

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Донбасская государственная машиностроительная академия

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ
ПО КУРСУ «ТЕПЛОТЕХНИКА»
для студентов заочного отделения
специальностей металлургического направления

Краматорск 2006

УДК 621.1.016

Методические указания к выполнению контрольных работ по курсу «Теплотехника» для студентов заочного отделения специальностей металлургического направления / Сост. Ю.В. Менафова, О.А. Китова. – Краматорск: ДГМА, 2006. – 40 с.

Содержат сведения, необходимые для организации работы студентов-заочников по курсу “Теплотехника”. Приведены содержание курса, список литературы, варианты контрольных задач и теоретических вопросов, а также методические указания к выполнению контрольной работы.

Составители:

Ю.В. Менафова, доц.
О.А. Китова, ассист.

Ответственный за выпуск

А.П. Авдеенко, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1 Общие методические указания	4
2 Программа курса	5
3 Контрольная работа	10
Приложение А. Физические постоянные некоторых газов	26
Приложение Б. Средние теплоемкости газов в интервале температур от 0 до t	27
Приложение В. Средняя теплоемкость некоторых газов	33
Приложение Г. Поправочный коэффициент ε_{φ} для расчета теплообмена при поперечном обтекании пучка труб	33
Приложение Д. Физические параметры сухого воздуха при давлении 101325Па	34
Приложение Е. Физические параметры воды на линии насыщения	35
Приложение Ж. Физические свойства различных технических материалов	36
Приложение И. Основные критериальные уравнения для расчета конвективного теплообмена	38
Литература	39

1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении курса «Теплотехника» студенты-заочники, руководствуясь программой, самостоятельно работают над учебниками и учебными пособиями, выполняют контрольную работу. В контрольной работе необходимо решить пять задач и ответить на пять теоретических вопросов. Номера вопросов следует выбрать из таблицы 2. Ответы давать в сжатом виде, не переписывая учебник. Контрольные задачи выбрать из таблицы 1 в соответствии с двумя последними цифрами зачетной книжки студента-заочника. Работы, выполненные не по своему варианту, не рассматриваются.

Желательно прослушать обзорные лекции по основным вопросам курса. При изучении каждого раздела рекомендуется составлять конспект, который будет полезен при повторении материала, и решать задачи для закрепления теоретического материала. По всем возникшим вопросам студент может получить консультацию на кафедре химии и охраны труда.

При выполнении контрольных работ необходимо:

- а) выписать условие задачи и исходные данные;
 - б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором указать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся (из условия задачи, из справочника или были определены выше и т. д.);
 - в) вычисления провести в единицах системы СИ, показать ход решения;
 - г) ответить на контрольные теоретические вопросы;
 - д) в конце работы привести список использованной литературы;
 - е) для письменных замечаний рецензента оставить чистые поля в тетради и чистые 1—2 страницы в конце работы;
 - ж) исправления по замечаниям рецензента записать отдельно на чистых листах в той же тетради после заголовка «Исправления по замечаниям».
- Работа, в которой вышеназванные пункты не выполнены, не проверяется.

2 ПРОГРАММА КУРСА

Тема 1. Введение

Предмет теплотехники, место и роль ее в системе подготовки инженерных кадров. Связь теплотехники со смежными науками. Историческое развитие и проблемы современной теплотехники в связи с развитием новой техники и технологии. Теплотехника в машиностроении. Совершенствование структуры энергетического баланса, экономия топлива и энергии. Защита окружающей среды.

Литература [1, с. 4 – 5; 2, с. 4 – 5].

Тема 2. Техническая термодинамика

Основные понятия и определения

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

Газовые смеси, способы задания газовых смесей, соотношение между массовыми и объемными долями, вычисления параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений.

Теплоемкость. Массовая, объемная и мольная теплоемкости. Теплоемкость при постоянных давлении и объеме. Зависимость теплоемкости от температуры. Средняя и истинная теплоемкости. Формулы и таблицы для определения теплоемкостей. Теплоемкость смеси идеальных газов.

Литература [1, с. 6 – 11, 42 – 43; 2, с. 6 – 12, 62 – 68; 6, с.6 – 15].

Первый закон термодинамики

Сущность первого закона термодинамики. Формулировки первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики, принцип эквивалентности теплоты и работы. Выражение теплоты и работы через термодинамические параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтропия. Первый закон термодинамики для круговых (циклических) процессов. Дифференциальные соотношения термодинамики. Значение и использование дифференциальных соотношений.

Литература [1, с. 12 – 19; 2, с. 16 – 30; 6, с.16 – 35].

Второй закон термодинамики

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

Литература [1, с. 20 – 31; 2, с. 39 – 61; 6, с. 36 – 50].

Термодинамические процессы

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

Политропные процессы. Уравнение политропы. Определение показателя политропы. Анализ процессов на основе сравнения показателей политропы. Процессы в координатах PV- и TS-. Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный – частные случаи политропного процесса.

Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Свойства реальных газов. Фазовые равновесия и фазовые переходы. Теплота фазовых переходов. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки. Уравнение состояния реальных газов. Коэффициент сжимаемости. Пары. Основные определения. Процессы парообразования в PV- и TS- диаграммах. Водяной пар. Понятие об уравнении Вукаловича – Новикова. Термодинамические таблицы воды и водяного пара, PV-, TS- и HS- диаграммы водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и HS-диаграммы.

Литература [1, с. 32 – 41; 2, с. 31 – 36, 92 – 102; 6, с. 51 – 84].

Влажный воздух

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

Литература [1, с. 44 – 46; 2, с. 147 – 150; 6, с. 58 – 66].

Термодинамика потока

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

истечения. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса. Изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля – Томсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов. Понятие о температуре инверсии. Практическое использование процесса дросселирования. Условное изображение процесса дросселирования в HS-диаграмме.

Литература [1, с. 47 – 55, 58 – 59; 2, с. 132 – 146].

Термодинамический анализ процессов в компрессорах

Поршневой компрессор. Принцип действия. Работа, затрачиваемая на привод компрессора. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Термодинамическое обоснование многоступенчатого сжатия. Изображение в PV- и TS-диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах.

Литература [1, с. 56 – 57; 2, с. 69 – 74; 6, с. 79 – 84].

Циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок

Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС), их классификация. Характеристики ДВС, основные направления их развития.

Циклы газотурбинных установок. Газотурбинные установки (ГТУ) в отраслях народного хозяйства. Схемы ГТУ, технико-экономические показатели. Методы повышения КПД.

Литература [1, с. 60 – 64; 2, с. 75 – 90; 6, с. 85 – 92].

Циклы паросиловых установок

Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина. Изображение цикла в PV-, TS- и HS-диаграммах. Пути повышения экономичности паросиловых установок.

Литература [1, с. 65 – 69; 2, с. 103 – 121; 6, с. 92 – 98].

Циклы холодильных машин

Циклы холодильных установок. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Цикл паровой и воздушной компрессорной холодильной установки. Характеристика холодильных агентов, применяемых в паровых холодильных установках. Понятие об абсорбционных и пароэжекторных холодильных установках.

Литература [2, с. 151 – 160; 6, с. 99 – 104].

Тема 3. Теория теплообмена

Основные понятия и определения

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

Литература [1, с. 72 – 73; 2, с. 161 – 163; 6, с. 111 – 114].

Теплопроводность

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

Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность однослойной и многослойной плоской и цилиндрической стенки при граничных условиях 1-го рода. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях 3-го рода (теплопередача). Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую и цилиндрическую стенки; коэффициент теплопередачи. Пути интенсификации процесса теплопередачи. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор целесообразного материала тепловой изоляции.

Нестационарный процесс теплопроводности. Методы решения задач нестационарной теплопроводности. Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины. Граничные условия 1, 2 и 3-го рода. Регулярный режим охлаждения (нагревания) тел. Теплопроводность тела с внутренними источниками теплоты.

Литература [1, с. 73 – 75, 118 – 122; 2, с. 164 – 177; 6, с. 115 – 135].

Конвективный теплообмен

Основные положения учения о конвективном теплообмене. Физическая сущность конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона – Рихмана. Основные положения теории пограничного слоя. Основы теории подобия и моделирования. Основные определения. Условия подобия физических явлений. Теоремы подобия. Критериальные уравнения, определяющие критерии. Метод моделирования. Физический смысл основных критериев подобия. Анализ размерностей. Понятие о математическом моделировании.

Теплообмен при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при движении жидкости вдоль плоской поверхности: теплоотдача при ламинарном и турбулентном пограничном слое. Расчетные уравнения. Теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах: теплоотдача при ламинарном и турбулентном течениях жидкости в трубах различного сечения. Расчетные уравнения. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб коридорной и шахматной схемы расположения. Расчетные уравнения.

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

Литература [1, с. 79 – 102; 2, с. 178 – 206; 6, с. 136 – 155].

Теплообмен излучением

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

Литература [1, с. 103 – 111; 2, с. 210 – 218; 6, с. 156 – 165].

Основы расчета теплообменных аппаратов

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

Литература [1, с. 112 – 117, 121 – 128; 2, с. 219 – 227; 6, с. 166 – 174].

3 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Таблица 1 – Номера задач по вариантам

Две послед. цифры шифра	Номера задач	Две послед. цифры шифра	Номера задач
1	2	3	4
01	1; 38; 50; 72; 94	25	25; 48; 53; 74; 101
02	2; 39; 51; 73; 95	26	26; 47; 64; 75; 102
03	3; 40; 52; 74; 96	27	27; 46; 59; 76; 103
04	4; 41; 53; 75; 97	28	28; 45; 56; 77; 104
05	5; 42; 54; 76; 98	29	29; 44; 57; 78; 105
06	6; 43; 55; 77; 99	30	30; 43; 58; 79; 106
07	7; 44; 56; 78; 100	31	31; 42; 59; 80; 107
08	8; 45; 57; 79; 101	32	32; 41; 60; 81; 108
09	9; 46; 58; 80; 102	33	33; 40; 61; 82; 109
10	10; 47; 59; 81; 103	34	34; 39; 62; 83; 110
11	11; 48; 60; 82; 104	35	35; 38; 63; 84; 94
12	12; 49; 61; 83; 105	36	36; 39; 64; 85; 95
13	13; 48; 62; 84; 106	37	37; 40; 65; 86; 96
14	14; 47; 63; 85; 107	38	1; 41; 66; 87; 97
15	15; 46; 64; 86; 108	39	2; 42; 67; 88; 98
16	16; 45; 65; 87; 109	40	3; 43; 68; 89; 99
17	17; 44; 66; 88; 110	41	4; 44; 69; 90; 100
18	18; 43; 67; 89; 94	42	5; 45; 70; 91; 101
19	19; 42; 68; 90; 95	43	6; 46; 50; 92; 102
20	20; 41; 69; 91; 96	44	7; 47; 50; 93; 103
21	21; 40; 70; 92; 97	45	8; 48; 51; 74; 104
22	22; 39; 71; 93; 98	46	9; 49; 59; 75; 105
23	23; 38; 51; 72; 99	47	10; 48; 70; 76; 106
24	24; 49; 52; 73; 100	48	11; 47; 54; 77; 107
49	12; 46; 55; 78; 108	75	1; 42; 60; 85; 100
50	13; 45; 53; 79; 109	76	2; 41; 61; 86; 101
51	14; 44; 50; 80; 110	77	3; 40; 62; 87; 102
52	15; 43; 60; 82; 94	78	4; 39; 63; 88; 103
53	16; 42; 59; 83; 95	79	5; 40; 64; 89; 104
54	17; 41; 62; 81; 96	80	6; 41; 65; 90; 105
55	18; 40; 61; 84; 97	81	7; 42; 66; 92; 106
56	19; 39; 62; 85; 98	82	8; 43; 67; 91; 107
57	20; 38; 63; 86; 99	83	9; 44; 68; 72; 108
58	21; 39; 64; 87; 100	84	10; 45; 69; 73; 109
59	22; 40; 65; 88; 101	85	11; 46; 70; 74; 110
60	23; 41; 68; 82; 102	86	12; 47; 71; 75; 94
61	24; 42; 67; 90; 103	87	13; 49; 51; 76; 95

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
62	25; 43; 66; 91; 104	88	14; 48; 50; 77; 96
63	26; 44; 69; 92; 105	89	15; 38; 52; 78; 97
64	27; 45; 70; 93; 106	90	16; 39; 53; 80; 98
65	28; 46; 71; 72; 107	91	17; 40; 54; 81; 99
66	29; 47; 51; 75; 108	92	18; 41; 55; 82; 100
67	30; 48; 52; 76; 109	93	19; 42; 56; 83; 101
68	31; 49; 53; 77; 110	94	20; 43; 57; 84; 102
69	32; 48; 54; 78; 94	95	21; 44; 59; 85; 103
70	33; 47; 55; 79; 95	96	22; 45; 58; 86; 104
71	34; 46; 56; 80; 96	97	23; 46; 63; 87; 105
72	35; 45; 67; 81; 97	98	24; 47; 62; 88; 106
73	36; 44; 58; 82; 98	99	25; 48; 58; 89; 107
74	37; 43; 59; 84; 99	100	26; 49; 59; 90; 108

Таблица 2 – Номера контрольных вопросов по вариантам

Две послед. цифры шифра	Номера контрольных теоретических вопросов	Две послед. цифры шифра	Номера контрольных теоретических вопросов
1	2	3	4
01	1; 14; 27; 40; 53	22	9; 23; 37; 51; 65
02	2; 15; 28; 41; 54	23	10; 24; 38; 52; 55
03	3; 16; 29; 42; 55	24	11; 25; 39; 53; 56
04	4; 17; 30; 43; 56	25	12; 26; 40; 54; 57
05	5; 18; 31; 44; 57	26	13; 27; 41; 55; 58
06	6; 19; 32; 45; 58	27	1; 26; 30; 42; 59
07	7; 20; 33; 46; 59	28	2; 25; 31; 43; 60
08	8; 21; 34; 47; 60	29	3; 24; 32; 44; 61
09	9; 22; 35; 48; 61	30	4; 23; 33; 45; 62
10	10; 23; 36; 49; 62	31	5; 22; 34; 46; 63
11	11; 24; 37; 50; 63	32	6; 21; 35; 47; 64
12	12; 25; 38; 51; 64	33	7; 20; 36; 48; 65
13	13; 26; 39; 52; 65	34	8; 19; 37; 49; 64
14	1; 15; 29; 43; 57	35	9; 18; 38; 50; 63
15	2; 16; 30; 44; 58	36	10; 17; 39; 51; 62
16	3; 17; 31; 45; 59	37	11; 16; 40; 52; 61
17	4; 18; 32; 46; 60	38	12; 15; 41; 53; 60
18	5; 19; 33; 47; 61	39	13; 14; 42; 54; 61
19	6; 20; 34; 48; 62	40	1; 14; 29; 42; 56
20	7; 21; 35; 49; 63	41	2; 17; 30; 43; 57
21	8; 22; 36; 50; 64	42	3; 18; 31; 44; 58

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
43	4; 13; 32; 45; 59	72	9; 21; 33; 45; 57
44	5; 19; 33; 46; 60	73	10; 22; 34; 46; 58
45	6; 20; 34; 47; 61	74	11; 23; 35; 47; 59
46	7; 21; 35; 48; 62	75	12; 24; 36; 48; 60
47	8; 22; 36; 49; 63	76	13; 25; 37; 49; 61
48	9; 23; 37; 50; 64	77	1; 16; 34; 46; 58
49	10; 24; 38; 51; 65	78	2; 18; 35; 47; 59
50	11; 25; 39; 52; 60	79	3; 19; 36; 48; 60
51	12; 26; 40; 53; 61	80	4; 20; 37; 49; 61
52	13; 27; 41; 54; 62	81	5; 21; 38; 50; 62
53	12; 27; 30; 40; 50	82	6; 22; 39; 51; 63
54	11; 28; 31; 41; 51	83	7; 23; 40; 52; 64
55	10; 29; 32; 42; 52	84	8; 24; 41; 53; 65
56	9; 30; 33; 43; 53	85	9; 25; 42; 54; 64
57	8; 31; 34; 44; 54	86	10; 26; 43; 55; 63
58	7; 22; 35; 45; 55	87	11; 27; 44; 56; 62
59	6; 23; 36; 46; 56	88	12; 28; 45; 57; 61
60	5; 24; 37; 47; 57	89	13; 29; 36; 48; 60
61	4; 25; 38; 48; 58	90	1; 30; 37; 49; 61
62	3; 26; 39; 49; 59	91	2; 31; 38; 50; 62
63	2; 27; 40; 50; 60	92	3; 32; 39; 51; 63
64	1; 28; 41; 51; 61	93	4; 33; 40; 52; 64
65	2; 14; 26; 38; 50	94	5; 34; 41; 53; 65
66	3; 15; 27; 39; 51	95	6; 35; 42; 54; 63
67	4; 16; 28; 40; 52	96	7; 36; 43; 55; 62
68	5; 17; 29; 41; 53	97	8; 37; 44; 56; 61
69	6; 18; 30; 42; 54	98	9; 38; 45; 57; 60
70	7; 19; 31; 43; 55	99	10; 39; 46; 58; 65
71	8; 20; 32; 44; 56	100	11; 40; 47; 59; 64

Контрольные вопросы

- 1 Термические параметры состояния, уравнение состояния идеального газа.
- 2 Калориметрические параметры состояния.
- 3 Работа и теплота процесса.
- 4 Теплоемкость. Изохорная и изобарная теплоемкости. Уравнения Майера.
- 5 Уравнение Клапейрона для произвольного количества газа, размерности величин, входящих в данное уравнение. Физический смысл газовой постоянной.
- 6 Первый закон термодинамики.

- 7 Второй закон термодинамики.
- 8 Первый закон термодинамики для потока газов.
- 9 Анализ изохорного процесса.
- 10 Анализ изобарного процесса.
- 11 Анализ изотермического процесса.
- 12 Анализ адиабатного процесса.
- 13 Анализ политропного процесса.
- 14 Реальные газы.
- 15 Водяной пар. Основные понятия и определения
- 16 Три стадии получения перегретого пара из воды. Иллюстрация в PV-, TS-, HS- диаграммах.
- 17 Анализ изохорного процесса водяного пара в PV-, TS-, HS- диаграммах.
- 18 Анализ изобарного процесса водяного пара в PV-, TS-, HS- диаграммах.
- 19 Анализ изотермического процесса водяного пара в PV-, TS-, HS- диаграммах.
- 20 Анализ адиабатного процесса водяного пара в PV-, TS-, HS- диаграммах.
- 21 Основные характеристики влажного воздуха.
- 22 HD-диаграмма влажного воздуха. Анализ процесса нагревания воздуха.
- 23 HD-диаграмма влажного воздуха. Анализ процесса охлаждения воздуха.
- 24 HD-диаграмма влажного воздуха. Анализ процесса адиабатного насыщения воздуха.
- 25 HD-диаграмма влажного воздуха. Анализ процесса нагревания воздуха.
- 26 HD-диаграмма влажного воздуха. Температура точки росы.
- 27 Истечение паров и газов.
- 28 Дросселирование газов и паров.
- 29 Круговые процессы. Прямой цикл Карно.
- 30 Обратный цикл Карно.
- 31 Термодинамический процесс в компрессоре. Адиабатное сжатие.
- 32 Термодинамический процесс в компрессоре. Изотермическое сжатие.
- 33 Термодинамический процесс в компрессоре. Политропное сжатие.
- 34 Дифференциальное уравнение теплопроводности.
- 35 Краевые условия.
- 36 Теплопроводность. Закон Фурье.
- 37 Теплопроводность. Градиент температур. Коэффициент теплопроводности.
- 38 Теплопроводность при стационарном режиме через одно- и многослойную плоскую стенку.
- 39 Теплопроводность при стационарном режиме через одно- и многослойную цилиндрическую стенку.

- 40 Конвективный теплообмен.
- 41 Основы теории подобия.
- 42 Числа подобия.
- 43 Теплоотдача при свободной конвекции.
- 44 Теплоотдача при вынужденной конвекции в круглых трубах. Турбулентный режим.
- 45 Теплоотдача при вынужденной конвекции в круглых трубах. Ламинарный режим.
- 46 Теплоотдача при вынужденной конвекции. Переходный режим.
- 47 Теплоотдача при поперечном омывании одиночной трубы.
- 48 Теплоотдача при поперечном омывании пучка труб.
- 49 Теплопередача через плоскую стенку.
- 50 Теплопередача через цилиндрическую стенку.
- 51 Критический диаметр изоляции.
- 52 Интенсификация теплопередачи. Оребрение стенки.
- 53 Классификация теплообменных аппаратов.
- 54 Основы теплового расчета теплообменных аппаратов.
- 55 Теплообмен излучением.
- 56 Законы теплового излучения. Закон Планка, Стефана-Больцмана, Ламберта.
- 57 Законы теплового излучения. Закон Вина, Кирхгофа.
- 58 Лучистый теплообмен между твердыми телами.
- 59 Особенности излучения газов.
- 60 Использование экранов для защиты от излучения.
- 61 Паротурбинные установки. Цикл Карно.
- 62 Паротурбинные установки. Цикл Ренкина.
- 63 Способы повышения эффективности паросиловой установки.
- 64 Газотурбинные установки с подводом теплоты при постоянном давлении.
- 65 Газотурбинные установки с подводом теплоты при постоянном объеме.

Задачи к контрольной работе

Задача 1. Ртутный вакуумметр, присоединенный к сосуду, показывает разряжение 420мм при температуре ртути в вакуумметре $t=20^{\circ}\text{C}$. Давление атмосферного воздуха равняется 99кПа. Определить абсолютное давление в сосуде. Выразить давление в мегапаскалях, барах, килопаскалях.

Задача 2. Манометр, расположенный на ресивере со сжатым воздухом, показывает давление 1,5МПа. Барометрическое давление – 740мм рт.ст. Определить абсолютное давление воздуха в ресивере (в мегапаскалях и барах).

Задача 3. Давление воздуха, измеренное ртутным барометром, равно 765 мм при температуре ртути 20°C . Выразить давление в барах.

Задача 4. Определить абсолютное давление газа в сосуде, если показание ртутного манометра равно 500 мм рт. ст., а атмосферное давление по ртутному барометру составляет 750 мм. Температура воздуха в месте установки приборов равна 0°C .

Задача 5. Начальное показание манометра на баллоне с воздухом – 2,5МПа, а конечное – 0,5бар. Барометрическое давление (по ртутному барометру) – 700мм рт. ст. при температуре 18°C . Во сколько раз снизилось давление воздуха в баллоне?

Задача 6. В сосуде емкостью 300л находится 0,15кг газа при разряжении 500мм рт. ст. Определить абсолютное давление в сосуде (в паскалях, мегапаскалях, барах), удельный объем и плотность газа, если барометрическое давление – 745мм рт. ст. при температуре 15°C .

Задача 7. При температуре 800°C и давлении $P=0,1$ МПа плотность газа $0,4477$ кг/м³. Что это за газ?

Задача 8. Определить удельный объем кислорода при давлении 2,3 МПа и температуре 280°C .

Задача 9. Вычислить массу 3,5 м³ воздуха при давлении 1,2 атм и температуре 20°C .

Задача 10. 0,03 м³ кислорода, отнесенного к нормальным условиям, находится в сосуде емкостью 650 см³. Определить показания манометра, измеряющего давление в этом сосуде, если температура кислорода 200°C . Атмосферное давление $P_{\text{бар}}=101,6$ кПа.

Задача 11. В сосуде объемом 50 см³ находится воздух при барометрическом давлении 0,1 МПа и температуре 300°C . Затем воздух выкачивается до тех пор, пока в сосуде не образуется вакуум, равный 80 кПа. Температура воздуха после выкачивания остается той же. Сколько воздуха выкачано? Чему будет равно давление в сосуде после выкачивания, если оставшийся воздух охладить до 20°C ?

Задача 12. Масса пустого баллона для аргона емкостью 40 дм³ равна 64 кг. Определить массу баллона с аргоном, если при температуре 15°C баллон наполняют газом до давления 15 МПа. Как изменится давление аргона, если баллон внести в помещение с температурой 25°C ?

Задача 13. Наивысшая температура в газгольдере в летний период $+42^{\circ}\text{C}$, а наименьшая зимой -38°C . На сколько больше (по массе) может

вместиться водорода в газгольдере емкостью 2000 м^3 зимой по сравнению с летними условиями, если давление в нем 104 кПа ?

Задача 14. Какую массу имеет объем 6 м^3 углекислого газа при давлении по манометру 4 атм и температуре 29°C ?

Задача 15. Определить плотность оксида углерода CO в атмосферном воздухе при температуре 28°C и давлении $0,01 \text{ МПа}$, если известно, что при давлении $0,2 \text{ МПа}$ и температуре 15°C она равна $1,169 \text{ кг/м}^3$.

Задача 16. В баллоне вместимостью $0,2 \text{ м}^3$ находится кислород под давлением 12 МПа при температуре 25°C . Определить, сколько израсходовано кислорода, если давление в баллоне понизилось до $8,5 \text{ МПа}$, а температура – до 17°C .

Задача 17. Определить массу 5 м^3 водорода, 5 м^3 кислорода и 5 м^3 углекислого газа при давлении 6 атм и температуре 100°C .

Задача 18. В сосуде емкостью 100 л содержится азот под давлением $P_1=3 \text{ МПа}$ и температуре 50°C . Определить количество теплоты, которое следует отвести от азота, чтобы понизить его давление при постоянном объеме до $P_2=0,3 \text{ МПа}$, и массу азота, находящегося в сосуде.

Задача 19. Какую массу имеет объем 3 м^3 азота при давлении по манометру 8 атм и температуре 30°C ?

Задача 20. Определить плотность окиси углерода при давлении 1 бар и температуре 15°C .

Задача 21. Определить плотность и удельный объем двуокиси углерода (CO_2) при нормальных условиях.

Задача 22. Определить удельный объем кислорода при температуре 280°C и давлении 23 бар .

Задача 23. Чему равна плотность воздуха при давлении 15 бар и температуре 20°C , если плотность воздуха при нормальных условиях равна $1,293 \text{ кг/м}^3$?

Задача 24. Определить массу углекислого газа, содержащегося в сосуде объемом 4 м^3 при $t = 80^\circ\text{C}$. Давление газа по манометру равно $0,4 \text{ бар}$. Барометрическое давление 780 мм рт. ст.

Задача 25. В цилиндре с подвижным поршнем находится $0,8 \text{ м}^3$ воздуха при давлении 5 бар . Как должен измениться объем, чтобы при повышении давления до 8 бар температура воздуха не изменилась?

Задача 26. Дымовые газы, образовавшиеся в топке парового котла, охлаждаются от 1200 до 250°C . Во сколько раз уменьшается их объем, если давление газов в начале и в конце газопроводов одинаково?

Задача 27. При какой температуре плотность азота (давление $1,5 \text{ МПа}$) будет равна 3 кг/м^3 ?

Задача 28. Во сколько раз изменится плотность газа в сосуде, если при постоянной температуре показание манометра от $P_1 = 18 \text{ бар}$ уменьшится до $P_2 = 3 \text{ бар}$? Барометрическое давление принять равным 1 бар .

Задача 29. Определить массу кислорода, содержащегося в баллоне емкостью 60 л , если давление кислорода по манометру равно $10,8 \text{ бар}$, а показание ртутного барометра – 745 мм рт. ст. при температуре 25°C .

Задача 30. В сосуде находится воздух под разрежением 75 мм рт. ст. при температуре 0°C. Ртутный барометр показывает 748 мм рт. ст. при температуре ртути 20°C. Определить удельный объем воздуха при этих условиях.

Задача 31. Какой объем будут занимать 11 кг воздуха при давлении 0,44 МПа и температуре 18°C?

Задача 32. В сосуде емкостью 500 л содержится 0,368 кг водяного пара при избыточном давлении 0,76 бар. Определить абсолютное давление водяного пара в сосуде в мегапаскалях (МПа), а также плотность и удельный объем пара, если барометрическое давление – 750 мм рт. ст.

Задача 33. Избыточное давление кислорода в баллоне емкостью 100л равняется 0,9МПа при температуре 20°C. После подкачивания давление увеличивается до 10,4МПа при температуре 70°C. Сколько килограммов кислорода подано в баллон? Давление окружающей среды по барометру – 1бар.

Задача 34. Определить плотность кислорода при разрежении 175мм рт. ст. и температуре 13°C. Принять барометрическое давление – 760мм рт. ст.

Задача 35. На сколько больше вместится в баллон емкостью 40л углекислого газа, чем водорода, при температуре 45°C и давлении по манометру 15МПа, если барометрическое давление – 750мм рт. ст.?

Задача 36. Установить, одинаковы ли состояния рабочего тела, которые характеризуются такими значениями параметров:

первое состояние – $P_1=0,15\text{МПа}$, $\rho_1=0,75\text{кг/м}^3$;

второе состояние – $P_2=1125\text{ мм рт. ст.}$, $V_2=6\text{м}^3$, $m=4,5\text{кг}$.

Задача 37. В 1 м³ сухого воздуха содержится примерно 0,21 м³ кислорода и 0,79 м³ азота. Определить массовый состав воздуха, его газовую постоянную и парциальные давления кислорода и азота.

Задача 38. Определить газовую постоянную смеси газов, состоящей из 1 м³ генераторного газа и 1,5 м³ воздуха, взятых при нормальных условиях, и найти парциальные давления составляющих смеси. Плотность генераторного газа принять равной 1,2 кг/м³.

Задача 39. Объемный состав сухих продуктов сгорания топлива (не содержащих водяных паров) следующий: $\text{CO}_2=12,3\%$; $\text{O}_2=7,2\%$; $\text{N}_2=80,5\%$. Найти молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и удельный объем продуктов сгорания при давлении 750 мм рт. ст. и температуре 800°C.

Задача 40. Генераторный газ имеет следующий объемный состав: $\text{H}_2=7\%$; $\text{CH}_4=2\%$; $\text{CO}=27,6\%$; $\text{CO}_2=4,85\%$; $\text{N}_2=58,6\%$. Определить массовые доли, молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и парциальные давления при температуре 15°C и давлении 0,1 МПа.

Задача 41. Газ коксовых печей имеет следующий объемный состав: $\text{H}_2=57\%$; $\text{CH}_4=23\%$; $\text{CO}=6\%$; $\text{CO}_2=2\%$; $\text{N}_2=12\%$. Определить молекулярную массу, массовые доли, газовую постоянную и плотность при температуре 15°C и давлении 1 бар.

Задача 42. Генераторный газ состоит из следующих объемных частей: $H_2=18\%$; $CO=24\%$; $CO_2=6\%$; $N_2=52\%$. Определить газовую постоянную генераторного газа и массовый состав входящих в смесь газов.

Задача 43. Анализ продуктов сгорания топлива показал следующий их состав: $CO_2=12,2\%$; $O_2=7,1\%$; $CO=0,4\%$; $N_2=80,3\%$. Определить массовый состав входящих в смесь газов.

Задача 44. Определить газовую постоянную, плотность при нормальных условиях и объемный состав смеси, если ее массовый состав следующий: $H_2=8,4\%$; $CH_4=48,7\%$; $C_2H_4=6,9\%$; $CO=17\%$; $CO_2=7,6\%$; $O_2=4,7\%$; $N_2=6,7\%$.

Задача 45. Определить газовую постоянную, удельный объем газовой смеси и парциальные давления ее составляющих, если объемный состав смеси следующий: $CO_2=12\%$; $CO=1\%$; $H_2O=6\%$; $O_2=7\%$; $N_2=74\%$, а общее давление ее составляет 750 мм рт. ст.

Задача 46. В резервуаре емкостью 125 м^3 находится коксовый газ при давлении 5 бар и температуре 18°C . Объемный состав газа следующий: $H_2=0,46$; $CH_4=0,32$; $CO=0,15$; $N_2=0,07$. После расходования некоторого количества газа давление его понизилось до 3 бар, а температура упала до 12°C . Определить массу израсходованного коксового газа.

Задача 47. Массовый состав смеси следующий: $CO_2=18\%$; $O_2=12\%$ и $N_2=70\%$. До какого давления нужно сжать эту смесь, находящуюся при нормальных условиях, чтобы при температуре 180°C 8 кг ее занимали объем, равный 4 м^3 ?

Задача 48. Определить массовый состав газовой смеси, состоящей из углекислого газа и азота, если известно, что парциальное давление углекислого газа 1,2 бар, а давление смеси 3 бар.

Задача 49. Определить массовые доли кислорода и азота, содержащиеся в воздухе, если известно, что в 1 м^3 воздуха содержится $0,21\text{ м}^3\text{ O}_2$ и $0,79\text{ м}^3\text{ N}_2$. Определить плотность воздуха и парциальные давления компонентов при 30°C и 745 мм рт. ст.

Задача 50. Азот с приведенным к н.у. объемом $3,5\text{ м}^3$ находится в первоначальном состоянии при $P_1=0,11\text{ МПа}$ и $T_1=298\text{ К}$. Его подвергают изотермическому сжатию до давления $P_2=2,4\text{ МПа}$. Найти удельные объемы в начальном и конечном состояниях, работу сжатия и теплоту, отведенную от газа.

Задача 51. 1 кг воздуха с начальным давлением $P_1=0,2\text{ МПа}$ и начальной температурой 60°C сжимается политропно до конечной температуры 300°C . Определить работу сжатия, изменение внутренней энергии и количество отведенной от воздуха теплоты, если показатель политропы $n=1,35$. Показать процессы в PV- и TS- координатах.

Задача 52. В компрессор поступает 4,2 кг воздуха с параметрами: $P=100\text{ кПа}$, температура 22°C . Воздух сжимается адиабатно до давления 3,6 МПа. Определить изменение внутренней энергии и работу сжатия.

Задача 53. Водитель автомобиля определил, что давление в шинах перед поездкой равно 2,1 атм при температуре 22°C . После нескольких часов

езды он снова проверил давление, оно равнялось 2,5 атм. Определить температуру воздуха в шинах.

Задача 54. В поршневом компрессоре сжимается воздух, имеющий давление $P_1=0,1$ МПа и температуру 20°C . Процесс сжатия политропный, с показателем политропы $n=1,3$. Давление в конце сжатия $0,7$ МПа. Определить работу сжатия для 1 кг воздуха и количество отнятой теплоты.

Задача 55. 1 кг воздуха политропно расширяется от начального давления 12 атм до 2 атм, причем объем его увеличивается в 4 раза; начальная температура воздуха 127°C . Определить показатель политропы, начальный и конечный объемы, конечную температуру.

Задача 56. Начальное состояние 10 кг воздуха определяется температурой 27°C и давлением $1,2$ МПа. Воздух изобарно нагревается до 327°C . Определить работу газа, изменение внутренней энергии и энтальпии.

Задача 57. Начальные параметры 10 кг азота: температура 150°C и удельный объем $1,7$ м³/кг. Газ нагревают при постоянном давлении до конечного объема $5,1$ м³/кг. Определить количество подведенной теплоты.

Задача 58. Азот в количестве 10 м³ заключили в герметически закрытый сосуд и нагрели до температуры 1450°C . Давление P_1 при этом стало равным $3,8$ МПа. Затем газ охладили до температуры 47°C . Каким стало давление после охлаждения и сколько теплоты отведено? Решить задачу, считая теплоемкость, зависящей от температуры линейно. Показать процесс на PV-, TS-координатах.

Задача 59. В сосуде емкостью 1 м³ содержится азот под давлением 3 МПа и при температуре 175°C . Определить количество теплоты, которое следует отвести от азота, чтобы понизить его давление при постоянном объеме до 2 МПа, и массу азота, находящегося в сосуде. Показать процесс на PV-, TS-координатах.

Задача 60. 1 кг воздуха при температуре 10°C и начальном давлении $0,1$ МПа сжимается изотермически в компрессоре до конечного давления 1 МПа. Определить конечный объем, затраченную работу и количество теплоты, которое необходимо отвести от газа. Показать процесс на PV-, TS-координатах.

Задача 61. Какова начальная температура азота, если его конечная температура после совершения процесса адиабатного сжатия составляет 750°C ? Известна степень сжатия $E=v_1/v_2=10$. Теплоемкости C_p и C_v считать постоянными и независимыми от температуры.

Задача 62. К воздуху массой 1 кг, находящемуся в цилиндре с подвижным поршнем, подводится 150 кДж теплоты, из которых 107 кДж затрачивается на изменение внутренней энергии воздуха. Определить работу расширения.

Задача 63. Газовая турбина работает на продуктах сгорания, имеющих при входе в нее температуру 800°C и давление 5 атм. Расширение в турбине идет по политропе ($n=1,3$) до давления 1 атм. Определить температуру газов на выходе, изменение объема их в процессе и работу 1 кг продуктов

сгорания при расширении их в турбине. Газовая постоянная продуктов сгорания $294 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Показать процессы в PV- и TS- координатах.

Задача 64. 1кг воздуха с начальным давлением $P_1=2\text{МПа}$ и начальной температурой 67°C расширяется изотермически до конечного давления $P_2=0,1\text{МПа}$. Определить объем воздуха в начале и в конце расширения и работу расширения. Показать процессы в PV- и TS- координатах.

Задача 65. 2кг воздуха с начальным давлением $P_1=2\text{МПа}$ и начальной температурой 20°C сжимаются адиабатно до конечного давления $P_2=4\text{МПа}$. Определить объем и температуру воздуха в конце сжатия, работу сжатия и изменение внутренней энергии, если показатель адиабаты $\kappa=1,4$. Показать процессы в PV- и TS- координатах.

Задача 66. 1кг воздуха с начальным давлением $P_1= 0,12\text{МПа}$ и начальной температурой 20°C сжимается при постоянном давлении до удельного объема $0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$. Определить работу сжатия, изменение внутренней энергии и количество отведенной от воздуха теплоты. Показать процессы в PV- и TS- координатах.

Задача 67. В сосуде емкостью 200л находится азот под давлением $P_1=5\text{МПа}$ и при температуре 30°C . Какое количество теплоты (в килоджоулях) необходимо подвести, чтобы температура газа повысилась до 300°C (процесс изохорный)? Газ считать идеальным с теплоемкостью $C_v=0,75 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Задача 68. При изотермическом сжатии $0,3\text{м}^3$ кислорода, начальные параметры которого $P_1=1\text{МПа}$ и температура 300°C , отводится 500кДж теплоты. Определить конечное давление и изменение энтропии в процессе.

Задача 69. 0,5 кг газа, температура которого 300К , расширяется при $T=\text{const}$ с уменьшением давления в 5раз и при этом совершается работа $995,7 \text{ кДж}$. Определить этот газ.

Задача 70. Воздух объемом 3000л расширяется изобарно с увеличением объема в 1,5раза. При этом подводится теплота в количестве 627кДж . Определить давление, при котором проходит процесс расширения, и совершаемую работу. Начальная температура воздуха 300°C . Изобарную теплоемкость воздуха принять равной $1\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Задача 71. 1кг воздуха при давлении $P_1=0,5\text{МПа}$ и температуре 111°C расширяется политропно до давления $P_2=0,1\text{МПа}$. Определить конечное состояние воздуха (v_2, t_2) и теплоемкость процесса, если показатель политропы $n=1,2$. Теплоемкость считать независимой от температуры.

Задача 72. Определить плотность теплового потока через плоскую стенку, если стенка выполнена:

а) из стали, $\lambda=46,52 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

б) из бетона, $\lambda=1,28 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

в) из диатомитового кирпича, $\lambda=0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Толщина стенок во всех трех случаях $\delta=50\text{мм}$. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными и равными: $t_{\text{ст}1}=100^\circ\text{C}$ и $t_{\text{ст}2}=90^\circ\text{C}$.

Задача 73. Стальная труба [$\lambda=50$ Вт/(м·К)] диаметром 45x2,5мм покрывается снаружи слоем эмали толщиной 0,5мм [$\lambda=1,05$ Вт/(м·К)]. Как изменится при этом ее термическое сопротивление?

Задача 74. Стенка исследовательской установки покрыта снаружи изоляционным слоем эмали толщиной 260мм [$\lambda_{эм}=1,05$ Вт/(м·К)]. Температура на внешней поверхности изоляции 35°C. Для изучения тепловых потерь в изоляцию на глубину 50мм от внешней поверхности вставлена термопара, показывающая 70°C. Определить температуру на поверхности контакта стенки и изоляции.

Задача 75. Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной 50мм равняется: $q=69,78$ Дж/(м²·с). Определить разницу температур на поверхностях стенки и градиент температуры у стенки, если она выполнена: из латуни – $\lambda=69,78$ Вт/(м·К); из красного кирпича – $\lambda=0,7$ Вт/(м·К); из корковой пробки – $\lambda=0,07$ Вт/(м·К).

Задача 76. Стальной паропровод диаметром 150x5мм [$\lambda=46,52$ Вт/(м·К)] имеет на внешней поверхности температуру 300°C. Его необходимо покрыть двумя слоями изоляции, при этом температура внешней поверхности изоляции не должна превышать 50°C. В качестве изоляции используются: слой А толщиной $\delta=20$ мм и $\lambda=0,037$ Вт/(м·К); слой Б толщиной $\delta=40$ мм и $\lambda=0,14$ Вт/(м·К).

В какой последовательности следует разместить слои на паропроводе, чтобы иметь минимальные потери теплоты?

Задача 77. Определить количество теплоты, теряемое трубой за час, если внутри трубы протекает газ, а снаружи труба омывается воздухом. Средняя температура газа 800°C, воздуха – 15°C. Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке трубы 35 Вт/(м²·К), от стенки к воздуху – 5,8 Вт/(м²·К). Каковы температуры внутренней и наружной поверхностей трубы, а также слоя, расположенного в 40 мм от оси трубы? Труба стальная с коэффициентом теплопроводности 46,5Вт/(м·К), внутренним диаметром 80мм, наружным диаметром 100мм, длина трубы 2м.

Задача 78. Гладкая стальная труба воздухоподогревателя с внутренней стороны омывается дымовыми газами со средней температурой 320°C, а снаружи – воздухом, причем он нагревается от 25 до 250°C. Коэффициент теплопроводности стали 58 Вт/(м·К).

Определить: линейный коэффициент теплопередачи, отнесенный к одному погонному метру наружной поверхности трубы, и количество тепла, передаваемое трубой за 1 ч, если наружный диаметр трубы 51 мм; внутренний диаметр трубы 48 мм; длина трубы 4 м; налет сажи внутри трубы $\delta = 1$ мм, коэффициент теплопроводности сажи 0,23Вт/(м·К). Коэффициент теплоотдачи от дыма к внутренней поверхности трубы 35Вт/(м²·К), а от наружной поверхности трубы к воздуху – 8 Вт/(м²·К).

Задача 79. Определить удельный тепловой поток, проходящий через стенку рабочей лопатки газовой турбины, если средние температуры

поверхностей лопатки соответственно равны 650 и 630°C, толщина стенки лопатки 2,5 мм, коэффициент теплопроводности 23,85 Вт/(м·К).

Задача 80. Паропровод длиной 40 м, диаметром 51 мм, толщиной 2,5 мм покрыт слоем изоляции толщиной 30 мм. Температура наружной поверхности изоляции 45°C, внутренней – 175°C. Определить количество тепла, теряемое паропроводом в час. Коэффициент теплопроводности изоляции 0,116 Вт/(м·К).

Задача 81. Стенка печи состоит из двух слоев: огнеупорный кирпич – $\delta=500$ мм, $\lambda=1,16$ Вт/(м·К) и строительный кирпич – $\delta=250$ мм, $\lambda=0,58$ Вт/(м·К). Температура внутри печи 1300°C, температура окружающего пространства 25°C. Коэффициент теплоотдачи от печных газов к стенке 34,8 Вт/(м²·К), коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху 16,2 Вт/(м²·К). Определить потери тепла с 1 м² поверхности стенки и температуру на поверхностях стенки и температуру между слоями.

Задача 82. Стальная труба диаметром $d_1/d_2=200/220$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=50$ Вт/(м·К) покрыта двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя $\delta=50$ мм с $\lambda=0,2$ Вт/(м·К) и второго – $\delta=80$ мм с $\lambda=0,1$ Вт/(м·К). Температура внутренней поверхности трубы $t_{ст}=327$ °C и наружной поверхности изоляции $t_{из}=50$ °C. Определить потери теплоты через изоляцию с одного метра длины трубопровода и температуры на границе соприкосновения слоев.

Задача 83. Стальной паропровод диаметром $d_1/d_2=180/200$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=50$ Вт/(м·К) покрыт слоем жароупорной изоляции толщиной 50мм, $\lambda_2=0,18$ Вт/(м·К). Сверх этой изоляции лежит слой пробки толщиной 50мм, $\lambda_3=0,06$ Вт/(м·К). Температура протекающего внутри трубы пара равна $t_1=487$ °C, а температура наружного воздуха $t_2=27$ °C. Коэффициент теплоотдачи от пара к трубе $\alpha_1=200$ Вт/(м²·К), коэффициент теплоотдачи от поверхности пробковой изоляции к воздуху $\alpha_2=10$ Вт/(м²·К). Определить потери теплоты на 1м трубопровода, а также температуры поверхностей отдельных слоев.

Задача 84. Определить плотность теплового потока, проходящего через плоскую стальную стенку толщиной $\delta=10$ мм с $\lambda=40$ Вт/(м·К), и коэффициенты теплопередачи для двух случаев.

В первом случае: температура газов $t_1=1127$ °C, температура кипящей воды $t_в=227$ °C, коэффициент теплоотдачи от газов к стенке $\alpha_1=100$ Вт/(м²·К) и от стенок к кипящей воде – $\alpha_2=5000$ Вт/(м²·К).

Во втором случае в процессе эксплуатации поверхность нагрева покрылась слоем сажи толщиной $\delta_с=2$ мм с $\lambda=0,09$ Вт/(м·К). Температура газов и воды остается без изменения. Определить также температуру между слоями.

Задача 85. Стальной паропровод диаметром $d_1/d_2=160/170$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=40$ Вт/(м·К) покрыт слоем жароупорной изоляции толщиной 30мм, $\lambda_2=0,18$ Вт/(м·К). Сверх этой изоляции лежит слой пробки толщиной 40мм, $\lambda_3=0,06$ Вт/(м·К). Температура протекающего внутри трубы пара равна $t_1=500$ °C, а

температура наружного воздуха $t_2=300^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от пара к трубе $\alpha_1=200\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, коэффициент теплоотдачи от поверхности пробковой изоляции к воздуху $\alpha_2=10\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Определить потери теплоты на 1 м трубопровода, а также температуры поверхностей отдельных слоев.

Задача 86. Определить коэффициент теплопередачи и температуры между слоями стенки, которая состоит из трех пластов:

внутренний – кирпич толщиной $\delta_1=230$ мм с $\lambda_1=1,4$ Вт/(м·К);

средний – диатомит толщиной $\delta_2=115$ мм с $\lambda_2=0,3$ Вт/(м·К);

внешний – вата толщиной $\delta=75$ мм с $\lambda=0,15$ Вт/(м·К).

Температура газа, который контактирует с внутренней поверхностью, $t_1=720^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи от газа к кирпичу $\alpha_1=315$ Вт/(м²·К), от ваты к воздуху – $\alpha_2=6,5$ Вт/(м²·К), температура внешнего воздуха $t_2=17^\circ\text{C}$.

Задача 87. Определить количество тепла, теряемое трубой за час, если внутри трубы протекает газ, а снаружи труба омывается воздухом. Средняя температура газа 800°C , воздуха – 15°C . Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке трубы $\alpha=35\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, от стенки к воздуху – $5,8\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Каковы температуры внутренней и наружной поверхностей трубы, а также слоя, расположенного в 40 мм от оси трубы? Труба стальная с коэффициентом теплопроводности $46,5\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, диаметр трубы 35 мм, толщина 5 мм, длина 3 м.

Задача 88. Определить коэффициент теплопередачи от газа, движущегося по стальному трубопроводу, к окружающему воздуху. Наружный диаметр трубопровода $d_2=1000$ мм, толщина стенки $\delta=10$ мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=45\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Трубопровод футерован изнутри шамотным кирпичом; толщина футеровки $\delta_1=65$ мм, $\lambda_1=0,81\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке $\alpha_1=11,6\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки к воздуху $\alpha_2=15,5\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Задача 89. Стенка печи состоит из трех слоев: 1-й внутренний слой – шамотный кирпич толщиной $\delta_1=120$ мм; 2-й слой – изоляционный кирпич толщиной $\delta_2=65$ мм; 3-й слой – стальной кожух толщиной $\delta_3=10$ мм.

Теплопроводность слоев: $\lambda_1=0,81\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\lambda_2=0,23\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\lambda_3=45\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Температура в печи 800°C , температура окружающего воздуха 30°C . Коэффициент теплоотдачи с внутренней и наружной стороны печи: $\alpha_1=69,6\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ и $\alpha_2=13,9\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Определить потерю тепла с 1 м² поверхности стенки и температуры поверхностей стенки.

Задача 90. Рассчитать теплотери через полностью застекленную стенку при условии: размер стенки 2,5х4 м, температура $t_1=20^\circ\text{C}$, температура $t_2=-20^\circ\text{C}$; $\alpha_1=10\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, $\alpha_2=30\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; остекление двойное; толщина стекол $\delta_{\text{ст}}=3$ мм, зазор между стеклами $\delta=0,1$ м; коэффициенты теплопроводности :

$\lambda_{\text{ст}}=1,2$ Вт/(м·К); $\lambda_{\text{воз}}=0,67$ Вт/(м·К).

Задача 91. Во сколько раз уменьшатся теплотери через стенку здания, если между двумя слоями кирпичей толщиной по 250 мм установить

прокладку пенопласта толщиной 50мм? Коэффициенты теплопроводности: кирпичей – 0,5Вт/(м·К), а пенопласта – 0,05Вт/(м·К).

Задача 92. Определить плотность теплового потока, проходящего через плоскую стальную стенку толщиной 10мм, коэффициентом теплопроводности 50 Вт/(м·К), а также коэффициент теплопередачи для двух случаев:

1) температура газа 1300°С, температура жидкости 230°С, коэффициент теплоотдачи от газа к стенке $\alpha_1 = 100\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ и коэффициент теплоотдачи от стенки к жидкости $\alpha_2 = 5000\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

2) поверхность стенки со стороны газа покрыта слоем сажи толщиной 3мм, $\lambda_c=0,09\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Температуры газа и жидкости и коэффициенты теплоотдачи остаются прежними.

Задача 93. Определить коэффициент теплопроводности материала плоской стенки, если известно, что при прохождении 27214 кДж в час через поверхность 2,5м² температура на каждые 1мм толщины стенки снижается на 0,2°С.

Задача 94. Определить коэффициент теплоотдачи α воздуха, протекающего со скоростью $\omega = 10\text{м}/\text{с}$, стенке прямой трубы диаметром 0,1м и длиной 2м. Средняя температура воздуха $t = 120^\circ\text{С}$.

Задача 95. Определить передачу теплоты при свободной конвекции от вертикального полого трубопровода диаметром 120мм и высотой $h=6\text{м}$ к воздуху. Температура стенки 523К, температура воздуха 293К.

Задача 96. Определить средний коэффициент теплоотдачи конвекцией от поперечного потока нагретого воздуха к стенкам шестирядного пучка труб. Трубы диаметром $d=76\text{мм}$ размещены по коридорной схеме. Средняя скорость воздуха $\omega=7,6\text{ м}/\text{с}$, температура воздуха перед пучком $t_{\text{п1}}=130^\circ\text{С}$, после пучка – $t_{\text{п2}}=490^\circ\text{С}$, угол атаки $\varphi=50^\circ$.

Задача 97. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток, если в горизонтальной трубе диаметром $d = 0,07\text{ м}$ и длиной $l = 5,4\text{ м}$ со скоростью $\omega = 0,6\text{ м}/\text{с}$ движется вода с температурой $t_{\text{в}} = 93^\circ\text{С}$ при температуре стенки трубы $t_{\text{ст}} = 24^\circ\text{С}$.

Задача 98. Для отопления гаража используют трубу, в которой протекает горячая вода. Рассчитать коэффициент теплоотдачи к воздуху и тепловой поток, если размеры трубы: $d_{\text{н}} = 0,1\text{м}$, $l = 10\text{м}$, а температура стенки трубы $t_{\text{ст}} = 85^\circ\text{С}$ и воздуха – $t = 20^\circ\text{С}$.

Задача 99. Рассчитать коэффициент теплоотдачи и тепловой поток от стенки трубы подогревателя воды. Длина трубы $l=2\text{м}$, внутренний диаметр $d = 16\text{мм}$, скорость течения воды $\omega = 0,995\text{м}/\text{с}$, средняя температура жидкости 40°С, а стенки трубы – 100°С.

Задача 100. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток от горизонтальной плиты шириной 1м, длиной 3м, если теплоотдающая поверхность обращена вниз и температура ее 125°С, а температура воздуха вдали от плиты 15°С.

Задача 101. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток от стенок канала атомного реактора, охлаждаемого водой, если диаметр канала 9мм, его длина 1,6м, средняя скорость воды 4м/с, температура воды на входе в канал 155°С, на выходе – 265°С, а средняя температура стенки трубы 270°С.

Задача 102. Тонкая пластина длиной 2м и шириной 0,5м с обеих сторон омывается продольным потоком воды со скоростью 5м/с, температура набегающего потока 10°С; средняя температура поверхности пластины 50°С. Определить средний по длине коэффициент теплоотдачи и тепловой поток, переданный пластиной воде.

Задача 103. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток на единицу длины в поперечном потоке воздуха для трубы диаметром 30мм, если температура ее поверхности 80°С, температура воздуха 20°С и скорость 5м/с.

Задача 104. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток на единицу длины в поперечном потоке воздуха для трубы диаметром 30мм, если температура ее поверхности 80°С, температура воздуха 20°С и скорость 15м/с.

Задача 105. Определить коэффициент теплоотдачи от горизонтальной плиты шириной 1м, длиной 3м, если теплоотдающая поверхность обращена вверх и температура ее 125°С, а температура воздуха вдали от плиты 15°С.

Задача 106. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток при движении воздуха в трубе диаметром 56 мм, длиной 2 м со скоростью 5 м/с, если средняя температура воздуха 120°С, а средняя температура стенки трубы 100°С.

Задача 107. Плоская стенка длиной 1,5 м и шириной 1 м омывается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока соответственно равны 4 м/с и 20°С; температура поверхности пластины 50°С. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток, переданный пластиной воздуху.

Задача 108. Тонкая пластина длиной 2м и шириной 1,5м обдаётся продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока соответственно 3м/с и 30°С. Температура поверхности пластины равняется 90°С. Определить средний по длине коэффициент теплоотдачи и количество теплоты, отдаваемое пластиной воздуху.

Задача 109. В трубе длиной 10м, диаметром 25мм и толщиной стенки 2мм течет вода со скоростью 0,8м/с. Средняя температура воды 60°С, температура стенки трубы 40°С. Определить коэффициент теплоотдачи к стенке трубы и тепловой поток.

Задача 110. По трубе диаметром 40мм течет вода со скоростью 9м/с. Температура внешней поверхности трубы поддерживается постоянной и равной 30°С. Вода, движущаяся по трубе, нагревается от температуры 10°С на входе до 20°С на выходе. Определить коэффициент теплоотдачи от стенки к жидкости.

Приложение А

Физические постоянные некоторых газов

Газ	Химическая формула	Относительная молекулярная масса, кг/кмоль	Газовая постоянная, Дж/(кг К)	Плотность газа, кг/м ³
Кислород	O ₂	32	259.8	1.429
Водород	H ₂	2	4124.3	0.090
Азот	N ₂	28	296.8	1.250
Оксид углерода	CO	28	296,8	1.250
Воздух	—	28.96	287	1.293
Углекислый газ	CO ₂	44	189	1.977
Водяной пар	H ₂ O	18	461.8	0.804
Гелий	He	4	2077.2	0.178
Аргон	Ar	40	208.2	1.784
Аммиак	NH ₃	17	488.2	0.771
Ацетилен	C ₂ H ₂	26	320	1.171
Бензол	C ₆ H ₆	78.1	106	-
Бутан	C ₄ H ₁₀	58.1	143	2.673
Оксид азота	NO ₂	46	181	-
Оксид серы	SO ₂	64.1	130	2.93
Метан	CH ₄	16	519	0.72
Пропан	C ₃ H ₈	44.1	189	2.02
Пропилен	C ₃ H ₆	42.1	198	1.91
Сероводород	H ₂ S	34.1	244	1.54
Хлор	Cl ₂	70.9	117	3.22
Этилен	C ₂ H ₄	28.1	297	1.26
Этан	C ₂ H ₆	30.1	277	1.36

Приложение Б

Средние теплоемкости газов в интервале температур от 0 до t

Таблица Б.1 – Средняя молярная теплоемкость газов при постоянном давлении, кДж/(кмоль·К)

t, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух (абсолютно сухой)
0	29.274	29.019	29.123	35.86	33.499	38.85	29.073
100	29.538	29.048	29.178	38.112	33.741	40.65	29.152
200	29.931	29.132	29.303	40.059	34.118	42.33	29.299
300	30.4	29.287	29.517	41.755	34.575	43.88	29.521
400	30.878	29.5	29.789	43.25	35.09	45.22	29.789
500	31.334	29.764	30.099	44.573	35.63	46.39	30.095
600	31.761	30.044	30.425	45.453	36.195	47.35	30.405
700	32.15	30.341	30.752	46.813	36.789	48.23	30.723
800	32.502	30.635	31.07	47.763	37.392	48.94	31.028
900	32.825	30.924	31.376	48.617	38.008	49.61	31.321
1000	33.118	31.196	31.665	49.392	38.619	50.16	31.598
1100	33.386	31.455	31.937	50.099	39.226	50.66	31.862
1200	33.633	31.707	32.192	50.74	39.825	51.08	32.109
1300	33.863	31.941	32.427	51.322	40.407	-	32.343
1400	34.076	32.163	32.653	51.858	40.976	-	32.575
1500	34.282	32.372	32.858	52.348	41.525	-	32.774
1600	34.474	32.565	33.051	52.8	42.056	-	32.967
1700	34.67	32.93	33.27	53.50	42.20	-	33.17
1800	34.834	33.10	33.44	53.91	42.67	-	33.35
1900	35.02	33.26	33.69	54.29	43.12	-	33.51
2000	35.17	33.42	33.75	54.64	43.56	-	33.66
2100	35.35	33.56	33.89	54.97	43.97	-	33.81
2200	35.50	33.70	34.02	55.27	44.37	-	33.95
2300	35.66	33.83	34.15	55.67	44.76	-	34.09
2400	35.80	33.95	34.26	55.85	45.13	-	34.21
2500	35.95	34.09	34.38	56.11	45.48	-	34.34
2600	36.09	34.18	34.48	56.35	45.81	-	34.45
2700	36.22	34.29	34.58	56.58	46.14	-	34.56
2800	36.36	34.39	34.68	56.82	-	-	34.67
2900	36.48	34.49	34.77	57.04	-	-	34.77
3000	36.61	34.58	34.86	57.23	-	-	34.87

Таблица Б.2 – Средняя молярная теплоемкость газов при постоянном объеме,
кДж/(кмоль·К)

t, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух (абсолютно сухой)
0	20.959	20.704	20.808	27.545	25.184	30.52	20.758
100	21.223	20.733	20.863	29.797	25.426	32.52	20.838
200	21.616	20.8	20.988	31.744	25.803	34	20.984
300	22.085	20.972	21.202	33.44	26.26	35.55	21.206
400	22.563	21.185	21.474	34.935	26.775	36.89	21.474
500	23.019	21.449	21.784	36.258	27.315	38.06	21.78
600	23.446	21.729	22.11	37.438	27.88	39.02	22.09
700	23.835	22.027	22.437	38.498	28.474	39.9	22.408
800	24.187	22.32	22.755	39.448	29.077	40.61	22.713
900	24.51	22.609	23.061	40.302	29.693	42.28	23.006
1000	24.803	22.881	23.35	41.077	30.304	41.83	23.283
1100	25.071	23.14	23.622	41.784	30.911	42.33	23.547
1200	25.318	23.322	23.877	42.425	31.51	42.75	23.794
1300	25.548	23.626	24.112	43.007	32.092	-	24.028
1400	25.761	23.848	24.338	43.543	32.661	-	24.25
1500	25.967	24.057	24.543	44.033	33.21	-	24.459
1600	26.159	24.25	24.736	44.485	33.741	-	24.652
1700	26.343	24.434	24.916	44.903	34.261	-	24.836
1800	26.519	24.602	25.087	45.289	34.755	-	25.004
1900	26.691	24.765	25.246	45.644	35.224	-	25.167
2000	26.854	24.916	25.393	45.975	35.68	-	25.326

Таблица Б.3 – Средняя массовая теплоемкость газов при постоянном давлении,

кДж/(кг·К)

t, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух
0	0.9148	1.0304	1.0396	0.8148	1.8594	0.607	1.0036
100	0.9282	1.0316	1.0417	0.8658	1.8728	0.636	1.0061
200	0.9353	1.0346	1.0463	0.9102	1.8937	0.662	1.0115
300	0.95	1.04	1.0538	0.9487	1.9192	0.687	1.0191
400	0.9651	1.0475	1.0634	0.9826	1.9477	0.708	1.0283
500	0.9793	1.0567	1.0748	1.0128	1.9778	0.724	1.0387
600	0.9927	1.0668	1.0861	1.0396	2.0092	0.737	1.0496
700	1.0048	1.0777	1.0978	1.0639	2.0419	0.754	1.0605
800	1.0157	1.0881	1.1091	1.0852	2.0754	0.762	1.071
900	1.0258	1.0982	1.12	1.1045	2.1097	0.775	1.0815
1000	1.035	1.1078	1.1304	1.1225	2.1436	0.783	1.0907
1100	1.0434	1.117	1.1401	1.1384	2.1771	0.791	1.0999
1200	1.0509	1.1258	1.1493	1.153	2.2106	0.795	1.1082
1300	1.058	1.1342	1.1577	1.166	2.2429	-	1.1166
1400	1.0647	1.1422	1.1656	1.1782	2.2743	-	1.1242
1500	1.0714	1.1497	1.1731	1.1895	2.3048	-	1.1313
1600	1.0773	1.1564	1.1798	1.1995	2.3346	-	1.138
1700	1.0831	1.1631	1.1865	1.2091	2.363	-	1.1443
1800	1.0886	1.169	1.1924	1.2179	2.3907	-	1.1501
1900	1.094	1.1748	1.1983	1.2259	2.4166	-	1.156
2000	1.099	1.191	1.2033	1.2334	2.4422	-	1.161
2100	1.104	1.197	1.208	1.240	2.466	-	1.166
2200	1.109	1.201	1.213	1.247	2.490	-	1.171
2300	1.114	1.206	1.218	1.253	2.512	-	1.176
2400	1.118	1.210	1.222	1.259	2.533	-	1.180
2500	1.123	1.214	1.226	1.264	2.554	-	1.185
2600	1.127	1.216	1.231	1.271	2.574	-	1.189
2700	1.131	1.222	1.235	1.275	2.594	-	1.103
2800	1.135	1.226	1.238	1.284	2.612	-	1.197
2900	1.139	1.231	1.242	1.288	2.630	-	1.201
3000	1.143	1.235	1.245	1.292	-	-	1.206

Таблица Б.4 – Средняя массовая теплоемкость газов при постоянном объеме,

кДж/(кг·К)

t, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух
0	0.6548	0.7352	0.7427	0.6259	1.398	0.477	0.7164
100	0.6632	0.7365	0.7448	0.677	1.4114	0.507	0.7193
200	0.6753	0.7394	0.7494	0.7214	1.4323	0.532	0.7243
300	0.69	0.7448	0.757	0.7599	1.4574	0.557	0.7319
400	0.7051	0.7524	0.7666	0.7938	1.4863	0.578	0.7415
500	0.7193	0.7616	0.7775	0.824	1.516	0.595	0.7519
600	0.7827	0.7716	0.7892	0.8508	1.5474	0.607	0.7624
700	0.7448	0.7821	0.8009	0.8746	1.5805	0.624	0.7733
800	0.7557	0.7926	0.8122	0.8964	1.614	0.632	0.7842
900	0.7658	0.803	0.8231	0.9157	1.6483	0.645	0.7942
1000	0.775	0.8127	0.8336	0.9332	1.6823	0.653	0.8039
1100	0.7834	0.8219	0.8432	0.9496	1.7158	0.662	0.8127
1200	0.7913	0.8307	0.8566	0.9638	1.7488	0.666	0.8215
1300	0.7984	0.839	0.8608	0.9772	1.7815	-	0.8294
1400	0.8051	0.847	0.8688	0.9893	1.8129	-	0.8369
1500	0.8114	0.8541	0.8763	1.0006	1.8434	-	0.8441
1600	0.8173	0.8612	0.883	1.0107	1.8728	-	0.8508
1700	0.8231	0.8675	0.8893	1.0203	1.9016	-	0.857
1800	0.8286	0.8738	0.8956	1.0291	1.9293	-	0.8633
1900	0.834	0.8792	0.9014	1.0371	1.9552	-	0.8688
2000	0.839	0.894	0.9064	1.0446	1.9804	-	0.8742
2100	0.844	0.900	0.912	1.052	2.005	-	0.879
2200	0.849	0.905	0.916	1.058	2.028	-	0.884
2300	0.854	0.909	0.921	1.064	2.050	-	0.889
2400	0.858	0.914	0.925	1.070	2.072	-	0.893
2500	0.863	0.918	0.929	1.075	2.093	-	0.897
2600	0.868	0.920	0.931	1.080	2.113	-	0.900
2700	0.872	0.923	0.934	1.084	2.132	-	0.903
2800	0.875	0.926	0.936	1.089	2.151	-	0.906
2900	0.878	0.929	0.939	1.093	2.168	-	0.908
3000	0.881	0.931	0.941	1.097	-	-	0.911

Таблица Б.5 – Средняя объемная теплоемкость газов при постоянном давлении,

кДж/(м³·К)

t, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух
0	1.3059	1.2946	1.2992	1.5998	1.493	1.733	1.2971
100	1.3176	1.2958	1.3017	1.7003	1.502	1.813	1.3004
200	1.3352	1.2996	1.3071	1.7873	1.5223	1.888	1.3071
300	1.3561	1.3067	1.3167	1.8627	1.5424	1.955	1.3172
400	1.3775	1.3163	1.3289	1.9297	1.5654	2.018	1.3289
500	1.398	1.3276	1.3427	1.9887	1.5897	2.068	1.3427
600	1.4168	1.3402	1.3574	2.0411	1.6148	2.114	1.3565
700	1.4344	1.3536	1.372	2.0884	1.6412	2.152	1.3708
800	1.4499	1.367	1.3862	2.1311	1.668	2.181	1.3842
900	1.4645	1.3796	1.3396	2.1692	1.6957	2.215	1.3976
1000	1.4775	1.3917	1.4126	2.2035	1.7229	2.236	1.4097
1100	1.4892	1.4034	1.4248	2.2349	1.7501	2.261	1.4214
1200	1.5005	1.4143	1.4361	2.2638	1.7769	2.278	1.4327
1300	1.5106	1.4252	1.4465	2.2898	1.8028	-	1.4432
1400	1.5202	1.4348	1.4566	2.3136	1.828	-	1.4528
1500	1.5294	1.444	1.4658	2.3354	1.8527	-	1.462
1600	1.5378	1.4528	1.4746	2.3555	1.8761	-	1.4708
1700	1.5462	1.4612	1.4825	2.3743	1.8996	-	1.4867
1800	1.5541	1.4687	1.4901	2.3915	1.9213	-	1.4867
1900	1.5617	1.4758	1.4972	2.4074	1.9423	-	1.4939
2000	1.5692	1.4825	1.5039	2.4221	1.9628	-	1.501

Таблица Б.6 – Средняя объемная теплоемкость газов при постоянном объеме,
кДж/(м³·К)

t, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух
0	0.9349	0.9236	0.9282	1.2288	1.1237	1.361	0.9261
100	0.9466	0.9249	0.9307	1.3293	1.1342	1.44	0.9295
200	0.9642	0.9286	0.9362	1.4164	1.1514	1.516	0.9362
300	0.9852	0.9357	0.9458	1.4918	1.1715	1.587	0.9462
400	1.0065	0.9454	0.9579	1.5587	1.1945	1.645	0.9579
500	1.027	0.9567	0.9718	1.6178	1.2188	1.7	0.9718
600	1.0459	0.9692	0.9864	1.6701	1.2439	1.742	0.9856
700	1.0634	0.9826	1.0011	1.7174	1.2703	1.779	0.9998
800	1.0789	0.996	1.0153	1.7601	1.2971	1.813	1.0132
900	1.0936	1.0086	1.0287	1.7982	1.3247	1.842	1.0262
1000	1.1066	1.0207	1.0417	1.8326	1.3519	1.867	1.0387
1100	1.1183	1.0325	1.0538	1.864	1.3791	1.888	1.0505
1200	1.1296	1.0434	1.0651	1.8929	1.4059	1.905	1.0618
1300	1.1396	1.0542	1.0756	1.9188	1.4319	-	1.0722
1400	1.1493	1.0639	1.0856	1.9427	1.457	-	1.0819
1500	1.1585	1.0731	1.0948	1.9644	1.4817	-	1.0911
1600	1.1669	1.0819	1.1036	1.9845	1.5052	-	1.0999
1700	1.1752	1.0902	1.1116	2.0034	1.5286	-	1.1078
1800	1.1832	1.0978	1.1191	2.0205	1.5504	-	1.1158
1900	1.1907	1.1049	1.1262	2.0365	1.5713	-	1.1229
2000	1.1978	1.1116	1.1329	2.0511	1.5918	-	1.1296

Приложение В

Средняя теплоемкость некоторых газов

Таблица В.1 – Средняя массовая теплоемкость некоторых газов в пределах от 0 до 1500°С

Газ	$C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$C_v, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Воздух	$C_p = 0.9956 + 0.000093 t$	$C_v = 0.7088 + 0.000093 t$
H ₂	$C_p = 14.33 + 0.0005945 t$	$C_v = 10.12 + 0.0005945 t$
N ₂	$C_p = 1.032 + 0.00008955 t$	$C_v = 0.7304 + 0.00008955 t$
O ₂	$C_p = 0.919 + 0.0001065 t$	$C_v = 0.6594 + 0.0001065 t$
CO	$C_p = 1.035 + 0.00009681 t$	$C_v = 0.7331 + 0.00009681 t$
H ₂ O	$C_p = 1.833 + 0.0003111 t$	$C_v = 1.372 + 0.0003111 t$
CO ₂	$C_p = 0.8725 + 0.0002406 t$	$C_v = 0.6837 + 0.0002406 t$

Таблица В.2 – Средняя объемная теплоемкость некоторых газов в пределах от 0 до 1500°С

Газ	$C'_p, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	$C'_v, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$
Воздух	$C'_p = 1.2870 + 0.00012091 t$	$C'_v = 0.9161 + 0.00012091 t$
H ₂	$C'_p = 1.28 + 0.0000523 t$	$C'_v = 0.9094 + 0.0000523 t$
N ₂	$C'_p = 1.306 + 0.0001107 t$	$C'_v = 0.9131 + 0.0001107 t$
O ₂	$C'_p = 1.313 + 0.0001577 t$	$C'_v = 0.943 + 0.0001577 t$
CO	$C'_p = 1.291 + 0.000121 t$	$C'_v = 0.9173 + 0.000121 t$
H ₂ O	$C'_p = 1.473 + 0.0002498 t$	$C'_v = 1.102 + 0.0002498 t$
CO ₂	$C'_p = 1.7132 + 0.0004723 t$	$C'_v = 1.3423 + 0.0004723 t$

Приложение Г

Поправочный коэффициент ϵ_φ для расчета теплообмена при поперечном обтекании пучка труб

φ	90	80	70	60	50	40	30	20	10
ϵ_φ	1	1	0.98	0.94	0.88	0.78	0.67	0.52	0.42

Приложение Д

Физические параметры сухого воздуха при давлении 101325 Па

T, К	ρ , кг/м ³	C_p , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
223	1.584	1.013	2.04	9.23	0.728
233	1.515	1.013	2.12	10.04	0.728
243	1.453	1.013	2.20	10.80	0.723
253	1.395	1.009	2.28	12.79	0.716
263	1.342	1.009	2.36	12.43	0.712
273	1.293	1.005	2.44	13.28	0.707
283	1.247	1.005	2.51	14.16	0.705
293	1.205	1.005	2.59	15.06	0.703
303	1.165	1.005	2.67	16.00	0.701
313	1.128	1.005	2.76	16.96	0.699
323	1.093	1.005	2.83	17.95	0.698
333	1.060	1.005	2.90	18.97	0.696
343	1.029	1.009	2.97	20.02	0.694
353	1.000	1.009	2.99	21.74	0.692
363	0.972	1.009	3.13	22.10	0.690
373	0.946	1.009	3.21	23.13	0.688
393	0.898	1.009	3.34	25.45	0.686
413	0.854	1.013	3.49	27.80	0.684
433	0.815	1.017	3.64	30.09	0.682
453	0.779	1.021	3.78	32.49	0.681
473	0.746	1.026	3.93	34.85	0.680
523	0.674	1.038	4.27	40.61	0.677
573	0.615	1.047	4.61	48.33	0.674
623	0.566	1.059	4.91	55.46	0.676
673	0.524	1.068	5.21	63.09	0.678
773	0.456	1.093	5.74	79.38	0.687
873	0.404	1.114	6.22	96.89	0.699
973	0.362	1.135	6.71	115.4	0.706
1073	0.329	1.156	7.18	134.8	0.713
1173	0.301	1.172	7.63	155.1	0.717
1273	0.277	1.185	8.07	177.1	0.719
1373	0.257	1.198	8.50	199.3	0.722
1473	0.239	1.210	9.15	223.7	0.724

Приложение Е

Физические параметры воды на линии насыщения

T, К	ρ , кг/м ³	C_p , кДж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr	$\beta \cdot 10^4$, К ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7
273	999.9	4.212	0.551	1.789	13.67	- 0.63
283	999.7	4.191	0.575	1.306	9.52	+ 0.70
293	998.2	4.183	0.599	1.006	7.02	1.82
303	995.7	4.174	0.618	0.805	5.42	3.21
313	992.2	4.174	0.634	0.659	4.31	3.87
323	988.1	4.174	0.648	0.556	3.54	4.49
333	983.2	4.178	0.659	0.478	2.98	5.11
343	977.8	4.187	0.668	0.415	2.55	5.70
353	971.8	4.195	0.675	0.365	2.21	6.32
363	965.3	4.208	0.680	0.326	1.95	6.95
373	958.4	4.220	0.683	0.295	1.75	7.52
383	951.0	4.233	0.685	0.272	1.60	8.08
393	943.1	4.250	0.686	0.252	1.47	8.64
403	934.8	4.266	0.686	0.233	1.36	9.19
413	926.1	4.287	0.685	0.217	1.26	9.72
423	917.0	4.313	0.684	0.203	1.17	10.3
433	907.4	4.346	0.683	0.191	1.10	10.7
443	897.3	4.380	0.679	0.181	1.05	11.3
453	886.9	4.417	0.675	0.173	1.00	11.9
463	876.0	4.459	0.670	0.165	0.96	12.6
473	863.0	4.505	0.663	0.158	0.93	13.3
483	852.8	4.556	0.655	0.153	0.91	14.1
493	840.3	4.614	0.645	0.148	0.89	14.8
503	827.3	4.681	0.637	0.145	0.88	15.9
513	813.6	4.756	0.628	0.141	0.87	16.8
523	799.0	4.844	0.618	0.0.137	0.86	18.1
533	784.0	4.949	0.605	0.135	0.87	19.6

Продолжение приложения Е

1	2	3	4	5	6	7
543	767.9	5.070	0.590	0.133	0.88	21.6
553	750.7	5.229	0.575	0.131	0.90	23.7
563	732.3	5.485	0.558	0.129	0.93	26.2
573	712.5	5.736	0.540	0.128	0.97	29.2
583	691.1	6.071	0.523	0.128	1.03	32.9
593	667.1	6.473	0.506	0.128	1.11	38.2
603	640.2	7.244	0.484	0.127	1.22	43.3
613	610.1	8.163	0.457	0.127	1.39	53.4
623	574.4	9.50	0.430	0.127	1.60	66.8
633	528.0	13.984	0.395	0.126	2.35	109
643	450.5	40.32	0.337	0.126	6.79	264

Приложение Ж

Физические свойства различных технических материалов

Наименование материала	ρ , кг/м ³	t, °C	λ , Вт/(м К)	C_p кДж/(кг К)
Асбест	500	20	0.106	0.837
Кирпич красный	1800	0	0.77	0.879
Котельная накипь	2000-2700	100	0.7-2.3	-
Пенокерамика	1400		1.16	0.840
Пенопласты	200	30	0.058	-
Стекло	2500	-	0.74+0.00116 t	0.670
Стекловата	200	20-30	0.0465	-
Текстолит	1300-1400	20	0.23-0.34	1.465-1.507
Тефлон	2150	-	0.246	1.05
Фарфор	2400	95	1.04	1.089
Эбонит	1200	20	0.157-0.174	-

Приложение И

Основные критериальные уравнения для расчета конвективного теплообмена

Вид теплообмена	Критериальное уравнение
Вынужденное течение жидкости в круглых трубах, режим ламинарный	$Nu=0.15 Re^{0.33} Pr^{0.43} Gr^{0.1} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$
Вынужденное течение жидкости в круглых трубах, режим турбулентный	$Nu=0.021 Re^{0.8} Pr^{0.43} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$
Вынужденное течение газа в круглых трубах, режим ламинарный	$Nu=0.13 Re^{0.33} Gr^{0.1}$
Вынужденное течение газа в круглых трубах, режим турбулентный	$Nu=0.018 Re^{0.8}$
Естественная конвекция, $Gr Pr < 500$	$Nu=1.18 (Gr Pr)^{0.125}$
Естественная конвекция, $500 \leq Gr Pr < 2 \cdot 10^7$	$Nu=0.54 (Gr Pr)^{0.25}$
Естественная конвекция, $Gr Pr \geq 2 \cdot 10^7$	$Nu=0.135 (Gr Pr)^{0.33}$
Свободное ламинарное движение жидкости около горизонтальных труб	$Nu=0.5 (Gr Pr)^{0.23} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$
Омывание жидкостью одиночной трубы ($Re < 1000$)	$Nu=0.5 Re^{0.5} Pr^{0.38} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$
Омывание газом одиночной трубы ($Re < 1000$)	$Nu=0.43 Re^{0.5}$
Омывание жидкостью одиночной трубы ($Re > 1000$)	$Nu=0.25 Re^{0.6} Pr^{0.38} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$
Омывание газом одиночной трубы ($Re > 1000$)	$Nu=0.216 Re^{0.6}$
Продольное обтекание пластины жидкостью, режим ламинарный	$Nu=0.66 Re^{0.5} Pr^{0.33} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$
Продольное обтекание пластины жидкостью, режим турбулентный	$Nu=0.037 Re^{0.8} Pr^{0.43} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$
Поперечное обтекание коридорного пучка труб	$Nu=0.23 \varepsilon_{\phi} Re^{0.65} Pr^{0.33} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$
Поперечное обтекание шахматного пучка труб	$Nu=0.41 \varepsilon_{\phi} Re^{0.65} Pr^{0.33} (Pr/Pr_{ст})^{0.25}$

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Теплотехника: Учебник для вузов / А.П.Баскаков, Б.В.Берг, О.К. Витт и др.; Под ред. А.П. Баскакова.-2-е изд., перераб., – М.: Энергоиздат, 1991.– 224 с.
- 2 Теплотехника: Учеб. пособие / М.М. Хазен, Г.А. Матвеев, М.Е. Грицевский и др.; Под ред. Г.А. Матвеева. – М.: Высш. шк., 1981.– 480 с.
- 3 Теплотехника (Курс общей теплотехники) / А.А. Щукин, И.Н. Сушкин, Б.И. Бахмачевский и др.; Под ред. И.Н. Сушкина.- М.: Металлургия, 1973. – 480 с.
- 4 Расчеты нагревательных печей / С.И. Аверин, Э.Ф. Гольдфарб, А.Ф. Кравцов и др.; Под ред. Н.Ю. Тайца. - К.: Техника, 1969. – 540 с.
- 5 Нацокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача.– М.: Высш. шк., 1980. – 469 с.
- 6 Теплотехніка /Б.Х. Драганов, А.А. Долінський, А.В. Міщенко та ін., За ред. Б.Х. Драганова. – К.: ІНКОС, 2005. – 504с.
- 7 Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче /Л.В. Дементий, А.А.Кузнецов, Ю.В. Менафова. – Краматорск: ДГМА, 2002. - 260с.
- 8 Посібник-довідник до лекційних курсів «Теплотехніка та теплоенергетика» і «Теоретичні основи теплотехніки» / С.А. Шоно, Ю.В. Менафова. – Краматорськ: ДДМА, 2001. - 136с.
- 9 Гуржий А.А. Теплотехника/ А.А.Гуржий, П.И.Огородников. – К: Издательский дом «Слово», 2003.– 254с.
- 10 Лабай В.Й. Тепломасообмін. – Львів: Тріада Плюс, 2004. – 260с.

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання контрольних робіт

з курсу «Теплотехніка»

для студентів заочного відділення
спеціальностей металургійного напрямку
(Російською мовою)

Укладачі: МЄНАФОВА Юлія Валентинівна,
КІТОВА Ольга Анатоліївна

Редактор Н.О.Хахіна

202 / 2006. Підп. до друку. Формат 60x84/16
Папір офсетний. Ум. друк. арк. Облік. – вид. арк.
Тираж 50 прим. Зам.№

Видавець і виготівник
«Донбаська державна машинобудівна академія»
84313, м. Краматорськ вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
серія ДК №1633 від 24.12.03