводности.

Аналитическое описание. Фундаментальные критерии подобия. Графики для расчета. Температурное поле тел в процессе их охлаждения (нагревания). Регулярный тепловой режим. Метод конечных разностей. Определение коэффициента теплопроводности изоляционных материалов.

Тема 7. Совместные процессы тепло- и массообмена.

7.1. Молекулярная и конвективная диффузия. Массоотдача. Массоперенос. Законы Фика. Дифференциальные уравнения. Критерии подобия. Тройная аналогия.

7.2. Тепло- и массоперенос между водой и влажным воздухом

Закон Льюиса. Коэффициент влаговываждения. Тепло- и массообмен между водой и влажным воздухом.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Требования к выполнению контрольных работ

При выполнении контрольной работы необходимо придерживаться следующих правил:

- номер варианта (от 0 до 9) выбирать по последней цифре зачетной книжки;
- условия задач переписывать полностью;
- в процессе решения сначала приводить формулы, затем подставлять в них соответствующие численные значения, размерность приводить только для результата вычисления;
- вычисления проводить **только** в международной системе СИ;
- решения иллюстрировать схемами и графиками (если требуется по условию);
- в тексте работы приводить ссылки на использованную литературу, а в конце контрольной работы – список использованной литературы.

Таблицы и диаграммы свойств рабочих веществ, указанных в задачах, приведены в [1–4].

Контрольная работа подписывается студентом. Прием контрольных работ на рецензию прекращается за 10 дней до начала лабораторно-экзаменационной сессии.

I. Контрольные работы по термодинамике

ВНИМАНИЕ!

Студенты 4-го курса специальности 140401 «Физика и техника низких температур» выполняют по дисциплине «Термодинамика» **одну** контрольную работу, состоящую из **первой** задачи контрольной работы № 1 и **всех** задач контрольной работы № 2.

Контрольная работа № 1

Задача 1. Газ сжимается в компрессоре по политропе с показателем n . В начальном состоянии давление газа p_1 и температура t_1 , в конечном состоянии давление p_2 . Масса газа $M = 10$ кг.

Определить параметры газа в начальном и конечном состояниях, работу и теплоту процесса, изменение внутренней энергии и энтропии. Найти работу компрессора в адиабатном, политропном и изотермическом процессах.

Принять показатель адиабаты $k = 1,4$; среднюю массовую изохорную теплоемкость $C_v = 0,723$ кДж/(кг·К). Для определения удельной газовой постоянной использовать уравнение Майера.

Изобразить процесс в $p-v$ и $T-s$ -координатах (без масштаба). На этих же диаграммах показать также изобарный, изотермический, адиабатный и изохорный процессы, имеющие начальное состояние в точке 1.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
p_1 , бар	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
t_1 , °С	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
p_2 , бар	1,5	1,8	1,9	2,0	2,1	2,4	2,8	2,9	3,1	3,2

Задача 2. На диаграмме $T-s$ изображен цикл воздушной холодильной машины (ВХМ). Температура воздуха, поступающего в компрессор, t_1 ; давление p_1 . Давление воздуха, поступающего в детандер, p_2 , температура t_3 . Массовый расход воздуха $M = 0,1$ кг/с.

Определить параметры узловых точек цикла, теплоту и работу каждого процесса, а также цикла в целом, холодильный коэффициент и холодопроизводительность ВХМ, холодопроизводительность воздухоохладителя. Сравнить цикл ВХМ с обратным обратимым циклом Карно, осуществляемым в том же интервале температур источников t_1 и t_3 , определив его холодильный коэффициент.

Изобразить схему установки и цикл ВХМ в диаграммах $p-v$, $T-s$. Совместно с циклом ВХМ изобразить цикл Карно.

Для расчета показателя адиабаты k использовать уравнение Майера. Средняя массовая изохорная теплоемкость воздуха $C_v = 0,723$ кДж/(кг·К), удельная газовая постоянная $R = 287$ Дж/(кг·К).

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1, ^\circ\text{C}$	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0	-5	-10
$p_1, \text{бар}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,3	1,2	1,1
$p_2, \text{бар}$	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,4	3,2	3,0
$t_3, ^\circ\text{C}$	6	8	10	12	14	16	14	12	10	8

Задача 3. Рабочее вещество – реальный газ. В начальном состоянии заданы параметры: давление p_1 и удельный объем v_1 . В результате термодинамического процесса давление в конечном состоянии стало p_2 .

Определить термодинамическое состояние рабочего вещества в начале и конце процесса, а также его параметры: 1) с помощью таблиц (или расчетом); 2) независимо – с помощью диаграмм для данного вещества.

Изобразить процесс в диаграммах $p-v$, $T-s$, $\ln p-h$. Рассчитать и показать, где возможно, на диаграммах удельную теплоту, работу и изменение внутренней энергии в процессе.

Данные о параметрах свести в таблицу:

№ точки	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	x
1	*	p_1	v_1	*	*	*
	**			**	**	**
2 и т. д.	*	p_2	*	*	*	*
	**		**	**	**	**

* Параметры, определенные по диаграмме.

** Параметры, определенные по таблицам или полученные расчетом.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре номера зачетной книжки:

№ варианта	Рабочее вещество	p_1 , МПа	v_1 , м ³ /кг	Процесс	p_2 , МПа
0	Вода	0,20	0,15	Изотермический	0,05
1	Вода	0,25	0,14	Изотермический	0,10
2	Вода	0,30	0,12	Изохорный	2,00
3	Аммиак	0,05	0,20	Изотермический	0,02
4	Аммиак	0,08	0,15	Адиабатный	0,04
5	Аммиак	0,12	0,12	Изохорный	1,20
6	R22	0,10	0,03	Изотермический	0,04
7	R22	0,12	0,12	Адиабатный	0,80
8	R22	0,15	0,05	Изохорный	0,60
9	R22	0,06	0,30	Адиабатный	2,00

Контрольная работа № 2

Задача 1. Паросиловая установка (ПСУ) работает по циклу Ренкина. В турбину поступает водяной пар с температурой t_1 и давлением p_1 . На выходе из турбины давление p_2 , расход пара $M = 10$ кг/с.

Определить параметры (p, t, v, h, s, x) узловых точек цикла, подведенную и отведенную теплоту, работу цикла, термический коэффициент полезного действия и мощность установки.

Изобразить схему установки и цикл в диаграммах $p-v$, $T-s$ и $h-s$; показать графически теплоту и работу цикла. Параметры узловых точек определить двумя способами: 1) с помощью диаграммы; 2) по таблицам термодинамических свойств холодильного агента (или путем расчета, когда это необходимо).

Параметры точек цикла свести в таблицу:

№ точки	t , °С	p , МПа	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	x
1	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**
2 и т. д.	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**

* Параметры, определенные по диаграмме.

**Параметры, определенные по таблицам или полученные расчетом.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре номера зачетной книжки:

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p_1 , МПа	2,0	2,0	3,0	5,0	5,0	5,0	1,5	1,5	1,5	1,5
t_1 , °С	350	400	400	400	500	550	350	450	500	600
p_2 , МПа	0,1	0,1	0,05	0,1	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01

Задача 2. Паровая компрессионная холодильная машина работает по циклу с дросселированием, перегревом перед компрессором и переохлаждением после конденсатора. Температура кипения хладагента в испарителе t_0 . В компрессор поступает перегретый пар с температурой t_1 . Температура конденсации хладагента в конденсаторе t_k . Хладагент перед дросселированием (регулирующим вентилем) охлаждается до температуры t_5 .

Определить параметры: давление, температуру, удельный объем, удельную энтальпию, удельную энтропию, степень сухости (p , t , v , h , s , x) узловых точек цикла, подведенную и отведенную теплоту, работу, теоретическую мощность привода компрессора, полную холодопроизводительность и холодильный коэффициент, если массовый расход циркулирующего хладагента $M = 0,2$ кг/с.

Изобразить схему установки, представить цикл в координатах $p-v$, $T-s$ и $\ln p-h$. Параметры узловых точек определить двумя способами: 1) с помощью диаграммы; 2) по таблицам термодинамических свойств холодильного агента (или путем расчета, когда это необходимо). Параметры ненасыщенной переохлажденной жидкости после конденсатора (кроме давления) определить условно по таблицам для насыщенной жидкости по температуре переохлаждения t_5 [5–7].

Параметры точек цикла свести в таблицу:

№ точки	t , °С	p , МПа	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	x
1	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**
2 и т. д.	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**

* Параметры, определенные по диаграмме.

** Параметры, определенные по таблицам или полученные расчетом.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

№ варианта	Агент	Параметры, °С			
		t_0	t_k	t_1	t_5
0	Аммиак	-30	10	-20	5
1	Аммиак	-20	20	-10	15
2	Аммиак	-10	30	0	25
3	Аммиак	0	40	10	35
4	Аммиак	-10	20	-5	15
5	Хладагент R22	-40	10	-30	5
6	Хладагент R22	-30	20	-20	15
7	Хладагент R22	-20	30	-10	25
8	Хладагент R22	-10	40	0	35
9	Хладагент R22	0	50	10	45

Задача 3. Влажный воздух состояния 1 и массой сухого воздуха M охлаждается сначала до температуры точки росы (состояние 2), затем до температуры t_3 (состояние 3). Далее (после отвода конденсата) насыщенный влажный воздух состояния 3 нагревается до первоначальной температуры t_1 (состояние 4).

Определить параметры влажного воздуха: парциальное давление водяного пара, давление насыщения при заданной температуре, относительную влажность, влагосодержание, удельную энтальпию, степень насыщения ($p_p, p_n, \phi, d, h, \psi$) всех названных состояний, также теплоту, подведенную к воздуху при нагревании и отведенную при охлаждении.

Параметры воздуха определить двумя способами: 1) с помощью диаграммы $h-d$; 2) расчетом по формулам для влажного воздуха с использованием таблиц термодинамических свойств водяного пара и насыщенного влажного воздуха. Решение сопроводить пояснениями. Процессы нагревания и охлаждения изобразить в диаграмме $h-d$ (без масштаба). Давление атмосферного воздуха принять равным давлению, для которого построена диаграмма $h-d$.

Параметры влажного воздуха свести в таблицу:

№ точки	t , °С	$p_{п}$, Па	$p_{н}$, Па	φ , %	d , кг/кг с.в.	h , кДж/кг	ψ
1		*			*	*	
		**	**		**	**	
2 и т. д.		*	*	*	*	*	
		**	**	**	**	**	

* Параметры, определенные по диаграмме.

** Параметры, определенные расчетом.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1 , °С	35	30	30	25	25	20	20	18	18	35
φ_1 , %	70	50	70	55	75	70	85	60	85	60
t_3 , °С	18	14	20	10	18	10	12	5	6	22
M , кг	50	5	10	15	20	25	30	35	40	45

II. Контрольные работы по теплопередаче

ВНИМАНИЕ!

Студенты 4-го курса специальности 190603 «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования» и 2-го курса специальности 140401 «Физика и техника низких температур» (сокращенная форма обучения) выполняют по дисциплине «Теплопередача» **одну** контрольную работу, состоящую из **первой и второй** задач контрольной работы № 1 и **второй и четвертой** задач контрольной работы № 2.

Контрольная работа № 1

Задача 1. Стена камеры холодильника, выполненная из слоя кирпича толщиной δ_2 и слоя изоляции толщиной δ_3 , с двух сторон покрыта слоем штукатурки толщиной $\delta_1 = \delta_4 = 20$ мм.

Температура наружного воздуха $t_{в1}$, в камере $t_{в2}$. Коэффициент теплоотдачи от наружного воздуха к поверхности стены α_1 , от внутренней поверхности стены к воздуху в камере α_2 .

Определить общее и частные термические сопротивления, коэффициент теплопередачи, плотность теплового потока и количество теплоты, проходящее через стенку высотой 4 м и длиной 8 м в течение суток. Определить также температуры поверхностей всех слоев и построить график распределения температур по толщине стенки (без масштаба).

Значения коэффициента теплопроводности λ [Вт/(м·К)] материалов стенки приведены в таблице:

Кирпич	Штукатурка	Пробковая плита	Стекловойлок	Минераловатная плита	Войлок шерстяной	Асбовермикулитовая плита (АВП)
0,640	0,750	0,050	0,040	0,093	0,058	0,080

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре номера зачетной книжки:

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
δ_2 , мм	500	380	250	500	380	250	500	380	250	500
δ_3 , мм	150	200	250	300	150	200	250	150	200	250
α_1 , Вт/(м ² ·К)	20	18	15	12	20	18	15	12	20	18
α_2 , Вт/(м ² ·К)	7	9	10	7	9	10	7	9	10	7
Тип изоляции	Пробковая плита		Стекловойлок		Минераловатная плита		Войлок шерстяной		АВП	
$t_{в1}$, °С	5	7	10	12	15	17	20	22	25	30
$t_{в2}$, °С	-10	-12	-14	-16	-18	-20	-10	-12	-14	-16

Задача 2. Внутри стального трубопровода, наружный диаметр которого $d_{нар}$, а толщина стенки $\delta_{ст}$, движется жидкость (хладоноситель) с температурой $t_{ж1}$. Трубопровод покрыт изоляцией толщиной $\delta_{из}$. Снаружи находится воздух, температура которого $t_{ж2}$. Коэффициенты теплоотдачи: от воздуха к поверхности изоляции α_2 , от внутренней поверхности трубопровода к хладоносителю α_1 .

Определить: линейный коэффициент теплопередачи; плотность теплового потока от воздуха к хладоносителю, отнесенную к 1 м длины трубопровода и к 1 м² наружной поверхности изоляции; температуры на наружной и внутренней поверхностях изоляции. Вычислить теплоприток от воздуха к хладоносителю за время τ , если длина трубопровода L .

Коэффициенты теплопроводности стали $\lambda_{ст} = 45$ Вт/(м·К), изоляции $\lambda_{из}$.

Изобразить распределение температур в трубопроводе (без масштаба).

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

№ варианта	$d_{нар}$, мм	$\delta_{ст}$, мм	$t_{ж1}$, °С	$\delta_{из}$, мм	α_1 , Вт/(м ² ·К)	α_2 , Вт/(м ² ·К)	$t_{ж2}$, °С	$\lambda_{из}$, Вт/(м·К)	L , м	τ , ч
0	30	1,5	-5	10	1000	5	5	0,035	4	2
1	36	1,5	-10	15	1500	8	10	0,029	5	3
2	42	2,0	-15	20	2000	10	15	0,047	6	4
3	52	2,0	-20	25	1500	10	20	0,064	7	5
4	56	2,5	-25	30	1000	8	25	0,076	8	2
5	30	1,5	-5	10	800	6	20	0,035	7	3
6	36	1,5	-10	15	1000	5	15	0,029	6	2
7	42	2,0	-15	20	1500	10	10	0,047	5	3
8	52	2,0	-20	25	2000	8	5	0,064	4	2
9	56	2,5	-25	30	1000	10	25	0,076	3	1

Задача 3. Внутри стальной трубы, наружный диаметр которой $d_{нар}$ и толщина стенки $\delta_{ст}$, движется трансформаторное масло с температурой $t_{ж1}$. Труба расположена в помещении с температурой $t_{ж2}$. Коэффициент теплоотдачи от масла к внутренней поверхности трубы α_1 , от поверхности трубы к воздуху α_2 . Для снижения тепловых потерь трубу покрывают слоем бетона $\delta_б$.

Определить линейную плотность теплового потока через трубу без бетона и при его наличии. Найти максимальное значение коэффициента теплопроводности такой изоляции, накладываемой на трубу, чтобы при любой ее толщине теплопотери были меньше, чем для неизолированной трубы.

Коэффициенты теплопроводности: стали $\lambda_{ст} = 45 \text{ Вт/(м·К)}$, бетона $\lambda_б = 1,3 \text{ Вт/(м·К)}$. Значение коэффициента теплоотдачи α_2 считать постоянным.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

№ варианта	$d_{нар}$, мм	$\delta_{ст}$, мм	$\delta_б$, мм	$t_{ж1}$, °С	$t_{ж2}$, °С	α_1 , Вт/(м ² ·К)	α_2 , Вт/(м ² ·К)
0	30	1,5	30	60	10	500	5
1	36	1,5	40	80	15	600	6
2	42	2,0	50	100	20	700	7
3	52	2,0	60	120	25	800	8
4	56	2,5	40	100	10	900	10
5	30	1,5	50	60	10	1000	5
6	36	1,5	60	80	15	1100	6
7	42	2,0	60	100	20	1200	7
8	52	2,0	80	120	25	1300	8
9	56	2,5	80	100	10	1400	10

Задача 4. Стальную пластину ($\lambda_{ст} = 12 \text{ Вт/(м·К)}$, $a_{ст} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$) толщиной δ с начальной температурой $t_{нач}$ опускают в ванну с жидким азотом, имеющим постоянную температуру $t_ж = -196 \text{ °С}$. Коэффициент теплоотдачи от пластины к азоту $\alpha = 200 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Считая, что температура пластины изменяется только по толщине, определить температуры поверхности пластины $t_{пов}$ и ее центральной плоскости $t_{ц}$ через время τ после начала охлаждения. Найти количество теплоты, которое передаст пластина азоту за это время при массе пластины 1000 кг.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{нач}$, °С	20	50	70	100	150	200	20	50	100	150
δ , мм	80	90	100	120	150	200	80	100	150	200
τ , с	1000	1200	1500	1300	1500	1700	1200	1500	1800	2000

Контрольная работа № 2

Задача 1. Для увеличения теплового потока от воздуха к движущемуся внутри труб хладоносителю воздухоохладитель сконструирован из оребренных горизонтальных труб, наружный диаметр которых $d_{нар} = 20$ мм, толщина стенки $\delta_{ст} = 1,5$ мм.

Ребра прямые круглые высотой h_p и толщиной δ_p , шаг ребер S_p . Коэффициент теплопроводности материала труб и ребер $\lambda_{ст}$. Коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности ребер и межреберных участков α_p , а от внутренней поверхности трубы к хладоносителю α_1 .

Определить коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи, приведенные к полной (оребренной) поверхности. Найти, во сколько раз увеличится тепловой поток через оребренную трубу по сравнению с неоребренной.

При определении коэффициента эффективности ребра по формуле $E = th(mh'_p)/(mh'_p)$ условную (приведенную) высоту ребра рассчитать по формуле $h'_p = h_p[1+0,35 \ln(D/d_o)]$, где D – диаметр ребра.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

№ варианта	h_p , мм	δ_p , мм	S_p , мм	$\lambda_{ст}$, Вт/(м·К)	α_p , Вт/(м ² ·К)	α_1 , Вт/(м ² ·К)
0	10	0,5	4	40	6	500
1	12	0,6	5	45	7	600
2	14	0,7	6	108	8	700
3	16	0,8	7	200	9	800
4	18	1,0	8	390	10	900
5	10	1,0	4	390	30	900
6	12	0,8	5	200	40	500
7	14	0,7	6	108	50	600
8	16	0,6	7	45	60	700
9	18	0,5	8	40	70	600

Задача 2. Для обогрева воздуха в помещении используется настенный нагреватель высотой h и длиной l . Температура воздуха в помещении $t_{ж}$, температура наружной поверхности нагревателя $t_{ст}$.

Нагреватель изготовлен из чугуна, степень черноты поверхности нагревателя $\varepsilon = 0,64$.

Определить конвективный Q_k , лучистый $Q_{л}$, а также полный Q тепловые потоки от поверхности нагревателя к воздуху.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре номера зачетной книжки:

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h , м	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
L , м	1,2	1,0	0,8	1,2	1,0	0,8	1,2	1,0	0,8	1,2
$T_{ж}$, °C	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$T_{ст}$, °C	70	65	60	55	50	70	65	60	55	50

Задача 3. Теплообменник, предназначенный для охлаждения жидкого холодильного агента после конденсации, выполнен в виде двухтрубного аппарата (труба в трубе). Размеры внутренней трубы $d \times \delta$, наружной $d_n \times \delta_n$. По внутренней трубе со скоростью W_B движется охлаждающая вода, в межтрубном кольцевом пространстве со скоростью W_a – холодильный агент. Средняя температура воды t_B , хладагента t_a .

Определить коэффициент теплопередачи от хладагента к воде, применив формулу для плоской стенки.

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре номера зачетной книжки:

№ варианта	Хладагент	$d_n \times \delta_n$, мм	$d \times \delta$, мм	W_a , м/с	t_a , °C	t_B , °C	W_B , м/с
0	NH ₃	50×2,5	30×2,5	0,5	10	5	1,0
1	R22	36×2,0	20×2,0	0,6	15	7	1,1
2	R125	36×2,0	16×2,0	0,7	20	10	1,2
3	NH ₃	26×1,5	14×1,5	0,8	25	15	1,3
4	R22	20×1,5	11×1,0	0,5	30	15	1,4
5	R125	50×2,5	30×2,5	0,6	35	20	1,0
6	NH ₃	36×2,0	20×2,0	0,7	40	25	1,1
7	R22	32×2,0	16×2,0	0,7	45	25	1,2
8	R125	14×1,5	14×1,5	0,5	50	30	1,3

9	NH ₃	20×1,5	11×1,0	0,4	30	15	1,4
---	-----------------	--------	--------	-----	----	----	-----

Задача 4. Холодильный агент кипит (конденсируется) при температуре насыщения t_n на трубах теплообменных аппаратов. Внутри трубы испарителя (конденсатора) движется хладоноситель – водный раствор NaCl или CaCl₂ (вода) со скоростью W . Температура хладоносителя (воды) на входе в аппарат t_1 , на выходе t_2 . Тепловая нагрузка аппарата $Q = 0,3$ МВт.

Определить средний логарифмический температурный напор, коэффициенты теплоотдачи со стороны холодильного агента и хладоносителя (воды в конденсаторе), плотность теплового потока, коэффициент теплопередачи и площадь теплопередающей поверхности испарителя (конденсатора).

Номер варианта и исходные данные для расчета определяют по последней цифре шифра:

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип аппарата	Конденсатор					Испаритель				
Хладоноситель	Вода					Раствор NaCl		Раствор CaCl ₂		
W , м/с	2,2	1,7	1,4	1,5	1,3	2,2	1,6	2,2	2,5	3,2
t_1 , °С	22	32	12	22	30	-12	-2	-23	-13	-3
t_2 , °С	24	34	14	24	34	-15	-5	-25	-15	-5
Холодильный агент	Аммиак		R22					Аммиак		
T_n , °С	30	40	20	30	40	-20	-10	-30	-20	-10
Материал труб	Сталь		Медь		Сталь	Медь		Сталь		
$d \times \delta$, мм	20×2		16×1		22×2	15×1,5		30×2,5		

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. / С.Н. Богданов, С.И. Бурцев, О.П. Иванов, А.В. Куприянова; Под ред. С.Н. Богданова – СПб.: СПбГУНиПТ, 1999. – 308 с.

2. **Цветков О.Б.** Термодинамика. Теплопередача: Справ. материал к контрольным работам для студентов заочного факультета. – Л.: ЛТИХП, 1987. – 45 с.

3. **Цветков О.Б., Клецкий А.В., Лаптев Ю.А.** Практикум по термодинамике и теплопередаче. Часть I. Свойства рабочих веществ и материалов холодильной и криогенной техники и систем кондиционирования воздуха: Метод. указания для самостоятельной работы студентов всех спец. – СПб.: СПбТИХП, 1993. – 98 с.

4. **Цветков О.Б., Клецкий А.В., Лаптев Ю.А.** Теплофизические свойства и диаграммы альтернативных холодильных агентов: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГАХиПТ, 1997. – 96 с.

5. Теоретические основы хладотехники. Часть I. Термодинамика / С.Н. Богданов, Э.И. Гуйго, Г.Н. Данилова, О.П. Иванов, А.В. Клецкий, В.Т. Плотников, В.Н. Филаткин, О.Б. Цветков; Под ред. Э.И. Гуйго. – М.: Колос, 1994. – 288 с.

6. **Богданов С.Н., Клецкий А.В., Куприянова А.В.** Сборник задач по технической термодинамике. – СПб.: СПбГАХиПТ, 1996. – 189 с.

7. **Цветков О.Б.** Термодинамика. Теплопередача: Метод. указания к контрольным работам для студентов заочного факультета. – Л.: ЛТИХП, 1987. – 23 с.

Дополнительная

Теоретические основы хладотехники. Часть II. Тепломассообмен / С.Н. Богданов, Н.А. Бучко, Э.И. Гуйго, Г.Н. Данилова, В.Т. Плотников, В.Н. Филаткин, О.Б. Цветков; Под ред. Э.И. Гуйго. – М.: Колос, 1994. – 368 с.

Сборник задач по процессам теплообмена в пищевой и холодильной промышленности / Г.Н. Данилова, В.Н. Филаткин, М.Г. Щербов, Н.А. Бучко. – М.: Колос, 1995.

Теплотехника: Учеб. для втузов / А.М. Архаров, И.А. Архаров, В.Н. Афанасьев и др.; Под ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева. – М.: Изд-во МГУ им. Баумана, 2004. – 712 с.

Лабораторный практикум по теплопередаче / Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, О.Б. Цветков и др.; Под общ. ред. Э.И. Гуйго, Ю.Н. Ширяева. – СПб.: СПбТИХП, 1992. – 26 с.

Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Термодинамика. Теплопередача: Метод. указания. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2002. – 43 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ КУРСОВ.....	3
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА.....	6
Курс I. Термодинамика.....	6
Курс II. Тепломассообмен. Теплопередача	9
КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ.....	13
I. Контрольные работы по термодинамике.....	13
Контрольная работа № 1	14
Контрольная работа № 2	16
II. Контрольные работы по теплопередаче	19
Контрольная работа № 1	19
Контрольная работа 2	23
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	26

Клецкий Александр Владимирович

ТЕРМОДИНАМИКА ТЕПЛОМАССОБМЕН ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Рабочая программа и контрольные работы
для студентов специальностей
140401, 140504, 190603 факультета
заочного обучения и экстерната,
в том числе сокращенной формы обучения

Редактор
Е.О. Трусова

Компьютерная верстка
Н.В. Гуральник

Подписано в печать 27.12.2006. Формат 60×84 1/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,63. Печ. л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,56
Тираж 300 экз. Заказ № С 100

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9