

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕПЛО- И ХЛАДОТЕХНИКИ
ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ
И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА**

Учебно-методическое пособие



Санкт-Петербург

2015

УДК 621.565

Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Теоретические основы тепло- и хладотехники. Основы термодинамики и тепломассопереноса: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. – 56 с.

Приведены рабочая программа и контрольные работы по термодинамике и теплопередаче, список рекомендуемой учебной литературы. В приложении даны таблицы свойств холодильных агентов, необходимые для выполнения контрольных и курсовых работ.

Предназначено для бакалавров, обучающихся по направлениям 19.03.02, 19.03.03, 18.03.02, 19.03.01, 15.03.02, 15.03.04 факультета заочного обучения, в том числе по сокращенной форме.

Рецензент: доктор техн. наук, проф. Л.А. Забодалова

**Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Института холода и биотехнологий**



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015

© Цветков О.Б., Лаптев Ю.А., 2015

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Данное учебно-методическое пособие включает в себя рабочую программу и контрольные работы для бакалавров, обучающихся по технологическим направлениям: 19.03.02 и 19.03.03 (дисциплины «Теоретические основы тепло- и хладотехники», «Тепло- и хладотехника», «Теплотехника. Ч. I»), 19.03.01 (дисциплина «Основы термодинамики и тепломассопереноса»), 18.03.02 (дисциплина «Основы тепло- и хладотехники»); по механическим направлениям: 15.03.04 (дисциплина «Основы термодинамики и теплопередачи»), 15.03.02 (дисциплина «Термодинамика и тепломассообмен»), в том числе по сокращенной форме обучения.

Эти дисциплины изучаются студентами заочной формы обучения самостоятельно по рекомендованным в списке учебной литературы учебникам, учебным пособиям и методическим указаниям [1–10], после чего выполняются контрольные и курсовые работы. В период лабораторно-экзаменационной сессии на кафедре читаются обзорные лекции по основным вопросам указанных дисциплин, студенты выполняют лабораторные работы. В процессе освоения дисциплин для студентов проводятся консультации.

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 курсов 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. При изучении материала полезно составлять конспекты по каждой теме изучаемых курсов.

Для закрепления пройденного материала студент в процессе изучения дисциплин выполняет контрольные и курсовые работы, а во время сессии – лабораторные работы.

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

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ИНДЕКСЫ

a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$;
 b – ширина, м ;
 c_v – удельная массовая изохорная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
 c_p – удельная массовая теплоемкость при постоянном давлении, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
 d – диаметр, м ;
 d – влагосодержание, $\text{кг}/\text{кг}$ сухого воздуха;
 h – энтальпия, $\text{кДж}/\text{кг}$;
 h – высота, м ;
 k – показатель адиабаты;
 l – длина, характеристический размер, м ;
 M – масса, кг ;
 n – показатель политропы;
 p – давление, Па , бар ;
 q – плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
 Q – тепловой поток, Вт ;
 Q_τ – количество теплоты, Дж ;
 r – удельная теплота парообразования, $\text{кДж}/\text{кг}$;
 s – удельная энтропия, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
 S – шаг пучка труб;
 t – температура, $^\circ\text{C}$;
 T – температура, К , $T = t + 273,15$;
 v – удельный объем, $\text{м}^3/\text{кг}$;
 W, w – скорость, $\text{м}/\text{с}$;
 x – степень сухости;
 α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;
 k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;
 β – коэффициент объемного расширения, $1/\text{К}$;
 Δt – разность (перепад) температур, $^\circ\text{C}$;
 ε – холодильный коэффициент;
 ε – степень черноты;
 λ – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
 μ – коэффициент динамической вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$;
 ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$;
 ρ – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$;

φ – относительная влажность, %;
 ψ – степень насыщения;
 ξ – массовая концентрация раствора, кг/кг, %;
 $Re = wl/\nu$ – критерий Рейнольдса;
 $Pr = \nu/a$ – критерий Прандтля;
 $Gr = g\beta l^3 \Delta t / \nu^2$ – критерий Грасгофа;
 $Nu = \alpha l / \lambda$ – критерий Нуссельта;
 R – обозначение хладагента по ИСО.

ИНДЕКСЫ

б – бетон;
 в – воздух
 вв – влажный воздух;
 ж – жидкость;
 н – состояние насыщения;
 нач – начальная;
 п – пар;
 р – точка росы;
 ст – стенка;
 з – замерзание;
 г – газообразное состояние;
 m – средний;
 ' – насыщенная жидкость;
 " – сухой насыщенный пар.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Техническая термодинамика

Содержание программы

Введение.

Предмет технической термодинамики, ее основные задачи. Основные этапы развития и современное состояние термодинамики. Роль русских и советских ученых в развитии термодинамики. Фундаментальное значение термодинамики в развитии теплоэнергетики и холодильной техники.

Тема 1. Идеальные газы и их смеси. Термическое уравнение состояния идеального газа. Универсальная и удельная газовые постоянные.

Параметры состояния рабочих тел. Первый и второй законы термодинамики.

Рабочее вещество, его свойства. Параметры состояния рабочего вещества: абсолютное давление, температура, удельный объем. Первый закон термодинамики. Работа и теплота как различные формы передачи энергии. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Рабочая диаграмма $p-v$ и ее свойства. Сложные параметры: энтальпия и энтропия. Диаграмма $T-s$ и ее свойства. Содержание и формулировки второго закона термодинамики. Условия получения работы в тепловом двигателе и условия переноса теплоты от источника низкой температуры к источнику с более высокой температуры.

Пары: основные понятия и определения. Диаграмма $p-v$ для пара. Процессы подогрева жидкости, парообразования и перегрева пара. Параметры ненасыщенной и насыщенной жидкости, влажного, сухого и перегретого пара. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, холодильных агентов. Диаграммы $T-s$, $h-s$, $p-v$. Изохорный, изобарный, адиабатный и изотермический процессы. Определение теплоты, работы и изменения внутренней энергии процессов. Изображение процессов в диаграммах.

Тема 2. Циклы паровых холодильных машин.

Холодильная машина, осуществляющая обратный цикл Карно: схема машины, изображение цикла в диаграммах $p-v$, $T-s$, $\ln p-h$, холодильный коэффициент. Практические недостатки обратного цикла Карно. Замена расширительного цилиндра регулирующим вентилем. Переохлаждение холодильного агента после конденсации, эффект переохлаждения. Паровая компрессорная холодильная машина с регулирующим вентилем и переохлаждением: схема, изображение цикла в диаграммах $p-v$, $T-s$, $\ln p-h$. Тепловой баланс обратного цикла. Холодильный коэффициент.

Тема 3. Циклы паросиловых установок.

Цикл Ренкина для паросиловой установки с насыщенным и перегретым паром. Схема установки. Изображение цикла в диаграммах $p-v$, $T-s$, $h-s$. Термический КПД цикла. Влияние параметров пара на термический КПД. Теплофикация, ее термодинамические основы.

Тема 4. Основы термодинамики влажного воздуха.

Основные понятия. Абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, энтальпия влажного воздуха. Точка росы. Температура мокрого термометра. Диаграмма $h-d$. Процессы нагревания и охлаждения влажного воздуха. Процессы в воздушной сушилке. Процесс смешения влажного воздуха.

Теплопередача. Тепломассообмен

Содержание программы

Введение.

Курс теплопередачи – область применения. Актуальность процессов теплопередачи в технике. Этапы развития учения о теплообмене. Основные способы переноса теплоты: теплопроводность, конвективная теплоотдача, тепловое излучение. Сложные процессы теплообмена и теплопередачи.

Тема 1. Основные положения теории теплопроводности. Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме.

Теплопроводность с позиций молекулярно-кинетической теории. Температурное поле, температурный градиент, тепловой поток. Стационарный и нестационарный тепловые процессы. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности в твердом теле. Коэффициент температуропроводности, его физический смысл. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Закон Ньютона–Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Граничные условия первого, второго и третьего рода.

Передача теплоты через плоскую безграничную стенку. Распределение температур. Расчет теплового потока при граничных условиях первого и третьего рода. Коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление. Многослойная плоская стенка.

Передача теплоты через стенку бесконечно длинного цилиндра. Распределение температур. Тепловой поток при граничных условиях первого и третьего рода. Коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление. Многослойная цилиндрическая стенка. Критический диаметр изоляции.

Тема 2. Теплопроводность при нестационарном режиме.

Сущность процесса нестационарной теплопроводности и причины, его вызывающие. Изменение температурного поля и количест-

ва передаваемой теплоты во времени. Стадии (режимы) развития нестационарного процесса.

Нагревание (охлаждение) неограниченной пластины в среде с постоянной температурой: формулировка задачи, результаты аналитического решения для температурного поля и количества теплоты. Критерии Био и Фурье, их физический смысл. Формулы и графики для расчета.

Нагревание (охлаждение) бесконечно длинного цилиндра в среде постоянной температуры, формулировка задачи, Формулы и графики для нахождения безразмерной температуры и безразмерной теплоты.

Нагревание (охлаждение) тел конечных размеров (параллелепипед, короткий цилиндр) в среде с постоянной температурой. Расчет температурного поля в виде произведения безразмерных температур.

Тема 3. Основы теории подобия.

Физическое описание конвективного теплообмена как совокупности нескольких процессов переноса теплоты. Факторы, влияющие на интенсивность процесса.

Математическое описание конвективного теплообмена: дифференциальное уравнение теплопроводности (уравнение энергии), уравнение конвективного теплообмена. Дифференциальные уравнения движения и сплошности (без выводов). Условия однозначности для стационарных процессов конвективного теплообмена.

Основы теории подобия. Подобные явления. Теоремы подобия. Критерии (числа) подобия как характеристики подобных явлений. Критерии определяющие и определяемые. Методы получения критериев подобия из дифференциальных уравнений. Критерии гидромеханического и теплового подобия. Критериальные уравнения (уравнения подобия) – основа обобщения данных единичного опыта. Определяющая температура и определяющий размер. Примеры уравнений подобия. Границы применения обобщений.

Тема 4. Конвективный теплообмен.

4.1. Конвективный теплообмен в однофазной среде.

4.1.1. Теплоотдача при свободном движении жидкости.

Основные факторы, обуславливающие естественную конвекцию. Характер движения жидкости вблизи вертикальной пластины (ламинарная, турбулентная и переходная области), изменение коэффициента теплоотдачи по высоте пластины. Характер движения жид-

кости вблизи горизонтальных труб и горизонтальных пластин. Уравнение подобия для свободного движения в неограниченном объеме.

4.1.2. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости.

Теплоотдача при движении жидкости в трубах. Ламинарный и турбулентный режимы движения. Особенности гидродинамики и теплообмена при движении в трубах. Механизм теплообмена и общий вид уравнений подобия при ламинарном и турбулентном стабилизированном течении жидкости.

Теплоотдача при внешнем обтекании одиночных труб и трубных пучков. Критериальные зависимости для внешнего обтекания труб газом или жидкостями. Типы пучков труб. Характер движения газа и теплоотдача для коридорных и шахматных пучков.

4.2. Конвективный теплообмен при изменении агрегатного состояния.

4.2.1. Теплообмен при кипении жидкости.

Механизм кипения жидкости: перегрев жидкости и наличие центров парообразования как условия возникновения паровой фазы. Механизм отрыва и движения пузырей, пузырьковый и пленочный режимы кипения. Зависимость коэффициента теплоотдачи и плотности теплового потока от температурного напора при кипении в большом объеме. Формулы для расчета коэффициента теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении в большом объеме.

4.2.2. Теплообмен при конденсации пара.

Пленочная и капельная конденсация. Основы теории пленочной конденсации пара на вертикальных поверхностях при ламинарном движении пленки. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи. Теплоотдача при пленочной конденсации пара на одиночной горизонтальной трубе.

Тема 5. Основы расчета теплообменных аппаратов.

Назначение теплообменников, их классификация по принципам действия: рекуперативные, регенеративные и смешительные. Характерные конструктивные схемы рекуперативных теплообменников. Основные схемы движения теплоносителей в рекуперативных теплообменниках: прямоток, противоток, перекрестный ток. Цели расчета теплообменников: расчет при проектировании и поверочный расчет.

Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи в теплообменном аппарате. Вычисление коэффициента теплопередачи.

Определение среднего температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока.

Требования к выполнению контрольной работы

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 [7–10].

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

- **Для бакалавров полной и сокращенной форм обучения 2-го и 3-го курсов технологических направлений: 19.03.02 и 19.03.03 по дисциплине «Теоретические основы тепло- и хладотехники»; сокращенной формы обучения: 3-го курса направления 19.03.02 по дисциплине «Тепло- и хладотехника», 3-го курса направления 19.03.03 по дисциплине «Теплотехника. Ч. I», 2-го курса направления 19.03.01 по дисциплине «Основы термодинамики и тепломассопереноса»**

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Задача 1. Сухой насыщенный пар хладагента R22 массой $M = 1$ кг при температуре t_1 адиабатно сжимается до давления p_2 . Определить с помощью таблиц и диаграмм параметры начального и конечного состояний R22, а также работу, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии процесса.

Параметры точек цикла свести в таблицу:

№ точки	t , °C	p , МПа	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	x
1	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**
2	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**

* Параметры, определенные по диаграмме.

**Параметры, определенные по таблицам или полученные 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 , °C	10	−80	−70	−65	−50	−40	−30	−20	−10	0
p_2 , бар	30,0	0,6	1,2	1,5	3,0	5,0	10,0	12,0	15,0	25,0

Задача 2. Температура влажного воздуха t и относительная влажность ϕ . Определить его параметры: парциальное давление водяного пара, давление насыщения при заданной температуре, влагосодержание, удельную энтальпию, степень насыщения, точку росы (p_p , p_n , d , h , ψ , t_p) двумя способами: 1) с помощью диаграммы $h-d$; 2) расчетом по формулам с использованием таблиц термодинамических свойств водяного пара или насыщенного влажного воздуха. Давление атмосферного воздуха принять равным давлению, для которого построена используемая диаграмма $h-d$.

Параметры влажного воздуха свести в таблицу:

$t, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{п}}, \text{Па}$	$P_{\text{н}}, \text{Па}$	$\phi, \%$	$d, \text{кг/кг с.в.}$	$h, \text{кДж/кг с.в.}$	Ψ	$t_{\text{р}}, ^\circ\text{C}$
Дано	*	*	Дано	*	*	—	*
	**	**		**	**	**	**

*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
$t, ^\circ\text{C}$	45	10	15	20	25	30	35	40	45	40
$\phi, \%$	20	35	40	45	50	55	60	60	25	20

Задача 3. 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 $t_{\text{в1}}$, в камере $t_{\text{в2}}$. 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 стену высотой 4 м и длиной 8 м в течение суток. Определить также температуры поверхностей всех слоев стены и построить график распределения температур по ее толщине (без масштаба).

Значения коэффициентов теплопроводности материалов стены приведены в таблице:

Наименование материала	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$
Кирпич	0,640
Штукатурка	0,750
Пробковая плита	0,050
Стекловолок	0,040
Минераловатная плита	0,093
Войлок шерстяной	0,058
Шлаковая вата	0,047

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

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
δ , мм	500	380	250	500	380	250	500	380	250	500
δ , 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		Стекло-войлок		Минераловатная плита		Войлок шерстяной		Шлаковая вата	
$t_{в1}$, °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 4. Определить температуры в центре и на поверхности пшеничного батона через час после того, как его вынули из печи.

Начальная температура батона $t_{нач}$, температура воздуха в помещении $t_{в}$, коэффициент теплоотдачи от поверхности батона к воздуху $\alpha_{в}$.

Батон условно имеет форму цилиндра диаметром 60 мм, длина которого во много раз больше его диаметра. Теплофизические свойства батона: коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,224$ Вт/(м·К), коэффициент температуропроводности $a = 24,3 \cdot 10^{-8}$ м²/с.

При решении задачи рекомендуется использовать графики для определения безразмерных температур [2, 4].

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	240	250	240	230	220	210	200	210	220	230
$t_{в}$, °С	29	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$\alpha_{в}$, Вт/(м ² ·К)	15	10	10	12	12	13	13	14	14	15

Задача 5. Плоская чугунная батарея водяного отопления высотой h и длиной l нагревает воздух в помещении.

Определить лучистый, конвективный и общий тепловые потоки от поверхности батареи к воздуху при стационарном режиме, если температура воздуха в помещении $t_{\text{в}}$, температура наружной поверхности батареи $t_{\text{ст}}$. Степень черноты чугуна $\varepsilon = 0,8$.

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h , м	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
l , м	1,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
$t_{\text{ст}}$, °C	68	50	52	54	56	58	60	62	64	66
$t_{\text{в}}$, °C	16	18	20	22	24	26	24	22	20	18

- Для бакалавров полной формы обучения 3-го курса направления 19.03.01 по дисциплине «Основы термодинамики и тепло-массопереноса».

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Задача 1. В компрессоре сжимают воздух. Процесс сжатия осуществляют: по изотерме, адиабате и политропе с показателем n . В начальном состоянии давление воздуха p_1 , температура t_1 , после сжатия – давление p_2 . Масса воздуха $M = 10$ кг.

Определить для трех названных процессов: объем газа в начальном и конечном состояниях, температуру в конечном состоянии, работу процесса сжатия, количество теплоты, изменения внутренней энергии и энтропии.

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

Дать совмещенное изображение всех процессов в координатах $p-v$ и $T-s$ (без масштаба). В координатах $p-v$ показать работу компрессора для рассмотренных процессов сжатия.

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 , МПа	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
t_1 , °C	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
p_2 , МПа	0,15	0,18	0,19	0,20	0,21	0,24	0,28	0,29	0,31	0,32

Задача 2. Сухой насыщенный пар хладагента R22 массой $M = 1$ кг при температуре t_1 адиабатно сжимается до давления p_2 . Определить с помощью таблиц и диаграмм параметры начального и конечного состояний R22, а также работу, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии процесса.

Параметры точек цикла свести в таблицу:

№ точки	t , °C	p , МПа	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·K)	x
1	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**
2	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**

* Параметры, определенные по диаграмме.

**Параметры, определенные по таблицам или полученные 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 , °C	10	-80	-70	-65	-50	-40	-30	-20	-10	0
p_2 , бар	30,0	0,6	1,2	1,5	3,0	5,0	10,0	12,0	15,0	25,0

Задача 3. Температура влажного воздуха t и относительная влажность ϕ . Определить его параметры: парциальное давление водяного пара, давление насыщения при заданной температуре, влагосодержание, удельную энтальпию, степень насыщения, точку росы (p_p , p_n , d , h , ψ , t_p) двумя способами: 1) с помощью диаграммы $h-d$; 2) расчетом по формулам с использованием таблиц термодинамических свойств водяного пара или насыщенного влажного воздуха. Давление атмосферного воздуха принять равным давлению, для которого построена используемая диаграмма $h-d$.

Параметры влажного воздуха свести в таблицу:

t , °C	$P_{\text{п}}$, Па	$P_{\text{н}}$, Па	ϕ , %	d , кг/кг с.в.	h , кДж/кг с.в.	ψ	t_p , °C
Дано	*	*	Дано	*	*	—	*
	**	**		**	**	**	**

*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 , °C	45	10	15	20	25	30	35	40	45	40
ϕ , %	20	35	40	45	50	55	60	60	25	20

- Для бакалавров полной формы обучения 4-го курса направления 19.03.01 по дисциплине «Основы термодинамики и тепло-массопереноса»

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

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 стену высотой 4 м и длиной 8 м в течение суток. Определить также температуры поверхностей всех слоев стены и построить график распределения температур по ее толщине (без масштаба).

Значения коэффициентов теплопроводности материалов стены приведены в таблице:

Наименование материала	λ , Вт/(м·К)
Кирпич	0,640
Штукатурка	0,750
Пробковая плита	0,050
Стекловойлок	0,040
Минераловатная плита	0,093
Войлок шерстяной	0,058
Шлаковая вата	0,047

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

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
δ , мм	500	380	250	500	380	250	500	380	250	500
δ , 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		Стекло-войлок		Минераловатная плита		Войлок шерстяной		Шлаковая вата	
$t_{в1}$, °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. Определить температуры в центре и на поверхности пшеничного батона через час после того, как его вынули из печи.

Начальная температура батона $t_{нач}$, температура воздуха в помещении $t_{в}$, коэффициент теплоотдачи от поверхности батона к воздуху $\alpha_{в}$.

Батон условно имеет форму цилиндра диаметром 60 мм, длина которого во много раз больше его диаметра. Теплофизические свойства батона: коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,224$ Вт/(м·К), коэффициент температуропроводности $a = 24,3 \cdot 10^{-8}$ м²/с.

При решении задачи рекомендуется использовать графики для определения безразмерных температур [2, 4].

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

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{\text{нач}}, ^\circ\text{C}$	240	250	240	230	220	210	200	210	220	230
$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	29	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$\alpha_{\text{в}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	15	10	10	12	12	13	13	14	14	15

Задача 3. Плоская чугунная батарея водяного отопления высотой h и длиной l нагревает воздух в помещении.

Определить лучистый, конвективный и общий тепловые потоки от поверхности батареи к воздуху при стационарном режиме, если температура воздуха в помещении $t_{\text{в}}$, температура наружной поверхности батареи $t_{\text{ст}}$. Степень черноты чугуна $\varepsilon = 0,8$.

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$h, \text{м}$	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$l, \text{м}$	1,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
$t_{\text{ст}}, ^\circ\text{C}$	68	50	52	54	56	58	60	62	64	66
$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	16	18	20	22	24	26	24	22	20	18

- Для бакалавров сокращенной формы обучения 2-го курса направления 18.03.02 по дисциплине «Основы тепло- и хладотехники»

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Задача 1. Сухой насыщенный пар хладагента R22 массой $M = 1$ кг при температуре t_1 адиабатно сжимается до давления p_2 . Определить с помощью таблиц и диаграмм параметры начального и конечного состояний R22, а также работу, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии процесса.

Параметры точек цикла свести в таблицу:

№ точки	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	x
1	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**
2	*	*	*	*	*	*
	**	**	**	**	**	**

* Параметры, определенные по диаграмме.

**Параметры, определенные по таблицам или полученные 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
$t, ^\circ\text{C}$	10	-80	-70	-65	-50	-40	-30	-20	-10	0
$p_2, \text{бар}$	30,0	0,6	1,2	1,5	3,0	5,0	10,0	12,0	15,0	25,0

Задача 2. Температура влажного воздуха t и относительная влажность φ . Определить его параметры: парциальное давление водяного пара, давление насыщения при заданной температуре, влагосодержание, удельную энтальпию, степень насыщения, точку росы ($p_{\text{п}}, p_{\text{н}}, d, h, \psi, t_{\text{р}}$) двумя способами: 1) с помощью диаграммы $h-d$; 2) расчетом по формулам с использованием таблиц термодинамических свойств водяного пара или насыщенного влажного воздуха. Давление атмосферного воздуха принять равным давлению, для которого построена используемая диаграмма $h-d$.

Параметры влажного воздуха свести в таблицу:

$t, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{п}}, \text{Па}$	$P_{\text{н}}, \text{Па}$	$\varphi, \%$	$d, \text{кг/кг с.в.}$	$h, \text{кДж/кг с.в.}$	ψ	$t_{\text{р}}, ^\circ\text{C}$
Дано	*	*	Дано	*	*	—	*
	**	**		**	**	**	**

*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
$t, ^\circ\text{C}$	45	10	15	20	25	30	35	40	45	40
$\varphi, \%$	20	35	40	45	50	55	60	60	25	20

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

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 стену высотой 4 м и длиной 8 м в течение суток. Определить также температуры поверхностей всех слоев стены и построить график распределения температур по ее толщине (без масштаба). Значения коэффициентов теплопроводности материалов стены приведены в таблице:

Наименование материала	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
Кирпич	0,640
Штукатурка	0,750
Пробковая плита	0,050
Стекловолок	0,040
Минераловатная плита	0,093
Войлок шерстяной	0,058
Шлаковая вата	0,047

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

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
δ , мм	500	380	250	500	380	250	500	380	250	500
δ , 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		Стекло-войлок		Минераловатная плита		Войлок шерстяной		Шлаковая вата	
$t_{в1}$, °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. Определить температуры в центре и на поверхности пшеничного батона через час после того, как его вынули из печи.

Начальная температура батона $t_{нач}$, температура воздуха в помещении $t_{в}$, коэффициент теплоотдачи от поверхности батона к воздуху $\alpha_{в}$.

Батон условно имеет форму цилиндра диаметром 60 мм, длина которого во много раз больше его диаметра. Теплофизические свойства батона: коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,224$ Вт/(м·К), коэффициент температуропроводности $a = 24,3 \cdot 10^{-8}$ м²/с.

При решении задачи рекомендуется использовать графики для определения безразмерных температур [2, 4].

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	240	250	240	230	220	210	200	210	220	230
$t_{в}$, °С	29	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$\alpha_{в}$, Вт/(м ² ·К)	15	10	10	12	12	13	13	14	14	15

Задача 3. Плоская чугунная батарея водяного отопления высотой h и длиной l нагревает воздух в помещении.

Определить лучистый, конвективный и общий тепловые потоки от поверхности батареи к воздуху при стационарном режиме, если

температура воздуха в помещении $t_{\text{в}}$, температура наружной поверхности батареи $t_{\text{ст}}$. Степень черноты чугуна $\varepsilon = 0,8$.

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h , м	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
l , м	1,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
$t_{\text{ст}}$, °C	68	50	52	54	56	58	60	62	64	66
$t_{\text{в}}$, °C	16	18	20	22	24	26	24	22	20	18

- Для бакалавров полной и сокращенной форм обучения: 2-го курса направления 15.03.04 по дисциплине «Основы термодинамики и теплопередачи», 2-го и 3-го курсов направления 15.03.02 по дисциплине «Термодинамика и теплообмен»

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Задача 1. В компрессоре сжимают воздух. Процесс сжатия осуществляют: по изотерме, адиабате и политропе с показателем n . В начальном состоянии давление воздуха p_1 , температура t_1 , после сжатия – давление p_2 . Масса воздуха $M = 10$ кг.

Определить для трех названных процессов: объем газа в начальном и конечном состояниях, температуру в конечном состоянии, работу процесса сжатия, количество теплоты, изменения внутренней энергии и энтропии. Сравнить работу каждого процесса сжатия и работу компрессора, в котором этот процесс происходит.

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

Дать совмещенное изображение всех процессов в координатах $p-v$ и $T-s$ (без масштаба). В координатах $p-v$ показать работу компрессора для рассмотренных процессов сжатия.

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 , МПа	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
t_1 , °C	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
p_2 , МПа	0,15	0,18	0,19	0,20	0,21	0,24	0,28	0,29	0,31	0,32

Задача 2. Паровая компрессорная холодильная машина работает по циклу с дросселированием. Температура кипения хладагента в испарителе t_0 . В компрессор поступает холодильный агент в состоянии перегретого пара с температурой t_1 . Температура конденсации хладагента в конденсаторе t_k . Хладагент перед дросселированием (регулирующим вентилем) охлаждается до температуры t_5 .

Определить параметры (p , v , t , h , s , x) узловых точек цикла, подводенную и отведенную теплоту, работу, теоретическую мощность привода компрессора, полную холодопроизводительность и холодильный коэффициент, если массовый расход циркулирующего хладагента $M = 5$ 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 .

Параметры точек цикла свести в таблицу:

№ точки	t , °C	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	Хладагент	Температура, °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	R22	–40	10	–30	5
6	R22	–30	20	–20	15
7	R22	–20	30	–10	25
8	R22	–10	40	0	35
9	R22	0	50	10	45

Задача 3. Внутри стальной трубы длиной $l = 5$ м, наружный диаметр которой $d_{\text{нар}}$ и толщина стенки $\delta_{\text{ст}}$, движется трансформаторное масло с температурой $t_{\text{ж1}}$. Труба расположена в помещении с температурой $t_{\text{ж2}}$. Коэффициент теплоотдачи от масла к внутренней поверхности трубы α_1 , от поверхности трубы к воздуху, находящемуся в помещении, α_2 .

Обосновать целесообразность применения тепловой изоляции из бетона толщиной δ_6 для уменьшения теплопотерь от трубы, используя понятие о критическом диаметре изоляции.

Определить тепловой поток, линейную плотность теплового потока и линейный коэффициент теплопередачи через трубу без бетона и при его наличии. Найти для заданных условий максимальное значение коэффициента теплопроводности изоляции, накладываемой на трубу с целью уменьшения тепловых потерь от трубопровода.

Коэффициенты теплопроводности стали $\lambda_{\text{ст}} = 45$ Вт/(м·К), бетона $\lambda_6 = 1,3$ Вт/(м·К).

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

№ вари- анта	$d_{\text{нар}},$ мм	$\delta_{\text{ст}},$ мм	$\delta_{\text{б}},$ мм	$t_{\text{ж1}},$ °C	$t_{\text{ж2}},$ °C	$\alpha_1,$ Вт/(м ² ·К)	$\alpha_2,$ 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. В пастеризаторе молоко со скоростью W движется внутри труб, диаметр которых $d_{\text{нар}} \times \delta$. Средняя температура молока $t_{\text{ж}}$, температура поверхности труб теплообменника $t_{\text{ст}}$, внутренняя поверхность труб аппарата F .

Рассчитать коэффициент теплоотдачи при движении молока внутри труб теплообменного аппарата.

Определить количество теплоты, которое передается от внутренней поверхности трубы к молоку в единицу времени. Теплофизические свойства молока приведены в таблице:

$t,$ °C	$\rho,$ кг/м ³	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с	$\lambda,$ Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^6,$ м ² /с	$C_p,$ кДж/(кг·К)
5	1032	2,87	0,485	0,122	3,850
10	1031	2,39	0,487	0,122	3,876
15	1030	2,04	0,491	0,122	3,900
20	1028	1,74	0,494	0,123	3,918
30	1024	1,30	0,501	0,124	3,942
40	1020	1,02	0,508	0,126	3,958
50	1015	0,84	0,515	0,127	3,970
60	1011	0,70	0,524	0,130	3,980
70	1005	0,62	0,532	0,132	3,988
80	1000	0,57	0,541	0,135	3,995

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

№ варианта	$d_{\text{нар}} \times \delta$, мм	W , м/с	$t_{\text{ж}}$, °C	$t_{\text{ст}}$, °C	F , м ²
0	18×1,5	0,7	30	70	1,5
1	20×3,0	0,9	40	75	2,0
2	25×2,5	1,1	50	80	2,5
3	35×4,0	1,3	60	85	3,0
4	45×4,0	1,5	70	90	3,5
5	18×1,5	1,7	30	70	4,0
6	20×3,0	1,9	40	75	4,5
7	25×2,5	2,1	50	80	5,0
8	35×4,0	2,3	60	85	5,5
9	45×4,0	2,5	70	90	6,0

Задача 5. Теплообменный аппарат – водоохладитель, представляет собой n -рядный пучок с шагами S_1 и S_2 гладких стальных труб диаметром $d_{\text{нар}} \times \delta_{\text{ст}}$. Коэффициент теплопроводности стали $\lambda_{\text{ст}} = 45$ Вт/(м·К).

Воздух поперечным потоком омывает пучок труб со скоростью W . Температура воздуха на входе в теплообменник t'_1 , на выходе t''_1 . Вода движется внутри труб, температура ее на входе равна t'_2 , на выходе t''_2 . Коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности труб к воде α_2 , расход воды M .

Рассчитать средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности труб к воздуху, коэффициент теплопередачи и поверхность теплообмена водоохладителя. Схему движения воздуха и воды считать противоточной.

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

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d_{\text{нар}} \times \delta_{\text{ст}}$, мм	45× ×4	38× ×4	25× ×3	20× ×3	18× ×2	18× ×3	20× ×3	25× ×3	38× ×4	45× ×4
S_1 , мм	60	45	32	30	28	30	25	35	44	55
S_2 , мм	55	50	40	25	32	25	32	30	40	50
n	8	10	12	14	16	7	9	11	13	15
W , м/с	3	4	5	6	7	8	7	6	5	4
t'_1 , °C	60	50	40	30	20	20	30	40	50	60
t''_1 , °C	80	70	60	50	40	40	50	60	70	80

Окончание

Параметры	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t'_2, ^\circ\text{C}$	100	90	80	70	60	60	70	80	90	100
$t''_2, ^\circ\text{C}$	90	80	70	60	50	50	60	70	80	90
$M, \text{кг/с}$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
$\alpha_2, \text{Вт/} /(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	900	1000	1100	1200	1300	1300	1200	1100	1000	900
Расположение	Коридорное					Шахматное				

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Термодинамические свойства хладагента R22 на линиях кипения и конденсации

t_n , °C	p_n , МПа	ρ' , м ³ /кг	ρ'' , м ³ /кг	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	r , кДж/кг	s' , кДж/(кг·К)	s'' , кДж/(кг·К)
-110	0,000729	1595	0,04655	379,0	654,0	275,0	0,4366	2,1226
-100	0,001990	1569	0,1198	389,7	658,8	269,1	0,5003	2,0547
-90	0,004779	1543	0,2726	400,4	663,7	263,3	0,5604	1,9979
-80	0,01033	1517	0,5603	411,1	668,5	257,4	0,6173	1,9501
-70	0,02042	1490	1,058	421,9	673,4	251,5	0,6716	1,9098
-60	0,03747	1463	1,863	432,7	678,7	245,5	0,7236	1,8755
-50	0,06453	1435	3,092	443,6	683,0	239,4	0,7735	1,8463
-40	0,1053	1406	4,884	454,6	687,6	233,0	0,8216	1,8211
-30	0,1640	1377	7,398	465,7	692,2	226,5	0,8681	1,7994
-20	0,2455	1347	10,82	477,0	696,5	219,5	0,9132	1,7803
-10	0,3550	1318	14,85	488,4	700,6	212,2	0,9571	1,7635
0	0,4981	1282	21,28	500,0	704,4	204,4	1,0000	1,7484
10	0,6809	1248	28,87	511,8	707,9	196,1	1,0420	1,7346
20	0,9097	1211	38,53	523,9	711,0	187,1	1,0834	1,7216
30	1,1913	1172	50,76	536,4	713,7	177,3	1,1244	1,7091
40	1,5327	1130	66,25	549,3	715,7	166,4	1,1653	1,6966
50	1,9418	1083	86,02	562,8	716,9	154,1	1,2067	1,6835
60	2,4267	1031	111,7	577,2	717,1	139,9	1,2492	1,6690

Окончание прил. 1

t_H , °C	p_H , МПа	ρ' , м ³ /кг	ρ'' , м ³ /кг	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	r , кДж/кг	s' , кДж/(кг·К)	s'' , кДж/(кг·К)
70	2,9970	970,2	146,3	592,85	715,68	122,83	1,2936	1,6516
80	3,6640	894,1	196,2	610,46	711,55	101,09	1,3422	1,6284
90	4,4424	780,3	283,1	632,44	701,17	68,73	1,4009	1,5902

Приложение 2

Теплофизические свойства хладагента R22 на линиях кипения и конденсации

t , °C	$\eta' \cdot 10^6$, Па·с	$\eta'' \cdot 10^6$, Па·с	$\nu' \cdot 10^6$, м ² /с	$\nu'' \cdot 10^6$, м ² /с	$\lambda' \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	$\lambda'' \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	$\alpha' \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha'' \cdot 10^6$, м ² /с	Pr'	Pr''
–40	338,7	10,19	0,2392	2,0839	115,0	6,66	0,0722	2,3481	3,311	0,887
–35	314,2	10,42	0,2244	1,7251	112,6	7,01	0,0706	1,9538	3,178	0,884
–30	294,5	10,66	0,2127	1,4406	110,2	7,37	0,0694	1,6380	3,061	0,879
–25	276,8	10,90	0,2023	1,2138	107,9	7,47	0,0684	1,3791	2,955	0,879
–20	260,4	11,15	0,1927	1,0305	105,5	8,12	0,0676	1,1689	2,849	0,881
–15	245,3	11,39	0,1838	0,8809	103,1	8,51	0,0669	0,9958	2,746	0,884
–10	231,4	11,66	0,1755	0,7591	100,8	8,91	0,0662	0,8518	2,649	0,891
–5	218,9	11,93	0,1683	0,6580	98,4	9,32	0,0651	0,7322	2,577	0,898
0	208,0	12,21	0,1621	0,5738	95,7	9,75	0,0641	0,6320	2,528	0,907
5	198,2	12,48	0,1566	0,5024	93,4	10,19	0,0630	0,5476	2,485	0,917
10	188,4	12,74	0,1510	0,4420	91,2	10,65	0,0618	0,4762	2,442	0,928
15	179,0	13,06	0,1456	0,3910	89,1	11,12	0,0605	0,4151	2,405	0,942

Окончание прил. 2

t , °C	$\eta' \cdot 10^6$, Па·с	$\eta'' \cdot 10^6$, Па·с	$\nu' \cdot 10^6$, м ² /с	$\nu'' \cdot 10^6$, м ² /с	$\lambda' \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	$\lambda'' \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	$a' \cdot 10^6$, м ² /с	$a'' \cdot 10^6$, м ² /с	Pr'	Pr''
20	170,0	13,37	0,1404	0,3473	86,6	11,61	0,0589	0,3628	2,380	0,957
25	161,0	13,69	0,1352	0,3095	84,5	12,12	0,0574	0,3177	2,355	0,974
30	152,0	14,04	0,1298	0,2771	82,4	12,66	0,0558	0,2787	2,326	0,994
35	143,1	14,42	0,1244	0,2491	80,4	13,22	0,0541	0,2442	2,294	1,019
40	134,2	14,83	0,1189	0,2280	78,4	13,82	0,0524	0,2176	2,271	1,048
45	125,8	15,28	0,1137	0,2030	76,1	14,45	0,0504	0,1876	2,253	1,084
50	118,4	15,78	0,1094	0,1841	74,2	15,13	0,0487	0,1632	2,247	1,128
55	112,4	16,34	0,1063	0,1674	72,3	15,86	0,0468	0,1412	2,271	1,186
60	107,2	16,99	0,1041	0,1526	70,3	16,66	0,0447	0,1210	2,324	1,262
65	101,4	17,74	0,1013	0,1394	68,0	17,53	0,0423	0,1021	2,393	1,366
70	94,7	18,63	0,0976	0,1276	65,8	18,52	0,0396	0,0832	2,464	1,514
75	88,0	19,71	0,0941	0,1169	93,4	19,65	0,0363	0,0673	2,590	1,739
80	83,9	21,10	0,0903	0,1074	60,9	21,0	0,0321	0,0508	2,812	2,116
85	73,1	22,80	0,0862	0,0980	57,6	22,7	0,0261	0,0347	3,302	2,827
90	63,6	24,40	0,0811	0,0892	53,3	25,0	0,0171	0,0188	4,476	4,737

Приложение 3

Термодинамические свойства перегретых паров хладагента R22

t , °C	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	S , кДж/(кг·К)
	$t_H = -80$ °C ($p = 0,0103$ МПа)			$t_H = -70$ °C ($p = 0,0204$ МПа)		
-70	1,880	637,90	1,9773	—	—	—
-60	1,975	679,37	2,0035	0,994	978,95	1,9365
-50	2,069	684,94	2,0291	1,042	684,59	1,9624
-40	2,164	690,63	2,0540	1,090	690,33	1,9875
-30	2,257	696,44	2,0784	1,138	696,17	2,021
-20	2,351	702,36	2,1023	1,186	702,13	2,0361
	$t_H = -60$ °C ($p = 0,03747$ МПа)			$t_H = -50$ °C ($p = 0,06453$ МПа)		
-55	0,5504	681,10	1,8889	—	—	—
-50	0,5637	683,98	0,9020	—	—	—
-45	0,5770	686,88	1,9140	0,3314	685,97	1,8596
-40	0,5903	689,81	1,9275	0,3394	688,96	1,8725
-35	0,6039	692,75	1,9400	0,3473	691,97	1,8883
-30	0,6161	695,72	1,9523	0,3352	694,99	1,8978
-25	0,6301	698,71	1,9645	0,3631	698,03	1,9102
-20	0,6435	701,73	1,9765	0,3709	701,09	1,9224
-10	0,6698	707,85	2,0002	0,3864	707,28	1,9464
0	0,6959	714,07	2,0234	0,4019	713,56	1,9698
10	—	—	—	0,4172	719,94	1,9928
20	—	—	—	0,4325	726,42	2,0152
30	—	—	—	0,4478	733,01	2,0373
	$t_H = -40$ °C ($p = 0,1053$ МПа)			$t_H = -30$ °C ($p = 0,164$ МПа)		
-35	0,2099	690,75	1,8344	—	—	—
-30	0,2149	693,86	1,8473	—	—	—
-25	0,2299	696,98	1,8600	0,1386	695,40	1,8127
-20	0,2148	700,11	1,8725	0,1419	698,64	1,8256
-15	0,2297	703,25	1,8848	0,1452	701,88	1,8383
-10	0,2346	706,41	1,8969	0,1485	705,12	1,8507
-5	0,2395	709,59	1,9089	0,1517	708,38	1,8630
0	0,2443	712,79	1,9207	0,1549	711,65	1,8751
5	0,2491	716,01	1,9324	0,1581	714,93	1,8870
10	0,2539	719,25	1,9439	0,1613	718,23	1,8987
20	0,2635	725,80	1,9667	0,1675	724,88	1,9218
30	0,2730	732,44	1,9889	0,1738	731,61	1,9444
40	0,2822	739,18	2,0108	0,1799	738,42	1,9664
50	0,2947	746,01	2,0323	0,1860	745,32	1,9881
60	—	—	—	0,1922	752,31	2,0094

Продолжение прил. 3

t , °C	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	S , кДж/(кг·К)
	$t_{\text{н}} = -20\text{ °C } (p = 0,2455\text{ МПа})$			$t_{\text{н}} = -10\text{ °C } (p = 0,355\text{ МПа})$		
-15	0,09479	699,88	1,7937	—	—	—
-10	0,09709	703,26	1,8067	—	—	—
-5	0,0994	706,64	1,8194	0,06680	704,16	1,7770
0	0,1016	710,01	1,8318	0,06849	707,69	1,7909
5	0,1038	713,39	1,8441	0,07013	711,22	1,8021
10	0,1060	716,77	1,8562	0,07174	714,73	1,8154
15	0,1082	720,17	1,8681	0,07331	718,25	0,8277
20	0,1104	723,58	0,8798	0,07491	721,76	1,8398
25	0,1125	726,99	1,8913	0,07645	725,27	1,8517
30	0,1147	730,43	1,9028	0,07800	728,80	1,8634
40	0,1189	737,34	1,9252	0,08104	735,87	1,8883
50	0,1231	744,34	1,9472	0,08403	742,99	1,9087
60	0,1273	751,40	1,9687	0,08703	750,17	1,9306
70	0,1314	753,56	1,9899	0,08993	757,42	1,9520
80	—	—	—	0,09285	764,74	1,9731
	$t_{\text{н}} = 0\text{ °C } (p = 0,4981\text{ МПа})$			$t_{\text{н}} = 10\text{ °C } (p = 0,6809\text{ МПа})$		
10	0,04953	711,90	1,7754	—	—	—
15	0,05076	715,59	1,7883	0,03564	711,91	1,7486
20	0,5198	719,26	1,8009	0,03662	715,83	1,7621
25	0,05316	722,92	1,8133	0,03755	719,71	1,7752
30	0,05432	726,57	1,8254	0,03849	723,55	1,7880
35	0,05546	730,22	1,8374	0,03940	727,37	1,8005
40	0,05659	733,87	1,8491	0,07029	731,18	1,8127
45	0,05774	737,52	0,8607	0,04117	734,97	1,8248
50	0,05886	741,17	1,8721	0,04203	738,75	1,8366
60	0,06105	748,51	1,8944	0,04372	746,32	1,8596
70	0,06321	755,89	1,9163	0,04539	753,89	1,8820
80	0,06536	763,33	1,9376	0,04704	761,49	1,9038
90	—	—	—	0,04864	769,13	1,9252
	$t_{\text{н}} = 20\text{ °C } (p = 0,9097\text{ МПа})$			$t_{\text{н}} = 30\text{ °C } (p = 1,1913\text{ МПа})$		
25	0,02676	715,28	1,7361	—	—	—
30	0,02754	719,43	1,7499	—	—	—
35	0,02830	423,52	1,7633	0,02037	718,22	1,7241
40	0,02903	727,57	1,7763	0,02102	722,65	1,7384
45	0,02975	731,57	1,7890	0,02164	726,99	1,7521
50	0,03045	735,55	1,8014	0,02224	731,26	1,7653
55	0,03114	739,50	1,8135	0,02282	735,47	1,7783
60	0,03182	743,43	1,8254	0,02339	739,64	1,7910

Окончание прил. 3

t , °C	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	S , кДж/(кг·К)
65	0,03249	747,35	1,8331	0,02395	743,76	1,8033
70	0,03314	751,27	1,8486	0,02449	747,86	1,8153
80	0,03444	759,09	1,8710	0,02555	756,01	1,8387
90	0,03570	766,92	1,8929	0,02658	764,10	1,8613
100	0,03694	774,78	1,9143	0,02758	772,18	1,8833
110	—	—	—	0,02856	780,27	1,9046
$t_h = 40\text{ °C } (p = 1,5327\text{ МПа})$				$t_h = 50\text{ °C } (p = 1,7283\text{ МПа})$		
45	0,01568	720,64	1,7124	—	—	—
50	0,01623	725,41	1,7273	—	—	—
55	0,01675	730,05	1,7415	0,01215	722,40	1,7004
60	0,01726	734,58	1,7552	0,01263	727,60	1,7161
65	0,01774	739,03	1,7685	0,01309	732,60	1,7310
70	0,01821	743,41	1,7813	0,01352	737,45	1,7453
75	0,01867	747,74	1,7939	0,01394	742,17	1,7589
80	0,01912	752,02	1,8061	0,01434	746,81	1,7721
85	0,01956	756,27	1,8180	0,01442	751,36	1,7850
90	0,01999	760,50	1,8297	0,01510	755,85	1,7974
100	0,02082	768,89	1,8526	0,01583	764,70	1,8214
110	0,02164	777,24	1,8746	0,01652	773,42	1,8445
120	0,02243	785,57	1,8961	0,01719	782,06	1,8668
130	—	—	—	0,01784	790,65	1,8883
$t_h = 60\text{ °C } (p = 2,4267\text{ МПа})$				$t_h = 70\text{ °C } (p = 2,9971\text{ МПа})$		
70	0,009881	729,09	1,7045	—	—	—
75	0,01029	734,55	1,7203	0,007326	723,08	1,6731
80	0,01068	739,78	1,7353	0,007746	729,66	1,6919
85	0,01104	744,85	1,7495	0,008123	735,74	1,7090
90	0,01139	749,77	1,7631	0,008474	741,48	1,7248
100	0,01205	759,32	1,7891	0,009107	752,23	1,7541
110	0,01266	7685,58	1,8136	0,009690	762,36	1,7809
120	0,01325	777,06	1,8370	0,01022	772,09	1,8059
130	0,01382	786,61	1,8505	0,01073	781,57	1,8297
140	0,01436	795,49	1,8812	0,01121	790,87	1,8525

Приложение 4

Термодинамические свойства аммиака (R717) на линиях кипения и конденсации

$t_n, ^\circ\text{C}$	$p_n,$ МПа	$v' \cdot 10^3,$ м ³ /кг	$v'',$ м ³ /кг	$h',$ кДж/кг	$h'',$ кДж/кг	$r,$ кДж/кг	$s',$ кДж/(кг·К)	$s'',$ кДж/(кг·К)
–75	0,008774	1,368	12,853	165,72	1647,54	1481,81	0,5740	8,0523
–70	0,010920	1,379	9,0253	187,50	1656,76	1469,26	0,6826	7,9150
–65	0,015603	1,390	6,4641	209,33	1665,84	1456,51	0,7887	7,7861
–60	0,021873	1,401	4,7103	231,20	1674,74	1443,54	0,8925	7,6649
–55	0,030127	1,412	3,4916	253,13	1683,46	1430,32	0,9941	7,5507
–50	0,04082	1,424	2,6288	275,13	1691,96	1416,83	1,0938	7,4430
–45	0,054479	1,436	2,0072	297,20	1700,24	1403,03	1,1915	7,3411
–40	0,07169	1,449	1,5530	319,36	1708,26	1388,90	1,2874	7,2446
–35	0,033104	1,462	1,1662	341,59	1716,02	1374,43	1,3816	7,1529
–30	0,11945	1,475	0,9634	363,91	1723,50	1359,59	1,4742	7,0658
–25	0,15151	1,489	0,7710	386,32	1730,67	1344,35	1,5653	6,9828
–20	0,19014	1,504	0,6230	408,83	1737,53	1328,70	1,6548	6,9035
–15	0,23625	1,518	0,5081	431,45	1744,06	1312,61	1,7431	6,8277
–10	0,29083	1,534	0,4179	454,18	1750,25	1296,07	1,8299	6,7552
–5	0,35491	1,550	0,3463	477,02	1756,07	1279,05	1,9156	6,6855
0	0,42957	1,566	0,2890	500,00	1761,52	1261,52	2,0000	6,6185
5	0,51597	1,583	0,2428	523,12	1766,58	1243,46	2,0834	6,5539
10	0,61531	1,601	0,2052	546,4	1771,2	1224,8	2,1658	6,4915

Окончание прил. 4

$t_{\text{H}}, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{H}}, \text{МПа}$	$v' \cdot 10^3, \text{м}^3/\text{кг}$	$v'', \text{м}^3/\text{кг}$	$h', \text{кДж/кг}$	$h'', \text{кДж/кг}$	$r, \text{кДж/кг}$	$s', \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$s'', \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$
15	0,72881	1,619	0,1745	569,84	1775,45	1205,61	2,2472	6,4312
20	0,85777	1,639	0,1491	593,46	1779,22	1185,76	2,3278	6,3727
25	1,0035	1,659	0,1280	617,28	1782,51	1165,23	2,4075	6,3157
30	1,1675	1,680	0,1104	641,33	1785,30	1143,97	2,4866	6,2602
35	1,3510	1,702	0,09569	665,61	1787,55	1121,94	2,5650	6,2059
40	1,5555	1,726	0,08313	690,16	1789,23	1099,07	2,6429	6,1526
45	1,7826	1,751	0,07250	715,01	1790,29	1075,28	2,7204	6,1002
50	2,0337	1,777	0,06341	740,17	1790,68	1050,51	2,7975	6,0483
55	2,3106	1,804	0,05560	765,69	1790,35	1024,66	2,8743	5,9969
60	2,6147	1,834	0,04888	791,61	1789,22	997,62	2,9510	5,9455
65	2,9478	1,866	0,04303	817,96	1787,22	969,26	3,0277	5,8941
70	3,3117	1,900	0,03794	844,79	1784,24	939,45	3,1045	5,8422
75	3,7081	1,937	0,03349	872,17	1780,18	908,01	3,1815	5,7896
80	4,1390	1,977	0,02957	900,17	1774,89	874,73	3,2589	5,7358
90	5,1125	2,071	0,02305	958,41	1759,91	801,50	3,4160	5,6231
100	6,2497	2,189	0,01786	1020,65	1737,28	716,63	3,5785	5,4990
110	7,5715	2,349	0,01362	1089,13	1703,34	614,21	3,7516	5,3547
120	9,1042	2,594	0,01000	1169,40	1649,62	480,21	3,9486	5,1701
130	10,888	3,176	0,00636	1288,89	1537,06	248,17	4,2357	4,8512

Приложение 5

Термодинамические свойства перегретых паров хладагента R717 (аммиака)

t , °C	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)
	$t_{\text{н}} = -70\text{ °C}$ ($p = 0,01092\text{ МПа}$)			$t_{\text{н}} = -60\text{ °C}$ ($p = 0,02187\text{ МПа}$)		
–65	9,2507	1666,90	7,9643	–	–	–
–60	9,4787	1677,04	7,0124	–	–	–
–55	9,7085	1687,18	8,0594	4,8262	1685,07	7,7128
–50	9,9404	1697,33	8,1055	4,9407	1695,38	7,7595
–45	10,1636	1707,49	8,1505	5,0556	1705,69	7,8052
–40	10,3896	1717,66	8,1946	5,1706	1715,99	7,8499
–35	10,6157	1727,85	8,2378	5,2826	1726,30	7,8936
–25	11,0668	1748,26	8,3218	5,5127	1746,93	7,9785
–15	11,5168	1768,76	8,4027	5,7372	1767,61	8,0602
–5	11,9674	1789,35	8,4810	5,9630	1788,35	8,1390
0	12,1921	1799,69	8,5192	6,0753	1798,75	8,1774
10	12,6406	1820,45	8,5938	6,3012	1819,63	8,2525
20	13,0907	1841,33	8,6683	6,5274	1840,61	8,3253
30	13,5391	1862,35	8,7368	6,7522	1861,71	8,3961
40	13,9880	1883,52	8,8055	6,9784	1882,94	8,4650
50	14,4363	1904,83	8,8725	7,1994	1904,32	8,5322
	$t_{\text{н}} = -50\text{ °C}$ ($p = 0,04082\text{ МПа}$)			$t_{\text{н}} = -40\text{ °C}$ ($p = 0,07169\text{ МПа}$)		
–45	2,691	1702,5	7,490	–	–	–
–40	2,754	1713,1	7,536	–	–	–
–35	2,816	1723,6	7,580	1,590	1719,2	7,291
–30	2,878	1734,1	7,624	1,626	1730,0	7,336
–25	2,940	1744,6	7,667	1,662	1770,8	7,380
–15	3,063	1765,6	7,750	1,734	1762,3	7,465
–5	3,186	1786,6	7,829	1,805	1783,8	7,546
0	3,247	1797,1	7,866	1,840	1794,5	7,586
10	3,368	1818,2	7,944	1,910	1815,9	7,663
20	3,490	1839,4	8,017	1,980	1837,3	7,737
30	3,611	1860,6	8,089	2,050	1858,8	7,809
40	3,733	1882,0	8,158	2,120	1880,3	7,879
50	3,854	1903,4	8,226	2,189	1902,0	7,947
60	3,973	1925,0	8,291	2,258	1923,7	8,014
70	4,093	1946,8	8,356	2,327	1945,6	8,078
80	–	–	–	2,396	1967,6	8,141
90	–	–	–	2,4641	1989,8	8,203

t , °C	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)
	$t_{\text{н}} = -30\text{ °C}$ ($p = 0,1194\text{ МПа}$)			$t_{\text{н}} = -20\text{ °C}$ ($p = 0,1901\text{ МПа}$)		
-25	0,986	1734,8	7,112	—	—	—
-15	1,030	1757,2	7,200	0,638	1749,3	6,950
-5	1,074	1779,3	7,284	0,667	1772,5	7,038
0	1,096	1790,3	7,325	0,681	1784,0	7,080
10	1,139	1812,2	7,404	0,709	1806,7	7,162
20	1,182	1834,1	7,480	0,736	1829,3	7,240
30	1,234	1855,9	7,553	0,764	1851,7	7,315
40	1,267	1877,8	7,624	0,790	1873,0	7,388
50	1,309	1899,7	7,693	0,818	1896,3	7,458
60	1,351	1921,7	7,760	0,844	1919,6	7,526
70	1,392	1943,7	7,825	0,871	1941,0	7,592
80	1,434	1965,9	7,889	0,898	1963,4	7,656
90	1,476	1988,2	7,951	0,923	1985,8	7,719
100	1,517	2010,7	8,051	0,950	2008,6	7,781
110	1,559	2033,3	8,072	0,976	2031,3	7,841
	$t_{\text{н}} = -10\text{ °C}$ ($p = 0,2908\text{ МПа}$)			$t_{\text{н}} = 0\text{ °C}$ ($p = 0,4296\text{ МПа}$)		
-5	0,428	1762,6	6,802	—	—	—
0	0,438	1774,8	6,847	—	—	—
5	0,447	1786,8	6890	0,296	1714,5	6,666
10	0,457	1798,7	6933	0,303	1787,3	6,711
15	0,466	1810,5	6,974	0,310	1799,9	6,755
20	0,476	1822,2	7,014	0,316	1812,3	6,798
25	0,485	1833,9	7,054	0,323	1824,6	6,840
30	0,494	1845,5	7,092	0,329	1836,8	6,880
40	0,512	1868,5	7,167	0,342	1860,8	6,958
50	0,530	1891,4	7,239	0,355	1884,6	7,053
60	0,548	1914,2	7,309	0,367	1908,1	7,104
70	0,566	1937,0	7,376	0,380	1931,5	7,174
80	0,583	1959,8	7,442	0,392	1954,8	7,240
90	0,601	1982,6	7505	0,404	1978,0	7,303
100	0,618	2005,5	5,567	0,416	20001,3	7,369
110	0,636	2028,5	7,628	0,428	2024,7	7,430
120	0,653	2051,6	7,688	0,440	2048,0	7,491
	$t_{\text{н}} = 10\text{ °C}$ ($p = 0,6153\text{ МПа}$)			$t_{\text{н}} = 20\text{ °C}$ ($p = 0,8578\text{ МПа}$)		
15	0,210	1785,0	6,540	—	—	—
20	0,215	1798,5	6,586	—	—	—
25	0,220	1811,7	6,631	0,153	1793,8	6,422
30	0,225	1834,7	6,674	0,157	1808,1	6,470

Продолжение прил. 5

t , °C	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	v , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)
35	0,230	1837,5	6,716	0,160	1822,0	6,515
40	0,235	1850,2	6,757	0,164	1835,7	6,559
45	0,239	1862,7	6,797	0,168	1849,1	6,602
50	0,244	1875,1	6,835	0,171	1862,4	6,643
60	0,253	1899,7	6,910	0,178	1888,3	6,722
70	0,262	1923,9	6,982	0,185	1913,7	6,797
80	0,271	1947,9	7,051	0,191	1938,8	6,869
90	0,279	1971,8	7,117	0,198	1963,5	6,938
100	0,288	1995,6	7,182	0,204	1988,1	7,005
110	0,296	2019,4	7,245	0,210	2012,5	7,069
120	0,305	2043,2	7,306	0,217	2036,8	7,132
135	0,317	2079,0	7,396	0,226	2073,2	7,223
150	0,330	2114,9	7,782	—	—	—
160	—	—	—	0,241	2134,1	7,368
$t_{\text{н}} = 30 \text{ °C } (p = 1,1675 \text{ МПа})$				$t_{\text{н}} = 40 \text{ °C } (p = 1,5555 \text{ МПа})$		
35	0,0113	1800,9	6,311	—	—	—
40	0,116	1816,1	6,360	—	—	—
45	0,119	1830,8	6,407	0,856	1806,0	6,206
50	0,122	1845,2	6,452	0,0879	1822,2	6,256
55	0,125	1859,4	6,495	0,0902	1837,9	6,305
60	0,128	1873,2	6,537	0,0924	1853,1	6,351
65	0,130	1886,9	6,578	0,0946	1868,0	6,400
70	0,133	1900,3	6,617	0,0967	1882,6	6,438
80	0,138	1926,7	6,693	0,101	1910,9	6,519
90	0,143	952,6	6,765	0,105	1938,4	6,596
100	0,148	1978,1	6,835	0,109	1965,3	6,669
110	0,152	2003,4	6,902	0,112	1991,7	6,739
120	0,158	2028,4	6,966	0,116	2017,7	6,806
135	0,164	2065,8	7,059	0,122	2056,3	6,902
150	0,171	210,1	7,149	0,127	2094,6	6,994
165	0,178	2140,3	7,235	0,132	2132,6	7,083
$t_{\text{н}} = 50 \text{ °C } (p = 2,0337 \text{ МПа})$				$t_{\text{н}} = 60 \text{ °C } (p = 2,6147 \text{ МПа})$		
55	0,0654	1808,8	6,104	—	—	—
60	0,0674	1826,2	6,157	—	—	—
65	0,0692	1843,0	6,207	0,056	1809,0	6,005
70	0,0710	1859,3	6,254	0,0522	1827,9	6,060
75	0,728	1875,0	6,300	0,0538	1845,9	6,112
80	0,0745	1890,3	6,344	0,0553	1863,2	6,162
90	0,0778	1920,1	6,427	0,0581	1896,3	6,254

Окончание прил. 5

t , °C	ν , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)	ν , м ³ /кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)
100	0,0810	1948,8	6,505	0,0609	1927,6	6,339
110	0,0840	1976,8	6,579	0,0634	1957,7	6,418
120	0,0870	2004,1	6,649	—	—	—
135	0,0914	2044,3	6,750	—	—	—
150	0,0956	2083,8	6,845	—	—	—
165	0,0998	2123,0	6,936	—	—	—

Приложение 6

Термодинамические свойства воды и водяного пара (R718) в состоянии насыщения (по температуре)

t_n , °C	p_n , МПа	v' , м ³ /кг	v'' , м ³ /кг	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	r , кДж/кг	s' , кДж/(кг·К)	s'' , Дж/(кг·К)
0,01	0,0006117	0,0010002	205,997	0	2500,9	2500,9	0	9,1555
10	0,0012282	0,0010003	106,309	42,02	2519,2	2477,2	0,1511	8,8998
20	0,0023392	0,0010018	57,761	83,92	2537,5	2453,5	0,2965	8,6661
30	0,0042467	0,0010044	32,882	125,75	2555,6	2429,8	0,4368	8,4521
40	0,0073884	0,0010079	19,517	167,54	2573,5	2406,0	0,5724	8,2557
50	0,012351	0,0010121	12,028	209,34	2591,3	2382,0	0,7038	8,0749
60	0,019946	0,0010171	7,6677	251,15	2608,8	2357,8	0,8312	7,9082
70	0,031201	0,0010228	5,0397	293,02	2626,1	2333,1	0,9550	7,7540
80	0,047415	0,0010290	3,4053	334,95	2643,0	2308,1	1,0754	7,6110
90	0,070182	0,0010359	2,3591	376,97	2659,5	2282,6	1,1927	7,4781
100	0,10142	0,0010435	1,6719	419,10	2675,6	2256,5	1,3070	7,3541
110	0,14338	0,0010516	1,2094	461,36	2691,1	2229,7	1,4187	7,2380
120	0,19867	0,0010603	0,89130	503,8	2705,9	2202,1	1,5278	7,1291
130	0,27026	0,0010697	0,66808	546,4	2720,1	2173,7	1,6346	7,0264
140	0,36150	0,0010798	0,50852	589,2	2733,4	2144,2	1,7393	6,9293
150	0,47610	0,0010905	0,39250	632,3	2745,9	2113,7	1,8420	6,8370
160	0,61814	0,0011020	0,30682	675,6	2757,4	2081,9	1,9428	6,7491
170	0,97205	0,0011143	0,24262	719,2	2767,9	2048,7	2,0419	6,6649

Окончание прил. 6

$t_H,$ °C	$p_H,$ МПа	$v',$ м ³ /кг	$v'',$ м ³ /кг	$h',$ кДж/кг	$h'',$ кДж/кг	$r,$ кДж/кг	$s',$ кДж/(кг·К)	$s'',$ Дж/(кг·К)
180	1,0026	0,0011274	0,19386	763,2	2777,2	2014,0	2,1395	6,5841
190	1,2550	0,0011414	0,15638	807,6	2785,3	1977,7	2,2358	6,5060
200	1,5547	0,0011565	0,12722	852,4	2792,1	1939,7	2,3308	6,4303
210	1,9074	0,0011727	0,10430	897,7	2797,4	1899,6	2,4248	6,3565
220	2,3193	0,0011902	0,08610	943,6	2801,1	1857,4	2,5178	6,2842
230	2,7968	0,0012090	0,07151	990,2	2803,0	1812,8	2,6102	6,2131
240	3,3467	0,0012295	0,05971	1037,5	2803,1	1765,5	2,7019	6,1425
250	3,9759	0,0012517	0,05009	1085,7	2801,0	1715,3	2,7934	6,0722
260	4,6921	0,0012761	0,04218	1134,8	2796,6	1661,8	2,8847	6,0017
270	5,5028	0,0013030	0,03562	1185,1	2789,7	1604,6	2,9762	5,9304
280	6,4165	0,0013328	0,03015	1236,7	2779,8	1543,2	3,0681	5,8578
290	7,4416	0,0013663	0,02556	1289,8	2766,6	1476,8	3,1608	5,7832
300	8,5877	0,0014042	0,02166	1344,8	2749,6	1404,8	3,2547	5,7058
310	9,8647	0,0014479	0,01834	1402,0	2727,9	1325,9	3,3506	5,6243
320	11,284	0,0014991	0,01548	1462,1	2700,7	1238,6	3,4491	5,5373
330	12,858	0,0015606	0,01298	1525,7	2666,2	1140,5	3,5516	5,4425
340	14,600	0,0016375	0,01078	1594,4	2622,1	1027,6	3,6599	5,3359
350	16,529	0,0017401	0,008801	1670,9	2563,6	892,7	3,7783	5,2109
360	18,666	0,0018945	0,006946	1761,5	2481,0	719,5	3,9164	5,0528
370	21,043	0,0022220	0,004947	1892,7	2333,6	440,9	4,1142	4,7998
374,946	22,064	0,0031061	0,003106	2087,5	2087,5	0	4,4120	4,4120

Приложение 7

Теплофизические свойства водного раствора хлористого кальция

ξ , %	t_3 , °C	ρ_{15} кг/м ³	t , °C	C_p , кДж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^3$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$a \cdot 10^7$, м ² /с	Pr
9,4	–5,2	1080	20,0	3,642	0,584	1,236	1,15	1,48	7,78
			10,0	3,634	0,570	1,549	1,44	1,45	9,88
			0,0	3,626	0,556	2,158	2,00	1,42	14,1
			–5,0	3,601	0,549	2,548	2,36	1,41	16,7
14,7	–10,2	1130	20,0	3,362	0,576	1,491	1,32	1,52	8,7
			10,0	3,349	0,563	1,863	1,64	1,49	11,0
			0,0	3,328	0,549	2,560	2,27	1,46	15,6
			–5,0	3,316	0,542	3,040	2,70	1,44	18,7
			–10,0	3,308	0,534	4,060	3,60	1,43	25,3
18,9	–15,7	1170	20,0	3,147	0,572	1,804	1,54	1,56	9,9
			10,0	3,140	0,558	2,236	1,91	1,52	12,6
			0,0	3,128	0,544	2,991	2,56	1,49	17,2
			–5,0	3,098	0,537	3,432	2,94	1,48	19,8
			–10,0	3,086	0,529	4,668	4,00	1,47	27,3
			–15,0	3,065	0,523	6,149	5,27	1,47	35,9
20,9	–19,2	1190	20,0	3,077	0,569	2,001	1,68	1,55	10,9
			10,0	3,056	0,555	2,452	2,06	1,53	13,4
			0,0	3,044	0,542	3,275	2,76	1,49	18,5
			–5,0	3,014	0,535	3,825	3,22	1,49	21,5

Продолжение прил. 7

$\xi, \%$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$\rho_{15,3}$ кг/м ³	$t, ^\circ\text{C}$	$C_p,$ кДж/(кг·К)	$\lambda,$ Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^3,$ Па·с	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с	$a \cdot 10^7,$ м ² /с	Pr
23,8	–25,7	1220	20,0	2,973	0,565	2,354	1,94	1,56	12,5
			10,0	2,952	0,551	2,873	2,35	1,53	15,4
			0,0	2,931	0,538	3,815	3,13	1,51	20,8
			–5,0	2,910	0,530	4,413	3,63	1,49	24,4
			–10,0	2,910	0,523	5,923	4,87	1,48	33,0
			–15,0	2,910	0,518	7,551	6,20	1,46	42,5
			–20,0	2,889	0,510	9,473	7,77	1,44	53,8
			–25,0	2,889	0,504	11,572	9,48	1,43	66,5
25,7	–31,2	1240	20,0	2,889	0,562	2,628	2,12	1,57	13,5
			10,0	2,879	0,548	3,217	2,51	1,53	16,5
			0,0	2,68	0,535	4,256	3,43	1,51	22,7
			–10,0	2,847	0,521	6,678	5,40	1,48	36,6
			–15,0	2,847	0,514	8,365	6,57	1,46	46,3
			–20,0	2,805	0,508	10,562	8,52	1,46	58,5
			–25,0	2,805	0,501	12,905	10,40	1,44	72,0
			–30,0	2,763	0,494	14,808	12,00	1,44	83,0
27,5	–38,6	1260	20,0	2,847	0,558	2,932	2,33	1,56	14,9
			10,0	2,826	0,545	3,609	2,87	1,53	18,8
			0,0	2,809	0,531	4,805	3,81	1,50	25,3
			–10,0	2,784	0,519	7,522	5,97	1,48	40,3

Продолжение прил. 7

$\xi, \%$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$\rho_{15},$ кг/м^3	$t, ^\circ\text{C}$	$C_p,$ $\text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda,$ $\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\mu\cdot 10^3,$ $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu\cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	$a\cdot 10^7,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Pr
27,5	-38,61	1260	-20,0	2,763	0,506	11,866	9,45	1,46	65,0
			-25,0	2,742	0,449	14,710	11,70	1,44	80,7
			-30,0	2,742	0,492	17,161	13,60	1,42	95,5
			-35,0	2,721	0,486	21,574	17,10	1,42	120,0
28,4	-43,6	1270	20,0	2,805	0,557	3,138	2,47	1,56	15,8
			0,0	2,780	0,529	5,119	4,02	1,50	26,7
			-10,0	2,763	0,518	8,022	6,32	1,47	42,7
			-20,0	2,721	0,505	12,651	10,00	1,45	68,8
			-25,0	2,721	0,498	15,985	12,60	1,43	87,5
			-30,0	2,700	0,491	18,829	14,90	1,43	103,5
			-35,0	2,700	0,484	24,517	19,30	1,41	136,5
			-40,0	2,680	0,478	30,401	24,0	1,40	171,0
29,4	-50,1	1280	20,0	2,805	0,555	3,403	2,65	1,55	17,2
			0,0	2,775	0,528	5,492	4,30	1,50	28,7
			-10,0	2,721	0,576	8,630	6,75	1,49	45,4
			-20,0	2,680	0,504	13,827	10,8	1,47	73,4
			-30,0	2,659	0,490	21,280	16,6	1,44	115,0
			-35,0	2,638	0,483	25,497	19,9	1,43	139,0
			-40,0	2,638	0,447	32,362	25,3	1,42	179,0
			-45,0	2,617	0,470	40,207	31,4	1,40	223,0

Окончание прил. 7

ξ , %	t_3 , °C	ρ_{15} , кг/м ³	t , °C	C_p , кДж/(кг·K)	λ , Вт/(м·K)	$\mu \cdot 10^3$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$a \cdot 10^7$, м ² /с	Pr
29,4	–50,1	1280	–50,0	2,617	0,464	49,033	38,3	1,30	295,0
29,9	–55,0	1286	20,0	2,784	0,554	3,511	2,75	1,55	17,8
			0,0	2,738	0,528	5,688	4,43	1,50	29,5
			–10,0	2,700	0,515	9,042	7,04	1,48	47,5
			–20,0	2,680	0,502	14,416	11,2	1,46	77,0
			–30,0	2,659	0,488	22,555	17,6	1,43	123,0
			–35,0	2,638	0,483	28,439	22,1	1,42	156,5
			–40,0	2,638	0,576	35,304	27,5	1,40	196,0
			–45,0	2,617	0,470	43,149	33,5	1,39	240,0
			–50,0	2,617	0,463	50,995	39,7	1,38	290,0
			–55,0	2,596	0,456	64,724	50,2	1,36	368,0

Приложение 8

Теплофизические свойства сухого воздуха при атмосферном давлении $p = 0,1013$ МПа (760 мм рт. ст.)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho,$ кг/м^3	$C_p,$ $\text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda \cdot 10^2,$ $\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\alpha \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6,$ $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	11,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	27,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,689

Окончание прил. 8

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho,$ кг/м^3	$C_p,$ $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	$\lambda \cdot 10^2,$ $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$	$a \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6,$ $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Pr
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,682
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,681
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,670
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,677
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,674
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,686
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,697
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	216,2	46,7	155,1	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,1	0,719

Приложение 9

Свойства влажного насыщенного воздуха ($B = 100 \text{ кПа} = 750 \text{ мм рт. ст.}$)

$t_n, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{Па}$	$d'', \text{г/кг}$	$c_{p,\Gamma}, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$c_{p,\text{в.в}}, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$h_\Gamma, \text{кДж/кг}$	$h_n'', \text{кДж/кг}$	$h_{\text{в.в}}, \text{кДж/кг}$	$\rho_\Gamma, \text{кг/м}^3$	$\rho_{\text{в.в}}, \text{кг/м}^3$
–50	3,866	0,02405	1,006	1,0061	–50,30	0,0579	–50,24	1,562	1,562
–45	6,933	0,04313	1,006	1,0061	–45,27	0,1042	–45,17	1,528	1,528
–40	12,399	0,07713	1,006	1,0061	–40,24	0,1871	–40,05	1,495	1,495
–35	22,265	0,1385	1,006	1,0063	–35,21	0,3373	–34,87	1,464	1,464
–30	37,330	0,2323	1,006	1,0064	–30,18	0,5680	–29,61	1,434	1,434
–25	62,795	0,3908	1,006	1,0067	–25,15	0,9591	–24,19	1,405	1,405
–20	102,925	0,6408	1,006	1,0072	–20,12	1,579	–18,54	1,377	1,377
–15	165,053	1,028	1,006	1,0079	–15,09	2,542	–12,55	1,351	1,350
–10	259,445	1,618	1,006	1,0090	–10,06	4,016	–6,04	1,325	1,324
–5	401,033	2,504	1,006	1,0107	–5,03	6,239	1,21	1,300	1,298
0	610,8	3,823	1,006	1,0131	0	9,561	9,56	1,276	1,273
5	871,8	5,470	1,006	1,0162	5,03	13,732	18,76	1,253	1,249
10	1227,1	7,727	1,006	1,0205	10,06	19,470	29,53	1,231	1,225
15	1704,1	10,783	1,006	1,0268	15,09	27,271	42,36	1,210	1,202
20	2336,8	14,883	1,006	1,0339	20,12	37,779	57,90	1,189	1,179
25	3166,3	20,338	1,0061	1,0435	25,15	51,816	76,97	1,169	1,155
30	4241,7	27,552	1,0062	1,0586	30,19	70,453	100,64	1,150	1,131
35	5621,7	37,050	1,0063	1,0755	35,22	95,087	130,31	1,131	1,107
40	7374,9	49,524	1,0064	1,0999	40,26	127,56	167,82	1,113	1,082
45	9881,7	65,914	1,0065	1,1299	45,29	170,74	215,69	1,096	1,056
50	12335	87,519	1,0065	1,1711	50,33	227,07	277,40	1,079	1,028

Окончание прил. 9

$t_H,$ °C	$p''_{\Pi},$ Па	$d'',$ г/кг	$c_{p,\Gamma},$ кДж/(кг·К)	$c_{p,B.B},$ кДж/(кг·К)	$h_{\Gamma},$ кДж/кг	$h''_{\Pi},$ кДж/кг	$h_{B.B},$ кДж/кг	$\rho_{\Gamma},$ кг/м ³	$\rho_{B.B},$ кг/м ³
55	15740	116,191	1,0066	1,3245	55,36	302,54	357,90	1,062	0,999
60	19919	154,714	1,0067	1,2966	60,40	404,30	464,70	1,046	0,976
65	25008	207,422	1,0068	1,3939	65,44	543,97	609,42	1,031	0,933
70	31161	281,558	1,0070	1,5343	70,49	741,03	811,52	1,016	0,896
75	38548	390,172	1,0071	1,7368	75,53	1030,54	1106,08	1,001	0,855
80	47359	559,588	1,0073	2,0545	80,58	1483,24	1563,83	0,987	0,810
85	57803	852,038	1,0074	2,6006	85,63	2266,38	2352,01	0,973	0,760
90	70108	1458,824	1,0076	3,7359	90,68	3894,04	3984,72	0,960	0,705
95	84525	3397,390	1,0078	7,3621	95,74	9100,42	9196,16	0,947	0,644

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. **Богданов С.Н., Клецкий А.В., Куприянова А.В.** Сборник задач по технической термодинамике. – СПб.: СПбГАХиПТ, 1996. – 189 с.
2. Лабораторный практикум по термодинамике: Учеб. пособие / Г.Н. Данилова, А.В. Клецкий, А.В. Куприянова, В.Н. Филаткин, М.Г. Щербов, О.Б. Цветков, В.Н. Федоров, В.В. Митропов. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012. – 82 с.
3. Лабораторный практикум по теплопередаче. Ч. I: Учеб. пособие / О.Б. Цветков, А.В. Клецкий, А.В. Куприянова, С.Н. Богданов, Ю.А. Лаптев, Ю.Н. Ширяев, Р.В. Ключева. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 57 с.
4. 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. – 303 с.
5. Теоретические основы хладотехники. Ч. 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. Теоретические основы хладотехники. Ч. 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.
7. 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.
8. **Цветков О.Б., Лаптев Ю.А.** Термодинамика и теплопередача: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 54 с.
9. **Цветков О.Б., Лаптев Ю.А.** Таблицы свойств холодильных агентов: Учебно-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 52 с.

10. **Цветков О.Б., Лаптев Ю.А., Пятаков Г.Л.** Расчет горизонтального кожухотрубного испарителя: Учебно-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 34 с.

Дополнительный

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	3
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ИНДЕКСЫ	4
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА	5
Техническая термодинамика	5
Теплопередача. Тепломассообмен.....	7
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА	11
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА	14
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА	16
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1.....	18
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2	20
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА	22
ПРИЛОЖЕНИЯ	28
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	51

Цветков Олег Борисович
Лаптев Юрий Александрович

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛО– И ХЛАДОТЕХНИКИ ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Титульный редактор
Т.В. Белянкина

Компьютерная верстка
Ю.А. Лаптев

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

*Печатается
в авторской редакции*

Подписано в печать 28.02.2015. Формат 60х84 1/16
Усл. печ. л. 3,26. Печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 3,19
Тираж 100 экз. Заказ № С 17

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Издательско-информационный комплекс
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9