

УДК 563.7

Составители: Кувардина Е.М. Жмакин В.А.

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры
теплогазоснабжения Н.С. Кобелев

ТЕПЛОФИЗИКА: методические указания и задания к самостоятельной работе для студентов технических специальностей очной и заочной форм обучения / Юго-зап. гос. ун-т; сост.: Е.М. Кувардина, В.А. Жмакин Курск, 2017. 35 с.; табл.15. Библиогр.: с. 23.

Содержат задания к самостоятельной работе по теплофизике, примеры решения задач, а также необходимый справочный материал в виде таблиц.

Методические указания предназначены для студентов технических специальностей очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. 2 Уч.изд.л. 1,84 Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

| | |
|---|----|
| Общие методические рекомендации | 4 |
| Задача № 1 Уравнение состояния идеальных газов | 6 |
| Задача № 2 Смеси идеальных газов | 7 |
| Задача № 3 Водяной пар | 8 |
| Задача № 4 Передача тепла теплопроводностью | 10 |
| Задача № 5 Лучистый теплообмен. Экранирование | 12 |
| Задача № 6 Сложный теплообмен | 14 |
| Задача № 7 Массообменные процессы | 17 |
| Контрольные вопросы | 20 |
| Библиографический список | 23 |
| Приложение | |
| Таблица П.1 Физические свойства воздуха при давлении $p=1.013 \cdot 10^5$ Па | 24 |
| Таблица П.2 Физические свойства воды на линии насыщения | 25 |
| Таблица П.3 Физические свойства некоторых металлов | 26 |
| Таблица П.4 Степень черноты для различных материалов | 27 |
| Таблица П.5 Насыщенный водяной пар (по температурам) | 28 |
| Таблица П.6 Насыщенный водяной пар (по давлениям). | 29 |
| Таблица П.7 Вода и перегретый водяной пар | 32 |

Общие методические рекомендации

Усвоение курса «Теплофизика» невозможно без самостоятельного выполнения студентами индивидуальных заданий, решения задач.

В процессе обучения преподаватели используют активные формы работы со студентами: чтение лекций различных форм (лекция-монолог, лекция-диалог, мультимедийная лекция), промежуточный контроль, индивидуальные беседы, собеседование.

В ходе лекционных занятий обучающимся рекомендуется вести конспект лекций, записи в конспекте следует структурировать по тематическому содержанию, используя заголовки, подзаголовки, абзацы, красную строку, отступ, подчеркивание и т.п. знаки. Следует аккуратно оформлять графические материалы (схемы, графики и др.).

При записи формул рекомендуется записывать наименование (содержание) входящих в формулу величин. При записи эмпирической формулы необходимо указывать размерности входящих в формулу величин и размерность результатов подсчета по такой формуле.

На лекциях излагаются и разъясняются основные понятия темы, связанные с теоретическими и практическими проблемами, даются рекомендации для самостоятельной работы. В ходе лекции обучающийся должен внимательно слушать и конспектировать материал.

Изучение наиболее важных тем или разделов дисциплины сопровождается практическими занятиями, которые обеспечивают контроль подготовленности обучающихся, закрепления учебного материала, приобретение опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, в том числе аргументацию и защиту выдвигаемых положений.

Практические занятия предполагают самостоятельную работу обучающихся, связанную с освоением материала, полученного на лекции, и материала, изложенного в учебниках и учебных пособиях.

Самостоятельную работу следует начинать с первых занятий. От занятия к занятию нужно регулярно прочитывать конспект лекций, знакомиться с соответствующими разделами учебников, читать и конспектировать литературу по каждой теме. Самостоятельная работа дает обучающимся возможность равномерно распределить нагрузку, способствует качественному усвоению учебного материала.

В случае необходимости обучающиеся обращаются за консультацией к преподавателю по вопросам дисциплины «Теплофизика».

Основная цель самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины - закрепить теоретические знания, полученные в процессе регулярных занятий.

Изучение литературы составляет значительную часть самостоятельной работы обучающегося, одним из приемов закрепления учебного материала; рекомендуется конспектирование, которое помогает научиться правильно, кратко и четко излагать своими словами прочитанный материал.

Методические указания предназначены для самостоятельного решения задач по дисциплине «Теплофизика», в них приведены задания и подробные пояснения к решению этих заданий. Также методические указания содержат перечень контрольных вопросов для самопроверки знаний полученных в результате освоения курса.

Выбор исходных данных для решения задач осуществляется из соответствующих таблиц по последней и предпоследней цифрам шифра. Шифр соответствует номеру зачётной книжки.

ЗАДАЧА № 1 Уравнение состояния идеальных газов

Определить массовый расход газа (кг/с) при известном объемном расходе $V, \text{м}^3/\text{мин}$, температуре $t^\circ\text{C}$ и манометрическом давлении $P_m, \text{кПа}$. Барометрическое давление составляет $B=98100 \text{ Па}$.

Таблица исходных данных к задаче 1.

| Последняя цифра шифра | Газ | $V, \text{м}^3/\text{мин}$ | Предпоследняя цифра шифра | $t, ^\circ\text{C}$ | $P_m, \text{кПа}$ |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | CO | 0,4 | 0 | 80 | 40 |
| 1 | CO ₂ | 0,5 | 1 | 65 | 42 |
| 2 | N ₂ | 0,6 | 2 | 70 | 50 |
| 3 | Воздух | 0,1 | 3 | 75 | 70 |
| 4 | O ₂ | 0,5 | 4 | 85 | 45 |
| 5 | CO ₂ | 0,4 | 5 | 80 | 50 |
| 6 | CH ₄ | 0,2 | 6 | 70 | 60 |
| 7 | Воздух | 0,3 | 7 | 75 | 72 |
| 8 | O ₂ | 0,4 | 8 | 65 | 80 |
| 9 | N ₂ | 0,2 | 9 | 85 | 55 |

Исходные данные: $V=$, $\text{м}^3/\text{мин}$; $t=$, $^\circ\text{C}$; $P_m=$, кПа ; газ –

Решение

1. Перевод единицы измерения объемного расхода из $\text{м}^3/\text{мин}$ в $\text{м}^3/\text{с}$

$$V = V/60, \text{м}^3/\text{с}.$$

2. Абсолютное давление $P = B + 1000 \cdot P_m, \text{Па}$.

3. Массовый расход газа (из уравнения состояния $P \cdot V = G \cdot R \cdot T$)

$$G = P \cdot V / (R \cdot T), \text{кг/с},$$

где $R = 8314/\mu$ – индивидуальная газовая постоянная, Дж/(кг·К); μ – молекулярная масса газа, кг/кмоль (см. Прилож., табл. П.1); $T = t + 273$ – абсолютная температура газа, К; P – абсолютное давление газа, Па; $V, \text{м}^3/\text{с}$ – объемный расход газа.

ЗАДАЧА № 2 Смеси идеальных газов

Смесь газов, для которой известен объемный состав: находится при давлении $P_{см.}$ и температуре $t_{см.}$. Определить молекулярную массу смеси и её газовую постоянную, плотность и удельный объем смеси при заданных условиях и при нормальных условиях, а также парциальные давления компонентов смеси.

Таблица исходных данных к задаче 2

| Последняя цифра шифра | $P_{см.}$, мм рт.ст. | $t_{см.}$, °C | Предпоследняя цифра шифра | Объемный состав смеси, % | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|-------|--------|--------|
| | | | | N_2 | O_2 | CO_2 | H_2O |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 748 | 150 | 0 | 40 | 20 | 30 | 10 |
| 1 | 750 | 250 | 1 | 50 | 25 | 13 | 12 |
| 2 | 760 | 350 | 2 | 60 | 30 | 2 | 8 |
| 3 | 740 | 450 | 3 | 70 | 25 | 1 | 4 |
| 4 | 752 | 150 | 4 | 80 | 10 | 5 | 5 |
| 5 | 758 | 250 | 5 | 85 | 11 | 3 | 1 |
| 6 | 760 | 150 | 6 | 75 | 17 | 4 | 4 |
| 7 | 768 | 100 | 7 | 65 | 23 | 4 | 8 |
| 8 | 770 | 100 | 8 | 55 | 27 | 8 | 10 |
| 9 | 768 | 200 | 9 | 45 | 22 | 18 | 15 |

Исходные данные: $r_{N_2} = \%$; $r_{O_2} = \%$; $r_{CO_2} = \%$; $r_{H_2O} = \%$;
 $t_{см.} = \text{°C}$; $P_{см.} = \text{мм рт.ст.}$.

Решение

1. Перевод единицы измерения давления из мм рт. ст. в паскали

$$P_{см.} = P_{см. \text{ рт.ст.}} \cdot 133.3, \text{ Па};$$

2. Кажущаяся молекулярная масса смеси

$$\mu_{см.} = (\mu_{N_2} \cdot r_{N_2} + \mu_{O_2} \cdot r_{O_2} + \mu_{CO_2} \cdot r_{CO_2} + \mu_{H_2O} \cdot r_{H_2O}), \text{ кг/кмоль},$$

где $\mu_{N_2} = 28$, $\mu_{O_2} = 32$, $\mu_{CO_2} = 44$, $\mu_{H_2O} = 18$ – молекулярные массы азота, кислорода, углекислого газа и водяного пара, кг/кмоль; r_{N_2} , r_{O_2} , r_{CO_2} , r_{H_2O} – объемные доли компонентов смеси (в долях единицы).

3. Газовая постоянная смеси $R_{см.} = 8314 / \mu_{см.}$, Дж/(кг·К).

4. Удельный объём смеси (из уравнения состояния $P_{см} \cdot v_{см} = R_{см} T_{см}$) и плотность смеси при заданных условиях $v_{см} = R_{см} \cdot T_{см} / P_{см}$, м³/кг и $\rho_{см} = 1/v_{см}$, кг/м³, где $P_{см}$ – давление смеси, Па, (см.п.1); $T_{см} = t_{см} + 273$, К – абсолютная температура смеси.

5. Удельный объём смеси и плотность смеси при нормальных условиях $v_{см.0} = R_{см} \cdot T_{см.0} / P_{см.0}$, м³/кг; и $\rho_{см.0} = 1/v_{см.0}$, кг/м³, где $P_{см.0} = 1,013 \cdot 10^5$, Па и $T_{см.0} = 273$, К – соответственно, давление смеси и ее абсолютная температура при нормальных условиях.

6. Парциальные давления компонентов смеси

$$P_{N_2} = P_{см} \cdot r_{N_2}, \text{ Па}; \quad P_{O_2} = P_{см} \cdot r_{O_2}, \text{ Па}; \quad P_{CO_2} = P_{см} \cdot r_{CO_2}, \text{ Па};$$

$$P_{H_2O} = P_{см} \cdot r_{H_2O}, \text{ Па},$$

где r_{N_2} , r_{O_2} , r_{CO_2} , r_{H_2O} – объёмные доли компонентов смеси (**в долях единицы**).

ЗАДАЧА № 3 Водяной пар. Таблицы и диаграммы водяного пара

Определить состояние водяного пара и дать его краткую характеристику (вид пара и его исходные параметры см. таблицу заданий). Указать заданное состояние пара в диаграмме h-s.

Параметры пара определить с помощью таблиц воды и водяного пара и диаграммы h-s для пара. Полученные данные сравнить.

Таблица исходных данных к задаче 3

| Последняя цифра шифра | Заданное состояние | Состояние рабочего тела задано параметрами | | |
|-----------------------|----------------------|--|-------|-----|
| | | P, бар | t, °C | x |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | Перегретый пар | 5 | 200 | - |
| 1 | Влажный пар | 10 | - | 0,9 |
| 2 | Сухой насыщенный пар | - | 200 | - |
| 3 | Сухой насыщенный пар | 15 | - | - |
| 4 | Перегретый пар | 10 | 250 | - |

Продолжение таблицы исходных данных к задаче 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------------------|----|-----|------|
| 5 | Влажный пар | 5 | - | 0,8 |
| 6 | Влажный пар | 15 | | 0,85 |
| 7 | Перегретый пар | 15 | 250 | - |
| 8 | Сухой насыщенный пар | 10 | - | - |
| 9 | Перегретый пар | 20 | 300 | - |

Исходные данные: ... состояние пара, $P = \dots$,бар; $t = \dots$, °C ; $x = \dots$

Решение

Состояние влажного пара — в $h-s$ диаграмме (рис. 3.1) находим изобару P_1 и на пересечении ее с линией сухости x_1 определяем точку, соответствующую состоянию влажного пара – точку 1.

Точка 4 – тоже **состояние влажного пара**, определяется аналогично, давлением P_2 и линией сухости x_4 .

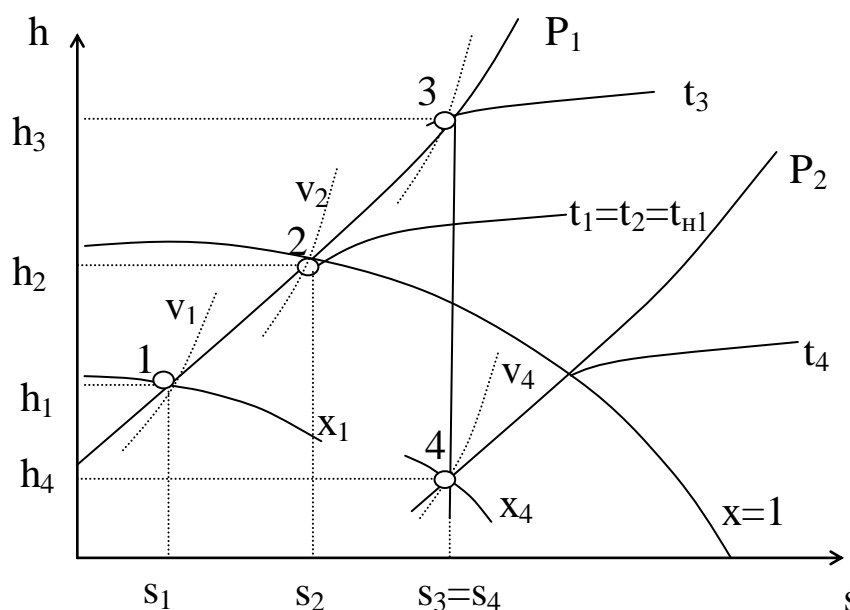


Рис.3.1. Состояния влажного (т.т. 1 и 4), сухого насыщенного (т. 2) и перегретого паров (т. 3)

Состояние сухого насыщенного пара можно задать двумя способами:

1) если пар задан **давлением**, то его состояние находится путём пересечения изобары P_1 с верхней пограничной кривой ($x=1$) – точка 2. Процесс 1-2 – процесс подсушки пара. В данном процессе пар в

пароперегревателе из влажного насыщенного переходит в сухой насыщенный.

2) если пар задан **температурой**, то его состояние находится путём пересечения изотермы t_1 с верхней пограничной кривой ($x=1$) – точка 2. Температуры в т.т. 1 и 2 одинаковые и равняются температуре насыщения при давлении P_1 , т.е $t_1=t_2=t_{н1}$.

Состояние перегретого пара находится путём пересечения изобары P_1 с изотермой t_3 .- точка 3. Процесс 2-3 – процесс перегрева пара относительно температуры насыщения $t_{н1}$, осуществляется также в пароперегревателе.

Процесс 3-4 — адиабатное расширение пара от давления P_1 до давления P_2 . Адиабатный процесс изображается вертикальной линией ($s=Const$). Температура в т.4 определяется изотермой, проходящей через эту точку.

Через точки 1,2,3,4 проводим основные линии: линии объема v_1, v_2, v_3, v_4 ; линии энтальпии h_1, h_2, h_3, h_4 и линии энтропии s_1, s_2, s_3, s_4 . По $h-s$ диаграмме снимаем показания всех перечисленных параметров.

Параметры состояний пара в т.т. 1, 2, 3 и 4 можно определить и по таблицам воды и водяного пара, (см. таблицы П 5, П 6. П 7).

Задача № 4. Передача тепла теплопроводностью

Обмуровка печи состоит из слоёв шамотного, δ_1 , [$\lambda=1,14$ Вт/(м·К)] и красного, δ_3 , [$\lambda=0,76$ Вт/(м·К)] кирпича, между которыми расположена засыпка из изоляционного материала, $\delta_2 = 250$ мм, (рис.4.1).

Определить тепловые потери через 1 м^2 поверхности стенки, если на внутренней стороне шамотного кирпича температура равна t_{w1} , а на наружной стороне красного кирпича t_{w2} . Какой толщины потребуются слой из красного кирпича, если отказаться от применения засыпки из изоляционного материала при тех же температурных условиях и неизменном тепловом потоке?

Таблица исходных данных к задаче 4

| Последн. цифра шифра | δ_1 , мм | t_{w1} , °С | Пред-посл цифра шифра | δ_3 , мм | t_{w2} , °С | Изоляционный материал | |
|----------------------|-----------------|---------------|-----------------------|-----------------|---------------|-----------------------|--------------------------------|
| | | | | | | Название | $\lambda_2 = \dots$, Вт/(м·К) |
| 0 | 80 | 1050 | 0 | 60 | 90 | Совелит | $0,0901 + 0,00008 \cdot t$ |
| 1 | 90 | 980 | 1 | 60 | 85 | Новоасбозурит | $0,144 + 0,00014 \cdot t$ |
| 2 | 80 | 1070 | 2 | 120 | 93 | Диатомит молот. | $0,091 + 0,00028 \cdot t$ |
| 3 | 100 | 950 | 3 | 60 | 97 | Вермикулит | $0,072 + 0,000362 \cdot t$ |
| 4 | 120 | 1030 | 4 | 125 | 86 | Асбослюда | $0,120 + 0,000148 \cdot t$ |
| 5 | 120 | 945 | 5 | 125 | 82 | Асботермит | $0,109 + 0,000145 \cdot t$ |
| 6 | 80 | 1020 | 6 | 125 | 94 | Асбозонолит | $0,143 + 0,00019 \cdot t$ |
| 7 | 90 | 990 | 7 | 60 | 78 | Асбозурит | $0,1622 + 0,000169 \cdot t$ |
| 8 | 80 | 1140 | 8 | 120 | 89 | Диатомит молот. | $0,091 + 0,00028 \cdot t$ |
| 9 | 120 | 1135 | 9 | 60 | 91 | Шлаковая вата | $0,05 + 0,000145 \cdot t$ |

Примечание: 1 Расчетное значение толщины красного кирпича округлить (в сторону увеличения) до величины, кратной 60 мм.

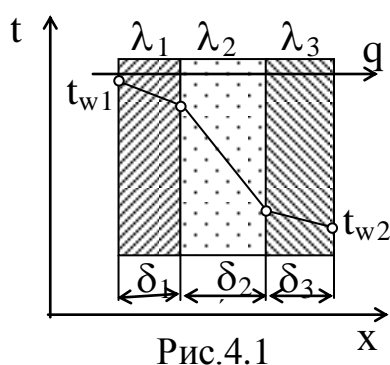


Рис.4.1

Решение

1) Находим тепловой поток через 3-х слойную плоскую стенку по формуле

$$q = (t_{w1} - t_{w2}) / (\delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_3 / \lambda_3), \text{ Вт/м}^2,$$

где t_{w1} , t_{w2} – температуры поверхностей стенки, °С;

δ_1 , δ_2 , δ_3 – толщины слоев, м;

$(\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3)$ – сумма термических сопротивлений слоев стенки, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Предварительно определяем коэффициент теплопроводности заданного материала засыпки (см. табл. исходных данных) по формуле $\lambda_2, \text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$, (формула приводится в таблице), где $t = 0,5(t_{w1} + t_{w2})$ – средняя температура слоя засыпки (приблизительно).

2) Если отказаться от слоя засыпки, то стенка станет 2-х слойной (см. рис 4.2). Обозначения на рисунке оставляем теми же.

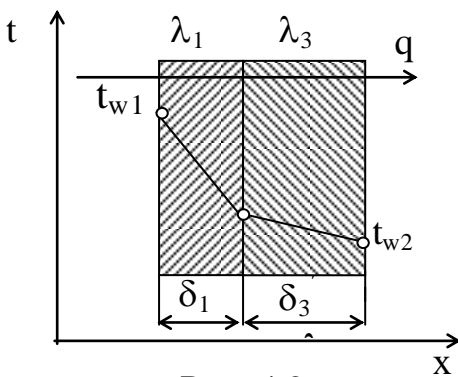


Рис. 4.2

Тепловой поток через 2-х слойную стенку:

$$q = (t_{w1} - t_{w2}) / (\delta_1/\lambda_1 + \delta_3'/\lambda_3), \text{Вт} / \text{м}^2.$$

Т.к. q и $(t_{w1} - t_{w2})$ по условию задачи остались такими же, то термические сопротивления 3-х слойной и 2-х слойной стенок должны быть одинаковые, т.е.

$$(\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3) = (\delta_1/\lambda_1 + \delta_3'/\lambda_3),$$

отсюда

$$\delta_3' = \lambda_3(\delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3), \text{мм}.$$

Округляем эту величину до значения кратного 60.

Задача № 5. Лучистый теплообмен. Экранирование

Сравнить лучистые тепловые потоки между двумя плоскими параллельными поверхностями, разделенными прозрачной средой, (воздух), для двух случаев: 1) между поверхностями НЕТ экрана, q ; 2) между поверхностями расположен ОДИН экран, q^3 .

Температуры поверхностей: t_{w1} и $t_{w2} \text{ } ^\circ\text{C}$, степени черноты поверхностей: ϵ_1 и ϵ_2 , экрана – ϵ_3 (см. табл. П.4).

Таблица исходных данных к задаче 5

| По- следняя цифра шифра | ε_1 | ε_2 | Материал экрана | Предпо- следняя цифра шифра | $t_{w1},$ °С | $t_{w2},$ °С |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0 | 0,5 | 0,6 | Алюминий полиров | 0 | 200 | 30 |
| 1 | 0,55 | 0,52 | Латунь полирован- ная | 1 | 250 | 35 |
| 2 | 0,60 | 0,70 | Хром полирован- ный | 2 | 300 | 25 |
| 3 | 0,52 | 0,72 | Алюминий шерохо- ват. | 3 | 350 | 20 |
| 4 | 0,58 | 0,74 | Латунь прокатная | 4 | 400 | 40 |
| 5 | 0,58 | 0,74 | Хром полирован- ный | 4 | 400 | 40 |
| 6 | 0,70 | 0,58 | Медь полированная | 6 | 500 | 50 |
| 7 | 0,65 | 0,62 | Алюминий шерохо- ват | 7 | 550 | 55 |
| 8 | 0,75 | 0,73 | Латунь полирован- ная | 8 | 600 | 60 |
| 9 | 0,80 | 0,77 | Сталь полирован- ная | 9 | 650 | 65 |

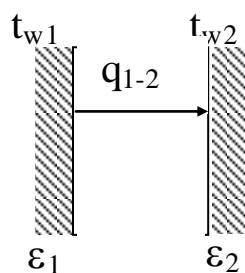


Рис.5.1

Решение

1) Между поверхностями НЕТ экрана, рис.5.1 Определяем удельный тепловой поток между плоскими поверхностями по формуле:

$$q_{1-2} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 [(T_{w1}/100)^4 - (T_{w2}/100)^4], \text{ Вт/м}^2,$$

где $C_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная

степень черноты поверхностей, участвующих в теплообмене.

Для 2-х параллельно расположенных поверхностей приведенная степень черноты определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 1 / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)$$

Подставляем полученное значение $\varepsilon_{пр}$ в формулу теплового потока.

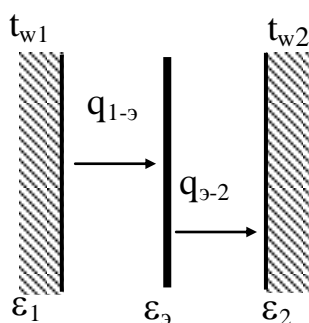


Рис.5.2

2) Между поверхностями расположен ОДИН экран, (рис.5.2)

При установившихся условиях

$$q_{1-э} = q_{э-2} = q_{1-э-2} = q_{1-2}^э,$$

где $q_{1-2}^э$ – тепловой поток между 1-ой и 2-ой поверхностями при наличии экрана.

Тепловой поток при наличии экрана

$$q_{1-2}^э = \varepsilon_{пр}^э C_0 [(T_{w1}/100)^4 - (T_{w2}/100)^4], \text{ Вт/м}^2,$$

где $\varepsilon_{пр}^э$ – приведенная степень черноты поверхностей, участвующих в теплообмене, при наличии между ними экрана (одного или нескольких).

Если число плоских экранов n , приведенную степень черноты $\varepsilon_{пр}^э$ считают по формуле:

$$\varepsilon_{пр}^э = 1 / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 + 2 \cdot \sum 1/\varepsilon_i^э - (n+1)).$$

В данной задаче ОДИН экран, т.е. $n=1$. Степень черноты экрана $\varepsilon^э$ выбираем по табл. П 4 (см. приложение)

Вывод: без экрана между поверхностями тепловой поток составляет $q_{1-2} = \dots$ Вт/м²; при наличии одного экрана между поверхностями тепловой поток составляет $q_{1-2}^э = \dots$ Вт/м², т.е. тепловой поток при установке экрана уменьшился в $q_{1-2}/q_{1-2}^э = \dots$ раз.

Задача № 6 Сложный теплообмен

Определить потери теплоты конвекцией и излучением (отдельно) за сутки горизонтально расположенного трубопровода диаметром d мм и длиной l м, охлаждаемого свободным потоком воздуха, если температура поверхности трубопровода t_w , температура воздуха в помещении t_f (степень черноты трубы ε см. табл. П.4 приложения). Данные, необходимые для решения задачи, взять из таблицы исходных данных.

Таблица исходных данных к задаче 6

| Посл. цифра шифра | d, мм | ℓ, м | Пред-посл. цифра шифра | t _w , °С | t _f , °С | Поверхность трубы |
|-------------------|-------|------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0 | 230 | 3 | 0 | 150 | 15 | Жесть белая старая |
| 1 | 220 | 5 | 1 | 140 | 20 | Асбестовый картон |
| 2 | 250 | 7 | 2 | 130 | 25 | Лак белый |
| 3 | 240 | 9 | 3 | 120 | 35 | Лак черный матовый |
| 4 | 210 | 11 | 4 | 110 | 25 | Железо оцинкованное |
| 5 | 270 | 6 | 5 | 100 | 20 | Масляная краска |
| 6 | 340 | 4 | 6 | 190 | 15 | Сталь шероховатая |
| 7 | 320 | 12 | 7 | 18- | 10 | Алюминиевая краска |
| 8 | 360 | 8 | 8 | 170 | 5 | Сталь окисленная |
| 9 | 300 | 10 | 9 | 160 | 0 | Чугун шероховатый |

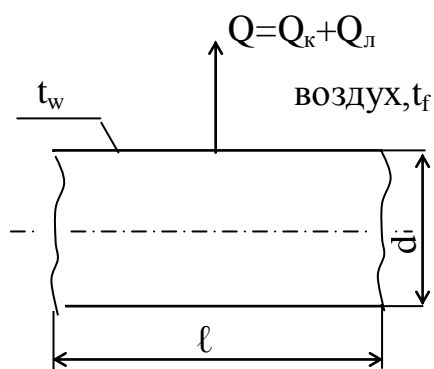


Рис.6

Решение

Общие тепловые потери Q трубы, рис. 8, составляют

$$Q = Q_k + Q_l, \text{ Вт,}$$

где Q_k - тепловые потери за счет конвекции; Q_l - тепловые потери за счет излучения.

Решение задачи состоит из двух частей.

А) Тепловые потери за счет свободного движения воздуха у горячей трубы

Конвективная составляющая общих тепловых потерь Q_k определяется по уравнению Ньютона-Рихмана:

$$Q_k = \alpha \cdot (t_w - t_f) \cdot F, \text{ Вт},$$

где α - коэффициент теплоотдачи при свободном движении воздуха, Вт/(м²·К); $F = \pi d \ell$ – поверхность трубы, м².

Коэффициент теплоотдачи для горизонтальной трубы определяется по критериальному уравнению:

$$Nu_f = 0,5 \cdot (Pr \cdot Gr)_f^{0,25} \cdot (Pr_f / Pr_w)^{0,25},$$

где $Nu_f = \alpha \cdot d / \lambda_f$ - критерий Нуссельта.

Определяющей температурой в критериальном уравнении является температура окружающей среды t_f ; определяющим размером – наружный диаметр трубы d , м.

1) Свойства воздуха при температуре t_f , °С выбираем по таблице теплофизических свойств воздуха, табл. П.1. (см. приложение)

$\lambda = \dots$ Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности воздуха;

$\nu = \dots$ м²/с – коэффициент кинематической вязкости воздуха;

$Pr_f = \dots$ – критерий Прандтля для воздуха.

2) Считаем критерий Грасгофа по формуле:

$$Gr = g \cdot d^3 \cdot \beta \cdot \Delta t / \nu^2,$$

где $\beta = 1 / (273 + t_f)$, 1/К – коэффициент объемного расширения воздуха;

$\Delta t = (t_w - t_f)$ - температурный напор, °С; $g = 9,81$ м/с² – ускорение силы тяжести.

3) Отношение Pr_f / Pr_w для газов равняется 1, т.е. $Pr_f / Pr_w = 1$.

4) Решаем критериальное уравнение

$$Nu_f = 0,5 \cdot (Pr \cdot Gr)_f^{0,25}$$

5) Находим коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = Nu_f \cdot \lambda_f / d, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

6) Определяем тепловые потери за счет свободного движения воздуха

$$Q_k = \alpha \cdot (t_w - t_f) \cdot F = \dots \text{ Вт}$$

Это потери тепла в секунду (Вт = Дж/с).

За сутки потери тепла составят $Q_k^{сут} = Q_k \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3}$, кДж.

Б) Тепловые потери за счет излучения определяем по формуле:

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 [(T_w / 100)^4 - (T_f / 100)^4] \cdot F, \text{ Вт},$$

где $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты.

При условии, что поверхность трубы много меньше поверхности стен в цехе $\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_w$.

По таблице П.4 выбираем для заданной поверхности (см. таблицу исходных данных) ε_w .

Подставляем исходные данные в формулу $Q_{\text{л}}$

За сутки потери тепла составят $Q_{\text{л}}^{\text{сут}} = Q_{\text{л}} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3}$, кДж.

Задача 7. Процессы массообмена

Вычислить коэффициент массоотдачи в процессе сушки песка в воздушной конвективной сушилке. Сушильный агент - воздух с параметрами по психрометру $t_c, ^\circ\text{C}$ и $t_m, ^\circ\text{C}$ перемещается вдоль поверхности испарения со скоростью w , м/с. Давление воздуха в сушилке P , мм рт.ст., длина поверхности испарения ℓ , м.

Примечание: При решении задачи принять:

1) коэффициент диффузии $D_0 = 21,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с при нормальных физических условиях;

2) критериальное уравнение для процесса сушки $Nu_D = C \cdot Re^n \cdot Pr_D^{0,33} \cdot Gu^{0,135}$.

Данные для решения задачи взять из табл.7.1 и 7.2

Таблица 7.1

| Последняя цифра шифра | Показание психрометра | | P, мм рт.ст. | Предпоследняя цифра шифра | w, м/с | ℓ, м |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------|-----------|---------|
| | $t_c, ^\circ\text{C}$ | $t_m, ^\circ\text{C}$ | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0 | 30 | 15 | 735 | 0 | 1,20 | 0,90 |
| 1 | 35 | 20 | 740 | 1 | 1,30 | 0,80 |
| 2 | 40 | 25 | 775 | 2 | 1,40 | 0,70 |
| 3 | 34 | 20 | 750 | 3 | 1,50 | 0,75 |
| 4 | 36 | 22 | 760 | 4 | 1,60 | 0,65 |
| 5 | 32 | 18 | 765 | 5 | 1,70 | 0,60 |
| 6 | 42 | 22 | 780 | 6 | 1,25 | 0,85 |
| 7 | 45 | 25 | 785 | 7 | 1,35 | 0,85 |
| 8 | 38 | 24 | 735 | 8 | 1,45 | 0,75 |

Продолжение таблицы 7.1.

| | | | | | | |
|---|----|----|-----|---|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 9 | 40 | 22 | 785 | 9 | 1,55 | 0,70 |

Таблица 7.2. Значения коэффициентов C и n в критериальном уравнении для сушки материалов

| Коэффициенты | Критерий Рейнольдса, Re | | |
|--------------|---------------------------|-----------------|-------------------|
| | $1 \div 20$ | $200 \div 6000$ | $6000 \div 70000$ |
| C | 0,9 | 0,87 | 0,35 |
| n | 0,5 | 0,54 | 0,65 |

Решение

Коэффициент массоотдачи β определяем по критериальному уравнению для сушки материалов

$$Nu_D = C \cdot Re^n \cdot Pr_D^{0,33} \cdot Gu^{0,135},$$

где $Nu_D = \beta \cdot \ell / D$ - диффузионный критерий Нуссельта;

$Re = \omega \cdot \ell / \nu$ - критерий Рейнольдса;

$Pr_D = \nu / D$ - диффузионный критерий Прандтля;

$Gu = (T_c - T_m) / T_c$ - критерий Гухмана.

Определяющим размером в данном уравнении является длина поверхности испарения ℓ , определяющей температурой – температура воздуха t_c .

1) По температуре воздуха $t_c = 32^\circ\text{C}$ по таблице Приложения 1 выбираем коэффициент кинематической вязкости воздуха $\nu = 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

2) Вычисляем критерий Рейнольдса

$$Re = \omega \cdot \ell / \nu = 1,8 \cdot 0,6 / 16 \cdot 10^{-6} = 67500.$$

По табл.10 выбираем коэффициенты $C = 0,35$; $n = 0,65$, которые соответствуют значению критерия Re .

3) Приводим значение коэффициента диффузии D_0 , заданного при нормальных условиях, к условиям сушки

$$D = (D_0 \cdot P_0 / P) \cdot [(273 + t_c) / 273]^{1+n},$$

где P_0 - давление при нормальных условиях ($P_0 = 760 \text{ мм рт.ст.}$);

n -показатель степени, который зависит от состава газовой смеси над материалом. Для смеси водяного пара и воздуха $n=0,8$.

$$D=(D_0 \cdot P_0/P) \cdot [(273+t_c)/273]^{1+n} = \\ = (21,6 \cdot 10^{-6} \cdot 760/780) \cdot [(273+32)/273]^{1+0,8} = 0,26 \cdot 10^{-4}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

4) Диффузионный критерий Прандтля

$$Pr_D = \nu/D = 16 \cdot 10^{-6} / 0,26 \cdot 10^{-4} = 0,615.$$

5) Критерий Гухмана

$$Gu = (T_c - T_m)/T_c = [(273+32) - (273+18)] / (273+32) = 0,0459.$$

6) Критерий Нуссельта

$$Nu_D = C \cdot Re^n \cdot Pr_D^{0,33} \cdot Gu^{0,135} = 0,35 \cdot 67500^{0,65} \cdot 0,615^{0,33} \cdot 0,0459^{0,135} = 271.$$

7) Коэффициент массоотдачи

$$\beta = Nu_D \cdot D/\ell = 271 \cdot 0,26 \cdot 10^{-4} / 0,6 = 0,0117 \text{ м/с}.$$

Ответ: коэффициент массоотдачи $\beta=0,0117 \text{ м/с}$.

Контрольные вопросы

1. Основные понятия и определения термодинамики: параметры состояния, рабочее тело и т.д. Какие параметры приняты в термодинамике за основные?
2. Уравнение состояния идеального газа. Индивидуальная и универсальная газовые постоянные.
3. Что такое массовый и объемный составы смеси идеальных газов и как можно перейти от одного состава к другому?
4. Первый и второй законы термодинамики. Анализ.
5. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Их изображение в координатах $P-v$ и $T-s$, анализ.
6. Циклы. Определение. Типы циклов, краткая характеристика.
7. Водяной пар. Определение. Виды паров, краткая характеристика каждого из паров? Области расположения этих паров в системе координат $h-s$.
8. Какой воздух называется влажным? Насыщенный и ненасыщенный воздух. Характеристики влажного воздуха.
9. Основные характеристики влажного воздуха? Как определить эти величины с помощью $h-d$ диаграммы влажного воздуха, Приведите пример.
10. Какими параметрами можно задать состояние воздуха в $h-d$ диаграмме влажного воздуха? Покажите на примере.
11. Что такое температура точки росы? Как определить ее с помощью $h-d$ диаграммы влажного воздуха? Приведите пример.
12. Основные понятия тепло- и массообмена. Краткая характеристика 3-х механизмов переноса тепла: теплопроводностью, конвекцией и излучением
13. Температурное поле; одно-, двух- и трехмерные температурные поля; стационарное и нестационарные температурные поля.
14. Передача тепла теплопроводностью. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности, его физический смысл, размерность.
15. Передача тепла теплопроводностью через плоскую однослойную и многослойную стенку, термические сопротивления, схема изменения температур по слоям.

16. Передача тепла теплопроводностью через цилиндрическую однослойную стенку, термическое сопротивление, схема изменения температуры в слое.

17. Передача тепла теплопроводностью через цилиндрическую многослойную стенку, термическое сопротивление, схема изменения температур по слоям.

18. Теплообмен излучением. Основные понятия лучистого теплообмена: лучистый тепловой поток, излучательная способность тела. Понятия абсолютно черного, абсолютно белого, абсолютно прозрачного и серого тел.

19. Законы лучистого теплообмена: закон Стефана-Больцмана,

20. Кирхгофа, Ламберта.

21. Теплообмен излучением между двумя плоскими параллельными поверхностями.

22. Теплообмен излучением между телами, когда одно тело находится внутри другого.

23. Использование экранов для защиты от излучения.

24. Конвективный теплообмен. Основное уравнение конвективного теплообмена (уравнение Ньютона-Рихмана). Коэффициент теплоотдачи, его физический смысл, размерность.

25. Критерии теплового подобия. Критериальные уравнения конвективного теплообмена.

26. Теплоотдача при свободной конвекции в неограниченном пространстве. Режимы свободной конвекции. Критериальное уравнение. Факторы, влияющие на интенсивность теплообмена.

27. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя внутри трубы. Режимы движения. Критериальные уравнения.

28. Сложный теплообмен.

29. Теплопередача. Физическая сущность процесса. Уравнение теплопередачи, коэффициент теплопередачи.

30. Теплопередача через плоскую однослойную стенку. Уравнение теплопередачи, коэффициент теплопередачи, термическое сопротивление теплопередачи. Схема распределения температур.

31. Теплопередача через плоскую многослойную стенку. Уравнение теплопередачи, коэффициент теплопередачи, термическое сопротивление теплопередачи. Схема распределения температур.

32. Расчетные уравнения процесса теплопередачи: уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.

Библиографический список

1. Теплотехника [Текст]: учебник / под ред. А. П. Баскакова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: БАСТЕТ, 2010. - 328 с.
2. Лифенцева, Л.В. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.В. Лифенцева ; под ред. Н.В. Шишкиной. - 2-е, перераб. и доп. - Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2010. - 188 с. // Режим доступа – <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141513>
3. Оболенский, Н.В. Практикум по теплотехнике [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.В. Оболенский, В.Л. Осокин ; Министерство образования Нижегородской области, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт. - Княгино : НГИЭИ, 2010. - 236 с. // Режим доступа – <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430983>
4. Теплотехника [Текст] : учебник / Под ред. В. Н. Луканина. - 4-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2003. - 671 с.
5. Техническая термодинамика и теплотехника [Текст] : учебное пособие / под ред. А. А. Захаровой. - 2-е изд., испр. - М. : Академия, 2008. - 272 с.
6. Ерофеев В. Л. Теплотехника [Текст] : учебник / В. Л. Ерофеев. - М. : Академкнига, 2006. - 456 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1 Физические свойства сухого воздуха при давлении
 $P=1,013 \cdot 10^5$ Па

| t, °C | ρ , кг/м ³ | C_p , кДж/(кг·К) | λ , Вт/(м·К) | $\nu \cdot 10^6$, м ² /с | Pr |
|----------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|---|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| -50 | 1,584 | 1,013 | 0,0204 | 9,23 | 0,728 |
| -40 | 1,515 | 1,013 | 0,0212 | 10,04 | 0,728 |
| -30 | 1,453 | 1,013 | 0,0220 | 10,80 | 0,723 |
| -20 | 1,395 | 1,009 | 0,0228 | 11,79 | 0,716 |
| -10 | 1,342 | 1,009 | 0,0236 | 12,43 | 0,712 |
| 0 | 1,293 | 1,005 | 0,0244 | 13,28 | 0,707 |
| 10 | 1,247 | 1,005 | 0,0251 | 14,16 | 0,705 |
| 20 | 1,205 | 1,005 | 0,0259 | 15,06 | 0,703 |
| 30 | 1,165 | 1,005 | 0,0267 | 16,00 | 0,701 |
| 40 | 1,128 | 1,005 | 0,0276 | 16,96 | 0,699 |
| 50 | 1,093 | 1,005 | 0,0283 | 17,95 | 0,698 |
| 60 | 1,060 | 1,005 | 0,0290 | 18,97 | 0,696 |
| 70 | 1,029 | 1,009 | 0,0296 | 20,02 | 0,694 |
| 80 | 1,000 | 1,009 | 0,0305 | 21,09 | 0,692 |
| 90 | 0,972 | 1,009 | 0,0313 | 22,10 | 0,690 |
| 100 | 0,946 | 1,009 | 0,0321 | 23,13 | 0,688 |
| 120 | 0,898 | 1,009 | 0,0334 | 25,45 | 0,686 |
| 140 | 0,854 | 0,013 | 0,0349 | 27,80 | 0,684 |
| 160 | 0,815 | 1,017 | 0,0364 | 30,09 | 0,682 |
| 180 | 0,779 | 1,022 | 0,0378 | 32,49 | 0,681 |
| 200 | 0,746 | 1,026 | 0,0393 | 34,85 | 0,680 |
| 250 | 0,674 | 1,038 | 0,0427 | 40,61 | 0,677 |
| 300 | 0,615 | 1,047 | 0,0460 | 48,33 | 0,674 |
| 350 | 0,566 | 1,059 | 0,0491 | 55,46 | 0,678 |
| 400 | 0,524 | 1,068 | 0,0521 | 63,09 | 0,678 |
| 500 | 0,456 | 1,093 | 0,0574 | 79,38 | 0,687 |
| 600 | 0,404 | 1,114 | 0,0622 | 96,89 | 0,699 |
| 700 | 0,362 | 1,135 | 0,0671 | 115,4 | 0,706 |

Продолжение таблицы П.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 800 | 0,329 | 1,156 | 0,0718 | 134,8 | 0,713 |
| 900 | 0,301 | 1,172 | 0,0763 | 155,1 | 0,717 |
| 1000 | 0,277 | 1,185 | 0,0807 | 177,1 | 0,719 |
| 1100 | 0,257 | 1,197 | 0,0850 | 199,3 | 0,722 |
| 1200 | 0,239 | 1,210 | 0,0915 | 233,7 | 0,724 |

Таблица П.2. Физические свойства воды на линии насыщения

| t, °C | $P \cdot 10^{-5}$, Па | ρ , кг/м ³ | C_p , кДж/(кг·К) | λ , Вт/(м·К) | $\nu \cdot 10^6$, м ² /с | $\beta \cdot 10^4$, К ⁻¹ | Pr |
|----------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|---|---|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 1,013 | 999,9 | 4,212 | 0,55 | 1,789 | -0,63 | 13,67 |
| 10 | 1,013 | 999,7 | 4,191 | 0,57 | 1,306 | 0,70 | 9,52 |
| 20 | 1,013 | 998,2 | 4,183 | 0,60 | 1,006 | 1,82 | 7,02 |
| 30 | 1,013 | 995,7 | 4,174 | 0,62 | 0,805 | 3,21 | 5,42 |
| 40 | 1,013 | 992,2 | 4,174 | 0,64 | 0,659 | 3,87 | 4,31 |
| 50 | 1,013 | 988,1 | 4,174 | 0,65 | 0,556 | 4,49 | 3,54 |
| 60 | 1,013 | 983,2 | 4,179 | 0,66 | 0,478 | 5,11 | 2,98 |
| 70 | 1,013 | 977,8 | 4,187 | 0,67 | 0,415 | 5,70 | 2,55 |
| 80 | 1,013 | 971,8 | 4,195 | 0,67 | 0,365 | 6,32 | 2,21 |
| 90 | 1,013 | 965,3 | 4,208 | 0,68 | 0,326 | 6,95 | 1,95 |
| 100 | 1,013 | 958,4 | 4,220 | 0,68 | 0,295 | 7,52 | 1,75 |
| 110 | 1,43 | 951,0 | 4,233 | 0,69 | 0,272 | 8,08 | 1,60 |
| 120 | 1,98 | 943,1 | 4,250 | 0,69 | 0,252 | 8,64 | 1,47 |
| 130 | 2,70 | 934,8 | 4,266 | 0,69 | 0,233 | 9,19 | 1,36 |
| 140 | 3,61 | 926,1 | 4,287 | 0,69 | 0,217 | 9,72 | 1,16 |
| 150 | 4,76 | 917,0 | 4,313 | 0,68 | 0,203 | 10,3 | 1,17 |
| 160 | 6,18 | 907,4 | 4,346 | 0,68 | 0,191 | 10,7 | 1,10 |
| 170 | 7,92 | 897,3 | 4,380 | 0,68 | 0,181 | 11,3 | 1,05 |
| 180 | 10,03 | 886,9 | 4,417 | 0,67 | 0,173 | 11,9 | 1,00 |
| 190 | 12,55 | 876,0 | 4,459 | 0,67 | 0,165 | 12,6 | 0,96 |
| 200 | 15,55 | 863,0 | 4,505 | 0,66 | 0,158 | 13,3 | 0,9 |
| 210 | 19,08 | 852,8 | 4,555 | 0,66 | 0,153 | 14,1 | 0,9 |
| 220 | 23,20 | 840,3 | 4,614 | 0,65 | 0,148 | 14,8 | 0,89 |

Продолжение таблицы П.2

| | | | | | | | |
|-----|--------|-------|--------|------|-------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 230 | 27,98 | 827,3 | 4,681 | 0,64 | 0,145 | 15,9 | 0,88 |
| 240 | 33,48 | 813,6 | 4,756 | 0,63 | 0,141 | 16,8 | 0,87 |
| 250 | 39,78 | 799,0 | 4,844 | 0,62 | 0,137 | 18,1 | 0,86 |
| 260 | 46,94 | 784,0 | 4,949 | 0,61 | 0,135 | 19,7 | 0,87 |
| 270 | 55,05 | 767,9 | 5,070 | 0,59 | 0,133 | 21,6 | 0,88 |
| 280 | 64,19 | 750,7 | 5,230 | 0,57 | 0,131 | 23,7 | 0,90 |
| 290 | 74,45 | 732,3 | 5,485 | 0,56 | 0,129 | 26,2 | 0,93 |
| 300 | 85,92 | 712,5 | 5,736 | 0,54 | 0,128 | 29,2 | 0,97 |
| 320 | 112,90 | 667,1 | 6,574 | 0,51 | 0,128 | 38,2 | 1,11 |
| 340 | 146,08 | 610,1 | 8,165 | 0,46 | 0,127 | 53,4 | 1,39 |
| 350 | 165,37 | 574,4 | 9,504 | 0,43 | 0,126 | 66,8 | 1,60 |
| 360 | 186,74 | 528,0 | 13,984 | 0,40 | 0,126 | 109 | 2,3 |
| 370 | 210,53 | 450,5 | 40,321 | 0,34 | 0,126 | 264 | 6,79 |

Таблица П.3. Физические свойства некоторых металлов

| Наименование материала | ρ , кг/м ³ | t, °C | λ , Вт/(м·К) | c, кДж/(кг·К) |
|---------------------------|-------------------------------|----------|-------------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | | 4 |
| Алюминий | 2700 | 0 | 209 | 0,896 |
| Бронза | 8800 | 20÷200 | 48,2 | 0,368 |
| Латунь | 8500 | 20÷200 | 109 | 0,392 |
| Медь | 8930 | 0 | 390 | 0,388 |
| Нержав. сталь 1X18H10T | 7860 | 20÷200 | 16,3 | 0,494 |
| Серебро | 10500 | 0 | 419 | 0,234 |
| Сталь 20 | 7830 | 20÷200 | 51,0 | 0,494 |
| Сталь 45 | 7830 | 20÷200 | 47,8 | 0,490 |
| Титан | 4540 | 0 | 15,1 | 0,531 |

Таблица П.4. Степень черноты для различных материалов

| Наименование материала | t, °С | ε |
|-------------------------------------|----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 |
| Алюминиевая краска | - | 0,50 |
| Алюминий полированный | 50÷500 | 0,04÷0,06 |
| Алюминий с шероховатой поверхностью | 20÷50 | 0,06÷0,07 |
| Асбестовый картон | 20 | 0,96 |
| Жесть белая старая | 20 | 0,28 |
| Железо оцинкованное | 30 | 0,23 |
| Кирпич красный шероховатый | 20 | 0,88÷0,93 |
| Лак черный матовый | 40÷100 | 0,96÷0,98 |
| Лак белый | 40÷100 | 0,80÷0,95 |
| Латунь полированная | 200 | 0,03 |
| Латунь листовая прокатная | 20 | 0,06 |
| Масляная краска | - | 0,94 |
| Медь окисленная | 500 | 0,88 |
| Медь полированная | 50÷1000 | 0,02 |
| Снег | - | 0,96 |
| Сталь окисленная | - | 0,80 |
| Сталь полированная | - | 0,54 |
| Сталь с шероховатой поверхностью | 50 | 0,56 |
| Стекло | 250÷1000 | 0,87÷0,72 |
| Хром полированный | - | 0,17 |
| Чугун шероховатый | - | 0,96 |
| Эмаль белая | 20 | 0,90 |

Таблица П.5. Насыщенный водяной пар (по температурам)

Таблица приводится с сокращением

| t, °C | p, бар | Уд. объем | | Энтальпия | | r | Энтропия | |
|----------|-----------|-----------------|-------|-----------|-------|------|----------|-------|
| | | $v' \cdot 10^6$ | v'' | h' | h'' | | s' | s'' |
| 0,01 | 0,0061 | 1000,2 | 206,3 | 0 | 2501 | 2501 | 0 | 9,16 |
| 5 | 0,0087 | 1000,0 | 147,2 | 21,01 | 2510 | 2489 | 0,08 | 9,03 |
| 10 | 0,0123 | 1000,3 | 106,4 | 41,99 | 2519 | 2477 | 0,15 | 8,90 |
| 15 | 0,1704 | 1000,8 | 77,97 | 62,94 | 2528 | 2466 | 0,22 | 8,78 |
| 20 | 0,0241 | 1001,7 | 57,84 | 83,86 | 2538 | 2454 | 0,29 | 8,67 |
| 25 | 0,0307 | 1002,9 | 43,40 | 104,8 | 2547 | 2442 | 0,37 | 8,56 |
| 30 | 0,0424 | 1004,3 | 32,93 | 125,7 | 2556 | 2430 | 0,44 | 8,44 |
| 35 | 0,0547 | 1006,0 | 25,24 | 146,6 | 2565 | 2418 | 0,50 | 8,35 |
| 40 | 0,0737 | 1007,8 | 19,55 | 167,5 | 2574 | 2406 | 0,57 | 8,26 |
| 45 | 0,0958 | 1009,9 | 15,28 | 188,4 | 2583 | 2394 | 0,64 | 8,17 |
| 50 | 0,1234 | 1012,1 | 12,04 | 200,3 | 2592 | 2383 | 0,70 | 8,08 |
| 55 | 0,1574 | 1014,5 | 9,578 | 230,2 | 2601 | 2371 | 0,77 | 7,99 |
| 60 | 0,1992 | 1017,1 | 7,678 | 251,1 | 2609 | 2358 | 0,83 | 7,91 |
| 65 | 0,2501 | 1019,9 | 6,201 | 272,0 | 2618 | 2346 | 0,89 | 7,83 |
| 70 | 0,3116 | 1022,8 | 5,045 | 292,9 | 2627 | 2334 | 0,95 | 7,76 |
| 75 | 0,3855 | 1025,9 | 4,133 | 313,9 | 2635 | 2321 | 1,02 | 7,68 |
| 80 | 0,4736 | 1029,2 | 3,408 | 334,9 | 2644 | 2309 | 1,08 | 7,61 |
| 85 | 0,5780 | 1032,6 | 2,828 | 355,9 | 2652 | 2296 | 1,13 | 7,55 |
| 90 | 0,7011 | 1036,1 | 2,361 | 376,9 | 2660 | 2283 | 1,19 | 7,48 |
| 100 | 1,0133 | 1043,7 | 1,673 | 419,1 | 2676 | 2257 | 1,31 | 7,36 |
| 110 | 1,4326 | 1051,9 | 1,210 | 461,3 | 2692 | 2231 | 1,42 | 7,24 |
| 120 | 1,9854 | 1060,6 | 0,891 | 503,7 | 2706 | 2203 | 1,53 | 7,13 |
| 130 | 2,7012 | 1070,0 | 0,668 | 546,3 | 2721 | 2174 | 1,63 | 7,03 |

Продолжение таблицы П.5.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|--------|--------|-------|-------|------|------|------|------|
| 140 | 3,6136 | 1080,1 | 0,509 | 589,1 | 2734 | 2145 | 1,74 | 6,93 |
| 150 | 4,7597 | 1090,8 | 0,393 | 632,2 | 2746 | 2114 | 1,84 | 6,84 |
| 160 | 6,1804 | 1102,2 | 0,307 | 675,5 | 2758 | 2082 | 1,94 | 6,75 |
| 170 | 7,9202 | 1114,5 | 0,243 | 719,1 | 2768 | 2049 | 2,04 | 6,67 |
| 180 | 10,027 | 1127,5 | 0,194 | 763,1 | 2777 | 2014 | 2,14 | 6,58 |
| 190 | 12,552 | 1141,5 | 0,156 | 807,5 | 2785 | 1977 | 2,24 | 6,51 |
| 200 | 15,551 | 1156,5 | 0,127 | 852,4 | 2791 | 1939 | 2,33 | 6,43 |

Таблица П.6. Насыщенный водяной пар (по давлениям)

Таблица приводится с сокращением

| р, бар | t, °C | Уд. объем | | Энтальпия | | r | Энтропия | |
|-----------|----------|-----------------|-------|-----------|--------|--------|----------|-------|
| | | $v' \cdot 10^6$ | v'' | h' | h'' | | s' | s'' |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0,010 | 6,982 | 1000,1 | 129,2 | 29,33 | 2513,8 | 2484,5 | 0,106 | 8,976 |
| 0,020 | 17,511 | 1001,2 | 67,01 | 73,45 | 2533,2 | 2459,8 | 0,261 | 8,724 |
| 0,025 | 21,094 | 1002,0 | 54,26 | 88,44 | 2539,7 | 2451,3 | 0,312 | 8,643 |
| 0,030 | 24,098 | 1002,7 | 45,67 | 101,0 | 2545,2 | 2444,2 | 0,354 | 8,578 |
| 0,035 | 26,692 | 1003,3 | 39,48 | 11,8 | 2549,9 | 2438,1 | 0,391 | 8,522 |
| 0,040 | 28,981 | 1004,0 | 34,80 | 121,4 | 2554,1 | 2432,7 | 0,422 | 8,475 |
| 0,050 | 32,90 | 1005,2 | 28,20 | 137,8 | 2561,2 | 2423,4 | 0,476 | 8,395 |
| 0,100 | 45,83 | 1010,2 | 14,68 | 191,8 | 2584,4 | 2392,6 | 0,649 | 8,151 |
| 0,200 | 60,09 | 1017,2 | 7,652 | 251,5 | 2609,6 | 2358,1 | 0,832 | 7,909 |
| 0,50 | 81,35 | 1030,1 | 3,242 | 340,6 | 2646,0 | 2305,4 | 1,091 | 7,595 |
| 1,00 | 99,63 | 1043,4 | 1,695 | 417,5 | 2675,7 | 2258,8 | 1,303 | 7,361 |
| 1,2 | 104,81 | 1047,6 | 1,429 | 439,4 | 2683,8 | 2244,4 | 1,361 | 7,299 |
| 1,4 | 109,32 | 1051,3 | 1,237 | 458,4 | 2690,8 | 2232,4 | 1,411 | 7,248 |

Продолжение таблицы П.6.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| 1,6 | 113,32 | 1054,7 | 1,092 | 475,4 | 2696,8 | 2221,4 | 1,455 | 7,203 |
| 1,8 | 116,93 | 1057,9 | 0,978 | 490,7 | 2702,1 | 2211,4 | 1,494 | 7,164 |
| 2,0 | 120,23 | 1060,8 | 0,886 | 504,7 | 2706,9 | 2202,2 | 1,530 | 7,129 |
| 2,2 | 123,27 | 1063,6 | 0,810 | 517,6 | 2711,3 | 2193,7 | 1,563 | 7,097 |
| 2,4 | 126,09 | 1066,3 | 0,747 | 529,6 | 2715,3 | 2185,7 | 1,593 | 7,068 |
| 2,6 | 128,73 | 1068,8 | 0,693 | 540,9 | 2719,0 | 2178,1 | 1,621 | 7,041 |
| 2,8 | 131,20 | 1071,2 | 0,646 | 551,4 | 2722,3 | 2170,9 | 1,647 | 7,0161 |
| 3,0 | 133,54 | 1073,5 | 0,606 | 561,4 | 2725,5 | 2164,1 | 1,672 | 6,993 |
| 4,0 | 143,62 | 1083,9 | 0,462 | 604,7 | 2738,5 | 2133,8 | 1,776 | 6,897 |
| 5,0 | 151,85 | 1092,8 | 0,375 | 640,1 | 2748,5 | 2108,4 | 1,860 | 6,822 |
| 6,0 | 158,84 | 1100,9 | 0,316 | 670,4 | 2756,4 | 2086,0 | 1,931 | 6,760 |
| 7,0 | 166,96 | 1108,2 | 0,273 | 697,1 | 2762,9 | 2065,8 | 1,992 | 6,707 |
| 8,0 | 170,42 | 1115,0 | 0,240 | 720 | 2868,4 | 2047,5 | 2,046 | 6,662 |
| 9,0 | 175,35 | 1121,3 | 0,215 | 742,6 | 2773,0 | 2030,4 | 2,094 | 6,621 |
| 10,0 | 179,88 | 1127,4 | 0,194 | 762,6 | 2778,0 | 2006,7 | 2,138 | 6,585 |
| 15,0 | 198,28 | 1153,8 | 0,132 | 844,7 | 2790,4 | 1945,7 | 2,314 | 6,442 |
| 20,0 | 212,37 | 1176,6 | 0,100 | 908,6 | 2797,4 | 1888,8 | 2,447 | 6,337 |
| 40,0 | 250,33 | 1252,1 | 0,050 | 1088 | 2799,4 | 1711,9 | 2,797 | 6,067 |
| 45,0 | 257,41 | 1269,1 | 0,044 | 1122 | 2796,5 | 1674,3 | 2,861 | 6,017 |
| 50,0 | 263,92 | 1285,8 | 0,039 | 1155 | 2792,8 | 1638,2 | 2,921 | 5,971 |
| 40,0 | 250,33 | 1252,1 | 0,050 | 1088 | 2799,4 | 1711,9 | 2,797 | 6,067 |
| 100 | 310,96 | 1452,6 | 0,018 | 1409 | 2724,4 | 1315,8 | 3,362 | 5,614 |
| 110 | 318,04 | 1488,7 | 0,016 | 1451 | 2705,4 | 1254,2 | 3,432 | 5,553 |
| 120 | 324,64 | 1526,7 | 0,014 | 1493 | 2684,8 | 1192,2 | 3,499 | 5,493 |
| 40,0 | 250,33 | 1252,1 | 0,050 | 1088 | 2799,4 | 1711,9 | 2,797 | 6,067 |
| 45,0 | 257,41 | 1269,1 | 0,044 | 1122 | 2796,5 | 1674,3 | 2,861 | 6,017 |

Продолжение таблицы П.6.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|--------|--------|-------|------|--------|--------|-------|-------|
| 50,0 | 263,92 | 1285,8 | 0,039 | 1155 | 2792,8 | 1638,2 | 2,921 | 5,971 |
| 60,0 | 275,56 | 1318,7 | 0.032 | 1214 | 2783,3 | 1569,4 | 3,028 | 5,888 |
| 70,0 | 285,80 | 1351,4 | 0.027 | 1268 | 2771,4 | 1503,7 | 3.123 | 5,813 |
| 80,0 | 294,98 | 1384,3 | 0.023 | 1318 | 2757.5 | 1440,0 | 3,208 | 5,743 |
| 90,0 | 303,31 | 1417,0 | 0.020 | 1364 | 2741,8 | 1377,6 | 3,288 | 5,677 |
| 100 | 310,96 | 1452,6 | 0.018 | 1409 | 2724,4 | 1315,8 | 3,362 | 5,614 |
| 110 | 318.04 | 1488,7 | 0.016 | 1451 | 2705,4 | 1254,2 | 3,432 | 5,553 |
| 120 | 324,64 | 1526.7 | 0.014 | 1493 | 2684.8 | 1192,2 | 3,499 | 5,493 |
| 130 | 330,81 | 1567,0 | 0,013 | 1533 | 2662,4 | 1129,4 | 3,563 | 5,433 |
| 140 | 336,63 | 1610,4 | 0,011 | 1573 | 2638,3 | 1065,5 | 3,626 | 5,374 |
| 150 | 342,12 | 1658,0 | 0,010 | 1612 | 2611,6 | 999,4 | 3,688 | 5,312 |
| 160 | 347,32 | 1710,1 | 0,009 | 1652 | 2582,7 | 931,2 | 3,749 | 5,250 |
| 170 | 352,26 | 1769,0 | 0,008 | 1692 | 2550,8 | 859,2 | 3,810 | 5,184 |
| 180 | 356,96 | 1838,0 | 0,008 | 1733 | 2514,4 | 781,0 | 3,874 | 5,114 |
| 190 | 361,44 | 1923,1 | 0,007 | 1778 | 2470,1 | 691,2 | 3,942 | 5,032 |
| 200 | 365,71 | 2038,0 | 0,006 | 1829 | 2413,8 | 585,0 | 4,018 | 4,934 |
| 210 | 369,79 | 2218,0 | 0,005 | 1892 | 2340,2 | 448,0 | 4,114 | 4,811 |
| 220 | 373,68 | 2675,0 | 0,004 | 2008 | 2192,8 | 184,8 | 4,289 | 4,575 |
| 221 | 374,06 | 2864,0 | 0,003 | 2045 | 2147,6 | 102,6 | 4,346 | 4,505 |

Параметры критического состояния

Давление 221,15 бар

Температура 374,12 °С

Удельный объем 0,003147 м³/кг

Удельная энтальпия 2095,2 кДж/кг

Удельная энтропия 4,4237 кДж/(кг·К)

Таблица П.7. Вода и перегретый водяной пар

Таблица приводится с сокращением

| t, °C | p=0,01 бар | | | p=0,02 бар | | | p=0,03 бар | | |
|-------|---|----------|----------|--|-------------|--------------|--|-------------|--------------|
| | t _н "=6,982; h _н "=2513 v=129,3 s _н "=8,976 | | | t _н "=17,511; h _н "=2533 v=67,001; s _н "=8,724 | | | t _н "=24,098; h _н "=2545 v=45,668; s _н "=8,578 | | |
| | v | h | s | v | h | s | v | h | s |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | <u>0,001</u> | <u>0</u> | <u>0</u> | 0,001 | 0,0 | 0,0 | 0,001 | 0,0 | 0,0 |
| 10 | 130,6 | 2519,5 | 8,996 | <u>0,001</u> | <u>42,0</u> | <u>0,151</u> | 0,001 | 42,0 | 0,151 |
| 20 | 135,2 | 2538,1 | 9,060 | <u>67,58</u> | 2537,8 | 8,739 | <u>0,001</u> | <u>83,9</u> | <u>0,296</u> |
| 30 | 139,9 | 2556,8 | 9,123 | 69,90 | 2556,5 | 8,802 | 46,58 | 2556,3 | 8,615 |
| 50 | 149,1 | 2594,2 | 9,243 | 74,53 | 2594,0 | 8,922 | 49,67 | 2593,8 | 8,734 |
| 100 | 172,2 | 2688,3 | 9,513 | 86,08 | 2688,2 | 9,193 | 57,38 | 2688,1 | 9,006 |

Продолжение таблицы П.7

| t, °C | p=0,05 бар | | | p=0,1 бар | | | p=0,5 бар | | |
|-------|---|--------------|--------------|---|--------------|--------------|---|--------------|--------------|
| | t _н "=32,90; h _н "=2561,2 v=28,196; s _н "=8,395 | | | t _н "=45,83; h _н "=2584,4 v=14,676; s _н "=8,151 | | | t _н "=81,35; h _н "=2646,0 v=3,242 s _н "=7,595 | | |
| | v | h | s | v | h | s | v | h | s |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | 0,001 | <u>0</u> | <u>0</u> | 0,001 | 0,0 | 0,0 | 0,001 | 0,0 | 0,0 |
| 20 | 0,001 | 83,9 | 0,151 | 0,001 | 83,9 | 0,296 | 0,001 | 83,9 | 0,296 |
| 30 | <u>0,001</u> | <u>125,7</u> | <u>0,437</u> | 0,001 | 125,7 | 0,437 | 0,001 | 125,7 | 0,437 |
| 40 | 28,86 | 2574,6 | 8,439 | <u>0,001</u> | <u>167,4</u> | <u>0,572</u> | 0,001 | 167,5 | 0,572 |
| 50 | 29,78 | 2593,4 | 8,498 | 14,87 | 2592,3 | 8,175 | 0,001 | 209,3 | 0,704 |
| 60 | 30,71 | 2612,3 | 8,555 | 15,34 | 2611,3 | 8,233 | 0,001 | 251,1 | 0,831 |
| 70 | 31,64 | 2631,1 | 8,611 | 15,80 | 2630,3 | 8,289 | 0,001 | 293,0 | 0,955 |
| 80 | 32,57 | 2650,0 | 8,665 | 16,27 | 2649,3 | 8,344 | <u>0,001</u> | <u>334,9</u> | <u>1,075</u> |
| 90 | 33,49 | 2668,9 | 8,718 | 16,93 | 2668,3 | 8,397 | 3,324 | 2663,0 | 7,643 |
| 100 | 34,42 | 2687,9 | 8,769 | 17,20 | 2687,3 | 8,448 | 3,419 | 2682,6 | 7,696 |
| 120 | 36,27 | 2725,9 | 8,869 | 18,12 | 2725,4 | 8,548 | 3,608 | 2721,7 | 7,798 |
| 140 | 38,12 | 2764,0 | 8,963 | 19,05 | 2763,6 | 8,643 | 3,796 | 2760,6 | 7,894 |
| 160 | 39,97 | 2802,3 | 9,054 | 19,98 | 2802,0 | 8,733 | 3,983 | 2799,5 | 7,986 |
| 180 | 41,81 | 2840,8 | 9,141 | 20,90 | 2840,6 | 8,820 | 4,170 | 2838,4 | 8,074 |
| 200 | 43,66 | 2879,5 | 9,224 | 21,82 | 2879,3 | 8,904 | 4,356 | 2877,5 | 8,158 |

Продолжение таблицы П.7

| t, °C | p=1,0 бар | | | p=2,0 бар | | | p=5,0 бар | | |
|-------|--|--------------|--------------|---|--------------|--------------|---|--------------|--------------|
| | t _H "=99,63; h _H "=2675,7 v _H "=1,695; s _H "=7,3608 | | | t _H "=120,23; h _H "=2706,9 v _H "=0,8859; s _H "=7,1286 | | | t _H "=151,85; h _H "=2748,5 v _H "=0,3748; s _H "=6,8215 | | |
| | v | h | s | v | h | s | v | h | s |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | 0,001 | 0 | 0 | 0,001 | 0,2 | 0,0 | 0,001 | 0,5 | 0,0 |
| 50 | 0,001 | 209,3 | 0,704 | 0,001 | 209,4 | 0,703 | 0,001 | 209,7 | 0,703 |
| 90 | <u>0,001</u> | <u>377,0</u> | <u>1,193</u> | 0,001 | 377,0 | 1,307 | 0,001 | 377,3 | 1,192 |
| 100 | 1,696 | 2676,5 | 7,363 | 0,001 | 419,1 | 1,307 | 0,001 | 419,4 | 1,306 |
| 120 | 1,793 | 2716,8 | 7,468 | <u>0,001</u> | <u>503,7</u> | <u>1,528</u> | 0,001 | 503,9 | 1,527 |
| 130 | 1,841 | 2736,8 | 7,518 | 0,910 | 2727,6 | 7,180 | 0,001 | 546,5 | 1,634 |
| 140 | 1,889 | 2756,6 | 7,567 | 0,93 | 2748,4 | 7,231 | 0,001 | 589,2 | 1,739 |
| 150 | 1,937 | 2776,4 | 7,614 | 0,959 | 2769,0 | 7,281 | <u>0,001</u> | <u>632,2</u> | <u>1,842</u> |
| 160 | 1,984 | 2796,2 | 7,661 | 0,984 | 2789,5 | 7,329 | 0,384 | 2767,3 | 6,865 |
| 180 | 2,078 | 2835,7 | 7,749 | 1,033 | 2830,1 | 7,420 | 0,405 | 2812,1 | 6,997 |
| 200 | 2,172 | 2875,2 | 7,835 | 1,080 | 2870,5 | 7,507 | 0,425 | 2855,5 | 7,060 |
| 250 | 2,406 | 2874, | 8,034 | 1,199 | 2970,9 | 7,709 | 0,474 | 2960,7 | 7,272 |

Продолжение таблицы П.7

| t, °C | p=10,0 бар | | | p=15,0 бар | | | p=20,0 бар | | |
|-------|---|--------------|--------------|--|--------------|--------------|---|--------------|--------------|
| | t _H "=179,88; h _H "=2777,0 v _H "=19,43; s _H "=6,5847 | | | t _H "=198,28; h _H "=2790,4 v _H "=0,1317; s _H "=6,4418 | | | t _H "=212,37; h _H "=2797,4 v _H "=0,0995 s _H "=6,3373 | | |
| | v | h | s | v | h | s | v | h | s |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | 0,001 | 1,0 | 0 | 0,001 | 1,5 | 0,0 | 0,001 | 2,0 | 0,0 |
| 50 | 0,001 | 210,1 | 0,703 | 0,001 | 210,6 | 0,703 | 0,001 | 211,2 | 0,703 |
| 100 | 0,001 | 419,7 | 1,306 | 0,001 | 420,1 | 1,306 | 0,001 | 420,5 | 1,305 |
| 150 | 0,001 | 632,5 | 1,841 | 0,001 | 632,8 | 1,841 | 0,001 | 633,1 | 1,839 |
| 160 | 0,001 | 675,7 | 1,942 | 0,001 | 676,0 | 1,941 | 0,001 | 676,3 | 1,941 |
| 170 | <u>0,001</u> | <u>719,2</u> | <u>2,041</u> | 0,001 | 719,5 | 2,041 | 0,001 | 719,8 | 2,040 |
| 180 | 0,194 | 2777,3 | 6,585 | 0,001 | 763,4 | 2,139 | 0,001 | 763,6 | 2,138 |
| 190 | 0,200 | 2802,9 | 6,641 | <u>0,001</u> | <u>807,6</u> | <u>2,235</u> | 0,001 | 807,9 | 2,235 |
| 200 | 0,206 | 2827,5 | 6,694 | 0,132 | 2795,3 | 6,452 | 0,001 | 852,6 | 2,330 |
| 210 | 0,212 | 2851,5 | 6,744 | 1,137 | 2822,9 | 6,510 | <u>0,001</u> | <u>897,8</u> | <u>2,425</u> |

Продолжение таблицы П. 7

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 220 | 0,217 | 2874,9 | 6,792 | 0,141 | 2849,2 | 6,534 | 0,102 | 2820,4 | 6,384 |
| 250 | 0,233 | 2942,8 | 6,926 | 0,152 | 2923,4 | 6,71 | 0,112 | 2902,5 | 6,546 |
| 300 | 0,258 | 3051,3 | 7,124 | 0,16 | 3037,9 | 6,910 | 0,126 | 3024,0 | 6,768 |

Продолжение таблицы П.7

| t, °C | p=35 бар | | | p=40,0 бар | | | p=60,0 бар | | |
|-------|--|---------------|--------------|---|---------------|--------------|--|---------------|--------------|
| | t _н "=242,54; h _н "=2801,3 v _н "=0,0570; s _н "=6,1218 | | | t _н "=250,33; h _н "=2799,4 v _н "=0,0497; s _н "=6,0670 | | | t _н "=275,56; h _н "=2783,3 v _н "=0,03241; s _н "=5,8878 | | |
| | v | h | s | v | h | s | v | h | s |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | 0,001 | 3,5 | 0 | 0,001 | 4,0 | 0 | 0,001 | 6,1 | 0,0 |
| 50 | 0,001 | 212,3 | 0,702 | 0,001 | 212,7 | 0,702 | 0,001 | 214,4 | 0,701 |
| 100 | 0,001 | 421,6 | 1,304 | 0,001 | 422,0 | 1,304 | 0,001 | 423,5 | 1,302 |
| 200 | 0,001 | 853,2 | 2,328 | 0,001 | 853,4 | 2,327 | 0,001 | 854,2 | 2,324 |
| 240 | <u>0,001</u> | <u>1037,7</u> | <u>2,702</u> | 0,001 | 1037,7 | 2,701 | 0,001 | 1037,9 | 2,693 |
| 250 | 0,059 | 2828,1 | 6,173 | <u>0,001</u> | <u>1085,8</u> | <u>2,794</u> | 0,001 | 1085,8 | 2,789 |
| 260 | 0,061 | 2861,6 | 6,237 | 0,052 | 2835,6 | 6,136 | 0,001 | 1134,8 | 2,882 |
| 270 | 0,063 | 2892,9 | 6,295 | 0,054 | 2870,1 | 6,199 | <u>0,001</u> | <u>1185,2</u> | <u>2,975</u> |
| 280 | 0,065 | 2922,6 | 6,349 | 0,055 | 2902,2 | 6,258 | 0,033 | 2804,0 | 5,925 |
| 290 | 0,067 | 2950,9 | 6,400 | 0,057 | 2932,5 | 6,313 | 0,035 | 2846,5 | 6,002 |
| 300 | 0,068 | 2978,2 | 6,448 | 0,059 | 2961,5 | 6,363 | 0,036 | 2885,0 | 6,069 |
| 350 | 0,077 | 3104,6 | 6,660 | 0,066 | 3093,1 | 6,584 | 0,042 | 3043,9 | 6,336 |
| 400 | 0,085 | 3223,1 | 6,843 | 0,073 | 3214,5 | 6,771 | 0,047 | 3178,6 | 6,544 |
| 450 | 0,092 | 3337,6 | 7,001 | 0,080 | 3330,7 | 6,938 | 0,052 | 3302,6 | 6,721 |
| 500 | 0,099 | 3450,8 | 7,158 | 0,086 | 3445,2 | 7,091 | 0,057 | 3422,2 | 6,881 |

Продолжение таблицы П.7

| t, °C | p=80,0 бар | | | p=90,0 бар | | | p=130,0 бар | | |
|-------|--|--------|-------|---|--------|-------|--|--------|-------|
| | t _H "=294,98; h _H "=2757,5 v _H "=0,0235; s _H "=5,7430 | | | t _H "=303,31; h _H "=2741,8 v _H "=0,02046; s _H "=5,6773 | | | t _H "=330,81; h _H "=2662,4 v _H "=0,01277; s _H "=5,4333 | | |
| | v | h | s | v | h | s | v | h | s |
| 0 | 0,001 | 8,1 | 0,0 | 0,001 | 9,1 | 0,001 | 0,001 | 13,1 | 0 |
| 100 | 0,001 | 425,0 | 1,301 | 0,001 | 425,8 | 1,300 | 0,001 | 428,8 | 1,297 |
| 200 | 0,001 | 855,1 | 2,321 | 0,001 | 855,5 | 2,319 | 0,001 | 857,2 | 2,313 |
| 250 | 0,001 | 1085,8 | 2,784 | 0,001 | 1085,9 | 2,782 | 0,001 | 1086,1 | 2,773 |
| 280 | 0,001 | 1236,2 | 3,063 | 0,001 | 1235,6 | 3,060 | 0,001 | 1233,9 | 3,047 |
| 290 | 0,001 | 1289,8 | 3,159 | 0,001 | 1289,0 | 3,156 | 0,001 | 1286,1 | 3,141 |
| 300 | 0,024 | 2785,4 | 5,792 | 0,001 | 1344,9 | 3,254 | 0,001 | 1340,5 | 3,237 |
| 310 | 0,027 | 2834,7 | 5,877 | 0,021 | 2781,8 | 5,746 | 0,001 | 1397,8 | 3,336 |
| 330 | 0,028 | 2917,5 | 6,017 | 0,024 | 2878,7 | 5,910 | 0,001 | 1526,9 | 3,553 |
| 350 | 0,030 | 2988,3 | 6,132 | 0,026 | 2957,5 | 6,038 | 0,015 | 2804,0 | 5,664 |
| 400 | 0,034 | 3140,1 | 6,367 | 0,030 | 3119,7 | 6,289 | 0,019 | 3029,3 | 6,013 |
| 500 | 0,042 | 3398,5 | 6,725 | 0,037 | 3386,4 | 6,659 | 0,024 | 3336,1 | 6,440 |

Примечание: размерности величин в таблицах приложения П.5, П.6, 7:

- v', v'' - удельные объемы кипящей воды и сухого насыщенного пара, м³/кг;

- h', h'' - энтальпии кипящей воды и водяного пара. кДж/кг; s', s'' - энтропии кипящей воды и водяного пара. кДж/(кг·К);

- r – скрытая теплота парообразования, кДж/кг.