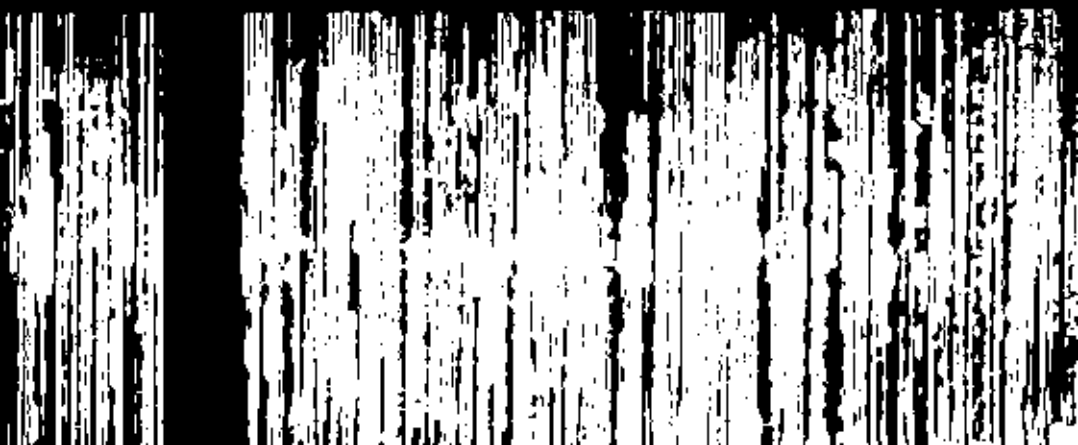


ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО СТАНДАРТАМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Теплофизические свойства фреонов

Том 2

В. В. Алтунин, В. З Геллер, Е. А. Кременевская
И. И. Перельштейн, Е. К. Петров

ФРЕОНЫ МЕТАНОВОГО РЯДА

Справочные данные

Под редакцией доктора технических наук С. Л. РИВКИНА





МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1985

УДК 536.7.661.97

Теплофизические свойства фреонов. Т. 2. Фреоны метанового ряда. Справочные данные/Алтунин В. В., Геллер В. З., Кременевская Е. А., Перельштейн И. И., Петров Е. К. — Под ред. С. Л. Ривкина. — М.: Изд-во стандартов, 1985, 264 с., с ил.

В книге систематизированы и оценены опубликованные экспериментальные данные, а также таблицы и уравнения для пяти фреонов метанового ряда: 10, 11, 12, 13 и 14. На основании обработки наиболее достоверных экспериментальных данных авторами составлены уравнения, по которым рассчитаны подробные таблицы теплофизических свойств указанных фреонов. Таблицы рекомендуемых величин включают значения плотности, сжимаемости, энтальпии, энтропии, изобарной теплоемкости, скорости распространения звука, адиабатного дросселя-эффекта, коэффициентов термического расширения и поверхностного натяжения, вязкости, тепло- и температуропроводности, чисел Прандтля в интервале температур от нормальных точек кипения до 473 К и давлений от 0,1 до 20 МПа. Подавляющая часть этих таблиц публикуется впервые.

Книга предназначена для сотрудников научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, работающих в области теплофизики, криогеники, холодильной техники, химической технологии. Книга может быть использована также преподавателями, аспирантами и студентами инженерно-физических и химических специальностей.

Табл. 57. Ил. 59. Библиогр. 467.

Рецензент канд. техн. наук В. А. Цымарный.

В. В. Алтунин — введение, разд. 1.1, 5.1, 5.2 и таблицы свойств фреонов 10 и 14; В. З. Геллер и В. В. Алтунин — разд. 1.2, 2.3, 3.3, 4.3, 5.3 и таблицы свойств фреона 14; В. З. Геллер и И. И. Перельштейн — таблицы свойств фреонов 10, 11, 12; В. З. Геллер и Е. К. Петров — таблицы свойств фреона 13; Е. А. Кременевская — разд. 2.1, 2.2 и таблицы свойств фреона 11; И. И. Перельштейн — разд. 3.1, 3.2 и таблицы свойств фреона 12; Е. К. Петров и В. В. Алтунин — разд. 4.1; Е. К. Петров — разд. 4.2 и таблицы свойств фреона 13.

А $\frac{20506}{085(02)-85}$ —85

©Издательство стандартов, 1985

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

T — температура, К

p — давление, МПа

ϱ — плотность, кг/м^3

z — коэффициент сжимаемости

c_p — изобарная теплоемкость, кДж/(кг·К)

c_v — изохорная теплоемкость, кДж/(кг·К)

r — теплота парообразования, кДж/кг

h — энтальпия, кДж/кг

s — энтропия, кДж/(кг·К)

w — скорость звука, м/с

μ — эффект Джоуля-Томсона, К/МПа

α — коэффициент термического расширения, К$^{-1}$; $\alpha = \frac{1}{v}[(\partial v/\partial T)_p]$

η — динамическая (сдвиговая) вязкость, Па·с

ν — кинематическая вязкость, м^2/с; $\nu = \eta/\varrho$

λ — теплопроводность, Вт/(м·К)

a — температуропроводность, м^2/с; $a = \lambda/(\varrho c_p)$

Рч — число Прандтля; Рч$= \eta c_p/\lambda$

σ — поверхностное натяжение, Па·м

ВВЕДЕНИЕ. ОБЗОР УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРЕОНОВ

Существует несколько систем обозначения фреонов, которые подробно изложены в [0.15]. Рассматриваемые в этом справочнике химические соединения имеют следующие названия (по Женевской номенклатуре) и обозначения (по номенклатуре ИСО-68):

CCl_4 — тетрахлорметан (фреон-10 или R10);
$CFCl_3$ — фтортрихлорметан (фреон-11 или R11);
CF_2Cl_2 — дифтордихлорметан (фреон-12 или R12);
CF_3Cl — трифторхлорметан (фреон-13 или R13);
CF_4 — тетрафторметан (фреон-14 или R14).

В течение длительного времени расчетно-теоретические исследования термодинамических свойств фреонов проводили главным образом при параметрах состояния, охватывающих лишь традиционную область их применения, поэтому большое распространение получили модельные и обобщенные уравнения состояния со сравнительно небольшим количеством эмпирических констант.

Первые термодинамические таблицы были рассчитаны по уравнению Битти — Бриджмена. Константы этого уравнения для фреона-12 получили Баффингтон, Гилки [3.41] в 1931 г., а для фреона-11 — Беннинг, Макхарнесс [2.35] в 1940 г.

В табл. 1 приведены типы уравнений состояния фреонов. Из табл. 1 видно, что уравнение (0.1) содержит всего пять регулируемых констант. Для фреонов R11 и R12 полагали $C=0$ и, следовательно, степень уравнения относительно ρ понижали до третьей, при этом область применимости уравнения Битти — Бриджмена ограничивалась $\omega=0{,}4$. Предложено обобщенное уравнение состояния Битти — Бриджмена [0.23, 0.24], описывающее область докритических плотностей со средней погрешностью $\delta z=1$—1,5 %. Это уравнение может быть рекомендовано для оценки термических свойств малоисследованных веществ.

Уравнение состояния (0.2) сложнее и применимо в существенно бóльшей области состояний. Достоинством уравнения Мартина-Хау (1955 г.) является также относительно простая методика определения коэффициентов: все двенадцать коэффициентов уравнения можно вычислить с помощью аналитических соотношений, если известны критические параметры, темпера-

Таблица 1

Основные типы уравнений состояния фреонов

Номер уравнения	Формулы уравнения	Комментарии	Название уравнения
(0.1)	$p = RT\rho + (B_0RT - A_0 - Rc/T^2)\rho^2 + (A_0a - bB_0RT - cB_0RT^2)\rho^3 + (bcB_0R/T^2)\,\rho^4$		Битти — Бриджмена
(0.2)	$p = \dfrac{RT}{v-b} + \sum_{i=2}^{5} \dfrac{F_i(\tau)}{(v-b)^i}$	$F_i = A_i + B_iT + C_i \exp(-kT)$	Мартина-Хау
(0.3)	$p = RT\cdot\rho + (B_0RT - A_0 - C_0/T^2)\,\rho^2 + (bRT - a)\,\rho^3 + a\alpha\rho^6 + c\rho^3(1+\gamma\rho^2)(1/T^2)\cdot\exp(-\gamma\rho^2)$		Бенедикта — Вебба — Рубина
(0.4)	$\pi = \mathrm{Wa}\cdot\omega\tau + (A_2 + B_2\tau + C_2/\tau^2 + D_2/\tau^4)\,\omega^2 + (A_3 + B_3\tau + C_3/\tau^2)\,\omega^3 + (A_4/\tau^2 + A_5/\tau^4)\,\omega^3(1+\beta\omega^2)\times\exp(-\beta\omega^2) + A_6\omega^6$	$\mathrm{Wa} = (RT/pv)_{\text{кр}}$ $\omega = \rho/\rho_{\text{кр}},\ \pi = p/p_{\text{кр}},$ $\tau = T/T_{\text{кр}}$	Модифицированное УСБВР (БВРМ)
(0.5)	$p = RT\rho + (B_0RT - A_0 - C_0/T^2 + D_0/T^3 - E_0/T^4)\,\rho^2 + (bRT - a - d/T)\,\rho^3 + \alpha(a + d/T)\,\rho^6 + c\rho^3(1+\gamma\rho^2)(1/T^2)\exp(-\gamma\rho^2)$		Модифицированное УСБВР (БВРС)
(0.6)	$\pi = \alpha_{\text{к}}(\omega) + (\tau-1)\sum_{i=1}^{6} b_i\omega^i + \dfrac{(\tau-1)^2}{\tau}\sum_{i=2}^{4} c_i\omega^i$	$\alpha_{\text{к}} = 1 - (1-\omega)^5\times\{1 + a_0\omega + [a_1(a_2-\omega)\times\omega^2]/[1+4(1-\omega^2)]\}$	Ромбуша
(0.7)	$\sigma = \alpha_0 + \alpha_1\tau + \psi\beta = \Sigma a_i\omega^i + \tau\Sigma b_i\omega^i + \psi\Sigma c_i\omega^i$	$\sigma = pv/RT_{\text{кр}}$ $\psi = f(T)$	Казарчинского
(0.8)	$z = 1 + \sum_{i=1}^{r} B_i(T)\,\rho^i$	Обычно $B_i = \sum_{j=0}^{s_i} b_{ij}\dfrac{1}{\tau^j}$	Вириальное

тура Бойля, температурная зависимость давления насыщенного пара и одна изохора в жидкой фазе при $\omega \geqslant 1{,}5$. В 1959 и 1967 гг. Дж. Мартин с соавторами усовершенствовали как уравнение состояния, так и методику определения его коэффициентов. Первоначальный вариант методики применяли для получения уравнения состояния фреона-10 [1.90] и фреона-12 [3.62], а расширенное уравнение состояния (с 18 коэффициентами) разработано для фреона-14 [5.75].

Уравнение (0.3), содержащее восемь констант для фреонов, применяли редко. В [3.52], опубликованной в 1955 г., получены коэффициенты уравнения (0.3) для фреона-12. В более поздних работах для расчета термодинамических таблиц и диаграмм обычно используют усложненные варианты этого уравнения. В табл. 1 представлены две модификации уравнения этого типа с одиннадцатью константами. Уравнение (0.4) предложил Морси [0.51], а уравнение (0.5) — Старлинг [0.3, 0.17].

Коэффициенты БВРМ были определены в двух работах: [0.51] — для фреонов R12, R13, R14 и [2.41] — для фреона R11. Известно также несколько вариантов уравнения (0.4) для фреонов R22, R23, RC318 и других веществ [0.2, 0.51]. Во всех случаях коэффициенты находили по машинной методике аппроксимации экспериментальных p, v, T — данных и полученные уравнения БВРМ неоднократно использовали для расчета термодинамических таблиц и диаграмм.

Уравнение БВРС первоначально было проверено на неполярных газах и их смесях. Обычно его используют в обобщенной форме, известной под названием уравнения Старлинга — Хана (1972 г.). Предложенные этими авторами расчетные формулы для определения коэффициентов уравнения (0.5) являются несложными функциями критических параметров и ацентрического фактора Питцера ($T_{кр}$, $\varrho_{кр}$, Pi). В более общем случае необходимо знать также для каждой пары компонентов смеси так называемую константу бинарного взаимодействия K_{ij}.

Обобщенное уравнение БВРС на фреонах и их смесях проверено, в частности, в [0.17]. Оказалось, что в отличие от корреляции Старлинга — Хана, где для чистых компонентов принято $K_{ii}=0$, лучшие результаты для многих фреонов получают при $K_{ii}\neq 0$. В [0.17] подгоночные параметры K_{ii} и K_{ij} определены для большой группы чистых фреонов метанового ряда и их смесей.

Другие варианты уравнения БВР, отличающиеся от уравнений (0.3)—(0.5) только формой температурной зависимости при ϱ^2, ϱ^3 и ϱ^6 проанализированы в диссертации В. М. Колесника (1980 г.) и статьях Нишиуми [0.52, 0.53]. Модифицированный Нишиуми вариант уравнения БВР содержит уже пятнадцать коэффициентов для неполярных веществ и дополнительную температурную функцию для полярных веществ [0.53]. Следует ожидать, что точность разработанного в [0.53] обобщенного

уравнения БВРН будет выше, а область применимости шире по сравнению с БВРС.

Уравнение Ромбуша (0.6) так же, как и уравнения (0.4)—(0.5), содержит одиннадцать регулируемых констант, но, судя по тексту [0.56, 0.57], эти константы определяли «вручную». В [0.57] приведены коэффициенты уравнения (0.6) для фреонов R11, R12, R13 и R21. Уравнения рекомендованы к применению в области $\tau=0{,}5$—$2{,}0$ и $\omega=0$—$1{,}8$, однако, рассчитанные авторами термодинамические таблицы и диаграммы для R11 [2.62], R12 [3.70] и R13 [4.53] охватывают только состояния сосуществующих фаз жидкость — газ и газовую фазу при относительно невысоких давлениях.

В 60-е годы Я. З. Казавчинский и его ученики разработали уравнения состояния в форме (0.7) для большой группы технически важных веществ, в том числе и для фреонов R12 [3.14, 3.31] и R13 [3.13, 4.13, 4.31]. И. И. Перельштейн [4.14] применил более совершенную методику численно-графического выделения так называемых элементарных объемных функций α_0, α_1 и β при построении уравнения (0.7) для фреона R13. Во всех упомянутых работах температурная функция криволинейной части уравнения имела вид $\psi=1/\tau^2$. Представленное в [5.29] уравнение состояния фреона R14 существенно сложнее, так как в криволинейную часть уравнения включена сумма $(\beta_\omega\cdot\psi_\tau+\gamma_\omega\cdot\varphi_\tau)$ и поэтому, в принципе, оно применимо в более широкой области состояний, чем уравнение типа (0.7).

По мере накопления экспериментальных данных, повышения их точности и расширения изученной области состояний для расчета термодинамических свойств фреонов стали использовать более сложные уравнения. Технику нахождения констант уравнений состояния также непрерывно совершенствовали, а, начиная с 60-х годов, для аппроксимации экспериментальных данных стали широко применять ЭЦВМ. К настоящему времени разработаны эффективные алгоритмы и программы, позволяющие успешно решать задачи статистической обработки больших массивов однородных и разнородных термодинамических данных с целью построения многопараметрических уравнений состояния.

За последние годы для всех фреонов метанового ряда разработаны уравнения состояния в форме (0.8), т. е. в форме полиномиальных разложений по степеням плотности и температуры:

$$z=1+\sum_{i=1}^{r}\left(\sum_{j=0}^{s_i}b_{ij}/\tau^j\right)\omega^i. \qquad (0.9)$$

Эти уравнения имеют открытый конец и в зависимости от диапазона изменения независимых переменных и требуемой точности аппроксимации могут содержать различное количество эмпирических констант.

Достаточно подробное изложение применяемых методов статистической обработки экспериментальных данных по теплофизическим свойствам газов и жидкостей сделано в [0.1, 0.16, 0.21, 0.27 и др.], а полученные для фреонов-11, 12, 13 и 14 экспериментально-обоснованные уравнения состояния вида (0.8) и (0.9) приведены в [0.18, 0.20, 0.24, 0.46, 2.18, 3.20, 4.16, 4.18, 5.4 и др.] и обсуждаются в следующих главах. Там же сделаны краткие комментарии к работам, в которых для рассматриваемых фреонов метанового ряда составлены уравнения состояния нетрадиционной структуры и с применением специфической техники поиска коэффициентов. Для полиномиального уравнения (0.9) программа расчета термодинамических свойств может быть сделана весьма компактной, поскольку в этом случае возможно ограничиться небольшим набором арифметических операторов

$$A_q = \sum_{i=1}^{r} \sum_{j=0}^{s_i} K_{ij}^{(q)} b_{ij} \omega^i / \tau^j, \qquad (0.10)$$

где $K_{ij}^{(q)}$ — некоторый комплекс, образованный из индексов суммирования i, j. Так, при $q = 1, 2, \ldots, 6$ значения $K_{ij}^{(q)}$ будут равны соответственно 1, $1/i$, j/i, i, j, $j(j-1)/i$. Возможны другие обозначения и другие наборы «элементарных» операторов [0.2, 0.23, 0.27 и др.]. Существенным в данном случае является то, что упрощается программа расчета термодинамических свойств и значительно сокращается время счета.

Конкретные расчетные формулы для 17 термодинамических величин (z, h, s, Φ, f, c_v, c_p, w, δ, μ, α, β, γ, $k_{зв}$ и др.), полученные с использованием интегродифференциальных соотношений термодинамики и записанные в операторной форме, приведены в первом томе этого справочника [0.2]. Их можно найти также в [0.23, 0.27 и др.]. Дополнительные комментарии нужны, пожалуй, только в связи с расчетами термодинамических свойств на кривой насыщения (линии кипения и конденсации) [0.27, 4.2].

Для обеспечения известных условий фазового перехода жидкость — газ ($T' = T''$, $p' = p''$, $\Phi' = \Phi''$) расчет термодинамических свойств на линии насыщения по единому для газа и жидкости уравнению состояния (ЕУС) выполняют с использованием правила Максвелла:

$$\int_{v'}^{v''} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dv = \frac{dp_s}{dT}(v'' - v') = r/T. \qquad (0.11)$$

На первом этапе счета искомыми параметрами являются $\{\omega', \omega'', \pi_s\}$, когда аргументом таблицы свойств на линии насыщения является температура τ_s, или $\{\omega', \omega'', \tau_s\}$, когда аргументом таблицы является давление π_s. В первом случае искомые значения плотности сосуществующих фаз ω' и ω'' определяют в итоге решения нелинейной системы второго порядка:

$$\left.\begin{aligned} f_1(\omega', \omega'') &= \omega' - \omega'' + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{s_i} b_{ij}\frac{(\omega')^{i+1} - (\omega'')^{i+1}}{\tau_s{}^j} = 0, \\ f_2(\omega', \omega'') &= \ln\frac{\omega'}{\omega''} + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{s_i}\frac{(i+1)}{i} b_{ij}\frac{(\omega')^{i} - (\omega'')^{i}}{\tau_s{}^j} = 0, \end{aligned}\right\} \quad (0.12)$$

а искомое значение давления насыщенного пара π_s вычисляют по уравнению состояния (0.9), а именно,

$$\pi_s = \frac{\omega''\tau_s}{z_{кр}}\left[1 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{s_i} b_{ij}(\omega'')^i/\tau_s{}^j\right]. \quad (0.13)$$

Если же аргументом таблицы является давление π_s, то искомые значения $\{\omega', \omega'', \tau_s\}$ определяют в итоге решения нелинейной системы третьего порядка:

$$\left.\begin{aligned} f_1(\omega', \omega'', \tau_s) &= \pi_s - \frac{\omega'\tau_s}{z_{кр}}\left[1 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{s_i} b_{ij}(\omega')^i/\tau_s{}^j\right] = 0; \\ f_2(\omega', \omega'', \tau_s) &= \pi_s - \frac{\omega''\tau_s}{z_{кр}}\left[1 + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{s_i} b_{ij}(\omega'')^i/\tau_s{}^j\right] = 0; \\ f_3(\omega', \omega'', \tau_s) &= \ln\frac{\omega'}{\omega''} + \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{s_i}\frac{(i+1)}{i} b_{ij}\frac{(\omega')^i - (\omega'')^i}{\tau_s{}^j} = 0. \end{aligned}\right\} \quad (0.14)$$

Отвлекаясь от математических аспектов решения нелинейных систем (0.12) и (0.14), подчеркнем лишь то, что в схеме расчетов по ЕУС автономное уравнение кривой упругости $\pi_s(\tau_s)$ требуется только для получения разумного начального приближения и к его точности можно не предъявлять высоких требований. Однако при расчетах по системе локальных уравнений состояния требования к точности автономной зависимости $\pi_s(\tau_s)$ значительно возрастают и поэтому приходится предварительно контролировать (обеспечивать) не только правильный ход функции, но и ее производных $d\pi_s/d\tau_s$, $d^2\pi_s/d\tau_s{}^2$ [0.16, 4.2]. Кроме того, при решении многих практически важных задач требуется знать температурные зависимости ортобарических плотностей жидкости и газа $\omega'(\tau_s)$ и $\omega''(\tau_s)$. Поэтому здесь рассматриваются наиболее распространенные уравнения, применяемые для фреонов.

В работах, ориентированных на холодильную технику, для определения термодинамических свойств насыщенной жидкости обычно используют термическое уравнение состояния газовой фазы (табл. 1), уравнение Клапейрона — Клаузиуса

$$r = T(dp_s/dT)(v'' - v') \quad (0.15)$$

и эмпирические формулы для температурных зависимостей давления насыщенного пара и ортобарической плотности жидкости.

В большинстве работ экспериментальные данные о давлении насыщенного пара фреонов аппроксимировали уравнениями вида

$$\ln \pi_s = A + B/\tau + c \ln \tau + D\tau^k; \tag{0.16}$$

$$\ln \pi_s = \frac{1}{\tau} \sum_{j=0}^{n} a_j \tau^j + a_{n+1} \ln \tau. \tag{0.17}$$

Обычно $k=3$—6 [0.20, 0.57], а $n=2$—4 [0.18, 1.90, 2.36, 3.62, 5.15, 5.77 и др.], но для фреона-11, например, в [2.41] принято $a_{n+1}=0$, и в правую часть уравнения (0.17) включено дополнительное слагаемое с дробной степенью. Более сложные уравнения $\pi_s(\tau_s)$ предложены также для фреонов-12, 13 и 14 [0.46, 4.47, 5.10 и др.]. В последние годы для описания кривых упругости хладагентов стали применять уравнение, предложенное Вагнером в 1973 г.

$$\tau \ln \pi_s = B_1(1-\tau) + B_2(1-\tau)^{1,5} + B_3(1-\tau)^{2,5} + B_4(1-\tau)^x + B_5(1-\tau)^y. \tag{0.18}$$

В частности, для фреона-22 [0.16] $x=4$, а $y=4{,}5$, для фреона-14 [5.70] $x=3$, а $y=6$, причем $B_3=0$. Для других веществ показатели x и y могут быть другими, но всегда $y>x$. Уравнение (0.18) кажется не очень удобным, так как содержит дробные показатели степени, но оно имеет одно важное достоинство — правильно передает сингулярность кривой упругости в критической точке.

В работах И. И. Перельштейна и Е. Б. Парушина [0.22, 0.23, 0.24] найдены для нескольких десятков веществ константы следующего уравнения кривой упругости

$$\ln \pi_s = \mathrm{Ri} \ln \tau + (\mathrm{Ri} - 4 + p_\alpha) \cdot \psi(\tau), \tag{0.19}$$

где $\psi(\tau) = \frac{4(\tau-1)}{\tau} + S(\tau) - 5{,}3 \ln \tau;$

$$S(\tau) = (\tau-1)[0{,}2(\tau+1)^2 + 0{,}5];$$

$$\mathrm{Ri} = (d \ln \pi_s / d\tau)_{\tau=1}.$$

Особенностью уравнения (0.19) является то, что оно правильно в количественном и качественном отношениях передает характер второй производной от тройной до критической точки, и при этом содержит всего две константы Ri и p_α, имеющие определенный физический смысл.

В этих же работах для расчета ортобарической плотности жидкости рекомендуется уравнение вида

$$\ln \omega' = a_1 (1 - \tau)^{1,3} + a_2 \cdot S(\tau). \qquad (0.20)$$

Следует отметить, что уравнения (0.20) и (0.19) внутренне согласованы между собой.

Рекомендуемые авторами уравнений [0.22, 0.23, 0.24] значения критерия Риделя (Ri), критических параметров и безразмерных параметров p_α, a_1, a_2 уравнений (0.19) и (0.20) для фреонов R10, R11, R12, R13 и R14 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметров уравнений (0.19), (0.20), (0.32а), (0.32б) фреонов

Номер уравнения	Параметр	Единицы измерения	Фреон				
			R10	R11	R12	R13	R14
—	$T_{кр}$	К	556,36	471,15	385,15	301,90	227,50
	$p_{кр}$	МПа	4,493	4,370	4,119	3,868	3,745
(0.19)	Ri	—	6,6170	6,5974	6,5741	6,5553	6,5795
	p_α	—	0	−0,0617	−0,0913	−0,1198	−0,1005
(0.20)	a_1	—	1,5366	1,4617	1,4388	1,4247	1,4380
	a_2	—	0,3068	0,2492	0,2338	0,2255	0,2240
(0.32а)	$\eta \frac{кр}{T} \cdot 10^6$	Па·с	17,92	17,09	15,94	14,80	13,93
	$\lambda \frac{кр}{T} \cdot 10^3$	Вт/(м·К)	1,55	1,54	1,44	1,24	1,13
	D_λ	—	1,189	1,292	1,423	1,62	1,780
(0.32б)	$\eta_{кр} \cdot 10^6$	Па·с	47,37	42,90	40,01	37,14	34,97
	p_η'	—	−1,8	−1,8	−1,8	−1,8	−1,8
	$q_\eta'(-q_\eta'')$	—	−1,66	−1,66	−1,66	−1,66	−1,66
	p_η''	—	+0,02	+0,02	+0,02	+0,02	+0,02
	$\lambda_{кр} \cdot 10^3$	Вт/(м·К)	2,787	3,059	2,98	2,83	2,64
	p_λ'	—	0	0	0	0	0
	$q_\lambda'(-q_\lambda'')$	—	−1,23	−1,30	−1,37	−1,49	−1,59
	p_λ''	—	0,53	0,60	0,69	0,83	0,93

Для аппроксимации экспериментальных данных о плотности насыщенной жидкости применяли уравнения вида

$$\omega' = 1 + \sum_{j=1}^{m} d_j (1 - \tau)^{j/l}; \qquad (0.21)$$

$$\omega' = 1 + A(1 - \tau) + B(1 - \tau)^{1/3} + C(1 - \tau)^2 + D(1 - \tau)^{1/2}. \qquad (0.22)$$

Для фреонов R11, R12, R13 и R14 коэффициенты уравнения (0.21) получены в [0.46, 0.48, 0.57, 2.41, 5.29], коэффициенты

уравнения (0.22) — в [0.20, 3.62, 4.36, 5.15]. Заметим, что обычно $m=3$—4, а $l=3$, но в работе [0.46] для фреонов R12 и R13 приняты $m=5$, а $l=4$.

Что же касается термодинамических функций в идеально-газовом состоянии, то в большинстве современных работ для фреонов метанового рода ориентируются на c_p^0 данные Баро [0.42] и аппроксимируют их полиномиальными уравнениями различного вида, которые вообще говоря, являются частными записями обобщенного полинома

$$c_p^0/R = \sum_{j=0}^{m} \alpha_j \tau^j + \sum_{j=1}^{n} \beta_j \tau^{-j}, \qquad (0.23)$$

где $n=5$—6 при $\alpha_j=0$ [0.27], либо $m=3$—6 при $\beta_j=0$ [0.20], либо $m=1$—3 и $n=1$—3 [0.16, 5.29 и др.].

Расчетные формулы для энтальпии и энтропии в идеально-газовом состоянии приведены в [0.27] и имеют вид

$$h_T^0/RT = \sum_{j=0}^{m} \frac{\alpha_j}{j+1} \tau^j - \sum_{j=2}^{m} \frac{\beta_j}{j-1} \tau^{-j} + \frac{1}{\tau} (\beta_1 \ln \tau + h_{T_0}^0/RT_0 + \Delta_1) + \Delta h_{S_0}^0/RT, \qquad (0.24)$$

$$s_T^0/R = \sum_{j=1}^{m} \frac{\alpha_j}{j} \tau^j - \sum_{j=1}^{n} \frac{\beta_j}{j} \tau^{-j} + (\alpha_0 \ln \tau + s_{T_0}^0/R + \Delta_2), \qquad (0.25)$$

где $h_{T_0}^0$ и $s_{T_0}^0$ — энтальпия и энтропия при температуре T_0; $\Delta h_{S_0}^0$ — теплота сублимации кристалла при 0 К;

$$\Delta_1 = \sum_{j=2}^{n} \frac{\beta_j}{j-1} - \sum_{j=0}^{m} \frac{\alpha_j}{j+1}; \quad \Delta_2 = \sum_{j=1}^{n} \frac{\beta_j}{j} - \sum_{j=1}^{m} \frac{\alpha_j}{j}.$$

Заметим, что оригинальные таблицы термодинамических свойств в идеально-газовом состоянии фреонов-10, 11, 12, 13 и 14 опубликованы во многих работах, причем в подавляющем большинстве случаев расчеты выполняли в приближении к модели жесткий ротатор — гармонический осциллятор (ЖРГО), но по отличающимся спектроскопическим данным и фундаментальным постоянным [0.28, 0.29, 0.43, 0.45, 1.88, 2.31, 2.44 и др.]. Подробный аналитический обзор работ, опубликованных до 1978 г., сделан в [0.29]. Там же приведены таблицы c_p^0, $(H_T^0 - H_0^0)$, s_T^0 и Φ_T^0 для R10, R11, R12, R13 и R14 в интервале $T=100$—6000 К и интерполяционные уравнения функции Гиббса

$$\Phi^0 = \varphi \ln x + \sum_{j=-2}^{3} \varphi_j x^j, \qquad (0.26)$$

где $x=T \cdot 10^{-4}$; $500<T<6000$ К.

В настоящем справочнике так же, как и в [0 29], значения фундаментальных физических констант и атомных масс C, F и Cl приняты по данным [0.31, 0.41]. Вычисленные по этим данным значения молекулярной массы и газовой постоянной фреонов-10, 11, 12, 13 и 14 приведены в табл. 3. Там же указаны значения других характерных параметров рассматриваемой группы веществ. Часть величин не связана непосредственно с рекомендуемой системой уравнений и является продуктом критического анализа обсуждаемых в следующих разделах книги литературных данных. В первую очередь это относится к параметрам тройной и критической точек.

Литературные данные о дипольных моментах фторхлорзамещенных углеводородов значительно отличаются [0.19]. Поэтому выбранные нами значения μ_D фреонов-11, 12 и 13 являются ориентировочными. Параметры ΔH°_{so} и Θ_D кристалла оценены только для R10 и R14 [0.50].

Термодинамические свойства конденсированной фазы фреонов R10 и R14 при температурах ниже тройной точки изучали в нескольких физических лабораториях. Термодинамические результаты этих исследований обсуждаются в разделах 1.1 и 5.1.

За последние годы получены p, v, T — данные для нескольких фреонов метанового ряда при сверхвысоких давлениях: для R10, R11, R12, R22 и других в жидкой фазе при давлении до 160—340 МПа [1.42, 1.70, 2.67, 3.56] и для R13 в газовой фазе при давлении 200—800 МПа [0.34, 4.22]. В обзорных разделах справочника к этим работам также даны краткие комментарии. Здесь отметим, что и для плотной жидкости и для плотного газа авторы экспериментальных работ [3.56 и 4.22] использовали уравнение Тэйта

$$v_p/v_0 = 1 - C \ln [(B + p)/(B + p_0)], \qquad (0.27)$$

где v_0 — удельный объем при давлении p_0 (на той же изотерме): B и C — таблично-заданные и по-разному зависящие от температуры коэффициенты.

Давно замечено, что простые модельные уравнения состояния хорошо описывают как газовую, так и жидкую фазу вещества либо при невысоких давлениях, либо при очень высоких. Результаты для фреонов подтверждают это правило: пример для высоких давлений — уравнение Тэйта [3.56, 4.22], а для невысоких давлений — уравнение Редлиха — Квонга [0.3, 0.47]. Понятно, что пригодное для точных расчетов в широкой области состояний ЕУС будет, очевидно, многоконстантным, причем констант будет больше в уравнении простой структуры. Для уменьшения числа «работающих» констант можно или внедрять в состав ЕУС модельные уравнения (например, уравнение Карнахана — Старлинга для твердосферного флюида), или строить систему отдельных для жидкости и газа уравнений, согласо-

Таблица 3

Характерные параметры для фрсонов метанового ряда

Параметр	фреон-10 (CCL_4)	фреон-11 ($CFCL_3$)	фреон-12 (CF_2CL_2)	фреон-13 (CF_3CL)	фреон-14 (CF_4)
Температура в критической точке $T_{кр}$, К	556,36±0,2	471,15±0,10	385,15±0,2	301,90±0,10	227,50±0,10
Давление в критической точке $p_{кр}$, МПа	4,193±0,05	4,370±0,05	4,119±0,02	3,868±0,010	3,745±0,010
Плотность в критической точке $\varrho_{кр}$, кг/м³	554,0±2,5	570,2±0,5	579,1±0,5	598,9±0,5	629,7±1,0
Температура в нормальной точке кипения $T_{н.т.к.}$, К	350,62±05	296,80±0,05	243,41±0,02	191,65±0,05	145,12±0,05
Температура в тройной точке T_0, К	250,25±0,1	162,1±0,2	117,2±0,05	92±2	89,53±0,02
Теплота сублимации кристалла при 0 К $\Delta h^0_{s_0}$, кДж/кг	272,8	—	—	—	197,5
Дипольный момент μ_D, Д	0	0,45	0,55	0,45±0,5	0
Молекулярная масса, M, кг/кмоль	153,823	137,368	120,914	104,459	88,005
Газовая постоянная R, кДж/(кг·К)	0,0540518	0,0605265	0,0687630	0,0795949	0,0944765

ванных на определенной линии перехода в однофазной области и на кривой насыщения.

В качестве линии перехода в однофазной области А. В. Клецкий [0.16] принял критическую изохору и предложил составное ЕУС, которое названо им системой взаимосогласованных уравнений состояния. Для зоны докритических плотностей ($\varrho<\varrho_{кр}$) уравнение имеет вид

$$p=\sum_{j=0}^{s_0}\left[a_{0j}+T\sum_{i=1}^{m}a_{ij}\left(1-\frac{1}{\tau}\right)^i\right](1-\omega)^j. \qquad (0.28)$$

Для зоны сверхкритических плотностей ($\varrho>\varrho_{кр}$), которая условно названа зоной жидкости, уравнение состояния записывается в форме

$$\left.\begin{aligned} p&=p_s+T\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=0}^{s_i}a_{ij}\left(1-\frac{T_s}{T}\right)^i(1-\omega)^j;\\ T_s&=T_{кр}+\sum_{i=3}^{n}A_i(1-\omega)^i, \end{aligned}\right\} \qquad (0.29)$$

По указанной методике были получены уравнения состояния для фреонов-22, 115, 218, С318, а также R290 и R717.

До сих пор речь шла об аналитических уравнениях состояния, которые, как известно, применимы только в регулярной области термодинамических состояний. В окрестности критической точки необходимо применять уравнения неаналитического типа, которые учитывают сингулярность термодинамических функций и кинетических коэффициентов. Расчетные соотношения используемой для описания критических аномалий масштабной теории (равновесной и динамической) приведены и подробно обсуждаются в [0.4].

Аналитические методы составления таблиц вязкости и теплопроводности жидких и газообразных фреонов получили развитие лишь в последние годы. До середины 60-х годов составители таблиц располагали фактически лишь экспериментальной информацией о температурных зависимостях вязкости и теплопроводности некоторых газообразных фреонов при атмосферном давлении ($\eta_т$, $\lambda_т$) и жидких фреонов при давлении насыщения ($\eta_ж$, $\lambda_ж$). Но за последние годы в нескольких лабораториях, главным образом в СССР, выполнены крупномасштабные экспериментальные исследования зависимости вязкости и теплопроводности многих фреонов в газовой и жидкой фазах от давления в широком интервале температур при давлении до 50—60 МПа. Кроме того, стали широко применять машинные методы обработки экспериментальных данных о переносных свойствах веществ. Все это создало новые условия для разработки справочных данных и они, конечно, должны быть и пол-

нее, и точнее существовавших ранее [0.6, 0.7, 0.30, 0.38—0.40, 0.54, 0.58, 2.1].

Для описания температурных зависимостей вязкости и теплопроводности индивидуальных фреонов при атмосферном давлении нередко применяют уравнения

$$\eta_T = \sum_{j=0}^{1} a_{\eta,\,j}\tau^{j/2}; \tag{0.30}$$

$$\lambda_T = a_{\lambda,\,0} + a_{\lambda,\,1}T, \tag{0.31}$$

где λ выражено в Вт/(м·К), T — в К.

Обобщенные уравнения (для групп фреонов) предложены в [0.9, 1.18, 1.25, 4.15, 4.28, 5.11, 5.32]. Некоторые из них приведены в [0.2].

И. И. Перельштейн, Е. Б. Парушин [0.14, 1.25] установили, что температурные зависимости η и λ при атмосферном давлении и на кривой насыщения (для пара и жидкости) хорошо передаются соответственно уравнениями:

$$\ln J_T = \ln J_T^{\text{кр}} + D_\eta \Theta(\tau); \tag{0.32а}$$

$$\ln J^s = \ln J_{\text{кр}} + p_J{}^s \Theta(\tau) + q_J{}^s [\Theta(\tau)]^{1/3}, \tag{0.32б}$$

где J обозначает η или λ,

$$\Theta(\tau) = \ln\tau + \frac{1}{2}\left(\frac{\tau-1}{\tau}\right)^2\left(\frac{\tau-1}{\tau} - \ln\tau\right)\cdot\left[1 - \frac{1}{10}\left(\frac{\tau-1}{\tau}\right)^4\right].$$

Как показано в последующих разделах, уравнения (0.32а) и (0.32б) при значениях входящих в них параметров, приведенных в табл. 2, описывают опытные данные о вязкости и теплопроводности фреонов R10, R11, R12, R13 и R14 при атмосферном давлении и на линии насыщения практически с точностью эксперимента. В работах [0.22, 0.23, 1.25] изложены способы оценки значений параметров уравнений (0.32а) и (0.32б) при ограниченной экспериментальной информации или при ее полном отсутствии, что позволяет использовать указанные уравнения для прогнозирования свойств фреонов.

Хорошо известно, что в некоторой области состояния сжатых и сжиженных газов зависимость избыточной вязкости $\Delta\eta = (\eta_{p,T} - \eta_T)$ и избыточной теплопроводности $\Delta\lambda = (\lambda_{p,T} - \lambda_T)$ может быть описана простыми функциями от плотности. Поэтому при обработке экспериментальных данных и для расчета таблиц часто используют уравнения

$$\eta = \eta_T + \sum_{i=1}^{m_1} b_{\eta,\,i}\cdot\omega^i; \tag{0.33}$$

$$\lambda = \lambda_T + \sum_{i=1}^{m_2} b_{\lambda,\,i}\cdot\omega^i, \tag{0.34}$$

где $m_1=4$—8, $m_2=4$. Коэффициенты уравнений (0.33) и (0.34) для фреонов-11, 12, 13 и 14 определяли неоднократно в разных интервалах плотностей и по разным опытным данным [0.9, 1.15, 1.18, 2.24, 3.3, 5.11, 5.31].

А. В. Кронберг, В. З. Геллер [0.12, 1.18] на основании обработки опытных данных для фреонов-10, 11, 12, 13 и 14 в области значений приведенной плотности $\omega \leqslant 1{,}9$—$2{,}0$ определили коэффициенты обобщенного уравнения

$$\eta = \eta_T + \eta_{0,7} \sum_{i=1}^{9} b_{\eta,\,i}\,\omega^i, \qquad (0.35)$$

где $\eta_{0,7}$ — вязкость при $T=0{,}7\cdot T_{кр}$ и $p=0{,}7\cdot p_{кр}$. Числовые значения коэффициентов $b_{\eta,\,i}$ приведены в табл. 4, а принятые значения $\eta_{0,7}$ — в соответствующих разделах справочника.

Таблица 4

Коэффициенты обобщенных уравнений (0.35) и (0.36)

i	$b_{\eta,\,i}\cdot 10^4$	$\alpha_{\eta,i}\cdot 10^4$	$\beta_{\eta,\,i}\cdot 10^4$
0	—	2723,42	3,44117
1	200,223	8477,06	441,516
2	421,012	—9540,17	—2093,46
3	280,868	16086,7	5538,45
4	—293,491	—23553,8	—8368,65
5	152,639	18661,3	7974,34
6	—259,512	6963,18	—4817,59
7	220,875	550,568	1768,85
8	—47,8501	295,573	—356,978
9	—1,42002	—56,5731	30,2044

По опытным данным о вязкости жидких фреонов при плотности $\omega \geqslant 1{,}9$—$2{,}0$ авторы рассматриваемой работы построили обобщенное уравнение вида

$$\tau = \sum_{i=0}^{9} \alpha_{\eta,\,i}\,(\eta^*)^{-i} + \pi \sum_{i=0}^{9} \beta_{\eta,\,i}\,(\eta^*)^{-i}, \qquad (0.36)$$

где $\eta^*=\eta/\eta_{0,7}$. Общие для фреонов-10, 11, 12, 13, 14 коэффициенты уравнения (0.36) приведены в табл. 4. Граница раздела зон действия уравнений (0.35) и (0.36) сложная: изотерма $\tau=0{,}8$ в однофазной области (жидкая фаза) и линия кипящей жидкости при $\tau<0{,}8$.

Следует заметить, что по уравнению (0.36) изолинии вязкости жидкости в p, T-переменных — прямые линии. В действительности, по мере приближения к критической точке изолинии вязкости в p, T-диаграмме начинают заметно искривляться, а в области перегретого пара даже имеют максимум. В связи с

этим в более общем случае уравнение $T=f(\eta, p)$ должно быть более сложным, а именно:

$$\tau = \sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} a_{\eta,\, ij} \cdot \bar{p}^i/\eta^i, \qquad (0.37)$$

где параметр $\bar{p}$ — либо p, либо $(p-p_s)$ [0.35].

Таким образом, уравнения $F(\eta, p, T)=0$, связывающие непосредственно измеряемые в опыте величины, будут, по необходимости, многоконстантными, если речь идет о широкой области однофазных состояний жидкость — газ. В этой ситуации предпочтительнее уравнения вида

$$\eta = \eta_{|T} \exp\left[\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=0}^{n} a_{\eta\, ij} \omega^i/\tau^j\right]. \qquad (0.38)$$

Эти уравнения являются весьма компактными, применимы во всей области однофазного состояния, воспроизводят расслоение изотерм избыточной вязкости при умеренных значениях плотности, где $(\partial\Delta\eta/\partial T)_\rho>0$, а также при высоких значениях плотности, где $(\partial\Delta\eta/\partial T)_\rho<0$, и при надлежащих условиях допускают уверенную экстраполяцию за пределы $\omega>2{,}5$—$3{,}0$ [0.2; 4.2; 5.31].

Для расчета таблиц вязкости фреонов при повышенных давлениях в настоящей работе применены уравнения (0.35) и (0.36).

Согласно динамической масштабной теории уравнение теплопроводности плотного флюида имеет вид

$$\lambda = \lambda_0(T) + \Delta\lambda_{\text{рег}}(\rho, T) + \Delta\lambda_{sc}(\rho, T), \qquad (0.39)$$

где $\lambda_0=\lambda_T$, $\Delta\lambda_{\text{рег}}$ — регулярная часть избыточной теплопроводности, не зависящая от близости к критической точке, а $\Delta\lambda_{sc}$ — особая часть избыточной теплопроводности, существенная лишь в окрестности критической точки, причем

$$\Delta\lambda_{sc} = c_1\Delta\lambda_c F(\Delta T^*, \Delta p^*) \sim [T\rho(c_p - c_v)/\eta] \times F(\Delta T^*, \Delta\rho^*). \qquad (0.40)$$

Здесь $\Delta T^*=|\tau-1|$; $\Delta\varrho^*=|\omega-1|$; $F(\Delta T^*, \Delta\varrho^*)$ — некоторая положительная функция аргументов, характеризующих удаление от критической точки. Таким образом, в окрестности критической точки возникает (в полном соответствии с результатами специальных измерений) сильное увеличение $\Delta\lambda$ — так называемая критическая аномалия теплопроводности. По оценке Зенгерса, область критической аномалии теплопроводности достаточно широка и охватывает интервал $\Delta T^*=0{,}2$ при $\varrho=\varrho_{\text{кр}}$ и интервал $\Delta\varrho^*=0{,}7$ при $T=T_{\text{кр}}$.

Экспериментально обоснованные системы уравнений (0.39) построены для нескольких веществ (H_2O, CO_2, CH_4, Ar, R115). Для регулярной и скэйлинговой составляющих λ фреона-115 в работе А. К. Войтенко [3.3] приняты следующие зависимости:

$$\Delta\lambda_{\text{per}} = \sum_{i=1}^{4} b_i \omega^i; \qquad (0.41\text{а})$$

$$\Delta\lambda_{\text{sc}} = A\,(\Delta T^*)^{-\varepsilon\tau} \cdot \exp\left[-\left(\frac{\omega-\omega^*}{\omega^*}\right)^2 / B\,(\tau)\right], \qquad (0.41\text{б})$$

где $\omega^* = 1 - \Sigma c_j\,(\tau-1)^j$; $B\,(\tau) = \Sigma a_j \tau^j$.

В таблицах теплопроводности R12, составленных Ватсоном [3.80], также учтена критическая аномалия теплопроводности, но оценена по приближенной формуле, вытекающей из (0.40), поэтому эта оценка для фреона-12 является априорной.

Обращает на себя внимание тот факт, что в [3.3] и [3.80], как впрочем и во многих других аналогичных работах, для $\Delta\lambda_{\text{per}}$ принимают однопараметрическую зависимость (0.41а). Между тем давно известно, что расслоение изотерм избыточной теплопроводности в $\Delta\lambda$, ϱ — координатах наблюдается не только в критической области, где $(\partial\Delta\lambda/\partial T)_\rho < 0$, но и при высоких значениях плотности в жидкой фазе, где $(\partial\Delta\lambda/\partial T)_\rho > 0$. Поэтому при описании теплопроводности в широкой области состояний предпочтительнее двухпараметрические зависимости, например,

$$\lambda = \lambda_T \left[1 + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=0}^{n} a_{\lambda,\,ij}\,\omega^i/\tau^j\right], \qquad (0.42)$$

$$\lambda = \lambda_T \exp\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=0}^{n} a_{\lambda,\,ij}\,\omega^i/\tau^j\right]. \qquad (0.43)$$

В [0.32] для расчета таблиц теплопроводности фреонов-12, 13, 14 и 22 применено уравнение

$$\lambda = \lambda_T + A_{\exp}(nt)\,[\exp(c_1\omega) - \exp(-c_2\omega^2)]. \qquad (0.44)$$

В настоящей работе для расчета таблиц теплопроводности использована система уравнений, разработанная В. З. Геллером и Г. В. Запорожаном [0.12, 1.15] по опытным данным о теплопроводности R10, R11, R12, R13 и R14. Расчет λ в области приведенной плотности $\omega \leqslant 1{,}9$—$2{,}0$ выполнен по уравнениям (0.31) и (0.34), а в жидкой фазе — по уравнениям

$$\lambda/\lambda' = \sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{6} a_{\lambda,\,ij}\,\tau^i\,(\pi/10)^j; \qquad (0.45)$$

$$\lambda' = \lambda_{\text{кр}} + \sum_{j=1}^{6} c_{\lambda,\,j}\,[(T_{\text{кр}} - T/100]^{j/3}, \qquad (0.46)$$

где $\lambda_{\text{кр}}$ — значение теплопроводности, вычисленное по уравнению (0.34) при $\omega = \tau = 1$. При получении системы уравнений и при расчете таблиц λ в однофазной области границей раздела служила изотерма $\tau = 0{,}95$. В области максимумов ($\tau = 0{,}98$—$1{,}15$; $\omega = 0{,}35$—$1{,}6$) теплопроводность фреонов не табулировали.

Общие для фреонов-10, 11, 12, 13 и 14 коэффициенты уравнения (0.45) приведены в табл. 5, а индивидуальные коэффициенты уравнений (0.31), (0.34) и (0.46) — в соответствующих разделах справочника.

Таблица 5

Коэффициенты обобщенного уравнения (0.45)

j	Значения $\alpha_{\lambda, ij}$ при i			
	0	1	2	3
0	1,097758	—0,614937	1,237489	—0,802616
1	—0,837880	6,034588	—12,851996	9,251054
2	—0,682260	—7,096778	18,959750	—14,550099
3	0,989813	0,615793	—12,491305	13,267729
4	—1,691705	3,289014	5,300873	—8,746192
5	0,837810	—1,664899	—2,376362	3,977220
6	—0,138739	0,210183	0,604504	—0,804099

В состав справочных данных о переносных свойствах мы включили также данные о самодиффузии D_{ii}, так как в настоящее время имеется достаточно внушительный массив экспериментальных данных о D_{ii} фреонов метанового ряда [1.48, 1.78, 1.85, 1.104, 2.67, 3.23, 4.41, 5.6, 5.82]. Конкретные результаты для фреонов-10, 11, 12, 13 и 14 обсуждаются в соответствующих разделах справочника, а здесь уместно отметить следующее.

Коэффициент самодиффузии i-го вещества — предельное значение коэффициента взаимной диффузии D_{ij} отличающихся частиц (i, j), который, в свою очередь, является важной характеристикой массообменных процессов в смесях веществ. Именно в силу «предельности» искомой величины для определения $D_{i,i}$ приходится применять специфические методы исследования (изотопные, ядерного магнитного резонанса и др.), а сами исследования обычно носят академический характер. Вместе с тем продолжаются поиски приемлемых для практических расчетов соотношений связи между $D_{i,j}$ и D_{ii} и корреляций $D_{ii}(\varrho, T)$, позволяющих предвычислять коэффициенты самодиффузии и взаимной диффузии в широкой области состояний [5.17, 5.65 и др.]. Так, в [0.36, 5.17] на основании численного анализа опытных данных о D_{ii} и взаимной диффузии в бинарных системах $D_{1,2}$ разработано следующее соотношение связи для газовой фазы:

$$D_{1,2} = \left\{(D_{1,1}D_{2,2}) \cdot \frac{M_1 + M_2}{2\sqrt{M_1 \cdot M_2}} \cdot \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_{1,2}^2} \cdot \frac{\chi_1 \cdot \chi_2}{\chi_{1,2}^2}\right\}^{1/2}, \qquad (0.47)$$

где ϱ — мольная плотность компонентов и смеси; χ — радиальная функция распределения, вычисленная по уравнению состоя-

ния Карнахана — Старлинга для твердых непроницаемых сфер, а именно:

$$\chi = (1 - 0{,}5y)/(1 - y)^3. \qquad (0.48)$$

Здесь $y = (b \cdot \rho)/4 = \frac{1}{6}(\pi N_A d^3_{т.с}\rho)$ — безразмерная удельная плотность, $d_{т.с}$ — эффективный диаметр твердых сфер.

Используя уравнения (0.47) и (0.48) и собственные измерения $D_{1,2}$ в системах R12—N_2, R13—N_2, R14—N_2 и R22—N_2 [0.11], авторы работ [0.36, 5.17] рассчитывали таблицы $D_{1,1}$ для фреонов-12, 13, 14 и 22 в интервале температур 310—430 К при давлении до 15 МПа. По авторской оценке, погрешность расчета равна 10 %. Для описания опытных данных о самодиффузии R13 и R14 в газовой фазе [4.41, 5.64 и др.] применяли уравнения вида

$$(\rho D)/(\rho D)_0 = 1 + \sum_{i=1}^{m} d_i \omega^i; \qquad (0.49)$$

$$(\rho D) - (\rho D)_0 = T^n \sum_{i=1}^{m} d_i \omega^i, \qquad (0.50)$$

где $(\rho D)_0 = cT^{1/2}/[\sigma^2 \Omega^{(1,1^*)}(T^*)]$ — известное выражение теории Чемпена — Энскога для разреженного газа; $T^* = kT/\varepsilon$; σ и ε/k — параметры потенциальной функции межмолекулярного взаимодействия. По данным [4.41, 5.64] при $\omega < 2$ уравнения практически равноценны, причем $m = 3$, а $n = 1/2$ или 0. Температурную зависимость самодиффузии жидкостей при низком давлении обычно аппроксимируют уравнениями типа

$$\ln D = A - B/T, \qquad (0.51)$$

но в работе [3.23] рекомендуется более сложное уравнение, полученное в результате обработки опытных данных для жидких фреонов (вблизи линии насыщения)

$$\ln D^* = a_0 + a_1/\tau + (a_2/\tau^2 + a_3/\tau^3)\,\delta, \qquad (0.52)$$

где $D^* = D/D_{\tau=0,7}$; $a_0 = 2{,}9115$; $a_1 = -2{,}0597$; $a_2 = 4{,}2355$; $a_3 = -3{,}5554$; $\delta = 1$ (при $1/\tau < 1{,}2$) и $\delta = 0$ (при $1/\tau > 1{,}2$).

К числу важных физических констант относится поверхностное натяжение σ на границе жидкость — пар. Для фреонов метанового ряда температурная зависимость σ изучена в разной степени: для R11, R12 и R13 выполнены многократные измерения и охвачен весь интервал от тройной точки до критической [0.55, 2.12, 2.26, 2.46, 2.64, 3.10, 3.12, 4.12, 4.40, 4.50], а для R10 и R14 — единичные измерения [1.35, 1.72, 5.21]. При обработке опытных данных обычно используют уравнения вида

$$\sigma = \sigma_0 (1 - \tau)^{\mu} = \sigma_0 \varepsilon^{\mu}; \qquad (0.53)$$

$$a^2 = \frac{2\sigma}{g(\rho' - \rho'')} = \alpha \varepsilon^n. \qquad (0.54)$$

По экспериментальным данным о капиллярной постоянной фреонов-11, 12 и 13 [0.55, 2.26, 4.12] $n=0{,}93$—$0{,}95$; в то время как в работах [1.11, 3.12] в качестве среднего значения для галоидопроизводных углеводородов n принято равным $1{,}00\pm0{,}04$. Приведенные в [2.12, 2.46, 2.64, 3.10, 4.40] «экспериментальные» значения σ, в действительности, «отягощены» влиянием дополнительной погрешности литературных данных об ортобарических плотностях жидкости и пара. Кроме того, различными являются чистота образцов и исследованные интервалы температур. Поэтому неудивительно, что расхождения показателя μ большие. Так, по данным [2.64] для фреонов метанового ряда $\mu=1{,}21$—$1{,}32$, в то время как в работе [0.55] $\mu=1{,}27$—$1{,}29$.

В [0.23, 2.46, 3.10] для фреонов-10, 11, 12, 13 и 14 сообщаются коэффициенты уравнения

$$\sigma = a_\sigma - b_\sigma \cdot t, \qquad (0.55)$$

но оно применимо при $\tau<0{,}85$ [0.23].

По указанным выше причинам приводим обобщенную зависимость, предложенную В. П. Скриповым и Г. Н. Муратовым [0.25]:

$$\sigma^* = \sigma \cdot B = \sum_{m=1}^{5} \beta_m (1-\tau)^m \left(\sum_{n=0}^{3} \alpha_n A^n \cdot 10^{-8} \right), \qquad (0.56)$$

где $B=(RT)^{-1/3}\cdot p_{кр}^{-2/3}$, моль$^{1/3}$/(Па·м);

$A=100\,(\pi_s)_{\tau=0{,}625}$; $\beta_1=1{,}1239$; $\beta_2=9{,}1160$;
$\beta_3=-29{,}0038$; $\beta_4=51{,}1109$; $\beta_5=-35{,}1050$;
$\alpha_0=7{,}56938$; $\alpha_1=-2{,}57629$; $\alpha_2=0{,}711868$;
$\alpha_3=-0{,}07567$.

Как видно, применяемые обобщенные уравнения относятся преимущественно к температурным зависимостям отдельных теплофизических свойств (p_s, ϱ', σ, η, λ, D_{11}) и к переносным свойствам при повышенных давлениях. Расхождения опытных данных о переносных свойствах могут быть большими [0.8, 0.9, 0.13, 0.33, 0.58] и при разработке таблиц η, λ фреонов-10, 11, 12, 13, 14 предпочтение было отдано обобщенным уравнениям. Таблицы термодинамических свойств, как и ранее в [0.18, 0.20, 0.44, 2.41, 3.20, 4.19 и др.], рассчитаны по экспериментально обоснованным индивидуальным уравнениям, а обобщенные зависимости использованы, в основном, при анализе опытных данных.

В заключение отметим, что за последние годы опубликован ряд работ, в которых справочные данные о теплофизических свойствах фреонов метанового ряда представлены только в форме таблиц [0.5; 0.8; 0.29; 0.37; 0.39; 0.58 и др.] или уравнений [0.10; 0.22; 0.23; 0.48; 0.49 и др.]. Оценка опубликованных справочных данных (уравнений и таблиц) сделана в [0.2] и следующих разделах настоящего издания. Там же приведены числовые значения коэффициентов для значительной части рассмотренных выше уравнений и результаты аттестации рекомендуемой системы уравнений.

ГЛАВА 1

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-10

1.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Фреон-10 относится к числу высококипящих веществ. Его термодинамические свойства изучали многие исследователи, но преимущественно в жидкой фазе и на линиях равновесия жидкость — газ (табл. 6 и 7).

Таблица 6

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-10 в однофазной области

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1929	Эйкен, Мейер	B_1	328—373	0,1	г	9	[1.57]
1931	Бриджмен	β_T	323	до 140	ж	—	[1.42]
1938	Бикар	w	291	26,5—57	ж	4	[1.4]
1941	Гибсон Леффлер	ϱ	288—348	0,1—100	ж	Уравнение	[1.58]
1941	Эйкен, Сарстед	c_p	461—471	0,1	г	2	[1.55]
1941	Питцер	c_p	380;426	0,1	г	4	[1.88]
1949	Айхара	c_v	279	0,1	г	1	[0.28]
1949	Ламберт и др.	B_1	318—351	0,1	г	10	[1.75]
1955	Франсис, Макглашан	B_1	316—343	0,1	г	5	[1.57]
1956	Мифсуд, Нолле	w	298—343	до 136	ж	График	[1.4]
1957	Ричардсон, Тейт	w	288—313	до 680	ж	18	[1.87]
1957	Харрисон, Мельвин-Хьюз	c_p	254—303	0,1	ж	6	[1.61]
1959	Диас Пена, Макглашан	β_T	283—328	до 3	ж	4	[1.53]
1962	Холдер, Валлей	β_T	298—348	0,5—10	ж	Уравнение	[1.67]
1964	Перес Масиа и др.	B_1	354—419	0,1	г	4	[1.84]
1965	Шамп, Хастингс, Уэйсман	ϱ	298	20—90	ж	Уравнение	[1.91]

Продолжение табл. 6

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1965	Шрайбер, Печенюк	ϱ	293—343	0,1	ж	6	[1.34]
1966	Маркузин, Соколова	B_1	293—313	н. д.	г	4	[1.20]
1967	Денней, Смит	ϱ	343—361	0,06—0,13	ж	Уравнение	[1.51]
1968	Макита, Такаси	w	298—333	0,1—100	ж	33	[1.42]
1969	Мопсик	ϱ	273—323	0,1—198	ж	25	[1.81]
1970	Шойтов, Каримов, Мелихов	w	303—333	0,1—50	ж	36	[1.33]
1970	Хавлей, Аллегра, Холтон	w	303—348	0,1—290	ж	16	[1.62]
1975	Буркат, Ричард	β_T, ϱ	293—298	0,1—10	ж	Уравнение	[1.46]
1975	Карцев, Иванов, Теплов	β_T	293—333	0,1—0,4	ж	10	[1.17]
1976	Бенсон, Винник	β_T	273—413	до 338	ж	Уравнение	[1.42]
1978	Аниськин и др.	w	253—313	0,1	ж	4	[1.2]
1978	Ханкс, Гупта	ϱ	273—363	3—22	ж	24	[1.60]
1979	Ёшке, Юзефиак	ϱ	293;333	10—200	ж	Уравнение	[1.70]
1979	Бобик, Нипман, Мариус	w	265—435	p_s — 62	ж	136	[1.43]
1979	Сысоев, Отпущенников	w	293—453	0,1—500	ж	166	[1.28]

Таблица 7

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-10 на линиях равновесия жидкость — пар

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1910	Юнг	ϱ	343—353	ж, г	22	[0.50]
1929	Фрейер, Хуббард, Эндрюс	w	273—324	ж	6	[1.43]
1932	Урихт	ϱ	—	ж, г	—	[0.50]
1944	Хикс, Холей, Стефенсон	c_p	254—298	ж, г	13	[1.63]
1949	Лагеман, Макмиллан, Вулф	w	273—335	ж ж	7 4	[1.74]
1956	Барбер, Кэди	ϱ p_s	299—350 293—351	ж—г ж—г	4 7	[1.39] [1.64]
1959	Хилдебранд, Макдональд	r	298	ж—г	3	[1.64]

Продолжение табл. 7

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1961	Сакман, Бочек	w	263—303	ж	5	[1.106]
1967	Шелудяков и др.	w	343—535	г	21	[1.31]
1969	Кэмпбелл, Четтерье	p_s	374—555	ж—г	40	[1.47]
		ϱ	364—555	ж, г	81	[1.47]
1970	Шойтов, Каримов, Мелихов	w	303—323	ж	3	[1.33]
1972	Беккер, Келер	w	293—314	ж	3	[1.41]
1974	Вильгельм, Цеттлер, Сакман	c_p	273—323	ж	6	[1.106]
1975	Тимофеев, Отпущенников	w	293—443	ж	16	[1.29]
1977	Точилкин, Юнг	p_s	479—556	ж—г	19	[1.99]
1979	Агарвал Д., Гопал, Агарвал С.	σ	303—323	ж—г	3	[1.35]
1979	Бобик, Нипман, Мариус	w	265—419	ж	14	[1.43]
1979	Хепфнер и др.	ϱ	250—293	ж	6	[1.68]
1981	Керози, Ковач	ϱ	293—343	ж	2	[1.72]

Обзорные таблицы охватывают период около 50 лет, но в действительности экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-10 начаты еще в 80-х годах прошлого столетия, когда Реньо (1882 г.) и Юнг (1891 г.) определили температурную зависимость давления насыщенного пара в интервале от тройной точки (или точки затвердевания) до критической. В дальнейшем p_s, T_s-измерения выполняли неоднократно, и полный список работ, опубликованных до 1929 г., можно составить по данным [0.50, 1.59, 1.94]. В справочнике [0.50] приведены также таблицы значений ортобарических плотностей пара и жидкости (ϱ' и ϱ'') по данным труднодоступных в настоящее время работ Юнга (1910 г.) и Урихта (1932 г.). И, наконец, опытные данные старых работ по p_s, ϱ_s, σ, $c_p^{ж}$ обобщены в справочнике Тиммерманса «Физико-химические константы чистых органических соединений» (1950 г.), материалы которого, в свою очередь, использованы в известных справочниках Н. Б. Варгафтика [0.6, 0.7]. По этим причинам в список экспериментальных исследований (см. табл. 6 и 7) не включены работы, опубликованные до 1929 г., и не даются прямые ссылки на первоисточники в тех случаях, когда результаты измерений малозначительны или их можно найти в легкодоступных обзорных работах. Последнее соображение имели в виду и при цитировании более поздних экспериментальных работ. Тем не менее список экспериментальных исследований и библиография оказались очень внушительными.

Опытные данные в однофазной области. Из табл. 6 и рис. 1 видно, что при повышенных давлениях измерения выполнены только в жидкой фазе, причем плотность ϱ (или изотермическую сжимаемость β_T) и скорость распространения звука w определяли многократно в весьма широком интервале давления, но при температуре не выше 453 К.

В большинстве работ, посвященных изучению термических

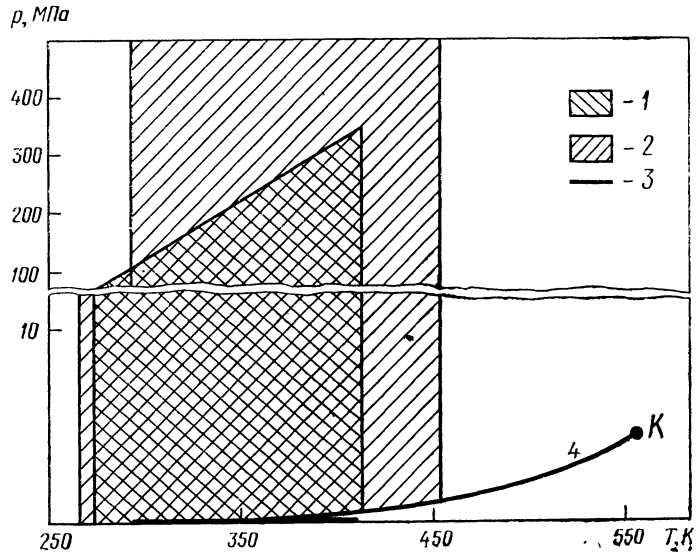


Рис. 1. Области экспериментального исследования термодинамических свойств фреона-10:

1 — плотность (изотермическая сжимаемость); *2* — скорость звука (адиабатная сжимаемость); *3* — второй вириальный коэффициент; *4* — кривая насыщения

свойств жидкого фреона-10, результаты измерений представлены в форме уравнений. Численные данные о плотности при $p > p_s$ сообщаются в работах [1.60, 1.81] и охватывают относительно узкий интервал температур (273—363 К). В [1.51, 1.52] ϱ и η определяли в метастабильной области состояний, там же упомянуты предыдущие исследования аналогичной направленности. Что касается экспериментальных данных о β_T и β_s, то наиболее обстоятельный сравнительный анализ сделан в статье Бенсона и Винника [1.42], опубликованной в 1976 г.

В газовой фазе плотность (или коэффициент сжимаемости) фреона-10 измеряли при давлениях ниже атмосферного. Опытные данные сообщаются в форме экспериментальных значений второго вириального коэффициента B_1. Согласие имеющихся опытных данных о B_1 (рис. 2) кажется не очень хорошим. Однако, если учесть обнаруженный в работе [1.75] факт энергичного взаимодействия фреона-10 с ртутью манометра при температуре выше 353 К и исключить из рассмотрения высокотем-

пературные данные Эйкена (1929 г.), то положение заметно улучшится. На рис. 2 показаны также результаты наших расчетов по двум обобщенным уравнениям, предложенным ранее в работах [1.24; 4.15] и [4.59].

Штрауб и Вайбель [4.59] рекомендуют уравнения вида

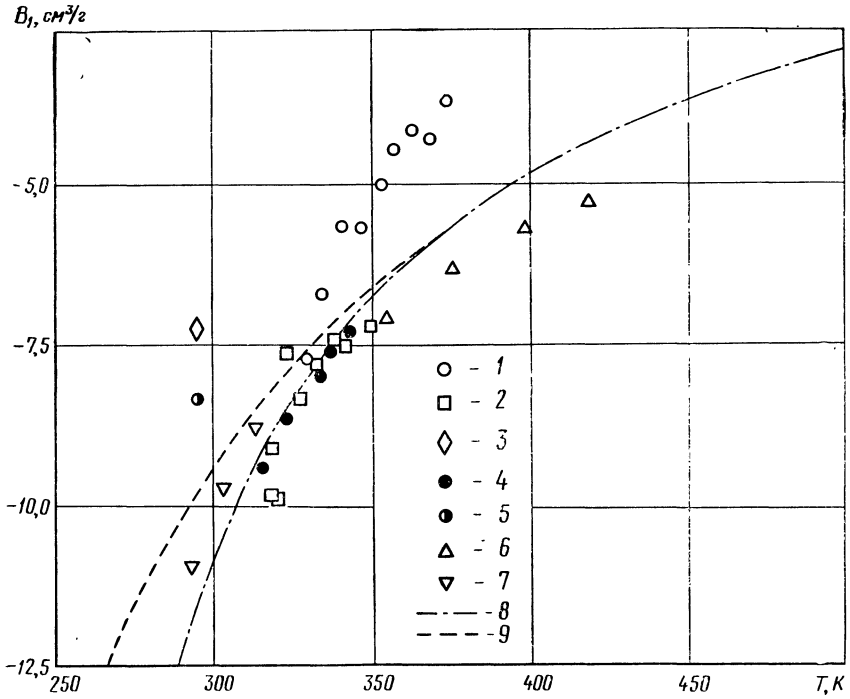


Рис. 2. Второй вириальный коэффициент фреона-10:
опытные данные: *1* — Эйкена, Мейера [1.57]; *2* — Ламберта и др. [1.75]; *3* — Касадо с соавторами [1.57]; *4* — Франсиса, Макглашана [1.57]; *5* — Боттомли, Ремингтона [0.28]; *6* — Переса Масиа и др. [1.84]; *7* — Маркузина, Соколовой [1.20]; расчетные данные: *8* — по уравнению (1.2); *9* — по уравнению (1.1)

$$B_1 = [a\tau^{\alpha} + b\tau_{\text{Б}}^{\beta}(1 - 2/(\tau + 1/\tau))]\,1/\rho_{\text{кр}}, \qquad (1.1)$$

где $a = B_1^{\text{кр}}\rho_{\text{кр}} = -2{,}783 + 5{,}612\,z_{\text{кр}}$; $b = -a\tau_{\text{Б}}^{\alpha-\beta}(1 - 2/(\tau_{\text{Б}} + 1/\tau_{\text{Б}}))^{-1}$;

α и β — таблично-заданные величины, зависящие от $z_{\text{кр}}$.

И. И. Перельштейн и Е. Б. Парушин [1.24; 4.15] рекомендуют уравнение вида

$$B_1 = \exp[-\xi](1 - \xi)(1 + 0{,}1\xi) + 0{,}2\xi^2)\,B_1^{\text{кр}}, \qquad (1.2)$$

где $\xi = \Theta(\tau)/\Theta(\tau_{\text{Б}})$, а температурная функция Θ при текущей температуре τ и температуре Бойля $\tau_{\text{Б}} = T_{\text{Б}}/T_{\text{кр}}$ вычисляется по формуле

$$\Theta(\tau) = \ln\tau + 0{,}5\left(\frac{\tau - 1}{\tau}\right)^2\left(\frac{\tau - 1}{\tau} - \ln\tau\right)\left[1 - 0{,}1\left(\frac{\tau - 1}{\tau}\right)^4\right]. \qquad (1.3)$$

При необходимости числовые значения $B_1^{кр}$ и $\tau_Б$ могут быть оценены по формулам [1.1, 4.15]:

$$B_1^{кр} = -(0{,}728 + 0{,}088\,\mathrm{Ri})/(1{,}055\rho_{кр}); \qquad (1.4)$$

$$\tau_Б = 1{,}27\,(\mathrm{Ri} - 1)/(\mathrm{Ri} - 3{,}54). \qquad (1.5)$$

В наших расчетах для фреона-10 использованы формулы (1.4), (1.5) и константы, указанные в табл. 2.

На рис. 2 видно, что при температуре выше $T_{н.т.к}$ оба уравнения дают практически одинаковые значения B_1, но при низкой температуре зависимость $B_1(T)$ по уравнению (1.2) существенно круче. Эта тенденция прослеживается и на других

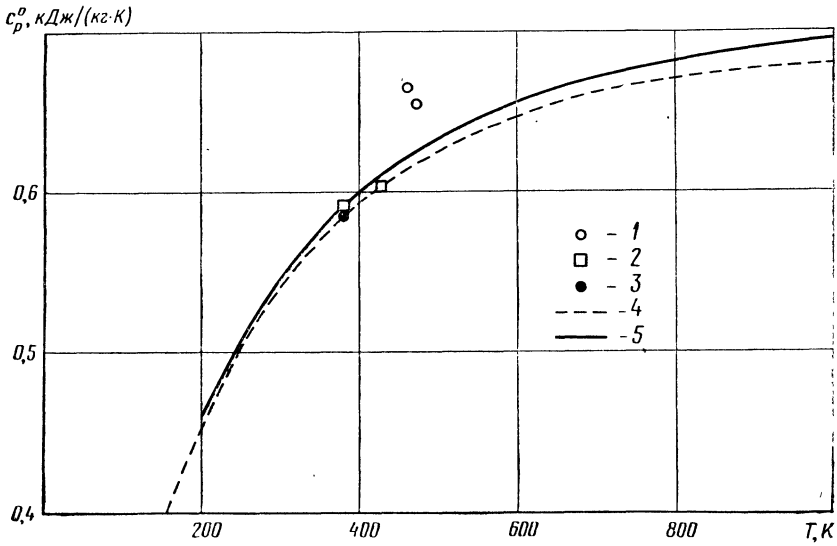


Рис. 3. Изобарная теплоемкость газообразного фреона-10 при низких давлениях:
опытные данные: *1* — Эйкена, Сарстеда [1.55]; *2* — Питцера [1.88]; *3* — Монтгомери, Девриза [1.88]; расчетные данные: *4* — [0.29]; *5* — [0.42]

фреонах, в особенности, если оценивать температуру Бойля по формуле (1.5).

Теплоемкость газообразного фреона-10 была измерена в 40-х годах (см. табл. 6), но в узком интервале температур. В некоторых случаях измерения оказались неточными (рис. 3). Поэтому при расчетах термодинамических свойств CCl_4 предпочтение следует отдать калорическим данным, полученным на основании обработки спектроскопических измерений. Термодинамические функции фреона-10 в идеально-газовом состоянии табулировали в нескольких работах [0.28; 0.29; 0.42; 0.45; 0.50; 1 88; 2.43]. В большинстве их расчет выполнен в приближении к модели жесткий ротатор — гармонический осциллятор, при-

чем структурные параметры и основные частоты колебаний отличаются мало. Но в работе Баро [0.42] учтена ангармоничность колебаний с помощью полуэмпирической формулы в предположении, что для всех фреонов метанового ряда константа ангармоничности $\varkappa_e = 0{,}0035$, т. е. равна найденной из обработки точных калориметрических данных [3.60] для фреона-12.

В табл. 8 сравнены значения теплоемкости c_p^0, энтальпии $(H_T^0 - H_0^0)$ и энтропии s_T^0, полученные разными авторами в интервале $T = 100$—1500 К. Расхождения сравниваемых величин относительно большие, причем c_p^0-данные Баро [0.42] систематически выше и отличаются от табличных данных [0.29] на 1—2%. Найденные нами по данным [0.42] в интервале 200—1000 К коэффициенты интерполяционного уравнения (0.23) при $\tau = T/100$ и $m = n = 2$ равны:

$$\alpha_0 = 0{,}168672769 \cdot 10^2; \quad \beta_1 = -0{,}223431472 \cdot 10^2;$$
$$\alpha_1 = -0{,}294005791 \cdot 10^0; \quad \beta_2 = 0{,}132770167 \cdot 10^2.$$
$$\alpha_2 = 0{,}104070664 \cdot 10^{-1};$$

В справочнике [0.29] для интервала 500—6000 К рекомендуется интерполяционное уравнение (0.26) с коэффициентами:

$$\varphi = 0{,}1067121 \cdot 10^3; \quad \varphi_1 = 0{,}53007 \cdot 10^1;$$
$$\varphi_{-2} = -0{,}141873 \cdot 10^{-1}; \quad \varphi_2 = -0{,}4672 \cdot 10^1;$$
$$\varphi_{-3} = 0{,}236916 \cdot 10^1; \quad \varphi_3 = 0{,}2025 \cdot 10^1.$$
$$\varphi_0 = 0{,}5627226 \cdot 10^3;$$

Калориметрические данные в жидкой фазе при $p > p_s$ отсутствуют, но зато имеется большой массив экспериментальных данных о скорости распространения звука в жидком фреоне-10 (см. табл. 6). Наиболее обстоятельные исследования выполнены в лаборатории ультраакустики Курского педагогического института [1.28, 1.29, 1.33] и в Институте термодинамики университета в г. Бохуме [1.43]. В упомянутых работах получено в общей сложности более 350 экспериментальных значений w в интервале $T = 265$—453 К, $p = p_s - 500$ МПа. Имеющиеся при $p > p_s$ опытные данные достаточно хорошо согласуются (рис. 4) и могут быть использованы для разработки термодинамических таблиц либо самостоятельно (при наличии точных c_p- и ρ-данных на какой-либо изобаре или кривой насыщения), либо в совокупности с опытными данными по другим термодинамическим свойствам. Но, к сожалению, теплоемкость жидкого фреона-10 измеряли только при температурах ниже $T_{\text{н.т.к}}$, а результаты p, ρ, T-измерений при повышенных давлениях опубликованы преимущественно в форме уравнений (см. табл. 6).

Опытные данные на линиях равновесия фаз. За прошедшие после работы Реньо сто лет опубликовано более пятидесяти работ, так или иначе посвященных экпериментальному изучению термодинамических свойств фреона-10 на линиях равновесия жидкость — пар. Измеряли p_s, ρ_s, w_s, теплоемкость (c_p или c_s'), теплоту парообразования r и поверхностное натяжение σ.

Таблица 8

Значения термодинамических функций фреона-10 в идеально газовом состоянии по данным разных авторов

T, К	c^0_p Дж/(моль·К)				$H^0_T - H^0_0$, Дж/моль				s^0_T, Дж/(моль·К)			
	[2.43]	[0.42]	[1.88]	[0.29]	[2.43]	[0.28]	[1.88]	[0.29]	[2.43]	[0.28]	[1.88]	[0.29]
100	47,03	—	47,292	47,076	3690	—	3699	3688	238,53	—	238,80	238,634
150	59,87	—	60,145	—	7025	—	6397	—	260,08	—	260,51	—
200	69,83	70,41	70,019	69,603	9627	—	9661	9622	278,78	—	279,23	278,862
250	77,57	78,04	—	—	13318	—	—	—	295,18	—	—	—
273,15	—	—	80,609	—	—	—	15196	—	—	—	302,72	—
298,15	83,35	—	83,412	82,888	17200	17280	17246	17158	309,37	310,96	309,91	309,342
300	83,55	84,01	83,65	83,082	17351	—	17401	17312	309,91	—	310,42	309,856
400	91,71	92,31	91,713	91,244	26150	26242	26200	26062	335,14	335,86	335,68	334,973
500	96,61	97,45	96,604	96,225	35585	35689	35635	35455	356,18	356,92	356,72	355,913
600	99,71	100,79	99,680	99,376	45396	45514	45463	45247	374,09	374,83	374,62	373,756
700	101,71	103,08	101,700	101,458	55480	55589	55538	55295	389,61	390,36	390,15	389,242
800	103,10	104,73	103,08	102,892	65731	65839	65781	65517	403,30	404,04	403,83	402,889
900	104,10	105,98	104,07	103,915	76107	76199	76140	75860	415,47	416,25	416,03	415,070
1000	104,81	106,97	104,80	104,667	86525	86651	86588	86291	426,48	427,25	427,04	426,059
1300	106,11	—	106,10	106,021	118198	118319	118248	117919	454,17	454,94	454,71	453,712
1500	106,61	—	106,59	106,523	139453	139603	139520	139177	469,40	470,16	469,93	468,921

Опытные данные о давлении насыщенного пара, опубликованные до 1929 г., обобщены Стэллом [1.94]. В более поздних обобщениях [0.50; 1.90] список рассматриваемых эксперимен-

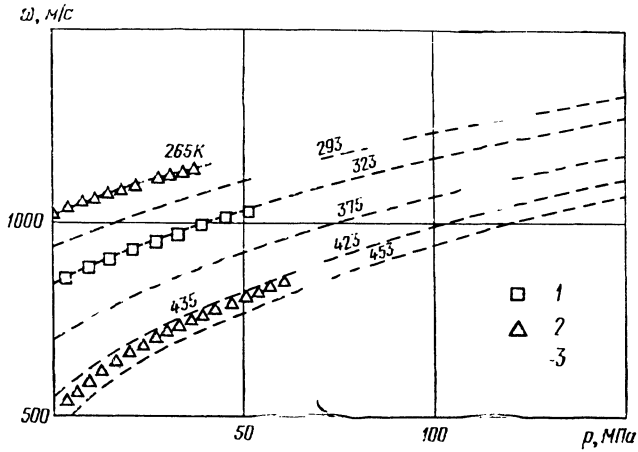


Рис. 4. Скорость распространения звука в жидком фреоне-10 по опытным данным:
1 — Щойтова и др. [1.33]; *2* — Бобика и др. [1.43]; *3* — Сысоева, Отпущенникова [1.28]

тальных работ несколько расширен, однако для интервала $T = T_{\text{н.т.к}} - T_{\text{кр}}$ базовыми остались по-прежнему опытные данные Юнга (1891 г.). По этим опытным данным при $T \geqslant T_{\text{н.т.к}}$ в [1.90] получено интерполяционное уравнение в форме (0.16) со следующими значениями констант:

$A = 0{,}1853710 \cdot 10^1$; $k = 1{,}0$;
$B = -0{,}1503531 \cdot 10^2$; $p_{\text{кр}} = 4{,}5597$ МПа.
$C = -0{,}2146101 \cdot 10^2$;
$D = 0{,}1317970 \cdot 10^2$;

Авторы [1.90] сообщают, что это уравнение аппроксимирует исходные опытные данные со средним отклонением 0,65% (максимальное отклонение равно 2,83 %).

За последнее десятилетие в рассматриваемом интервале температур проведены новые исследования p_s фреона-10 [1.47, 1.99] и получено около 60 опытных точек (см. табл. 7). Рис. 5 дает представление о согласовании опытных данных разных авторов и о точности таблиц [1.90].

Во всех предыдущих обобщениях справочные данные о плотности сосуществующих фаз жидкость — газ фреона-10 основаны на опытных данных Юнга (1910 г.) в интервале $T = 273$—556 К. Эти данные приведены, в частности, в [0.50, 1.22].

Заметим, что в книге Мелвина-Хьюза [1.22] кроме p_s и v_s сообщаются также рассчитанные по уравнению Клайперона — Клаузиуса значения r и $\Delta s = r/T$.

В 1969 г. Кэмпбелл и Четтерье [1.47] опубликовали результаты очень подробных измерений ρ' и ρ'' в интервале температур 374—555 К. Появились также опытные данные о плотности жидкости при низкой температуре (см. табл. 7) Опытные данные разных авторов достаточно хорошо согласуются и позволяют восстановить зависимость $\rho' - T$ вплоть до тройной точки

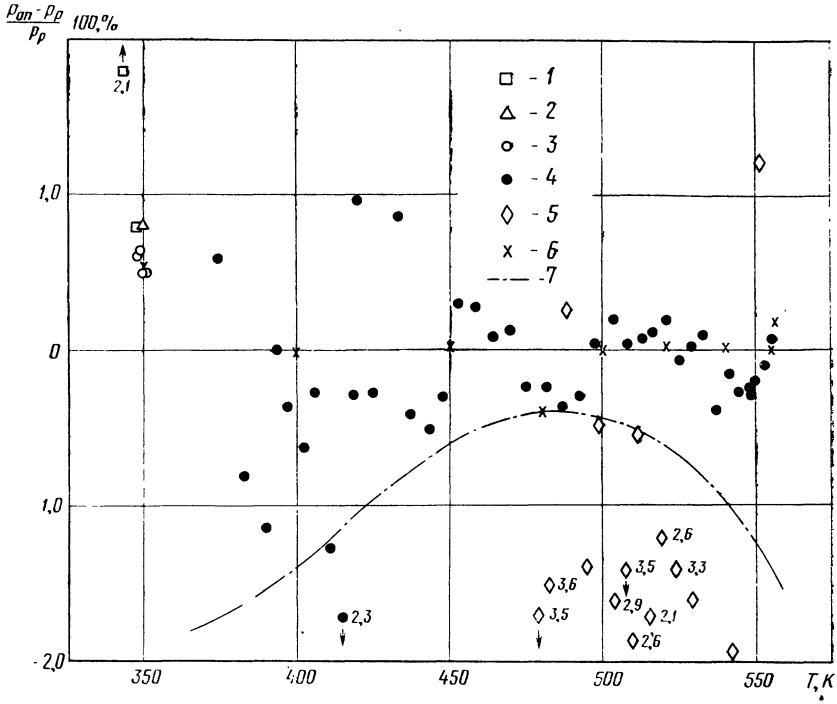


Рис. 5. Отклонение значений давления насыщенного пара фреона-10 от принятых в настоящей работе:

опытные данные: *1* — Шмидта (1926 г.); *2* — Барбера, Кеди [1.39]; *3* — Хильдербранта, Макдональда [1.64]; *4* — Кемпбела, Четтерье [1.47]; *5* — Точилкина, Юнга [1.99]; расчетные данные: 6 — [1,90]; 7 — по уравнению (0,19) при $p_{кр}$=4,493 МПа

(рис. 6). Температурная зависимость ортобарической плотности пара изучена экспериментально при температуре выше 273,15 К. Для расчета ρ'' при меньшей температуре можно воспользоваться предложенным в работе Л. П. Филиппова [1.30] обобщенным уравнением

$$\lg(1-z_п) = (0{,}0941 \lg A_ф + 0{,}254) + \\ + (0{,}705 - 0{,}0668 \lg A_ф) \lg z_ж, \qquad (1.6)$$

где критерий $A_ф = 100(\pi_s)_{\tau=0{,}625}$.

По опытным данным Хильдебранда, Макдональда [1.64] в интервале 293—351 К (τ=0,527—0,631) найдены константы уравнения Антуана

$$\ln p_s = a - b/(t + c), \qquad (1.7)$$

где $a=0{,}1587415 \cdot 10^2$; $b=0{,}2808186 \cdot 10^4$; $c=227{,}16$, а p_s выражено в мм рт. ст., t — в °С. Найденное по уравнению (1.7) $A_\Phi = 2{,}11$, в то время как в [1.30] для фреона-10 рекомендуется $A_\Phi=2{,}06$. С другой стороны, если применим уравнение связи критериев Ri и A_Φ, а именно

$$\mathrm{Ri} = 7{,}78 - 3{,}27 \lg A_\Phi \qquad (1.8)$$

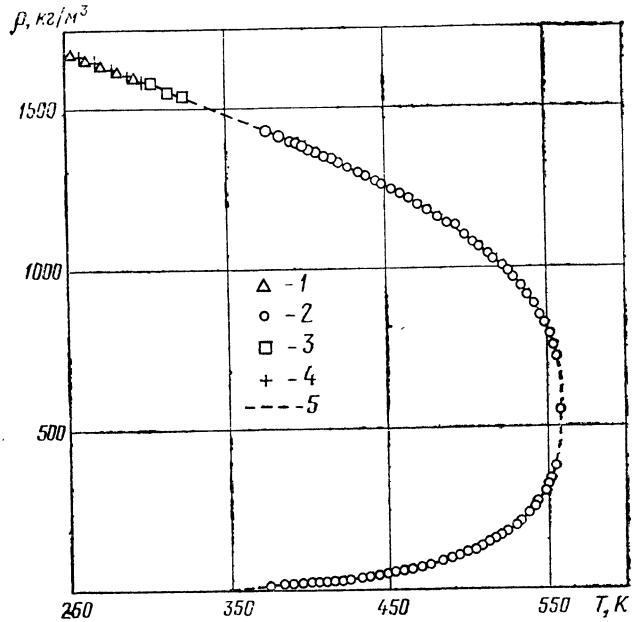


Рис. 6. Ортобарические плотности фреона-10 по опытным данным:
1 — Хепфнера и др. [1.68]; *2* — Кемпбелла, Четтерье [1.47]; *3* — Лагемана и др. [1.74]; *4* — Джабурова и др. [1.50]; *5* — [0.50]

и значение Ri, указанное в табл. 2, то получим $A_\Phi=2{,}268$. Сказанное выше иллюстрирует тот хорошо известный факт, что при расчетах термодинамических свойств по обобщенным уравнениям фундаментальные характеристики вещества (Pi, Ri, A_Φ) лучше находить непосредственно по экспериментальным данным, а не по эмпирическим корреляциям.

Числовые значения параметров узловых точек на линии равновесия жидкость — пар по данным экспериментальных работ и некоторых справочных обзоров приведены в табл. 9. Обращают на себя внимание низкие значения $p_{кр}$ в работах [1.99] и [0.23, 0.24], причем в последней значение $p_{кр}$ фреона-10 вычислено с помощью эмпирической корреляции

Таблица 9

Параметры узловых точек на линии равновесия жидкость — пар фреона-10

Год	Авторы	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\varrho_{кр}$, кг/м³	$T_{н.т.к.}$, К	T_0, К	Источник
1910	Юнг	556,25	4,557	557,6	—	—	[1.71]
1935	Харанд	555,75	—	—	—	—	[1.71]
1943	Фишер, Райхель	556,35	—	—	—	—	[1.71]
1944	Хикс, Холей, Стефенсон	—	—	—	—	250,3+0,1	[1.63]
1947	Стэлл	556,25	4,560	—	349,85	250,6	[1.94]
1953	Коуб, Линн	556,35	4,560	558,0	—	—	[1.71]
1959	Хилдебрандт, Макдональд	—	—	—	349,88	—	[1.64]
1968	Кудчадкер, Алани, Зволинский	556,4	4,560	558,0	—	—	[1.73]
1968	Лапидус, Нисельсон, Сейфер	556,2	4,560	557,5	349,7	250	[1.19]
1969	Кэмпбелл, Четтерье	556,3	4,558	557,0	—	—	[1.47]
1972	Варгафтик	556,35	4,560	588,0	349,85	250,35	[0.7]
1972	Хорват	553,8	4,570	549,0	—	—	[1.69]
1977	Гомес-Нието, Тодос	556,40	4,560	—	349,90	—	[1.59]
1977	Точилкин, Юнг	556,6	4,516 ±0,005	—	—	—	[1.99]
1980	Перельштейн, Парушин	556,36	4,493	554,0	350,62	250,25	[0.23, 0.24]

Примечание. Принятые в этой книге значения параметров указаны в табл 3.

$$\ln z_{кр} = -0{,}088\,(\mathrm{Ri} - \mathrm{p}_\alpha) - 0{,}728 \qquad (1.9)$$

с константами, указанными в табл. 2. В этом случае систематически заниженными при всех температурах от T_0 до $T_{кр}$ оказались также и значения p_s фреона-10, рассчитанные по обобщенному уравнению (0.19). Если же принять $p_{кр}$=4,56 МПа, то отклонения рассчитанных по (0.19) значений от табличных данных [1.90] уменьшается на 1,5%, а δp_s будут иметь разные знаки в пределах ±1,3%.

Теплоту парообразования фреона-10 измеряли в нескольких работах, но после 1929 г. опубликованы только данные [1.64] при T=298 К. Результаты этих работ использованы при составлении таблиц [1.90].

Теплоемкость c_p жидкого фреона-10 измеряли в интервале T=250,3—323 К (табл. 7). В статье Харрисона, Мелвина-Хьюза [1.61] обсуждаются данные 12 экспериментальных работ, выполненных до 1957 г., и сделаны критические замечания по многим из них. На основании сравнительного анализа опытных данных нами принята линейная зависимость:

$$c_p = 121{,}294 + 0{,}348667 \cdot 10^{-1} T \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}, \qquad (1.10)$$

которая построена по измерениям [1.63, 1.106] и передает их с погрешностью меньше 0,15 %. Экспериментальные данные [1.61] также подчиняются линейной зависимости, но она расположена на 0,6—0,7 % ниже. Данные [1.56] при 298,15 К являются промежуточными.

Скорость звука в жидком фреоне-10 измеряли в нескольких работах. В последней по времени работе [1.43] выполнены, по-видимому, наиболее обстоятельные измерения и для интервала $T = 250$—420 К получена интерполяционная формула

$$w' = \sum_{k=0}^{3} b_k T^k, \qquad (1.11)$$

где $b_0 = 0{,}219800 \cdot 10^4$; $b_2 = 0{,}747728 \cdot 10^{-2}$;
$b_1 = -0{,}5962231 \cdot 10^1$; $b_3 = -0{,}609615 \cdot 10^{-5}$;
а w выражена в м/с.

Рис. 7 дает представление о согласовании расчетных и опытных данных.

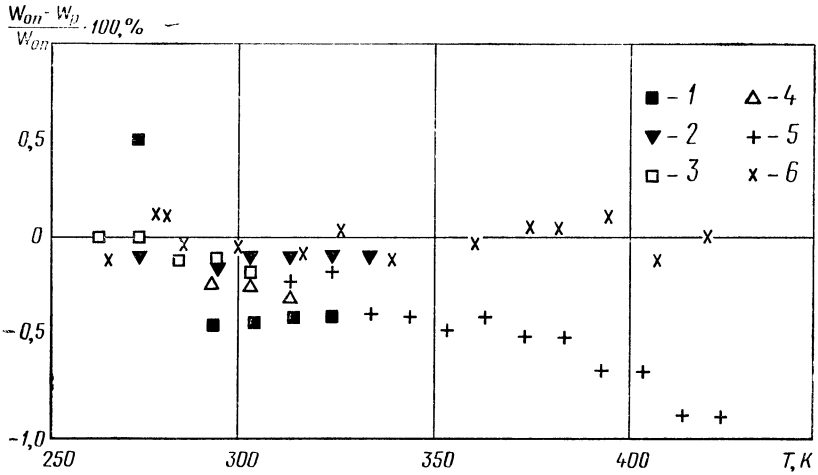


Рис. 7. Отклонение опытных значений скорости звука в жидком фреоне-10 на линии насыщения от рассчитанных по уравнению (1.11) по данным:

1 — Фрейера и др. [1.43]; *2* — Лагемана и др. [1.74]; *3* — Сакмана, Бочека [1.106]; *4* — Бекера [1.41]; *5* — Тимофеева, Отпущенникова [1.29]; *6* — Бобика и др. [1.43]

Скорость звука в насыщенных парах фреона-10 определяли экспериментально только в одной работе [1.31], проделанной в Институте теплофизики СО АН СССР. Измерения охватывают интервал температур $T = 343$—535 К, выполнены по методу низкочастотного акустического резонатора и их погрешность, по оценке авторов, не превышает 1 %. Заметим, что на этой же установке измерена скорость звука в насыщенных парах фре-

она-11 и 21. Указанные опытные данные были использованы для расчета дифференциального показателя адиабаты [1.32].

Экспериментальная информация о поверхностном натяжении жидкого фреона-10 невелика. В [0.6, 0.7] приведены таблицы σ для интервала $273 - T_{кр}$, рассчитанные по уравнению Л. Д. Воляка [1.7], которое основано на опытных данных Ричардса, Карве (1921 г.). В настоящей работе расчеты выполнены по уравнению (0.56), преобразованному к виду

$$\sigma = \sigma_{0,6} \sum_{m=1}^{5} \beta_m (1-\tau)^m. \qquad (1.12)$$

Для фреона-10 принято $10^3 \cdot \sigma_{0,6} = 22{,}10$ Па·м [0.25]. Вычисленные по уравнению (1.12) значения σ очень хорошо согласуются с табличными [0.6, 0.7] и экспериментальными [1.72] в перекрывающемся интервале температур и на 1,5—2,5 % выше измеренных в [1.35]. Как известно

$$\sigma = a^2 \frac{1}{2} (\rho' - \rho'') g, \qquad (1.13)$$

где a — капиллярная постоянная. Используя выражения (1.12) и (1.13) и известные значения ортобарической плотности жидкости и пара, нетрудно рассчитывать a. Независимые расчеты могут быть сделаны по обобщенному уравнению, предложенному В. П. Железным [1.11]:

$$a^2 = a_0^2 \left[\frac{A\varepsilon^3}{\alpha + \varepsilon^3} + \frac{B + C\varepsilon^3}{\beta + \varepsilon^3} \cdot \varepsilon \right], \qquad (1.14)$$

где $\varepsilon = (1 - \tau)$, а общие для разных фреонов коэффициенты

$A = 0{,}233323 \cdot 10^0$; $\alpha = 0{,}940727 \cdot 10^{-2}$;
$B = 0{,}858579 \cdot 10^{-2}$; $\beta = 0{,}1917293 \cdot 10^{-2}$.
$C = 0{,}332440 \cdot 10^1$;

По данным [1.11] для фреона-10 константа $10^6 \cdot a_0^2 = 1{,}9314$ м^2.

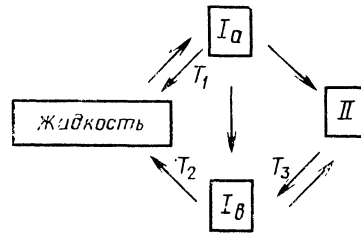
Изучению фазовых переходов жидкость — твердое вещество и термодинамических свойств кристаллического CCl_4 посвящено сравнительно много экспериментальных работ. Этот интерес объясняется существованием нескольких кристаллических модификаций (Ia — с кубической гранецентрированной решеткой, Ib — с ромбоэдрической, II — с моноклинной) и сложной картиной переходов, которая может быть иллюстрирована приведенной на рис. 8 схемой.

По приведенным в статьях [1.40, 1.50] данным восьми экспериментальных работ осредненные значения температуры переходов при атмосферном давлении $T_1 = 245{,}5 \pm 0{,}5$ К; $T_2 = 250{,}0 + 0{,}5$ К; $T_3 = 225{,}5 \pm 0{,}5$ К.

Решетка кристаллического фреона-10 в низкотемпературной фазе является моноклинной, причем центры тяжести молекул образуют несколько искаженную кубическую гранецентрированную решетку [1.3]. Подробные измерения теплоемкости низ-

котемпературной фазы выполнены в [1.3, 1.36, 1.63]: в [1.3] при $T=2$—93 К и $T=200$—236 К, в [1.36] при $T=3$—50 К, в [1.63] при $T=17$—298 К. В [1.63] проанализированы предшествующие исследования, в которых измерения проводились в более узких интервалах температуры. В перекрывающихся температурных областях расхождение опытных данных [1.3] и [1.63] не

Рис. 8. Кристаллические модификации фреона-10



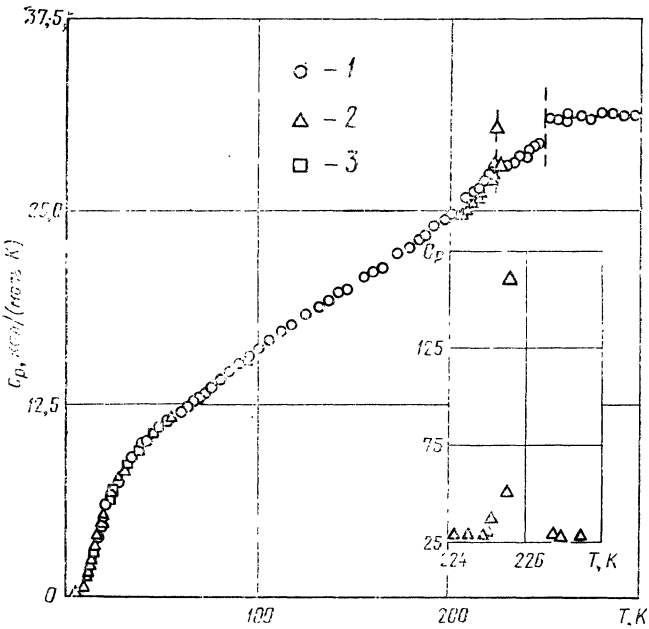


Рис. 9. Теплоемкость конденсированной фазы фреона-10 по опытным данным:

1 — Хикса, Холлея, Стефенсона [1.63]; *2* — Багацкого, Манжелия [1.3]; *3* — Атаке. Чихары [1.36]

превышает ±1 %, а числовые значения температуры перехода II → Ib практически совпадают (с учетом поправки на различие температурных шкал); $T_3=225{,}32\pm0{,}05$ К. Опытные данные японских исследователей [1.36] в интервале $T=15$—30 К заметно завышены (максимально на 7 %).

М. И. Багацкий, В. Г. Манжелий [1.3] отмечают, что начиная с температуры (224,95±0,05) К температурная зависимость

теплоемкости становится очень крутой (это показано на рис. 9), хотя в исследуемом образце массовая доля основного вещества составляла 99,95 %. Тепловой эффект, измеренный экспериментально в интервале температур 225—227 К, оказался равным (1134±3) кал/моль, т. е. примерно на 3,5 % больше, чем найденное в [1.63] значение ΔH_{T_3}.

Указанные в табл. 9 значения температуры плавления относятся к фазовому переходу твердая фаза Ib — жидкость. Соответствующая этому переходу теплота плавления равна (600±10) кал/моль [1.63], а изменение объема при плавлении $\Delta v_{пл}=4{,}6$ см³/моль [1.89]. По данным Сакмана, Клосса [1.89] мольные объемы сосуществующих фаз (в см³/моль) $v_ж=91{,}73$; $v_{тв}=87{,}1$. Это означает, что при плавлении объем фреона-10 увеличивается на 5,3 %. По данным [1.68, 1.89] это увеличение объема несколько меньше (5,1—5,2 %).

В работах П. Бриджмена (1914 г.) измерены $T_{пл}$ и $\Delta v_{пл}$ при давлении до 880 МПа ($T_{оп}\leqslant 485$ К). По этим опытным данным в [1.38] определены константы уравнения Симона:

$$p = p_0 = a\,[(T/T_0)^c - 1], \qquad (1.15)$$

где $T_0=250{,}6$ К; $a=2919$ бар; $c=2{,}12$.

Другой набор констант получен в [1.12], а в более поздней работе М. К. Жоховского [1.14] предложено более универсальное уравнение кривой плавления и найдены его параметры для многих веществ, в том числе и для фреона-10.

Для аппроксимации опытных данных П. Бриджмена о $\Delta v_{пл}$ в работе [1.13] использовано уравнение

$$\Delta v_{пл} = \Delta v_0 \exp\,[-b\,(T/T_0 - 1)]. \qquad (1.16)$$

Для фреона-10 среднее значение константы $b=1{,}61$, но значение Δv_0 не указано. Однако, судя по графику работы [1.13], принято $\Delta v_0=3{,}97$ см³/моль, что согласуется с рекомендацией П. Бриджмена (1924 г.), но существенно ниже непосредственных измерений [1.89].

Новые исследования барической зависимости температуры плавления твердой фазы Ib до давления 250 МПа выполнены в [1.40], результаты которых достаточно хорошо согласуются и передаются уравнением

$$T = A_0 + A_1 p + A_2 p^2, \qquad (1.17)$$

где $A_0=249{,}58$; $A_1=0{,}386$; $A_2=-0{,}218\cdot 10^{-3}$, а p выражено в МПа, T — в К. Важно подчеркнуть, что уравнение (1.17) с указанными константами применимо только для перехода твердая фаза Ib — жидкость, а при обратном переходе жидкость — Ib температура затвердевания значительно ниже и до давления 100 МПа практически равна температуре плавления при переходе твердая фаза Ia — жидкость [1.40]. В этой работе уравнения (1.17) применены также для описания барической зависимости температуры плавления при переходах Ia — жидкость и

II—Ib, т. е. зависимости T_1 и T_3 от p. Дополнительную информацию о термодинамических свойствах ($T_{пл}$, $\Delta v_{пл}$) фреона-10 при фазовом переходе II—Ib можно найти в [1.13, 1.14, 1.22], а в [1.50] — данные о w в фазе Ib.

Уравнения состояния и таблицы. Для расчета таблиц термодинамических свойств газообразного фреона-10 при повышенных давлениях в работе Сешадри, Висваната, Кулора [1.90] применено уравнение (0.2), в котором $b=0{,}575953\cdot10^{-1}$; $A_2=-0{,}261901189\cdot10^{2}$; $A_4=-0{,}38842449\cdot10^{0}$; $B_4=0$; $B_2=0{,}16924131\cdot10^{-1}$; $C_4=0$; $C_2=-0{,}428581627\cdot10^{3}$; $A_5=0$; $A_3=0{,}495628873\cdot10^{1}$; $B_5=0{,}28784\cdot10^{-4}$; $B_3=-0{,}280089\cdot10^{-2}$; $C_5=0$; $C_3=0{,}93490348\cdot10^{2}$; $k=5{,}475$, причем v выражено в л/моль; p — в атм; T — в К.

По этому уравнению рассчитаны таблицы v, h, s в газовой фазе фреона-10 при $T=280$—750 К и $p=0{,}1$—200 атм. Со своей стороны заметим, что числовые значения констант A_i, B_i, C_i в уравнении Мартина — Хау существенным образом зависят от принятых значений критических параметров вещества. Различными могут быть также и аналитические соотношения, применяемые для определения этих констант (см. ссылки в [0.2, 0.29]). Оценить степень достоверности рассчитанных в [1.90] таблиц можно, применив, например, обобщенное уравнение БВРС — уравнение (0.5) в табл. 1 или обобщенное уравнение Ли-Кеслера [1.76]. Последнее базируется на трехпараметрическом принципе соответственных состояний и записывается в компактной форме так:

$$z = z^{(0)} + (\mathrm{Pi}/\mathrm{Pi}^{(r)})\,(z^{(r)} - z^{(0)}). \qquad (1.18)$$

Здесь надстрочные индексы (0) и (r) относятся соответственно к уравнениям состояния простых флюидов (аргоноподобных веществ) и базисного (reference) вещества. Аналитическая форма этих уравнений — модифицированное уравнение БВР с 12 константами, числовые значения которых известны [1.76]. Критерий Питцера для исследуемого вещества можно найти по данным о кривой упругости, так как $\mathrm{Pi}=[-\lg(\pi_s)_{\tau=0,7}-1]$, а для базисного вещества он принят равным $\mathrm{Pi}^{(r)}=0{,}3978$. Полезно иметь в виду, что в [1.76] приведены также таблицы z, $(H_T{}^0-H)/RT_{кр}$, $(s_T{}^0-s)/R$, $(c_p-c_p{}^0)/R$ при $\tau=0{,}3$—$4{,}0$ и $\pi=0{,}01$—$10{,}0$ для веществ (0) и (r).

В работе Химпана [1.65] рассматривается модельное уравнение состояния вида

$$\{\pi + f_a[(\varphi - f_b)(\tau\varphi - f_c)]^{-1}\}(\varphi - f_d) = \tau/z_{кр} \qquad (1.19)$$

и приведены константы для 60 веществ, в том числе и для фреона-10. Укажем, что константы f_a, f_b и f_c могут быть вычислены, если известны критические параметры и константа f_d [1.65]. Таким образом, для восстановления уравнения [1.19] нужна минимальная экспериментальная информация. Судя по литературным данным, уравнение (1.19) применимо для оценки тер-

модинамических свойств веществ в метастабильном состоянии [0.26].

Для жидкого фреона-10 термодинамических таблиц в однофазной области не составляли, но уравнений различного типа известно много. Практически во всех работах, посвященных изучению p, v, T-зависимости при повышенных давлениях (см. табл. 6), помимо таблиц опытных данных (а чаще вместо их) дается уравнение состояния и приведены на графиках сравнения рассчитанных значений изотермической $\beta_T = -(1/v)(\partial v/\partial p)_T$ и адиабатной $\beta_s = -(1/v)(\partial p/\partial v)_s$ сжимаемости с многочисленными литературными данными при атмосферном давлении. Наиболее полный обзор и сравнительный анализ опытных данных о ϱ, β_T и β_s жидкого фреона-10 сделали Бенсон, Винник [1.42]. В этой работе проделан также численный анализ 9 различных (двух- и трехпараметрических) уравнений состояния плотных жидкостей.

Окончательно из трехпараметрических уравнений выбрано уравнение Берча (второе приближение), а из двухпараметрических обычное (usual) уравнение Тэйта, которое однако записано не в форме (0.27), а в преобразованном виде

$$(p - p_0)/k_0 = (k_0' + 1)^{-1}\{\exp[(k_0' + 1)(1 - v/v_0)] - 1\}. \quad (1.20)$$

Здесь $k = \beta_T^{-1} = -v(\partial p/\partial v)_T$; $k_0 = f(p_0, T)$; $k_0' = (\partial k/\partial p)_{T,\, p_0}$; p_0 — начальное давление, при котором известна зависимость удельного объема $v_0(T)$ или плотности $\varrho_0(T)$. Температурные зависимости k_0 и k_0' описаны полиномами

$$\left.\begin{aligned} k_0 &= \sum_{j=1}^{3} a_j T^{j-1}; \\ k_0' &= \sum_{j=4}^{6} a_j T^{j-4}. \end{aligned}\right\} \quad (1.21)$$

Для жидкого фреона-10 по своим опытным данным при $T = 273$—413 К и $p < 338$ МПа (см. рис. 1) авторы работы [1.42] нашли следующие значения констант:

$$\begin{aligned} a_1 &= 0{,}405086 \cdot 10^5; & a_4 &= -0{,}355757 \cdot 10^1; \\ a_2 &= -0{,}144434 \cdot 10^3; & a_5 &= 0{,}756205 \cdot 10^{-1}; \\ a_3 &= 0{,}130567 \cdot 10^0; & a_6 &= -0{,}106175 \cdot 10^{-3}, \end{aligned}$$

причем k_0 выражено в атм, а k_0' — в (атм)^2.

Судя по данным [1.42], уравнение (1.20) достаточно хорошо представляет имеющиеся p, v, T-данные для жидкого фреона-10, а формула (1.21) для $k_0 = 1/\beta_T^0$-температурную зависимость изотермической сжимаемости при атмосферном давлении. Тем не менее следует указать на другие уравнения, применявшиеся при обработке опытных данных.

Так, в [1.45] рекомендуется уравнение

$$\beta_T^0 = \exp[c_1 + (c_2/T) + (c_3 \ln T)] \quad (1.22)$$

и найдены его константы для большой группы жидкостей. Для

CCl_4 в интервале $T=250$—348 К коэффициенты уравнения (1.22): $c_1=-0{,}420047\cdot10^2$; $c_2=0{,}158822\cdot10^4$; $c_3=0{,}76633\cdot10^1$.

При комнатной температуре отличие рассчитанных по формулам (1.21) и (1.22) значений $\beta_T{}^0$ не превышает 1 %.

Авторы [1.70, 1.81] для аппроксимации собственных измерений плотности жидкого фреона-10 использовали изотермическое уравнение Хайварда (1967 г.)

$$\bar{p}v_0/(v_0-v)=d_0+d_1\bar{p}+d_2p^2, \qquad (1.23)$$

где $\bar{p}$ — либо p, либо $(p-p_0)$, а коэффициенты d_i приведены в табличной форме. В экспериментальных работах [1.46, 1.67] также применяли полиномы Σd_ip^i, но аппроксимировали относительные объемы $v_{отн}=v/v_0$. И наконец, в [1.70] и др. получены коэффициенты уравнения (0.27), причем коэффициент C — постоянная величина, а B — положительная по знаку и убывающая функция температуры.

Как известно, эмпирические уравнения состояния жидкости не допускают далекой экстраполяции за пределы изученного интервала температур, который в нашем случае относительно невелик (см. рис. 1). Поэтому нами было проверено обобщенное уравнение состояния Гиршфельдера, Бюлера, Мак-Ги и Саттона (ГБМС), которое для области ($\tau\leqslant1$, $\omega\geqslant\omega_s$) приводится к виду

$$\pi=\pi_s+\sum_{i=0}^{5}\sum_{j=0}^{3}c_{ij}\left[\omega^{i-1}-\omega_s{}^{i-1}\right]\tau^{j-1}, \qquad (1.24)$$

где $c_{ij}=f(\mathrm{Ri},\ \beta)$ [1.66]*. В наших расчетах числовые значения критических параметров и критерия Риделя приняты по данным табл. 2 (тогда $z_{кр}=0{,}270$, а параметр $\beta=7{,}15$), а температурные зависимости π_s и ω_s на кривой насыщения определены по обобщенным уравнениям (0.19) и (0.20). Вычисленные при этих условиях значения плотности жидкого фреона-10 вполне удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными [1.60, 1.81]. Следовательно, уравнение (1.24) можно использовать для расчета плотности жидкого фреона-10 при $\pi>\pi_s$ за пределами изученного интервала температур.

Авторы [1.43] по собственным экспериментальным данным о скорости звука в области $T=265$—435 К и $p=p_s$ — 62 МПа составили интерполяционное уравнение

$$w=\sum_{i=0}^{4}\sum_{j=0}^{4}a_{ij}p^iT^j, \qquad (1.25)$$

где

---

* В статье В. З. Геллера и др. (Изв. вузов СССР — Энергетика, 1977, № 2, с. 111—115) содержатся ошибки в формулах для коэффициентов c_{01}, c_{31} и само уравнение (1.24) записано неверно. Поэтому мы даем ссылку на оригинальную работу [1.66].

$a_{00} = 0{,}163391 \cdot 10^{4}$; $a_{13} = -0{,}137685 \cdot 10^{-4}$; $a_{31} = -0{,}265566 \cdot 10^{-2}$;
$a_{01} = 0{,}459107 \cdot 10^{0}$; $a_{14} = 0{,}101374 \cdot 10^{-7}$; $a_{32} = 0{,}117381 \cdot 10^{-4}$;
$a_{02} = -0{,}198084 \cdot 10^{-1}$; $a_{20} = -0{,}100723 \cdot 10^{2}$; $a_{33} = -0{,}228821 \cdot 10^{-7}$;
$a_{03} = 0{,}454054 \cdot 10^{-4}$; $a_{21} = 0{,}119214 \cdot 10^{0}$; $a_{34} = 0{,}166368 \cdot 10^{-10}$;
$a_{04} = -0{,}366266 \cdot 10^{-7}$; $a_{22} = -0{,}525596 \cdot 10^{-3}$; $a_{40} = -0{,}163608 \cdot 10^{-2}$;
$a_{10} = 0{,}137664 \cdot 10^{3}$; $a_{23} = 0{,}102329 \cdot 10^{-5}$; $a_{41} = 0{,}193393 \cdot 10^{-4}$;
$a_{11} = -0{,}160440 \cdot 10^{1}$; $a_{24} = -0{,}745249 \cdot 10^{-9}$; $a_{42} = -0{,}851254 \cdot 10^{-7}$;
$a_{12} = 0{,}708196 \cdot 10^{-2}$; $a_{30} = 0{,}223763 \cdot 10^{0}$; $a_{43} = 0{,}165366 \cdot 10^{-9}$;
$a_{44} = -0{,}119764 \cdot 10^{-12}$,

причем w выражено в м/с, p — в МПа, T — в К.

1.2. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВАХ

Вязкость. Существующие справочные данные о вязкости фреона-10 [0.6, 0.7, 1.9, 1.10] охватывают только кривую насыщения (со стороны жидкости) и температурную зависимость вязкости газа при атмосферном давлении. В справочниках [0.6, 0.7] приведены значения η' и η_T в интервале температур (263—453) К и (273—873) К соответственно. В справочных монографиях [1.9, 1.10] сообщаются только табличные значения η_T при $T = 273$—700 К. Однако сведения об исходных опытных данных и качестве их описания отсутствуют.

Перечень экспериментальных исследований вязкости фреона-10 представлен в табл. 10. Сравнение данных о темпера-

Таблица 10

Экспериментальные исследования вязкости фреона-10

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1890	Гаптенмейстер	293	0,1	ж	1	Ка	[0.50]
1894	Торп, Роджер	274—347	p_s	ж	24	Ка	[1.98]
1914	Саханов, Ряховски	273	0,1	ж	1	Ка	[0.50]
1924	Левис	298	0,1	ж	1	КШ	[0.50]
1925	Колоссовски	283—316	p_s	ж	10	КШ	[0.50]
1930	Браун, Линке	296—761	0,1	г	9	Ка	[1.44]
1931	Бриджмен	303—348	до 400	ж	—	КШ	[1.9]
1932	Сперри, Мак	323—523	0,1	г	5	Ка	[1.93]
1933	Титани	401—588	0,1	г	6	Ка	[1.96]
1940	Ван Вийк с соавторами	304—401	до 125	ж	20	ПТ	[1.105]
1943	Мак-Говерн	293—343	0,1	г; ж	2	КШ	[1.79]
1954	Грунберг	298	0,1	ж	1	Ка	[0.50]
1956	Хаммонд, Стокс	298	0,1	ж	1	Ка	[0.50]
1958	Бэк, Андерсен	298	0,1	ж	1	КШ	[0.50]
1960	Мюллер, Игнатовски	293—413	0,1	г; ж	4	Ка	[1.82]
1967	Миллер	273—293	0,1	ж	2	Ка	[1.80]
1971	Коллингс, Маклойхлин	303—323	до 175	ж	22	ПР	[1.49]

* Здесь, а также в табл. 18, 30, 41 и 52 сокращения: Ка, КШ, ПР, ПТ, КД обозначают соответственно методы капилляра, катящегося шарика, пьезокварцевого резонатора, падающего тела, колеблющегося диска.

турной зависимости вязкости газа при низком давлении (рис. 10) показывает, что большинство из них удовлетворительно [в пределах (5—6) %] согласуются между собой. Исключение составляют, пожалуй, лишь несколько опытных точек Титани [1.96].

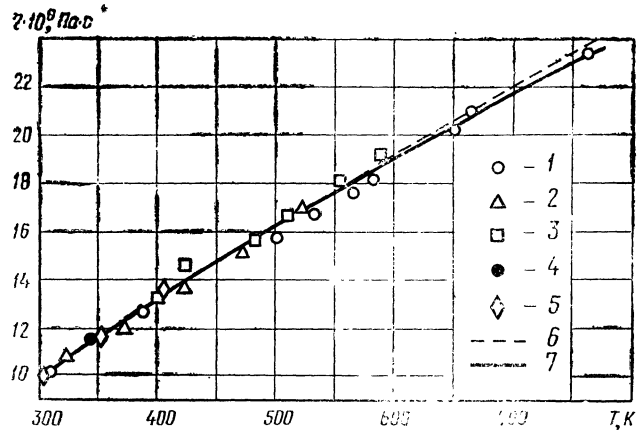


Рис. 10. Вязкость газообразного фреона-10 при низких давлениях:

опытные данные: *1* — Брауна, Линке [1.44]; *2* — Сперри, Мака [1.92]; *3* — Титани [1.96]; *4* — Мак-Говерна [1.79]; *5* — Мюллера, Игнатовски [1.82]; расчетные данные: *6* — по уравнению (0.32а); *7* — по уравнению (1.26)

Вязкость жидкого фреона-10 на линии насыщения определяли различными методами и расхождение результатов всех измерений (кроме данных Гаптенмейстера и Бэка — Андерсена) не превышает (3—4) % (рис. 11).

При высоких давлениях вязкость фреона-10 измеряли только в жидкой фазе. Долгое время единственными были опытные данные П. Бриджмена по относительной вязкости η_p/η_1 на изотермах 303 и 348 К при давлении до 400 МПа [1.9, с 212]. Ван Вийк с соавторами [1.105] измерили η на четырех изотермах в интервале 304—401 К при давлениях до 125 МПа. Опыты проводили методом падающего тела в стеклянном капилляре $d \approx \approx 1$ мм. Падающее тело — металлическая игла, положение которой фиксировали с помощью емкостных датчиков. Измерения Коллингса и Маклойхлина [1.49] выполнены методом пьезокварцевого резонатора на трех изотермах (303, 311 и 323 К) при давлениях до 175 МПа. Результаты измерений [1.49, 1.105] хорошо согласуются.

Для определения вязкости фреона-10 при атмосферном давлении рекомендуется использовать полученное в [1.18] обобщенное уравнение

$$\eta_T = \eta_{T_{кр}} \sum_{j=0}^{3} a_{\eta,\,j} \tau^j. \qquad (1.26)$$

Общие для разных фреонов коэффициенты равны: $a_{\eta,\,0} = -0{,}0226$;

$a_{\eta,1}=1{,}1499$; $a_{\eta,2}=-0{,}11340$; $a_{\eta,3}=0{,}0068$. Индивидуальная константа $\eta\tau_{КР}=17{,}8$ мкПа·с. При получении этого уравнения было использовано 24 опытных значения η_T фреона-10 в интервале температур (293—761) К по данным [1.44, 1.79, 1.82, 1.93, 1.96].

Для определения вязкости жидкого фреона-10 на линии на-

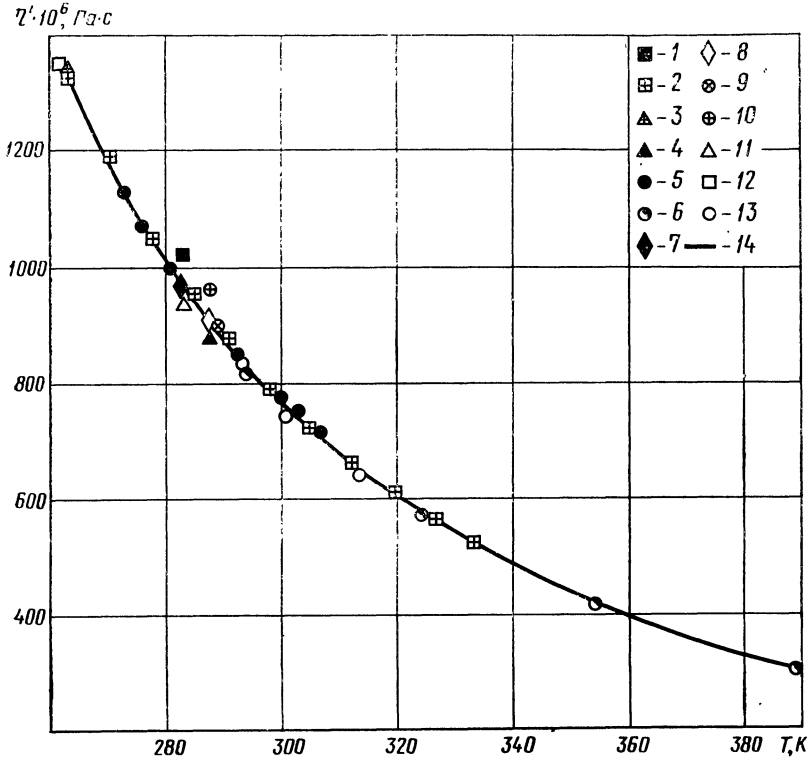


Рис. 11. Вязкость жидкого фреона-10 на линии насыщения:
опытные данные: *1* — Гантенмейстера [0.50]; *2* — Торпа, Роджера [1.98]; *3* — Саханова, Ряховски [0.50]; *4* — Левиса [0.50]; *5* — Колосовски [0.50]; *6* — Ван Вийка и др. [1.105]; *7* — Мак-Говерна [1.79]; *8* — Грунберга [0.50]; *9* — Хаммонда, Стокса [0.50]; *10* — Бека, Андерсена [0.50]; *11* — Мюллера, Игнатовски [1.82]; *12* — Миллера [1.80]; *13* — Коллингса, Маклойхлина [1.49]; *14* — расчетные данные по уравнениям (0.32*б*) и (0.36)

сыщения и в однофазной области при $\tau<0{,}8$ рекомендуется использовать обобщенное уравнение (0.36). Общие для разных фреонов коэффициенты $c_{\eta,ij}$ приведены в табл. 4. Индивидуальная константа $\eta_{0,7}=341$ мкПа·с.

Заметим, что коэффициенты $c_{\eta,ij}$ уравнения (0.36) найдены на основании обработки весьма представительной совокупности согласующихся экспериментальных данных для фреонов-10, 11, 12, 13 и 14, причем в массив исходных данных включено около 40 значений фреона-10 при T=273—413 К [0.50, 1.49, 1.79, 1.80, 1.82, 1.99, 1.105].

В области $\tau>0{,}8$ и $p>0{,}1$ МПа вязкость сжатого R10 можно рассчитать по обобщенному уравнению (0.35), после того как определена плотность.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических вязкостей (η' и η'') фреона-10, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для η'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{н.т.к}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Теплопроводность. Четыреххлористый углерод является одним из веществ, которые рекомендуются в качестве стандартных при градуировке и поверке приборов для определения λ, поэтому его теплопроводность, особенно, для жидкости на линии насыщения изучена весьма подробно в широком температурном диапазоне (табл. 11). На основе этих измерений в спра-

Таблица 11

Экспериментальные исследования теплопроводности фреона-10

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1885	Вебер	285	0,1	ж	1	П	[0.8, 1.6]
1911	Гольдшмидт	273	0,1	ж	1	Н	[0.8, 1.6]
1913	Мозер	300—473	0,1	г	12	КЦ	[0.8, 1.6]
1924	Дэвис	296—341	0,1	ж	2	КЦ	[0.8, 1.6]
1940	Ридель	293	0,1	ж	1	П	[0.8, 1.6]
1941	Бейтс и др.	293—323	0,1	ж	3	П	[0.8, 1.6]
1945	Хатчинсон	291	0,1	ж	1	Н	[0.8, 1.6]
1948	Вулф, Сиббит	298—340	0,1	ж	4	КЦ	[0.8, 1.6]
1949	Ван дер Хельд, Ван Друнен	287	0,1	ж	1	НН	[0.8, 1.6]
1951	Ридель	253—323	0,1	ж	3	КЦ	[1.86]
		293	0,1	ж	2	П, Ш	[1.86]
1953	Бакстер с соавторами	303—313	0,1	ж	3	КЦ	[0.8, 1.6]
1954	Шмидт, Лейденфрост	293—323	0,1	ж	2	КЦ	[1.92]
1954	Мейсон	293—338	0,1	ж	3	КЦ	[1.77]
1954	Филиппов	293—368	p_s	ж	—	КЦ	[0.8]
1954	Вайнес, Беннет	299—400	0,1	г	—	КЦ	[1.103]
1956	Челлонер, Пауэлл	293—333	0,1	ж	5	П	[0.8, 1.6]
1956	Герц, Филиппов	293—333	0,1	ж	3	Н	[1.8]
1956	Сесил, Манч	298	0,1	ж	1	Н	[0.8, 1.6]
1957	Филиппов	303	0,1	ж	1	Н	[0.8, 1.6]
1958	Челлонер с соавторами	298—328	0,1	ж	5	КЦ	[0.8, 1.6]
1959	Фронтасьев, Гусаков	293	0,1	ж	1	П	[0.8, 1.6]
1962	Масиа, Альварес	278—407	0,1	г	11	Н	[1.83]
1964	Венарт	293—303	0,1	ж	5	КЦ	[1.102]
1964	Мак-Лафлин	298—318	0,1	ж	3	Н	[0.8, 1.6]
1966	Тюфо, Ленайндр, Джоанин	293—353	p_s	ж	6	КЦ	[1.101]

Продолжение табл. 11

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1966	З. Геллер, Расторгуев, Ганиев	313	0,1	ж	1	КЦ	[0.8, 1.6]
1966	Джалалян	253—293	0,1	ж	6	Н	[1.54]
1967	Польц, Югель	283—313	0,1	ж	4	П	[0.8, 1.6]
1967	Таушер	253—378	0,1	ж	10	НН	[1.95]
1967	Расторгуев, В. Геллер	293—472	p_s	ж	27	Н	[1.27]
1968	Варгафтик, Зайцева, Якуш	300—600	0,1	г	23	Н	[1.5]
1969	Три, Лейденфрост	273—373	p_s	ж	6	КЦ	[1.100]
1970	Керимов, Эльдаров Ф., Эльдаров В.	299—333	0,1	ж	3	РР	[0.8]
1973	Иванников, Литвиненко, Радченко	253—333	0,1	ж	8	НН	[1.16]
1974	Маширов, Тарзиманов	400—640	0,1	г	24	НН	[1.21]
1974	Простов, Костровский	350—610	0,1	г	15	КЦ	[1.26]
1978	Запорожан	255—349	0,1—60	ж	63	Н	[1.15]
1979	Парамонов	257—465	p_s	ж	85	КЦ	[1.23]

* Здесь, а также в табл. 19, 31, 42 и 53 сокращения: Н, НН, П, КЦ, РР, МР обозначают соответственно методы нагретой нити, нестационарный нагретой нити, плоского слоя, коаксиальных цилиндров, регулярного режима, монотонного разогрева.

вочных изданиях [0.7, 0.8, 1.6] составлены таблицы теплопроводности λ'' жидкого фреона-10 на линии насыщения при 250—470 К и теплопроводности λ_T газообразного фреона-10 при атмосферном давлении при $T = (300—620)$ К, а также в указанных диапазонах температур даны интерполяционные уравнения [0.8]

$$\lambda_ж \cdot 10^3 = 102{,}7 - 0{,}22\,(300 - T); \qquad (1.27)$$

$$\lambda_T \cdot 10^3 = 3{,}363 + 3{,}338 \cdot 10^{-2} \cdot T, \qquad (1.28)$$

где λ выражено в Вт/(м·К).

Исследования последних лет и, в частности, результаты [1.15] для жидкости в однофазной области в опубликованных справочных изданиях не были использованы. Таким образом, имеется возможность составления существенно более полных таблиц теплопроводности фреона-10, включая однофазную область.

В газовой фазе теплопроводность фреона-10 изучена только при атмосферном давлении, но в широком интервале температур 280—640 К. Показанные на рис. 12 опытные данные согла-

суются в пределах погрешности эксперимента (3—5%) и не дают оснований для исправления (уточнения) существующих таблиц λ_T [0.8]. Однако в жидкой фазе положение иное.

На основании анализа экспериментальных данных о теплопроводности жидкого фреона-10 на линии насыщения построено уравнение (0.46), коэффициенты которого:

$$c_{\lambda,1} = 5{,}1354 \cdot 10^{-2}; \qquad c_{\lambda,4} = -8{,}1387 \cdot 10^{-2};$$
$$c_{\lambda,2} = -6{,}1644 \cdot 10^{-2}; \qquad c_{\lambda,5} = 5{,}7090 \cdot 10^{-2};$$
$$c_{\lambda,3} = 8{,}8531 \cdot 10^{-2}; \qquad c_{\lambda,6} = -1{,}4580 \cdot 10^{-2};$$
$$\lambda_{кр} = 254 \cdot 10^{-4}\ \text{Вт/(м·К)}.$$

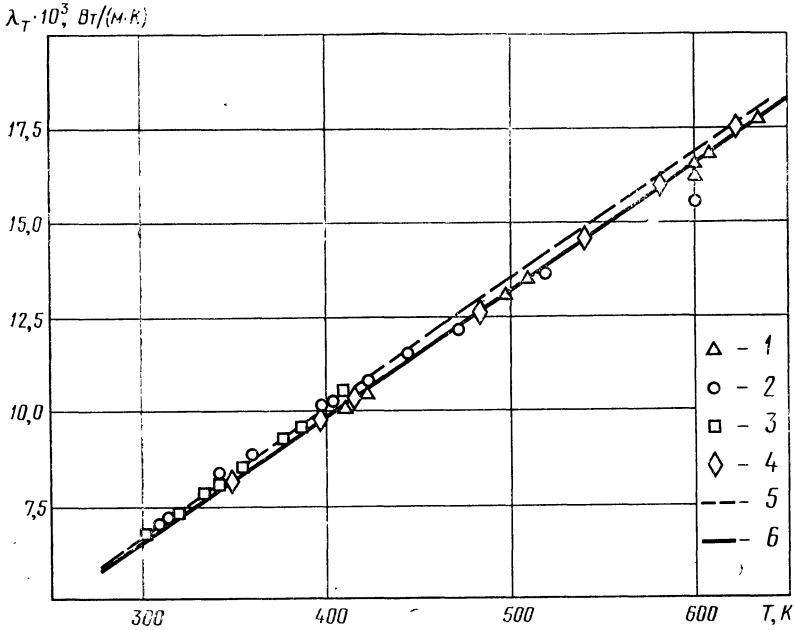


Рис. 12. Теплопроводность газообразного фреона-10 при низких давлениях:

опытные данные: *1* — Маширова, Тарзиманова [1.21]; *2* — Варгафтика и др. [1.5]; *3* — Масиа, Альвареса [1.83]; *4* — Простова, Костровского [1.26]; расчетные данные: *5* — по уравнению (0.32*а*); *6* — по уравнению (0.31)

Эти коэффициенты найдены В. З. Геллером и Г. В. Запорожаном [0.12, 1.15] в результате обработки 107 значений λ' в интервале температур $T = 253$—473 К по данным [0.8, 1.6, 1.15, 1.16, 1.23, 1.27, 1.54, 1.77, 1.86, 1.92, 1.95, 1.102]. Сравнение опытных и расчетных значений λ' сделано на рис. 13. Дополнительные комментарии требуются, пожалуй, только к работам [1.15, 1.23], опубликованным в самое последнее время.

Работа И. А. Парамонова [1.23] была проделана с целью выяснения влияния лучистой составляющей на перенос тепла в цилиндрическом слое полупрозрачной в инфракрасной обла-

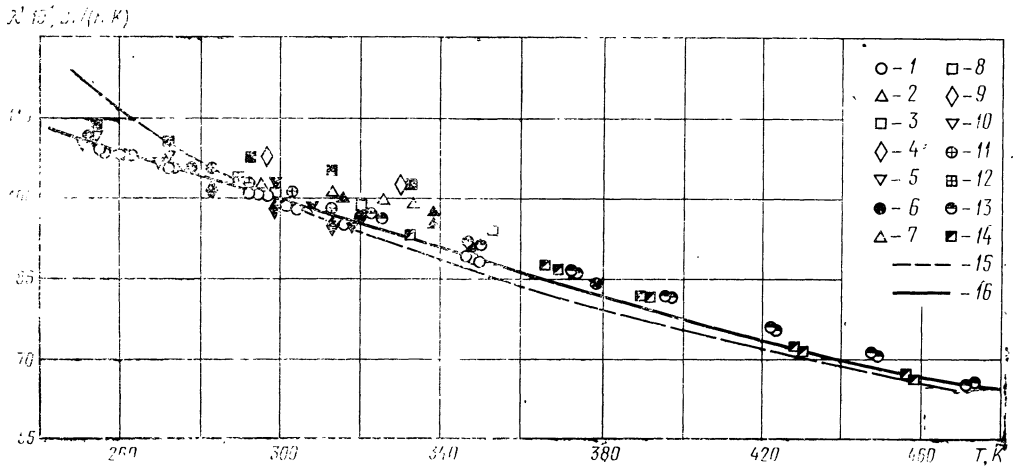


Рис. 13. Теплопроводность жидкого фреона-10 на линии насыщения:

опытные данные: *1* — Запорожана [1.15]; 2 — Шмидта, Лейденфроста [1.92]; *3* — Керимова и др. [0.8]; *4* — Челлонера и др. [0.8]; *5* — Джалаляна [1.54]; *6* — Таушера [1.95]; *7* — Мейсона [1.77]; *8* — Иванникова и др. [1.16]; *9* — Польца, Югеля [0.8]; *10* — Маклойхлина [0 8, 1 6]; *11* — Венарта [1.102]; *12* — Риделя [1.86]; *13* — Расторгуева, Геллера [1.27]; *14* — Парамонова [1 23]; расчетные данные: *15* — по уравнению (0.326); *16* — по уравнению (0.46)

сти спектра среды. Опыты проводились методом коаксиальных цилиндров при различных зазорах (от 0,1 до 1,6 мм). По результатам измерений путем экстраполяции опытных данных на нулевой зазор были найдены значения истинной «молекулярной» теплопроводности. Эти данные хорошо согласуются с измерениями [1.15, 1.27], выполненными методом нагретой нити, при температурах до 400 К. Но с повышением температуры расхождения увеличиваются, достигая 10 % при 460 К.

Из табл. 11 видно, что полученные в [1.15] опытные данные о теплопроводности жидкого фреона-10 при высоких давлениях являются единственными. Они были включены в состав исходных λ, p, T-измерений для фреонов-10, 11, 12, 13 и 14 (всего 380 точек в интервале $T=108$—408 К и $p=0{,}1$—60 МПа) при получении обобщенного уравнения (0.45), коэффициенты которого приведены в табл. 5. Максимальное отклонение значений [1.15] от рассчитанных по уравнению (0.45) равно 2,9 %, а среднее квадратическое — 1,9 %. Таким образом, уравнения (0.45) и (0.46) применимы для расчета теплопроводности жидкого фреона-10 в широкой области температур и давлений.

Для определения теплопроводности газообразного фреона-10 при атмосферном давлении рекомендуется использовать уравнение (0.31) с коэффициентами: $a_{\lambda,0}=-3{,}581\cdot10^{-3}$; $a_{\lambda,1}=3{,}378\times\times10^{-5}$. Эти значения коэффициентов получены в результате обработки 70 значений λ_T в интервале температур 278—610 К по данным [1.5, 1.21, 1.26, 1.83].

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических теплопроводностей (λ' и λ'') фреона-10, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для λ'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{\text{н.т.к.}}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Самодиффузия. Экспериментальная информация найдена в [1.48, 1.78, 1.85, 1.104] и относится к жидкой фазе. Опытные данные о $D_{1,1}$ жидкого фреона-10 при атмосферном давлении (вблизи линии насыщения) получены в интервале (283—333) К, а в двух работах [1.78, 1.104] измерения выполнены в однофазной области при давлениях до 150 и 20 МПа соответственно.

Экспериментальные данные о $D_{1,1}$ при атмосферном давлении согласуются между собой в пределах (8—10) % (рис. 14). Сильно отличающимися (до 15—20 %) оказались лишь опытные данные [1.104]. В [1.78] на основании обработки измерений самодиффузии в интервале температур 283—328 К и давлений 0,1—150 МПа получены две аналитические зависимости, одна из которых имеет вид

$$\ln(D_{1,1}\cdot10^{9}) = 8{,}14611 - 1{,}11302\cdot10^{-3}\cdot p + 2{,}05774\cdot10^{-7}\cdot p^{2} - \\ - 3{,}11364(10^{3}/T) + 0{,}022672(10^{3}/T)^{2} + \\ + 3{,}1840\cdot10^{-5}\cdot p(10^{3}/T), \qquad (1.29)$$

где $D_{1,1}$ выражено в м²/с, p — в барах.

Средняя квадратическая погрешность описания опытных данных Маккула и Вулфа [1.78] уравнением (1.29) равна 2,1 %. Это уравнение хорошо описывают также данные [1.48, 1.85] о самодиффузии фреона-10 при атмосферном давлении.

Для оценки зависимости $D_{1,1}(T)$ в жидкой фазе за пределами изученного интервала температур можно воспользоваться обобщенным уравнением (0.52).

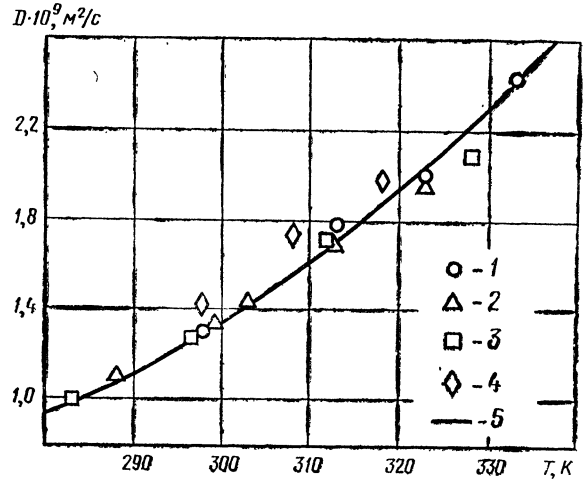


Рис. 14. Самодиффузия жидкого фреона-10 при атмосферном давлении:

опытные данные: *1* — Ратвуна [1.85]; *2* — Коллингса, Миллса [1.48]; *3* — Мак-Кула, Вулфа [1.78]; *4* — Воттса и др. [1.104]; *5* — расчетные данные настоящей работы

1.3. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРЕОНА-10 НА ЛИНИЯХ КИПЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ

Рекомендуемые справочные данные о теплофизических свойствах фреона-10 на линиях равновесия жидкость — пар приведены в табл. 12 и не включают величин теплоемкости c_p. Но при $T < T_{\text{н.т.к.}}$ имеются опытные данные о теплоемкости жидкости $c_p^{\text{ж}}$ и аппроксимирующее их уравнение (1.10). Поэтому при необходимости можно рассчитать a и Pr в жидкой фазе при T до 350 К.

Таблицы теплофизических свойств фреона-10 в однофазной области в этой книге не приводятся. Вместе с тем следует подчеркнуть, что представленные в разделах 1.1—1.2 уравнения позволяют рассчитывать ρ, w, η, λ, $D_{1,1}$ и другие величины с достаточно высокой точностью и в сравнительно широком интервале температуры и давления.

Таблица 12

Термодинамические свойства фреона-10 на линии кипения и конденсации

t	p_s	ϱ'	ϱ''	h'	h''	s'	s''	r	$\eta' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\sigma \cdot 10^3$
275	—	—	—	—	—	—	—	—	1133	105,4	29,39
280	0,006412	1619,9	0,4141	505,52	720,66	5,0183	5,7866	215,14	1042	104,3	28,79
290	0,01049	1600,0	0,6689	512,90	725,66	5,0416	5,7753	212,76	892	102,0	27,56
300	0,01650	1580,4	1,030	520,89	730,89	5,0682	5,7682	209,99	774	99,8	26,31
310	0,02508	1561,2	1,495	528,77	736,09	5,0951	5,7639	207,32	679	97,5	25,07
320	0,03698	1541,8	2,160	536,88	741,27	5,1210	5,7597	204,39	603	95,2	23,82
330	0,05305	1522,8	3,025	546,03	746,40	5,1489	5,7561	200,37	539	93,0	22,59
340	0,07427	1502,6	4,155	554,50	751,52	5,1740	5,7535	197,02	486	90,7	21,36
350	0,1017	1482,8	5,550	563,11	756,62	5,1992	5,7521	193,51	441	88,4	20,15
360	0,1361	1461,9	7,300	571,80	761,67	5,2238	5,7512	189,87	402	86,1	18,96
370	0,1795	1440,8	9,500	580,75	766,64	5,2481	5,7505	185,89	368	83,9	17,78
380	0,2327	1420,0	12,20	589,73	771,52	5,2718	5,7501	181,79	338	81,6	16,62
390	0,2970	1397,8	15,35	598,07	775,76	5,2950	5,7507	177,69	311	79,4	15,48
400	0,3735	1375,8	19,05	607,93	781,15	5,3186	5,7516	173,22	287	77,1	14,35
410	0,4642	1352,4	23,50	617,10	785,80	5,3411	5,7525	168,70	265	74,9	13,24
420	0,5700	1328,8	28,55	626,02	790,41	5,3626	5,7540	164,39	246	72,6	12,14
430	0,6927	1305,6	34,50	635,18	794,88	5,3841	5,7555	159,70	227	70,4	11,06
440	0,8342	1281,7	41,45	644,32	799,21	5,4050	5,7570	154,89	211	68,2	9,99
450	0,9958	1255,6	49,50	653,60	803,39	5,4257	5,7586	149,79	195	66,0	8,94
460	1,1792	1248,0	59,10	663,05	807,29	5,4461	5,7597	144,26	180	63,8	7,91

Продолжение табл. 12

t	p_s	ϱ'	ϱ''	h'	h''	s'	s''	r	$\eta' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\sigma \cdot 10^3$
470	1,3869	1198,6	70,20	672,77	811,05	5,4665	5,7608	138,28	167	61,6	6,90
480	1,6212	1167,6	83,00	682,56	814,56	5,4867	5,7618	132,00	156	59,4	5,91
485	1,7487	1150,8	90,20	687,53	816,19	5,4971	5,7624	128,66	150	58,3	5,43
490	1,8830	1133,8	98,90	692,02	817,54	5,5066	5,7628	125,52	145	51,1	4,95
495	2,026	1115,9	107,00	696,70	819,21	5,5172	5,7625	121,42	139	56,0	4,49
500	2,177	1097,4	116,60	702,46	820,24	5,5263	5,7622	117,78	133	54,9	4,03
505	2,336	1078,0	127,20	707,94	821,79	5,5364	5,7618	113,86	—	—	3,60
510	2,502	1057,8	138,49	712,87	822,57	5,5463	5,7614	109,70	—	—	3,15
515	2,680	1036,4	150,60	718,55	823,82	5,5568	5,7612	105,27	—	—	2,74
520	2,868	1013,2	164,80	724,26	824,22	5,5677	5,7600	99,95	—	—	2,32
525	3,064	988,11	181,00	730,53	824,60	5,5792	5,7584	94,06	—	—	1,95
530	3,271	960,59	200,20	736,44	824,47	5,5901	5,7562	88,03	—	—	1,57
535	3,489	927,97	223,60	742,50	824,09	5,6004	5,7529	81,59	—	—	1,23
540	3,718	892,18	250,00	748,27	822,74	5,6112	5,7491	74,47	—	—	0,889
545	3,957	850,50	283,05	755,12	821,23	5,6225	5,7438	66,11	—	—	0,598
550	4,412	804,51	324,00	763,38	818,15	5,6380	5,7376	54,77	—	—	0,309
555	4,478	714,00	410,00	779,71	810,05	5,6661	5,7208	30,33	—	—	0,060
556,36	4,560	557,99	557,99	794,36	794,36	5,6922	5,6922	0	—	—	0

ГЛАВА 2

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-11

2.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Планомерное изучение термодинамических свойств фреона-11 началось с работ [2.33—2.37, 2.60, 2.56]. В этих работах, так же как и во всех последующих, особое внимание уделялось вопросам чистоты исследуемого вещества, которую контролировали по постоянству нормальной температуры кипения [2.34] или давления [2.60, 2.21] насыщенных паров различных фракций, получаемых при перегонке. В более поздних работах [2.19,

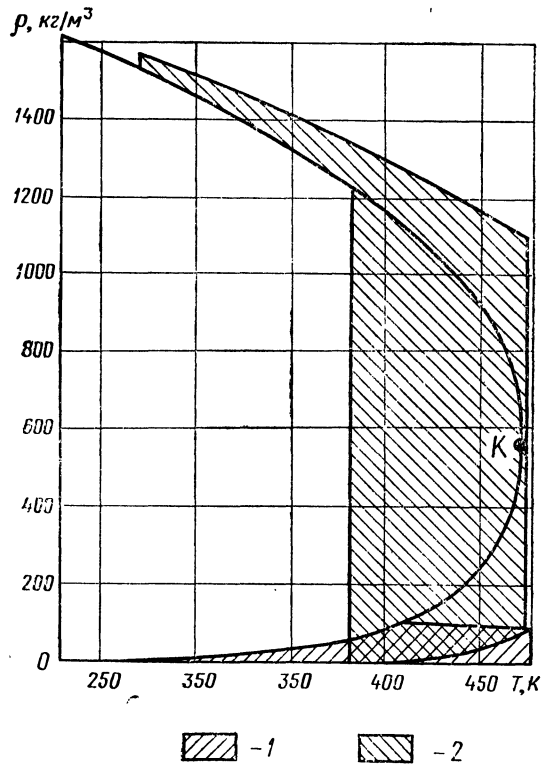


Рис. 15. Области экспериментального исследования термических свойств фреона-11 по данным: *1* — Беннинга, Мак-Харнесса [2.35]; *2* — Ривкина, Кременевской [2.18, 2.22, 2.23]

2.30] для определения состава, предназначенного для исследования фреона-11, применяли хроматографический анализ. Современные методы позволяют достигать высокой степени очистки: массовые доли основного продукта составляют 99,99—100,00 % воды — менее 0,0025 %, нелетучего остатка примерно 0,003 %, причем примеси других фреонов не идентифицируются, а кислотность отсутствует.

Опытные данные в однофазной области. Перечень экспериментальных работ, посвященных исследованию термодинамических свойств фреона-11 в однофазной области приведен в табл. 13.

Таблица 13

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-11 в однофазной области

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1940	Беннинг, Мак-Харнесс,	ϱ	303—477	0,1—2,1	г	34	[2.35]
1940	Беннинг,	c_p	311—407	0,1	г	13	[2.37]
	Мак-Харнесс, Марквуд, Смит	w	321—373			2	[2.33]
1941	Осборн, Гарнер,	c_p	15—163	0,1	т	34	[2.56]
	Дешер, Иост		163—288		ж	13	
1968—1971	Хайяр, Мак-Вуд	B	343—403	0,2	г	3	[2.32]
1969	Мейер	w	197—293	0,1	ж	21	[2.54]
1971	Гришков, Сирота	c_p	323—625	2,5—20	ж	148	[2.7]
1971	Ривкин, Кременевская	ϱ	273—473	0,8—20	ж	153	[2.22] [2.18]
1974	Груздев, Шумская	c_p	334—453	0,1—1,75	г	38	[2.10]
1975	Кременевская, Ривкин	ϱ	383—473	0,5—$s(p_s)$	г	71	[2.18] [2.23]
1975	Де Зуан, Джонас	ϱ	341—460	13—160	ж	16	[2.67]
1977	Крузе, Холдак-Янсен	ϱ	333—360	0,17—0,32	г	4	[2.50]
1980	Кобелев, Шаймарданов	ϱ	278—314	0,2—6,7	ж	71	[2.15]

Исследованию термических свойств посвящены работы [2.35, 2.22, 2.23]. Область параметров состояния, в которой проведены исследования, представлена на рис. 15. Беннинг и Мак-Харнесс [2.35] использовали пьезометр постоянного объема. Пьезометр и дифференциальный манометр — ртутный разделитель помещали в жидкостной термостат, температуру которого поддерживали постоянной с точностью ±0,1 К. Температуру измеряли ртутным термометром с ценой деления 0,1 К, отградуированным по платиновому термометру сопротивления, давление — пружинными манометрами с ценой деления 0,007 и 0,014 МПа, отградуированными по поршневому манометру. Измерения проводили по изохорам. Погрешность определения плотности составляла 0,3 % при низких и 0,06 % при высоких давлениях (без учета поправки на ошибки отнесения). В [2.22, 2.23] были использованы две установки, реализующие вариант термоста-

тируемого пьезометра постоянного объема с ртутным разделителем, вынесенным в зону комнатных температур. Одна из установок имела «горячий» вентиль для выпуска исследуемого вещества, что позволяло свести к минимуму и без того небольшой «балластный» (нетермостатируемый) объем. Опыты проводили по изотермам и изохорам. Погрешности измерения температуры платиновым термометром сопротивления составляли ±0,02 К, давления — поршневыми манометрами 0,05—0,07 %, определения плотности фреона-11 в жидкой фазе 0,02—0,05 %, в паровой 0,04—0,12 %. В 1980 г. в МЭИ [2.15] были проведены интерферометрические измерения показателя преломления для

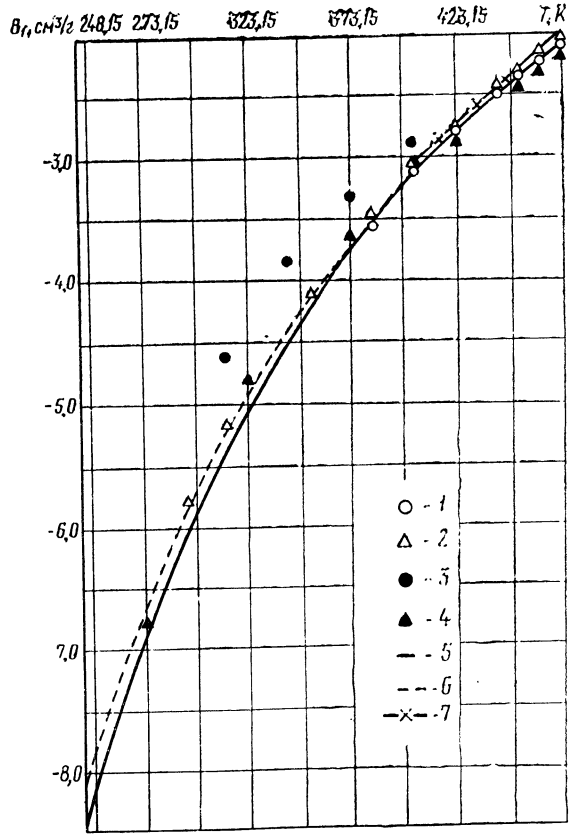


Рис. 16. Второй вириальный коэффициент фреона-11:
опытные данные: *1* — Хайяра, Маквуда [2.32]; *2* — Беннинга, Мак-Харнесса [2.35]; *3* — Кременевской, Ривкина [2.19]; расчетные данные: *4* — [1.24, 4.15]; *5* — [2.23]; *6* — [2.48]; *7* — [2.51]

определения плотности фреона-11 в жидкой фазе. Более 80 % полученных опытных точек согласуется с данными [2.22, 2.18] с отклонением 0,05 %. Максимальное отклонение (одна опытная точка) не превышает 0,2 %. Расхождения имеющихся опытных данных о плотности перегретых паров в основном соответствуют приведенным выше оценкам точности и лишь для нескольких значений достигают 0,6—0,8 %.

Второй вириальный коэффициент (рис. 16) был независимо рассчитан Пергифельдером с сотрудниками, Кунцем и Капнером [2.48, 2.51] по данным [2.35], а также С. Л. Ривкиным и Е. А. Кремневской [2.22]. Согласование полученных значений с точностью до 2—3 % лежит в пределах возможной точности графического их определения по результатам p, v, T-измерений. В [2.32, 3.49] приведены результаты определения второго вириального коэффициента относительным методом. Опыты проводили при низких давлениях на электромагнитных весах с использованием CF_4 в качестве газа сравнения. Полученные значения B систематически расходятся со значениями, найденными в [2.48, 2.51, 2.22]; отклонения составляют 7—10 %.

Изобарная теплоемкость твердого и жидкого фреона-11 при атмосферном давлении измерена Осборном с сотрудниками [2.56] с использованием адиабатического калориметра и платинового термометра сопротивления. Оцененная автором погрешность не превышала 0,5 % для температур 15—25 К и 0,1 % для более высоких температур.

Проточный стеклянный адиабатический калориметр с разомкнутой схемой циркуляции применен Беннингом с сотрудниками [2.37] для определения c_p паров. Было выявлено влияние расхода исследуемого вещества на измеряемую теплоемкость. Погрешность результатов авторы оценивают косвенно по тарировочным опытам с парами двуокиси серы и аммиака. Ошибка для нижнего температурного предела может достигать 4—8 % и иметь систематический характер, для верхнего — на порядок меньше.

В широком диапазоне температур и давлений в жидкой фазе и при сверхкритических параметрах изобарная теплоемкость измерена А. Я. Гришковым и А. М. Сиротой [2.5, 2.6, 2.7] методом проточного адиабатического калориметра. Расход вещества в замкнутой циркуляционной схеме установки определяли в калориметре-расходомере при температурах, близких к комнатным. По-существу, в работе определяли отношение c_p при данных давлении и температуры к c_p при том же давлении и комнатной температуре. Зависимость c_p от давления при комнатных температурах рассчитывали по p, v, T-данным. Случайная ошибка по оценке авторов не превышает 0,2 %, что соответствует разбросу опытных данных, систематическая — 0,5——0,7 %. Опыты проводили также при параметрах, для которых характерно разложение фреона-11.

В. А. Груздевым и А. И. Шумской [2.10] метод проточного капиллярного калориметра использован для определения c_p перегретых паров. Расход вещества через измерительный калориметр определяли по расходу через калориметр-расходомер при атмосферном давлении и комнатной температуре, а также весовым методом. Суммарная относительная средняя квадратическая ошибка измерения c_p оценена авторами для опорных значений 0,3—0,4 %, для значений c_p вблизи кривой насыщен-

ного пара и давлениях выше 1,0 МПа 0,6—0,7 %, вдали от линии насыщения и при низких давлениях 0,4—0,5 %.

Скорость звука в жидком фреоне-11 при атмосферном давлении измерена в [2.54] методом акустической интерферометрии с погрешностью ±0,15 %. Мейером определена температурная зависимость w, а также найдена связь между скоростью звука и теплопроводностью. Скорость звука в перегретых парах при атмосферном давлении определена для двух температур в [2.33]

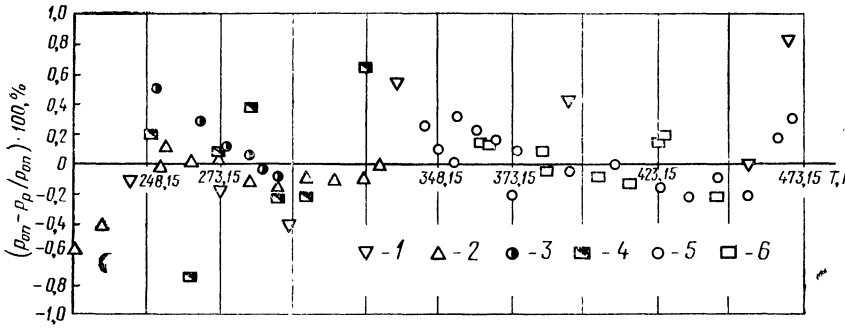


Рис. 17. Отклонение значений давления насыщенного пара фреона-11 от принятых в настоящей работе:

опытные данные: *1* — Беннинга и Мак-Харнесса [2.33, 2.34]; *2* — Риделя [2.60]; *3* — Осборна и др. [2.56]; *4* — Павловой [2.21]; *5* и *6* — Кременевской, Ривкина [2.19, 2,23]

резонансным методом на частотах 800—2000 Гц. Вводилась поправка на концевые эффекты. Ошибка результатов не оценена. По полученным значениям w, измеренным значениям c_p и уравнению состояния, описывающего p, v, T-данные тех же авторов, определено отношение теплоемкостей c_p/c_v при атмосферном давлении.

В широком интервале температур и давлений измерена С. Г. Комаровым с соавторами [2.16] скорость звука в перегретых парах методом стоячих волн в резонаторе. Авторами приводятся результаты графической интерполяции опытных данных, средняя арифметическая погрешность которых оценена в 0,4 %. Полученные результаты использованы для расчета энтропии. За начало отсчета принята изобара 0,0069 МПа по данным [0.38].

Опытные данные на линиях равновесия фаз (табл. 14). В [2.60, 2.56, 2.21] применен статический метод определения p_s, T_s-зависимости. Конденсационный термометр соединен с ртутным манометром, показания которого отсчитываются с помощью катетометра. Температуру измеряли платиновым термометром сопротивления. В [2.34] также статическим методом измерено давление насыщенных паров от 243 К до температуры, близкой к критической. Оцененные авторами погрешности определения 0,2 % [2.60]; 0,05 % [2.56]; 0,5 % [2,21]; 0,3 % [2.34]. В интервале 383—468 К 24 значения p_s получены Е. А. Крем-

Таблица 14

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-11 на линиях равновесия фаз жидкость — пар

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1939	Ридель	p_s	224—328	ж—г	13	[2.60]
1940	Беннинг,	p_s	244—469	ж—г	7	[2.34]
	Мак-Харнесс	ϱ'	244—400	ж	12	
		c_p	261—347	ж	4	[2.37]
1941	Осборн, Гарнер,	p_s	236—297	ж—г	8	[2.56]
	Дешер, Иост	r	290,4	ж—г	1	
1955	Павлова	p_s	225—323	ж—г	10	[2.21]
		ϱ'	240—323	г	10	
		ϱ''	240—324	ж	10	
		r	223—325	ж—г	11	
1967	Шелудяков,	w	295—393	г	18	[2.17]
	Комаров, Соловьев			ж	15	
1969	Шелудяков, Колотов, Соловьев	w	233—471	г	40	[2.30]
1969	Дорохов, Кирнянен-ко, Соловьев	σ	239—371	ж—г	26	[2.12]
1971	Синицын, Муратов, Скрипов	σ	293—371	ж—г	14	[2.26]
1973	Хейде	σ	233—373	ж—г	15	[2.46]
1974	Азиз	w	$T_{тр} - 257$	ж	7	[2.32]
1975	Кременевская, Ривкин	p_s	383—468	ж—г	24	[2.19]
1977	Ратьен, Штрауб	σ	164—458	ж—г	40	[0.55]
1977	Ватанабе, Окада	σ	273—365	ж—г	56	[2.64]
1981	Чавец, Тзимура	w	248—350	ж	29	[2.40]
	Дель Рио					

невской, С. Л. Ривкиным на двух установках [2.19] с пьезометром постоянного объема. Погрешность измерения p_s поршневым манометром при температурах до 443 К не превышает 0,1 %, а для более высоких температур, где наблюдался наклон изотерм в двухфазной области, ошибка может возрастать до 0,2 %. Взаимное согласование этих данных можно оценить по рис. 17. Так, при низких температурах расхождение данных о p_s Осборна [2.60] и Риделя [2.56] достигает 1—1,5 %.

Плотность кипящей жидкости измерена в [2.36] с использованием калиброванных стеклянных поплавков плотностью $(0{,}8—1{,}6) \cdot 10^3$ кг/м^3, а также при температурах до 323 К — пикнометрическим методом. Согласование значений плотностей, полученных двумя методами, $\pm 0{,}2$ %. В [2.21] плотность кипящей жидкости определена пикнометрическим методом с ошибкой, по оценке автора, не более 0,2 % для температур ниже 273 К и 0,5 % — для температур выше 273 К, когда применяли запаянные пикнометры для исключения потерь вещества за счет испарения. В той же работе пикнометрическим методом получены данные о плотности насыщенного пара. При этом

пикнометр частично был заполнен жидким фреоном и ρ'' рассчитывали по данным о ρ' и известным объемам, занимаемым паровой фазой и жидкостью. Погрешность 0,2—0,3 %.

Скрытая теплота парообразования определена Риделем [2.56] для одной температуры 290,40 К и для 11 температур И. А. Павловой [2.21] методом адиабатического калориметра. Погрешность определения r оценена в 0,1 % [2.56], и в 0,1—0,2 % в [2.21]. При 290,40 К значения по данным [2.56 и 2.21] расходятся на 0,6 кДж/кг, что составляет 0,3 %.

Теплоемкость вдоль линии кипящей жидкости измерена Беннингом с сотрудниками [2.37] методом калориметрирования с электрическим подводом тепла к исследуемому веществу. Вводились поправки на исправление части жидкости в паровом пространстве и на неадиабатичность калориметра. Последняя составляла 3—10 %. О точности полученных данных можно лишь косвенно судить по результатам сравнения экспериментальных данных о c_p фреона-13, полученных на той же установке, с экспериментальными данными Риделя. Расхождение при 333 К достигает 5 %.

Скорость звука в насыщенных парах вплоть до критической точки измеряли Я. П. Колотов с соавторами [2.16] методом стоячих волн в резонаторе и С. Г. Комаров с соавторами [2.17] методом ультразвукового интерферометра с переменным расстоянием между излучателем и приемником при постоянной частоте сигнала. Расхождение данных этих двух работ носит систематический характер и достигает 4,5 %. В [2.17] измерена также скорость звука в кипящем фреоне-11. Результаты определения скорости звука в кипящей жидкости представлены [2.32, 1.37] в виде температурной зависимости, абсолютная погрешность $<0{,}23$ м/с. Применен метод резонанса с цилиндрическим излучателем.

Поверхностное натяжение фреона-11 экспериментально исследовано методом капиллярного поднятия [2.46, 2.64, 0.55, 2.26] и комбинированным методом [2.12]. Выше 230 К имеются данные разных авторов, причем расхождения лежат в пределах точности опыта и составляют значение порядка 1 %. Поверхностное натяжение в области низких температур вплоть до 160 К исследовано лишь в [0.55].

В табл. 15 приведены параметры узловых точек на линиях раздела фаз. Лишь некоторые из приведенных значений получены экспериментально. Так, в [2.33] была определена критическая температура по исчезновению и появлению мениска жидкости в запаянной ампуле. Разность между значениями, полученными в опытах при медленном нагревании и охлаждении составляла 0,4 К. В дальнейшем все исследователи принимали значение $T_{кр}$ по данным Беннинга и Мак-Харнесса [2.33]. В работе [2.34] тех же авторов определена нормальная температура кипения с погрешностью 0,1 К, а температура плавления получена в [2.56] с погрешностью 0,05 К.

Таблица 15

Параметры узловых точек на линии равновесия фреона-11

Год	Авторы	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\rho_{кр}$, м³/кг	$T_{н.т.к.}$, К	$T_{о.}$, К	Источник
1940	Беннинг, Мак-Харнесс	471,15	4,2	554	296,85—296,92	—	[2.36]
1941	Осборн, Гарнер, Дешер, Иост	471,15	—	—	296,81	162,67	[2.56]
1952	Эйземан	471,15	4,464	554	—	—	[2.43]
1967	Ромбуш, Гиезен	471,16	4,403	548,15	—	—	[2.62]
1967	Клецкий	471,15	4,387	—	—	—	[2.13]
1975	Кременевская, Ривкин	471,15	4,381	—	—	—	[2.23]
1976	Перельштейн, Парушин	471,15	4,370	570,2	—	—	[1.24, 4.16]
1977	Дёринг	471,15	4,403	554	296,83	162,15	[2.41]
1980	Перельштейн, Парушин	471,15	4,370	570,2	296,80	162,15	[0.23, 0.24]

Примечание. Принятые в этой книге значения параметров указаны в табл. 3.

Уравнения состояния и таблицы. Впервые уравнение состояния для области перегретых паров до плотности 110 кг/м³, давления до 2 МПа, температур до 473 К было разработано Беннингом и Мак-Харнессом [2.35] на основе полученных ими опытных данных. Этими же авторами была предложена аналитическая зависимость давления насыщенных паров от температуры, экстраполяцией которой до критической точки получено значение критического давления. Применяя правило прямолинейного диаметра и используя экспериментальные данные об ортобарических плотностях в работе [2.35] получено значение критической плотности. Температурные зависимости упругости пара, ортобарических плотностей предложены авторами экспериментальных исследований этих свойств [2.60, 2.56, 2.21], точность описания которых соответствует случайной погрешности экспериментов. В дальнейшем [5.47, 2.62, 2.13, 2.14] предлагались и другие уравнения, описывающие уже совокупность опытных данных, указанных выше.

Эйземаном [2.43] экспериментальные данные для ряда фреонов, в том числе и для фреона-11, обработаны совместно в приведенных координатах. Сделана попытка уложить ортобарические плотности всех рассматриваемых фреонов на одну кривую с учетом правила прямолинейного диаметра. Отклонение расчетных значений от опытных — порядка 0,6 %. Там же дана таблица плотности перегретых паров для приведенных давлений 0,05—3,40 МПа и температур 0,70—1,75 К. Принятые в ра-

боте значения критических параметров указаны в табл. 15.

Также используя принцип соответственных состояний, но уже с привлечением данных для более широкого круга веществ, разработаны И. И. Перельштейном, Е. Б. Парушиным [0.24, 4.16] уравнения для описания температурной зависимости ортобарических плотностей и давлений насыщения вплоть до критической температуры. Указанные авторами максимальные ошибки описания могут составлять для плотности кипящей жидкости $\pm 0{,}1$ %, давления насыщенных паров $\pm 0{,}2$ %.

Почти одновременно авторы работ [2.62, 2.13, 2.14], опираясь на известный к тому времени ограниченный экспериментальный материал, предложили таблицы термодинамических свойств на кривых сосуществования и h, $\lg p$-диаграммы. В [2.62] охвачена область температур от 223 К до критической точки, в [2.13, 2.14] — от 213 до 423 К. Согласование данных этих таблиц: $\delta p_s = \pm 0{,}6$ %; $\delta\rho' = \pm 0{,}2$ %; $\delta\rho'' = \pm 1{,}2$ %; $\delta r = \pm 1{,}5$ %.

В работе С. Л. Ривкина и Е. А. Кременевской [2.23] на основании полученных авторами опытных p, v, T-данных для жидкого фреона-11 разработано уравнение, справедливое в области давлений до 20 МПа, температур 473 К и плотностей выше 970 кг/м^3. Максимальная погрешность описания экспериментальных данных не превышает 0,1 %. В той же работе предложено уравнение для описания термических свойств паров фреона-11. Оно составлено по экспериментальным данным авторов с учетом опытных данных [2.35]. По второму вириальному коэффициенту, выделенному из экспериментальных данных, рассчитаны параметры потенциала Леннарда-Джонса (12—6), что позволило достаточно надежно экстраполировать значение второго вириального коэффициента на область отрицательных температур. Как видно из рис. 18, среднее квадратическое отклонение рассчитанных по уравнению состояния значений удельных объемов от опытных данных [2.23] составляет 0,16 %, а от опытных данных [2.35] — 0,34 % (последнее совпадает с отклонением этих данных от рассчитанных по уравнению, предложенному в [2.35]). Уравнение справедливо до 473 К и плотностей 250 кг/м^3. Е. А. Кременовской и С. Л. Ривкиным [2.19] предложено также уравнение кривой упругости, полученное при совместной обработке всех известных экспериментальных данных. Оно действительно вплоть до критической точки. Сравнение опытных и расчетных значений приведено на рис. 17. Средние квадратические отклонения рассчитанных по уравнению значений давлений насыщения от опытных данных [2.19], [2.33, 2.34], [2.60], [2.56] и [2.21] составляют соответственно 0,17; 0,44; 0,23; 0,50 и 0,80 %. По указанным уравнениям [2.23, 2.19] рассчитаны таблицы термодинамических свойств, в том числе изобарная теплоемкость и скорость звука, значения которых вполне удовлетворительно согласуются с известными экспериментальными данными.

Позднее Дерингом [2.41] были предложены таблицы термо-

динамических свойств перегретых паров и на линии насыщения, рассчитанные по уравнениям, при разработке которых автор, к сожалению, не учитывал обширный экспериментальный материал [2.19, 2.22, 2.23].

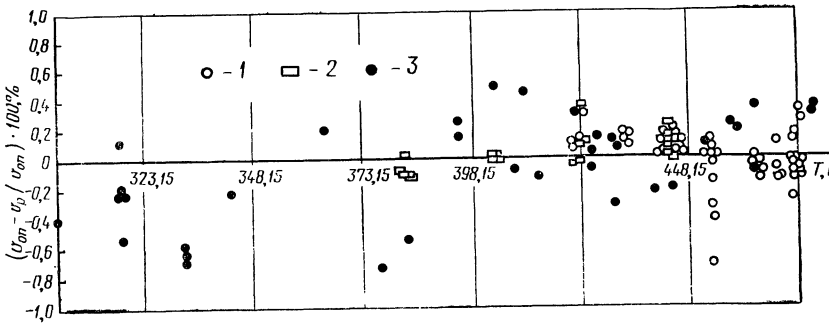


Рис. 18. Отклонение опытных значений удельных объемов фреона-11 от принятых в настоящей работе, полученное:
1 и *2* — Ривкиным, Кременевской [2.22, 2.23]; *3* — Беннингом, Мак-Харнессом [2.35]

При составлении таблиц калорических свойств необходимо использовать результаты расчетов этих свойств в идеально-газовом состоянии. В табл. 16 систематизированы данные об идеально-газовой изобарной теплоемкости (c_p^0), энтальпии ($H_T^0 - H_0^0$) и энтропии (s_0). Для единственной температуры 298,25 К энтропия жидкости и пара была определена Риделем [2.56] с использованием опытных данных об изобарной теплоемкости. Оцененная автором погрешность составляет 0,15 %. В [2.44, 2.31, 0.29, 0.42, 0.43] расчеты идеально-газовых величин проводились в приближении гармонический осциллятор — жесткий ротатор, причем в [2.31, 0.42, 0.43] вводились поправки на ангармоничность колебаний. Как видно из табл. 16, данные [2.31, 0.42] согласуются между собой с высокой точностью (расхождения не превышают 0,2 %), что позволяет в дальнейшем ориентироваться на эти данные при проведении расчетов термодинамических свойств фреона-11.

2.2. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Линия равновесия жидкость — пар. Уравнение для давления насыщения, как указано выше [2.23], получено аппроксимацией всей совокупности известных экспериментальных данных и имеет вид:

$$\ln p = A \ln T + \sum_{j=-1}^{2} a_j T^j, \qquad (2.1)$$

где $A = -7{,}3269$; $a_{-1} = -0{,}49242023 \cdot 10^4$; $a_0 = 0{,}57868335 \cdot 10^2$; $a_1 =$

Таблица 16

Значения термодинамических функций фреона-11 в идеально газовом состоянии по данным разных авторов

T, K	c^0_p Дж/(моль·К)					$H_0 - H^0_0$, кДж/моль					s_0, Дж/(моль·К)				
	[0.43]	[2.44]	[0.42]	[2.31]	[0.29]	[2.44]	[2.31]	[0.28]	[0.29]	[0.43]	[2.44]	**[2.31]**	[0.28]	[0.43]	[0.29]
100	43,42	43,00	—	43,42	43,287	3,563	3,576	—	3,571	3,576	244,6	244,7	—	244,6	244,275
200	64,56	64,18	64,84	64,73	64,448	8,981	9,044	—	9,022	9,039	281,3	281,7	—	281,6	281,203
298,16	78,13	77,92	—	—	78,069	16,01	—	16,068	16,063	16,09	309,7	—	309,85	310,1	309,671
300	78,34	78,17	78,84	78,75	78,274	16,57	16,27	—	16,208	16,24	310,2	310,9	—	310,5	310,155
400	87,25	87,13	87,94	87,88	87,200	24,44	24,64	24,518	24,514	24,41	334,0	334,9	334,17	334,4	333,989
500	93,03	92,95	93,90	93,91	92,975	33,47	33,75	33,549	33,544	33,58	354,1	355,2	354,30	354,5	354,113
600	96,84	96,76	97,90	97,76	96,787	42,96	43,33	43,053	43,044	43,09	371,4	372,7	371,61	371,9	371,425
700	99,44	99,39	100,68	100,5	99,381	53,05	53,31	52,871	52,861	52,91	386,5	388,1	386,74	387,0	386,551
800	101,3	101,2	102,70	102,5	101,204	62,80	63,44	62,907	62,895	62,95	399,9	401,5	400,15	400,4	399,948
900	102,6	102,6	104,23	104,1	102,524	73,02	73,78	73,097	73,085	73,14	411,9	413,7	412,15	412,4	411,948
1000	103,6	103,5	105,42	105,3	103,506	83,32	84,24	83,409	83,389	83,46	422,7	424,9	423,01	423,3	422,803

$=-0{,}11920134\cdot10^{-2}$; $a_2=0{,}91135274\cdot10^{-5}$, причем p выражено в 10^5 Па, T — в К.

На рис. 17 сопоставлены опытные значения давления насыщения с рассчитанными по уравнению (2.1).

Ортобарические плотности получены путем совместного решения уравнений состояния (2.3), (2.4) и уравнения (2.1).

Энтальпия, энтропия и изобарная теплоемкость сухого на-

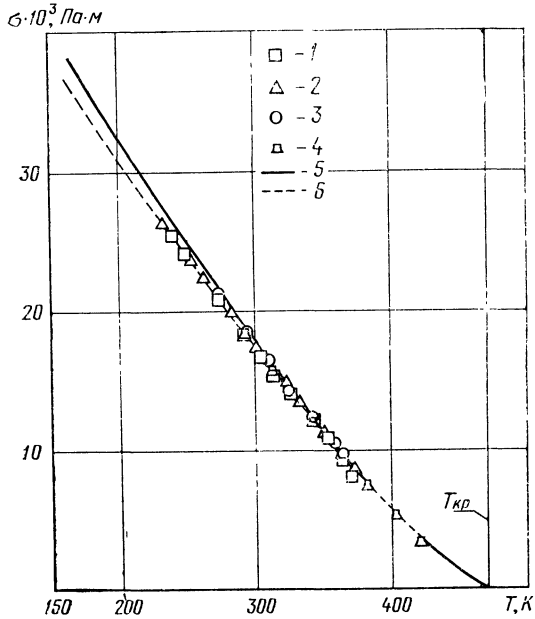


Рис. 19. Поверхностное натяжение фреона-11:
опытные данные: *1* — Дорохова и др. [2.12]; *2* — Синицына и др. [2.26]; *3* — Хейде [2.46]; *4* — Ватанабе и др. [2.64]; расчетные данные: *5* — [2.12]; *6* — [0.55]

сыщенного пара найдены при совместном решении уравнений для указанных величин в однофазной области и уравнения (2.1).

Для расчета энтальпии кипящей жидкости принято уравнение, согласующееся с данными ВТИ [2.5, 2.6] с погрешностью 1—2 %:

$$h' = \sum_{j=0}^{8} c_j\,[(T-233{,}15)/100]^j, \qquad (2.2)$$

где $c_0=0{,}36568\cdot10^3$; $c_1=0{,}849\cdot10^2$; $c_2=0{,}211\cdot10^1$; $c_3=0{,}75$; $c_4=0{,}22$; $c_5=c_6=c_7=0$; $c_8=0{,}9\cdot10^{-2}$, причем h' выражено в кДж/кг, T — в К.

Значения теплот парообразования вычислены как разность $(h''-h')$, а энтропия кипящей жидкости $s'=s''-r/T$.

Температурная зависимость поверхностного натяжения во всем исследованном диапазоне температур с точностью опыта описывается уравнением (0.53) с коэффициентами, принятыми по данным [2.64]: $\sigma_0\cdot10^3=62{,}07$; $\mu=1{,}252$.

Сопоставление опытных и расчетных значений поверхностного натяжения фреона-11 показано на рис. 19.

Однофазная область. Уравнение состояния жидкого фреона-11, справедливое до 20 МПа, 473 К и плотностей выше 970 кг/м³, имеет вид [2.23]:

$$p = \sum_{j=0}^{1} d_j \cdot T^j \cdot \rho^2 + \sum_{i=0}^{3} g_i \cdot T^i \cdot \rho^{10}, \qquad (2.3)$$

где $d_0 = -0{,}881602 \cdot 10^2$; $d_1 = 0{,}198533 \cdot 10^0$; $g_0 = -0{,}2047754 \cdot 10^1$; $g_1 = 0{,}262488 \cdot 10^{-4}$; $g_2 = -0{,}889566 \cdot 10^{-4}$; $g_3 = 0{,}129203 \cdot 10^{-6}$, причем p выражено в 10^5 Па, ρ — в кг/м³, T — в К.

Уравнение состояния газообразного фреона-11, справедливое в области температур до 473 К и плотностей до 250 кг/м³, имеет вид [2.23]:

$$z = 1 + \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=0}^{2} b_{ij} \cdot \rho^i \cdot T^{-j}, \qquad (2.4)$$

Причем ρ выражено в кг/м³, T — в К, а значения коэффициентов b_{ij} приведены в табл. 17.

Таблица 17

Коэффициенты b_{ij} уравнения состояния (2.4) для фреона-11

i	b_{ij} при j равном		
	0	1	2
1	$0{,}2861273 \cdot 10^1$	$-0{,}40436528 \cdot 10^1$	$-0{,}93439873$
2	$-0{,}48163586 \cdot 10^1$	$0{,}37497506 \cdot 10^1$	$0{,}19330575 \cdot 10^2$
3	$-0{,}45777 \cdot 10^1$	$0{,}2412756 \cdot 10^2$	$-0{,}17949087 \cdot 10^2$

Энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, скорость звука, эффект Джоуля — Томсона и коэффициент термического расширения вычислены на основе известных термодинамических соотношений с привлечением данных о калорических свойствах фреона-11 в идеально-газовом состоянии [2.31], которые аппроксимированы уравнениями:

$$h_0 = \sum_{j=0}^{5} f_j \cdot T^j; \qquad (2.5)$$

$$s_0 = \sum_{j=0}^{4} l_j \cdot T^j + c \cdot \ln T, \qquad (2.6)$$

где $f_0 = 0{,}54153792 \cdot 10^1$; $f_1 = 0{,}8070699 \cdot 10^{-1}$; $f_2 = 0{,}1415694 \cdot 10^{-2}$; $f_3 = -0{,}1799766 \cdot 10^{-5}$; $f_4 = 0{,}13756841 \cdot 10^{-8}$; $f_5 = -0{,}4825815 \cdot 10^{-12}$; $l_0 = 0{,}1151271 \cdot 10^1$; $l_1 = 0{,}2831388 \cdot 10^{-2}$; $l_2 = -0{,}269965 \cdot 10^{-5}$; $l_3 = 0{,}1834246 \cdot 10^{-8}$; $l_4 = -0{,}603226 \cdot 10^{-12}$; $C = 0{,}2018056 \cdot 10^{-1}$.

За начало отсчета принято состояние кипящей жидкости при 273,15 К, значения энтальпии и энтропии в этом состоянии приняты соответственно равными 400,00 кДж/кг и 4,0000 кДж/(кг·К).

2.3. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВАХ

Вязкость. Опубликованные в 70-е годы справочные издания [0.5, 0.7, 0.30, 0.39, 0.40, 0.58, 2.1] содержат таблицы вязкости фреона-11 при атмосферном давлении и на линии насыщения. Табличные данные [0.5, 0.7, 0.30, 2.1] повторяют данные, приведенные в более ранних справочниках, составители которых располагали только опытными данными Беннинга, Марквуда (1939 г.). В фундаментальном справочнике по вязкости газов и жидкостей [0.58] приведены пересчитанные в метрическую систему единиц новые табличные данные ASHRAE [0.39, 0.40], которые основаны на измерениях 1939—1969 гг. и охватывает широкий интервал температур (от 170 до 500 К). Погрешность табличных значений η_T оценивают в ±2 %, а η' от 5 до 10 % [0.58].

Известные к настоящему времени экспериментальные исследования сведены в табл. 18. Вязкость газообразного фреона-11

Таблица 18

Экспериментальные исследования вязкости фреона-11

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1939	Беннинг, Марквуд	274—353	0,03—0,1	г	5	КШ	[2.38]
		243—333	p_s	ж	4	КШ	[2.39]
1956	Кинзер	213—265	p_s	ж	6	КШ	[2.66]
1958	Мак-Куллум	392	0,1	г	1	КШ	[2.66]
1959	Тсюи	363—423	0,1	г	5	Ка	[2.66]
1961	Гержка, Пиктхаль	294—328	p_s	ж	2	КШ	[2.47]
1962	Рилей	182—298	p_s	ж	8	КШ	[2.66]
1965	Эйзель	252—307	p_s	ж	8	КШ	[2.45]
1969	Гордон, Хамильтон, Фонтайне	245—347	p_s	ж	9	Ка	[2.45]
1970	Филипс, Мэрфи	269—352	p_s	ж	9	Ка	[4.48]
1971	Ривкин, Левин, Израилевский	443—503	1,1—11,8	г, ж	32	Ка	[2.24]
1973	Геллер, Иванченко	242—453	0,1—60	ж	93	Ка	[2.3, 2.4]
1979	Кестин, Вакехам	300—473	0,1	г	5	КД	[2.49]
1979	Клиффорд, Грей, Скотт	373—570	0,1	г	5	Ка	[4.39]
1980	Лавочник, Соловей	208—263	0,1	ж	12	Ка	[2.20]

* См. примечание к табл. 10.

при атмосферном давлении определяли в пяти экспериментальных работах, измерения выполнены в интервале температур 274—570 К и расхождение опытных данных разных авторов обычно меньше 3 % (рис. 20). Наиболее надежными признаны опубликованные в 1979 г. опытные данные [2.49, 4.39]. Их ве-

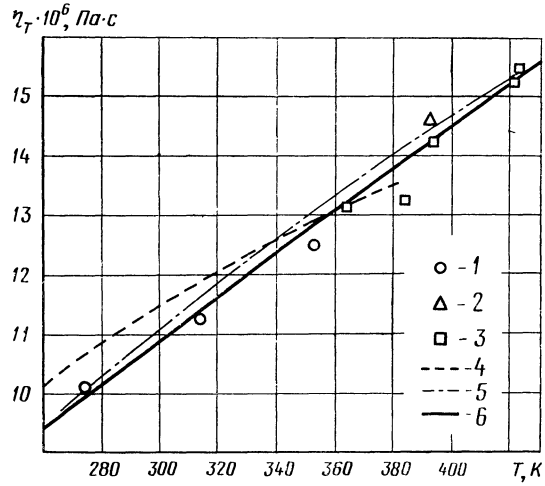


Рис. 20. Вязкость газообразного фреона-11 при низких давлениях:
опытные данные: *1* — Беннинга, Марквуда [2.38]; *2* — Мак-Куллума [2.66]; *3* — Тсюи [2.66], расчетные данные *4* — [0.7], *5* — по уравнению (0.32*а*); *6* — по уравнению (1.26)

роятная погрешность не превышает ±1 %.

С. Л. Ривкин с соавторами [2.24] исследовали вязкость фреона-11 на пяти изотермах в интервале 443—503 К при давлениях до 12 МПа. Измерения выполнены на оригинальном вискозиметре с постоянным перепадом давления. По оценке авторов, максимальная погрешность измеренных значений η не превышает 1,5 %. Для газообразного фреона-11 при повышенных давлениях опытные данные [2.24] являются единственными.

Вязкость жидкого фреона-11 на линии насыщения определяли в восьми экспериментальных работах, измерения выполнены при $T = 182$—443 К. Согласование опытных данных разных авторов получилось не очень хорошее (рис. 21). Отмечены большие расхождения значений η', измеренных методом катящегося шарика. Данные [2.45, 4.48], полученные на капиллярных вискозиметрах «с висячим уровнем», хорошо согласуются при низкой температуре с результатами измерений В. З. Геллера, С. И. Иванченко [2.3, 2.4], выполненных на капиллярном вискозиметре с переменным перепадом давления, однако с ростом температуры расхождение увеличивается до 5—8 % (см. рис. 21). Аналогичные по знаку отклонения обнаружены и для других жидких фреонов, изученных в [2.45, 4.48].

В качестве опорных данных о вязкости жидкого фреона-11 при $p \geqslant p_s$ нами приняты результаты измерений ОТИПП [0.9, 2.3, 3.4].

Известно несколько уравнений, предназначенных для расчета вязкости фреона-11 при повышенных давлениях. Так, С. Л.

Ривкин с соавторами [2.24] на основе обработки собственных данных нашли коэффициенты уравнения (0.33) и рассчитали по нему таблицы значений η в интервале $T=423$—503 К, $p=0{,}1$—16 МПа. Аналогичные уравнения предложены в работе

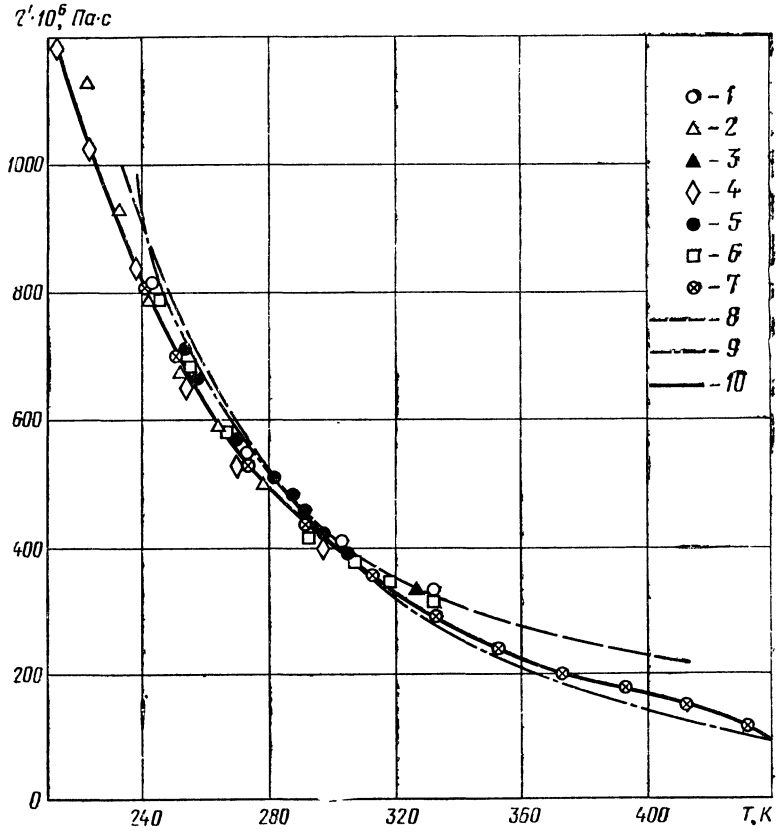


Рис. 21. Вязкость жидкого фреона-11 на линии насыщения:
опытные данные: *1* — Беннинга, Марквуда [2.39]; *2* — Кинзера [2.66]; *3* — Гержки, Пиктхаля [2.47]; *4* — Рилея [2.66]; *5* — Эйзеля [2.45]; *6* — Гордона и др. [2.45]; *7* — Геллера, Иванченко [2.3, 2.4]; расчетные данные: *8* — [0.5]; *9* — по уравнению (0.32*б*); *10* — по уравнению (0.36)

[0.9], но они являются продуктом совместной обработки опытных данных ВТИ и ОТИПП при $\rho \leqslant 1600$ кг/м^3. Там же приведено уравнение типа (0.36), которое применимо в жидкой фазе в диапазоне $\tau=0{,}5$—$0{,}95$ и $\pi \leqslant 14$.

В настоящем справочнике рекомендуется система обобщенных уравнений (0.35), (0.36), (1.26), полученная В. З. Геллером, А. В. Кронбергом [0.12, 1.18] на основании обработки опытных данных для фреонов-10, 11, 12, 13, 14. Общие для рассматриваемой группы фреонов коэффициенты уравнений (0.35), (0.36) и (1.26) приведены соответственно в табл. 4 и гл. 1. Ин-

дивидуальные константы фреона-11 $\eta_{0,7}=315$ мкПа·с, $\eta_{T_{кр}}=$ $=16{,}9$ мкПа·с.

Экспериментальная информация о вязкости фреона-11, использованная при получении указанной системы уравнений, представлена опытными данными [2.3, 2.4, 2.24, 2.38, 2.66] в области $T=242$—475 К, $p=0{,}1$—60 МПа.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических вязкостей (η' и η'') фреона-11, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для η'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{н.т.к.}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Теплопроводность. Наиболее полные таблицы теплопроводности фреона-11 приведены в справочнике [0.8]. Они получены в результате графической обработки опытных данных, опубликованных до 1976 г. (см. табл. 19), и охватывают как газовую ($T=300$—500 К, $p=0{,}1$—$3{,}5$ МПа), так и жидкую фазу ($T=$ $=173$—413 К, $p=p_s-60$ МПа). Погрешность табличных значений в жидкой фазе оценена в 2—4 % и в газовой в 5—6 %. Повышенные допуски к рекомендуемым значениям λ в газовой

Таблица 19

Экспериментальные исследования теплопроводности фреона-11

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1940	Ридель	293	p_s	ж	1	П	[2.61]
1943	Марквуд, Беннинг	273—348	p_s	ж	3	КЦ	[2.53]
		303—363	0,1	г	2	Н	[2.53]
1951	Данилова	243—291	p_s	ж	19	РР	[2.11]
1952	Чернеева	213—293	p_s	ж	21	Н	[2.29]
		313—388	0,1	г	13	Н	[2.29]
1956	Пауэлл	273—308	p_s	ж	4	П	[2.57]
1957	Малкостра	270	p_s	ж	1	П	[2.52]
1959	Пауэлл, Чаллонер	253—293	p_s	ж	3	П	[2.58]
1962	Видмер	182—283	p_s	ж	17	НН	[2.65]
1964	Джалалян	213—273	p_s	ж	4	Н	[1.54, 2.42]
1966	Пауэлл с соавторами	286	p_s	ж	1	К	[2.59]
1967	Таушер	168—348	p_s	ж	9	НН	[1.95]
1969	Груздев, Шестова, Селин	313—403	p_s	ж	4	КЦ	[2 8]
		313—443	0,15	г	7	КЦ	[2.8]
1971	Садыков, Габдрахманов, Брыков, Мухамедзянов	172—288	p_s	ж	16	Н	[2 25]
1974	Груздев, Шестова	319—485	0,15—5,4	г, ж	82	КЦ	[2 9]
1975	Геллер, Передрий	198—435	0,1—60	г, ж	96	Н	[3 4, 2 4]

Продолжение табл. 19

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1978	Сейчи, Хироши, Акира	270—310	p_s	ж	—	НН	[2.63]
1977	Немото, Китацава, Нагашима	203—323	0,1—50	ж	Уравнение	НН	[2.55]

* См. примечание к табл 11

фазе объясняются очень большими (до 12—17 %) расхождениями экспериментальных данных о теплопроводности при атмосферном давлении (рис. 22). Из этого рисунка видно также, что табулированные в [0.8] значения λ_T являются компромиссными. В опубликованных позднее статьях О. Б. Цветкова с соавторами [0.33, 2.28, 5.32] даны два варианта таблиц λ_T ($T=300$—480 К), которые отличаются от рекомендуемых в справочнике [0.8] на $\pm 2{,}5$ %. Однако в начале 70-х годов составители справочников ориентировались на какие-либо конкретные измерения и потому расхождения, например, данных таблиц [0.7, 0.30, 2.1] и таблиц [0.39, 0.40] близки к максимальным расхождениям экспериментальных данных (см. рис. 22).

В. А. Груздев, А. И. Шестова [0.13, 2.9] объясняют завышение результатов их первой работы [2.8] и данных Л. И. Черневой [2.29] тем, что были исследованы технические фреоны, а очистка их от примесей других фреонов и воздуха была недостаточно тщательной. Н. Б. Варгафтик с соавторами [0.8] на основании других соображений считают заниженными опытные данные Марквуда, Беннинга [2.53].

Из рис. 23 видно, что большинство экспериментальных данных о теплопроводности жидкого фреона-11 на линии насыщения располагается с разбросом 2—3 % около рекомендуемой зависимости, которая в свою очередь близка к принятой ранее в [0.8]. Хорошее согласование наблюдается с опубликованными недавно опытными данными [2.55, 2.63].

Экспериментальные данные о теплопроводности жидкого фреона-11 при $p \gg p_s$ приведены в трех работах [2.4, 2.55, 3.4], причем в [2.4] — приводятся таблица сглаженных значений ($T=193$—413 К, $p=0{,}1$—60 МПа) и уравнение, в [2.55] — графики и уравнение для области $T=203$—323 К, $p \leqslant 50$ МПа, в [3.4] — уравнение и результаты непосредственных измерений, выполненных В. З. Геллером, В. Г. Передрием в интервале $T=198$—435 К, $p=0{,}1$—60 МПа. Все уравнения имеют одинаковый вид

$$\lambda = a + bt + (c_1 + c_2 t + c_3 t^2) \cdot p \qquad (2.7)$$

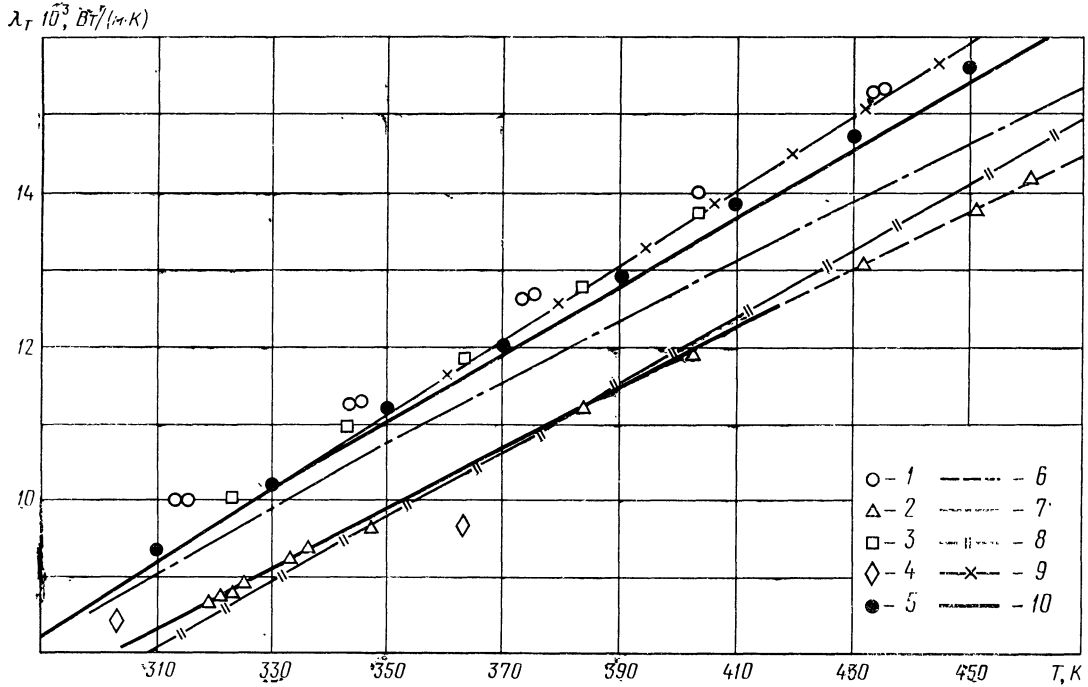


Рис. 22. Теплопроводность газообразного фреона-11 при низких давлениях:

опытные данные: *1* — Геллера [3.4]; *2* — Груздева, Шестовой [2.9]; *3* — Чернеевой [2.29]; *4* — Марквуда, Беннинга [2.53]; *5* — Груздева и др. [2.8]; расчетные данные: *6* — [0.7]; *7* — [0.8]; *8* — [0.40]; *9* — по уравнению (0.32а); *10* — по уравнению (0.31)

и, по утверждению авторов, воспроизводят исходные экспериментальные данные с погрешностью менее 1,5 %.

В этом справочнике для расчета таблиц теплопроводности жидкого и газообразного фреона-11 применена система уравнений, разработанная В. З. Геллером, Г. В. Запорожаном [0.12, 1.15]. Она включает индивидуальные уравнения (0.31), (0.34),

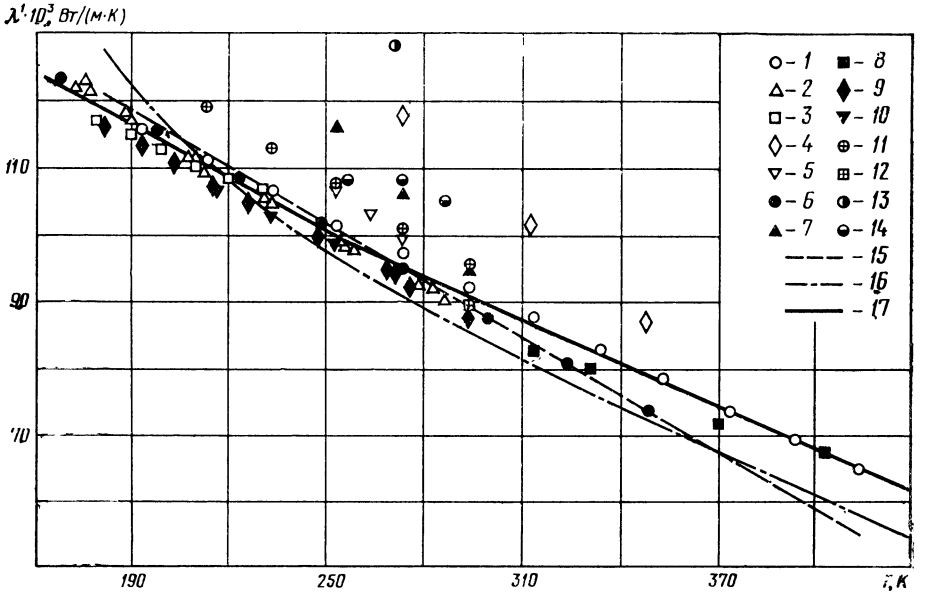


Рис. 23. Теплопроводность жидкого фреона-11 на линии насыщения:
опытные данные: *1* — Геллера [3.4], *2* — Садыкова и др. [2 25]; *3* — Сейчи и др. [2.63]; *4* — Марквуда, Беннинга [2.53], *5* — Пауэлла, Чаллонера [2 58], *6* — Таушера [1 95]; *7* — Даниловой [2.11]; *8* — Груздева и др. [2.8]; *9* — Видмера [2.65]; *10* — Джалаляна [1.54]; *11* — Чернеевой [2.29]; *12* — Риделя [2.61]; *13* — Малкостры [2.52]; *14* — Пауэлла и др. [2.59]; расчетные данные: *15* — [0.7]; *16* — по уравнению (0.32б); *17* — по уравнению (0.46)

(0.46) и обобщенное уравнение (0.45) с коэффициентами, приведенными в табл. 5. Ниже для фреона-11 приведены параметры уравнений (0.31), (0.34) и (0.46):

$$a_{\lambda,0} = -4{,}631 \cdot 10^{-3}; \qquad a_{\lambda,1} = 4{,}447 \cdot 10^{-5};$$
$$b_{\lambda,1} = 1{,}7814 \cdot 10^{-2}; \qquad b_{\lambda,3} = 1{,}1840 \cdot 10^{-2};$$
$$b_{\lambda,2} = 2{,}4332 \cdot 10^{-2}; \qquad b_{\lambda,4} = 7{,}8580 \cdot 10^{-3};$$
$$c_{\lambda,1} = 1{,}3398 \cdot 10^{-2}; \qquad c_{\lambda,4} = 3{,}2263 \cdot 10^{-1};$$
$$c_{\lambda,2} = 1{,}1997 \cdot 10^{-1}; \qquad c_{\lambda,5} = -1{,}5893 \cdot 10^{-1};$$
$$c_{\lambda,3} = -2{,}9514 \cdot 10^{-1}; \qquad c_{\lambda,6} = 2{,}6357 \cdot 10^{-2}.$$
$$\lambda_{кр} = 326 \cdot 10^{-4}\ \text{Вт/(м·К)}.$$

Эти коэффициенты определяли по массиву согласующихся экспериментальных значений λ из работ [1.54, 2.9, 2.25, 2.61, 2.63, 2.65, 3.4]. Область применения уравнений соответствует области указанных измерений.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических теплопроводностей (λ' и λ'') фреона-11, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для λ'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{н.т.к.}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Самодиффузия. Единственной работой, посвященной самодиффузии фреона-11, является исследование Де Зуана и Джонаса [2.67]. В этой работе методом ЯМР измеряли $D_{1,1}$ на изотермах 379 и 460 К при давлениях 10—160 МПа. Следует отметить, что данные [2.67], экстраполированные к атмосферному давлению, хорошо согласуются с обобщенной температурной зависимостью коэффициентов самодиффузии, полученной в [3.23].

Расчетные значения самодиффузии жидкого фреона-11 в однофазной области приведены в [3.23]. Отклонение этих данных от эксперимента не превышает 10 %.

2.4. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРЕОНА-11

Термодинамические таблицы для газообразного и жидкого фреона-11 рассчитаны по уравнениям, указанным в разд. 2.2, охватывают область $T=233$—473 К и $p=0{,}01$—20 МПа и включают восемь величин (табл. 20 и 21). В качестве начала отсчета калорических функций принято состояние кипящей жидкости при 273,15 К, значения энтальпии и энтропии в этой точке приняты равными 400 кДж/кг и 4 кДж/(кг·К) соответственно.

Приведенная в разд. 2.3 система уравнений для расчета вязкости и теплопроводности фреона-11 применима во всей экспериментально изученной области состояний. Однако необходимые для определения ν, a и Pr точные значения термодинамических функций ρ и c_p имеются до давлений 20 МПа. Поэтому рекомендуемые таблицы переносных свойств (табл. 22 и 23) охватывают ту же область состояний, что и термодинамические таблицы.

Таблица 20

Термодинамические свойства фреона-11 на линиях кипения и конденсации

T_s	p_s	ϱ'	ϱ''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\sigma \cdot 10^3$
233,15	0,0051	1622	0,362	365,7	569,8	3,864	4,740	0,849	0,511	204,2	26,40
238,15	0,0069	1610	0,480	369,9	572,4	3,882	4,732	0,851	0,516	202,4	25,70
243,15	0,0092	1599	0,628	374,2	574,9	3,900	4,725	0,853	0,522	200,7	25,02
248,15	0,0121	1588	0,812	378,5	577,5	3,917	4,719	0,856	0,527	199,0	24,33
253,15	0,0158	1577	1,037	382,8	580,0	3,935	4,714	0,858	0,533	197,3	23,65
258,15	0,0203	1566	1,309	387,1	582,6	3,951	4,709	0,861	0,538	195,6	22,97
263,15	0,0257	1554	1,635	391,4	585,2	3,968	4,704	0,863	0,544	193,8	22,30
268,15	0,0324	1543	2,023	395,7	587,8	3,984	4,701	0,866	0,549	192,1	21,63
273,15	0,0403	1532	2,480	400,0	590,4	4,000	4,697	0,869	0,555	190,4	20,97
278,15	0,0497	1521	3,015	404,4	593,0	4,016	4,694	0,873	0,560	188,6	20,31
283,15	0,0608	1510	3,635	408,8	595,6	4,032	4,691	0,876	0,565	186,8	19,65
288,15	0,0738	1498	4,353	413,2	598,2	4,047	4,689	0,880	0,571	185,0	19,00
293,15	0,0889	1487	5,173	417,6	600,8	4,062	4,687	0,883	0,577	183,2	18,35
298,15	0,1063	1475	6,110	422,0	603,4	4,077	4,685	0,887	0,582	181,3	17,71
303,15	0,1263	1463	7,174	426,5	605,9	4,092	4,684	0,891	0,588	179,5	17,07
308,15	0,1491	1451	8,374	430,9	608,5	4,106	4,683	0,896	0,594	177,5	16,43
313,15	0,1748	1439	9,724	435,4	611,0	4,121	4,681	0,901	0,600	175,6	15,81
318,15	0,2039	1427	11,24	440,0	613,5	4,135	4,681	0,906	0,605	173,6	15,18
323,15	0,2366	1414	12,92	444,5	616,0	4,149	4,680	0,911	0,612	171,5	14,56
328,15	0,2730	1402	14,08	449,1	618,5	4,163	4,679	0,916	0,618	169,4	13,95
333,15	0,3136	1389	16,88	453,7	620,9	4,177	4,679	0,922	0,625	167,2	13,34
338,15	0,3586	1376	19,18	458,3	623,3	4,191	4,679	0,928	0,632	165,0	12,74
343,15	0,4083	1363	21,72	463,0	625,7	4,205	4,679	0,935	0,639	162,7	12,14
348,15	0,4629	1349	24,51	467,7	628,1	4,218	4,679	0,942	0,647	160,3	11,55

Продолжение табл. 20

T_s	p_s	ϱ'	ϱ''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\sigma \cdot 10^3$
353,15	0,5229	1335	27,58	472,5	630,3	4,231	4,679	0,950	0,655	157,9	10,97
358,15	0,5884	1321	30,95	477,2	632,6	4,245	4,679	0,958	0,663	155,4	10,39
363,15	0,6599	1306	34,64	482,1	634,8	4,258	4,679	0,967	0,672	152,7	9,82
368,15	0,7376	1291	38,69	486,9	636,9	4,271	4,679	0,976	0,682	150,0	9,25
373,15	0,8219	1276	43,10	491,8	639,0	4,284	4,679	0,986	0,692	147,2	8,69
378,15	0,9131	1260	47,92	496,8	641,0	4,297	4,679	0,998	0,703	144,2	8,14
383,15	1,012	1244	53,20	501,8	643,0	4,310	4,679	1,010	0,715	141,2	7,60
388,15	1,118	1229	58,97	506,9	644,8	4,323	4,679	1,023	0,729	138,0	7,06
393,15	1,232	1211	65,29	512,0	646,6	4,336	4,678	1,038	0,744	134,6	6,53
398,15	1,354	1193	72,20	517,2	648,3	4,349	4,678	1,055	0,761	131,1	6,01
403,15	1,486	1174	79,80	522,5	649,9	4,362	4,678	1,074	0,781	127,4	5,50
408,15	1,626	1155	88,13	527,9	651,3	4,375	4,677	1,094	0,803	123,5	5,00
413,15	1,776	1135	97,32	533,3	652,7	4,388	4,677	1,118	0,829	119,3	4,51
418,15	1,936	1114	107,5	538,9	653,8	4,401	4,676	1,145	0,861	115,0	4,03
423,15	2,107	1092	118,8	544,5	654,8	4,414	4,674	1,176	0,899	110,3	3,56
428,15	2,288	1069	131,5	550,3	655,6	4,427	4,673	1,211	0,949	105,3	3,10
433,15	2,481	1045	145,9	556,2	656,1	4,440	4,671	1,252	1,013	99,9	2,65
438,15	2,686	1019	162,3	562,3	656,3	4,454	4,668	1,300	1,101	94,1	2,22
443,15	2,904	991	181,3	568,5	656,1	4,467	4,665	1,357	1,231	87,6	1,81
448,15	3,134	962	204,0	575,9	655,4	4,481	4,661	1,422	1,435	80,5	1,42
453,15	3,379	—	232,0	—	653,8	—	4,654	—	1,811	—	1,04
458,15	3,637	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,69
463,15	3,911	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,38
468,15	4,200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,11
471,15	4,379	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0

Таблица 21

Термодинамические свойства фреона-11 в однофазной области

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=233{,}15$ K				
0,1	1622	0,0044	365,7	3,864	0,849	896,8	—0,485	1,427
0,5	1623	0,0218	365,8	3,864	0,849	899,0	—0,485	1,423
1,0	1624	0,0436	366,1	3,863	0,849	901,8	—0,485	1,419
2,0	1626	0,0872	366,5	3,863	0,849	907,4	—0,486	1,411
3,0	1627	0,1306	366,7	3,862	0,849	913,0	—0,487	1,403
4,0	1629	0,1740	367,3	3,861	0,849	918,5	—0,488	1,395
5,0	1631	0,2172	367,7	3,849	0,849	924,0	—0,488	1,387
6,0	1633	0,2604	368,2	3,869	0,849	929,4	—0,489	1,380
7,0	1634	0,3035	368,6	3,858	0,850	934,8	—0,490	1,372
8,0	1636	0,3465	368,9	3,857	0,850	940,2	—0,490	1,365
9,0	1638	8,3894	369,4	3,857	0,850	945,5	—0,491	1,358
10,0	1639	0,4323	369,8	3,856	0,850	950,8	—0,491	1,351
11,0	1641	0,4750	370,2	3,855	0,850	956,1	—0,492	1,345
12,0	1643	0,5177	370,7	3,854	0,850	961,3	—0,492	1,339
13,0	1644	0,5603	371,1	3,853	0,851	966,5	—0,493	1,332
14,0	1646	0,6028	371,5	3,852	0,851	971,7	—0,493	1,326
15,0	1647	0,6452	371,9	3,852	0,851	976,8	—0,494	1,320
16,0	1649	0,6876	372,3	3,851	0,851	981,9	—0,494	1,314
17,0	1650	0,7299	372,8	3,850	0,851	987,0	—0,495	1,308
18,0	1652	0,7721	373,2	3,849	0,852	992,0	—0,495	1,303
19,0	1653	0,8143	373,6	3,849	0,852	997,1	—0,495	1,297
20,0	1655	0,8564	374,0	3,848	0,852	1002,0	—0,496	1,292
				$T=243{,}15$ K				
0,1	1599	0,0049	374,2	3,900	0,853	860,5	—0,481	1,413
0,5	1600	0,0212	374,4	3,900	0,853	862,8	—0,482	1,409
1,0	1601	0,0424	374,6	3,899	0,853	865,7	—0,482	1,404
2,0	1603	0,0848	375,0	3,898	0,853	871,5	—0,483	1,395
3,0	1605	0,1270	375,4	3,897	0,853	877,2	—0,484	1,386
4,0	1607	0,1692	375,8	3,897	0,852	882,9	—0,486	1,377
5,0	1609	0,2112	376,3	3,896	0,852	888,5	—0,487	1,369
6,0	1610	0,2532	376,7	3,895	0,852	894,1	—0,488	1,361
7,0	1612	0,2950	377,1	3,894	0,852	899,6	—0,488	1,353
8,0	1614	0,3368	377,5	3,893	0,852	905,1	—0,489	1,345
9,0	1616	0,3785	377,9	3,892	0,852	910,6	—0,490	1,337
10,0	1618	0,4201	378,3	3,892	0,852	916,0	—0,491	1,330
11,0	1619	0,4616	378,8	3,891	0,852	921,4	—0,492	1,323
12,0	1621	0,5030	379,2	3,890	0,852	926,8	—0,493	1,316
13,0	1623	0,5444	379,6	3,889	0,852	932,1	—0,493	1,309
14,0	1624	0,5856	380,0	3,888	0,852	937,4	—0,494	1,302
15,0	1626	0,6268	380,4	3,887	0,852	942,6	—0,495	1,296
16,0	1628	0,6680	380,9	3,887	0,852	947,9	—0,495	1,289
17,0	1629	0,7090	381,3	3,886	0,852	953,0	—0,496	1,283
18,0	1631	0,7500	381,7	3,885	0,852	958,2	—0,496	1,277
19,1	1632	0,7909	382,1	3,884	0,852	963,3	—0,497	1,271
20,0	1634	0,8317	382,5	3,884	0,852	968,4	—0,498	1,265

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=253{,}15$ K				
0,01	0,6560	0,9948	580,1	4,742	0,532	131,0	41,53	4,008
0,1	1577	0,0041	382,8	3,934	0,858	838,5	—0,474	1,416
0,5	1578	0,0207	382,9	3,934	0,858	830,9	—0,475	1,411
1,0	1579	0,0413	383,2	3,934	0,857	833,9	—0,476	1,406
2,0	1581	0,0826	383,6	3,933	0,857	839,9	—0,477	1,396
3,0	1583	0,1237	384,0	3,932	0,857	845,8	—0,479	1,386
4,0	1585	0,1647	384,4	3,931	0,856	851,6	—0,480	1,376
5,0	1587	0,2056	384,8	3,930	0,856	857,5	—0,481	1,367
6,0	1589	0,2465	385,2	3,929	0,856	863,2	—0,483	1,358
7,0	1591	0,2872	383,6	3,928	0,855	869,0	—0,484	1,349
8,0	1593	0,3278	386,0	3,928	0,855	874,6	—0,485	1,341
9,0	1594	0,3684	386,4	3,927	0,855	880,3	—0,486	1,332
10,0	1596	0,4089	386,9	3,926	0,854	885,9	—0,488	1,324
11,0	1598	0,4492	387,3	3,925	0,854	891,4	—0,489	1,316
12,0	1600	0,4895	387,7	3,924	0,854	897,0	—0,490	1,309
13,0	1602	0,5297	388,1	3,923	0,853	902,4	—0,491	1,301
14,0	1603	0,5699	388,5	3,923	0,853	907,9	—0,492	1,294
15,0	1605	0,6099	389,0	3,922	0,853	913,3	—0,493	1,287
16,0	1607	0,6499	389,4	3,921	0,853	918,6	—0,493	1,280
17,0	1609	0,6898	389,8	3,920	0,852	924,0	—0,494	1,273
18,0	1610	0,7296	390,2	3,919	0,852	929,3	—0,495	1,266
19,0	1612	0,7693	390,6	3,919	0,852	934,5	—0,496	1,260
20,0	1614	0,8090	391,1	3,918	0,852	939,8	—0,497	1,254
				$T=263{,}15$ K				
0,01	0,6308	0,9954	585,5	4,762	0,542	133,4	38,34	3,850
0,02	1,268	0,9907	585,3	4,720	0,543	132,9	38,57	3,901
0,1	1555	0,0040	391,4	3,968	0,863	799,1	—0,464	1,434
0,5	1556	0,0202	391,6	3,967	0,863	801,7	—0,465	1,429
1,0	1557	0,0403	391,8	3,967	0,863	804,8	—0,466	1,423
2,0	1559	0,0806	392,2	3,966	0,862	811,0	—0,468	1,411
3,0	1561	0,1207	392,6	3,965	0,861	817,2	—0,470	1,400
4,0	1563	0,1607	393,0	3,964	0,861	823,3	—0,472	1,390
5,0	1565	0,2006	393,4	3,963	0,860	829,3	—0,473	1,379
6,0	1567	0,2404	393,8	3,962	0,859	835,3	—0,475	1,369
7,0	1569	0,2801	394,2	3,962	0,859	841,2	—0,477	1,359
8,0	1571	0,3197	394,6	3,961	0,858	847,1	—0,478	1,350
9,0	1573	0,3592	395,0	3,960	0,858	853,0	—0,480	1,340
10,0	1575	0,3986	395,4	3,959	0,857	858,8	—0,481	1,331
11,0	1577	0,4379	395,8	3,958	0,957	864,5	—0,483	1,323
12,0	1579	0,4771	396,2	3,957	0,856	870,2	—0,484	1,314
13,0	1581	0,5163	396,7	3,957	0,856	875,9	—0,485	1,306
14,0	1583	0,5553	397,1	3,956	0,855	881,5	—0,486	1,298
15,0	1585	0,5943	397,5	3,955	0,855	887,1	—0,488	1,290
16,0	1586	0,6332	397,9	3,954	0,854	892,7	—0,489	1,283
17,0	1588	0,6720	398,3	3,953	0,953	898,2	—0,490	1,275
18,0	1590	0,7108	398,7	3,952	0,854	903,6	—0,491	1,268
19,0	1592	0,7495	399,2	3,952	0,853	909,1	—0,492	1,261
20,0	1593	0,7880	399,6	3,951	0,853	914,5	—0,493	1,254

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=273{,}15$ K				
0,01	0,6073	0,9958	591,0	4,783	0,551	135,8	35,52	3,705
0,02	1,220	0,9916	590,8	4,740	0,552	135,4	35,71	3,749
0,03	1,838	0,9834	590,6	4,715	0,553	134,9	35,909	3,795
0,04	2,461	0,9831	590,4	4,697	0,555	134,4	36,10	3,841
0,1	1532	0,0040	400,1	4,000	0,869	771,5	—0,450	1,465
0,5	1533	0,0197	400,2	4,000	0,869	774,1	—0,451	1,459
1,0	1534	0,0394	400,4	3,999	0,868	777,4	—0,453	1,453
2,0	1537	0,0787	400,8	3,998	0,867	783,9	—0,455	1,439
3,0	1539	0,1179	401,2	3,997	0,867	790,4	—0,458	1,427
4,0	1541	0,1570	401,6	3,996	0,866	796,7	—0,460	1,415
5,0	1544	0,1959	402,0	3,995	0,865	803,0	—0,462	1,403
6,0	1546	0,2348	402,4	3,995	0,864	809,2	—0,464	1,392
7,0	1548	0,2735	402,8	3,994	0,863	815,5	—0,466	1,381
8,0	1550	0,3122	403,2	3,993	0,862	821,6	—0,468	1,370
9,0	1552	0,3507	403,6	3,992	0,861	827,7	—0,470	1,360
10,0	1554	0,3892	404,0	3,991	0,861	833,7	—0,472	1,350
11,0	1556	0,4275	404,4	3,990	0,860	839,7	—0,474	1,340
12,0	1558	0,4658	404,8	3,989	0,859	845,6	—0,475	1,331
13,0	1560	0,5040	405,2	3,988	0,859	851,5	—0,477	1,322
14,0	1562	0,5420	405,6	3,988	0,858	857,4	—0,479	1,313
15,0	1562	0,5420	405,6	3,988	0,858	863,2	—0,480	1,304
16,0	1566	0,6180	406,5	3,986	0,857	868,9	—0,481	1,296
17,0	1568	0,6558	406,9	3,985	0,856	874,6	—0,483	1,288
18,0	1570	0,6935	407,2	3,984	0,856	880,3	—0,484	1,280
19,0	1572	0,7312	407,7	3,984	0,855	885,9	—0,486	1,272
20,0	1574	0,7688	408,1	3,983	0,854	891,5	—0,487	1,265
				$T=283{,}15$ K				
0,01	0,586	0,9912	596,5	4,803	0,560	138,2	33,00	3,570
0,02	1,176	0,9924	596,4	4,760	0,561	137,8	33,16	3,609
0,03	1,771	0,9886	596,2	4,735	0,562	137,4	33,32	3,649
0,04	2,370	0,9847	596,0	4,718	0,563	136,9	33,49	3,690
0,05	2,974	0,9809	595,8	4,704	0,564	136,5	33,66	3,731
0,1	1510	0,0039	408,8	4,031	0,876	744,8	—0,433	1,508
0,5	1511	0,0193	408,9	4,031	0,875	747,6	—0,435	1,502
1,0	1512	0,0386	409,1	4,031	0,875	751,0	—0,436	1,494
2,0	1515	0,0771	409,5	4,030	0,874	757,9	—0,439	1,479
3,0	1517	0,1154	409,9	4,029	0,872	764,6	—0,442	1,465
4,0	1519	0,1536	410,3	4,028	0,871	771,3	—0,445	1,451
5,0	1522	0,1917	410,7	4,027	0,870	777,9	—0,448	1,437
6,0	1524	0,2297	411,1	4,026	0,869	784,4	—0,450	1,425
7,0	1526	0,2675	411,5	4,025	0,868	790,9	—0,453	1,412
8,0	1529	0,3053	411,8	4,024	0,867	797,3	—0,455	1,400
9,0	1531	0,3430	412,2	4,023	0,866	803,7	—0,458	1,389
10,0	1533	0,3806	412,6	4,022	0,865	810,0	—0,460	1,378
11,0	1535	0,4180	413,0	4,021	0,864	816,2	—0,462	1,367
12,0	1538	0,4554	413,4	4,020	0,863	822,4	—0,464	1,356
13,0	1540	0,4927	413,8	4,019	0,862	828,5	—0,466	1,346
14,0	1542	0,5299	414,2	4,019	0,861	834,6	—0,468	1,336
15,0	1544	0,5670	414,6	4,018	0,860	840,6	—0,470	1,327
16,0	1546	0,6040	415,0	4,017	0,860	846,6	—0,472	1,318

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
17,0	1548	0,6409	415,5	4,016	0,859	852,6	—0,473	1,309
18,0	1550	0,6777	415,9	4,015	0,858	858,5	—0,475	1,300
19,0	1552	0,7145	416,3	4,014	0,857	864,3	—0,477	1,292
20,0	1554	0,7512	416,7	4,014	0,861	870,1	—0,478	1,283
				T=293,15 K				
0,01	0,566	0,9966	602,2	4,822	0,568	140,5	30,75	3,445
0,02	1,135	0,9931	602,0	4,780	0,569	140,1	30,88	3,479
0,03	1,708	0,9897	601,8	4,755	0,570	139,8	31,02	3,514
0,04	2,286	0,9862	601,7	4,737	0,571	139,4	31,16	3,550
0,05	2,868	0,9827	601,5	4,723	0,572	139,0	31,30	3,586
0,1	1487	0,0038	417,6	4,062	0,883	718,6	—0,413	1,562
0,5	1488	0,0189	417,7	4,062	0,883	721,5	—0,414	1,555
1,0	1489	0,0378	417,9	4,061	0,882	725,1	—0,416	1,546
2,0	1492	0,0756	418,3	4,060	0,880	732,3	—0,420	1,529
3,0	1495	0,1131	418,6	4,059	0,879	739,4	—0,424	1,513
4,0	1497	0,1506	419,0	4,058	0,877	746,4	—0,427	1,497
5,0	1500	0,1879	419,4	4,057	0,876	753,4	—0,431	1,482
6,0	1502	0,2251	419,8	4,056	0,857	760,2	—0,434	1,467
7,0	1505	0,2622	420,2	4,055	0,873	767,0	—0,437	1,453
8,0	1507	0,2991	420,5	4,054	0,872	773,7	—0,440	1,439
9,0	1510	0,3360	420,9	4,053	0,871	780,4	—0,443	1,426
10,0	1512	0,3728	421,3	4,052	0,870	787,0	—0,445	1,414
11,0	1514	0,4094	421,7	4,051	0,868	793,5	—0,448	1,402
12,0	1517	0,4460	422,1	4,050	0,867	800,0	—0,450	1,390
13,0	1519	0,4824	422,5	4,049	0,866	806,4	—0,453	1,379
14,0	1521	0,5188	422,9	4,049	0,865	812,7	—0,455	1,368
15,0	1523	0,5550	423,3	4,048	0,864	819,0	—0,457	1,357
16,0	1525	0,5912	423,7	4,047	0,863	825,2	—0,460	1,347
17,0	1527	0,6273	424,1	4,046	0,862	831,4	—0,462	1,337
18,0	1530	0,6633	424,5	4,045	0,861	837,6	—0,464	1,327
19,0	1532	0,6992	424,9	4,044	0,860	843,7	—0,466	1,318
20,0	1534	0,7350	425,3	4,043	0,860	849,7	—0,468	1,309
				T=303,15 K				
0,01	0,547	0,9969	607,9	4,842	0,577	142,8	28,73	3,329
0,02	1,097	0,9938	607,7	4,799	0,578	142,5	28,84	3,359
0,03	1,650	0,9906	607,6	4,774	0,578	142,1	28,96	3,390
0,04	2,208	0,9875	607,4	4,757	0,579	141,7	29,07	3,421
0,05	2,768	0,9843	607,2	4,743	0,580	141,4	29,19	3,453
0,1	5,629	0,9682	606,4	4,699	0,585	139,5	29,80	3,622
0,5	1464	0,0186	426,6	4,091	0,891	695,3	—0,390	1,620
1,0	1466	0,0372	426,8	4,091	0,890	699,2	—0,393	1,610
2,0	1469	0,0742	427,1	4,090	0,888	706,8	—0,393	1,589
3,0	1470	0,0927	427,3	4,089	0,887	710,5	—0,400	1,580
4,0	1475	0,1478	427,8	4,088	0,884	721,7	—0,406	1,552
5,0	1477	0,1845	428,2	4,086	0,883	729,0	—0,410	1,535
6,0	1480	0,2209	428,6	4,085	0,881	736,2	—0,414	1,518
7,0	1483	0,2573	428,9	4,084	0,879	743,3	—0,418	1,502
8,0	1485	0,2935	429,3	4,083	0,878	750,4	—0,421	1,486
9,0	1488	0,3297	429,7	4,082	0,876	757,4	—0,425	1,471
10,0	1490	0,3657	430,0	4,081	0,875	764,3	—0,428	1,457

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
11,0	1493	0,4016	430,4	4,080	0,874	771,1	—0,431	1,444
12,0	1495	0,4374	430,8	4,080	0,872	777,9	—0,434	1,430
13,0	1498	0,4731	431,1	4,079	0,871	784,6	—0,437	1,418
14,0	1500	0,5086	431,5	4,078	0,870	791,2	—0,440	1,405
15,0	1502	0,5441	431,9	4,077	0,869	797,8	—0,443	1,394
16,0	1505	0,5795	432,3	4,076	0,867	804,3	—0,445	1,382
17,0	1507	0,6148	432,7	4,075	0,866	810,8	—0,448	1,371
18,0	1509	0,6501	433,1	4,074	0,865	817,2	—0,450	1,360
19,0	1511	0,6852	433,5	4,073	0,864	823,6	—0,452	1,350
20,0	1513	0,7202	433,9	4,072	0,863	829,9	—0,455	1,340
				T=313,15 K				
0,01	0,529	0,9972	613,7	4,860	0,584	145,1	26,91	3,220
0,02	1,061	0,9943	613,6	4,818	0,585	144,8	27,00	3,247
0,03	1,596	0,9915	613,4	4,793	0,586	144,4	27,10	3,274
0,04	2,135	0,9886	613,2	4,775	0,587	144,1	27,20	3,302
0,05	2,676	0,9858	613,1	4,762	0,588	143,7	27,29	3,330
0,1	5,433	0,9721	612,3	4,718	0,592	142,0	27,81	3,479
0,5	1440	0,0183	435,5	4,120	0,900	668,8	—0,362	1,696
1,0	1442	0,0366	435,7	4,120	0,899	672,9	—0,365	1,684
2,0	1445	0,0730	436,0	4,119	0,896	680,9	—0,371	1,660
3,0	1448	0,1093	436,4	4,118	0,894	688,8	—0,376	1,638
4,0	1451	0,1454	436,7	4,116	0,892	696,7	—0,381	1,617
5,0	1454	0,1814	437,1	4,115	0,890	704,4	—0,386	1,596
6,0	1457	0,2172	437,4	4,114	0,888	712,0	—0,391	1,577
7,0	1460	0,2529	437,8	4,113	0,886	719,5	—0,396	1,558
8,0	1463	0,2885	438,1	4,112	0,885	726,9	—0,400	1,541
9,0	1466	0,3239	438,5	4,111	0,883	734,3	—0,404	1,524
10,0	1469	0,3593	438,8	4,110	0,881	741,5	—0,408	1,507
11,0	1471	0,3945	439,2	4,109	0,880	748,7	—0,412	1,492
12,0	1474	0,4296	439,5	4,108	0,878	755,8	—0,415	1,477
13,0	1476	0,4646	439,9	4,107	0,877	762,8	—0,419	1,463
14,0	1479	0,4995	440,3	4,106	0,875	769,8	—0,422	1,449
15,0	1481	0,5343	440,6	4,105	0,874	776,7	—0,425	1,435
16,0	1484	0,5689	441,0	4,104	0,872	783,5	—0,428	1,423
17,0	1486	0,6035	441,4	4,103	0,871	790,3	—0,431	1,410
18,0	1488	0,6380	441,8	4,102	0,870	797,0	—0,434	1,398
19,0	1491	0,6724	442,1	4,101	0,869	803,6	—0,437	1,387
20,0	1493	0,7068	442,5	4,100	0,867	810,2	—0,440	1,376
				T=323,15 K				
0,01	0,513	0,9974	619,6	4,879	0,592	147,3	25,26	3,118
0,02	1,028	0,9948	619,4	4,837	0,593	147,0	25,34	3,142
0,03	1,546	0,9923	619,3	4,812	0,593	146,7	25,42	3,167
0,04	2,066	0,9896	619,1	4,794	0,594	146,4	25,50	3,191
0,05	2,590	0,9870	619,0	4,780	0,595	146,1	25,59	3,217
0,1	5,250	0,9738	618,2	4,737	0,599	144,5	26,01	3,348
0,2	10,81	0,9463	616,6	4,691	0,608	141,1	26,96	3,643
0,5	1415	0,0181	444,6	4,149	0,910	641,6	—0,328	1,785
1,0	1417	0,0361	444,7	4,148	0,909	645,9	—0,332	1,771
2,0	1421	0,0720	445,0	4,147	0,906	654,4	—0,340	1,742
3,0	1424	0,1077	445,4	4,146	0,903	662,9	—0,346	1,716

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
4,0	1428	0,1433	445,7	4,145	0,901	671,1	—0,353	1,691
5,0	1431	0,1787	446,0	4,143	0,898	679,3	—0,359	1,667
6,0	1434	0,2139	446,3	4,142	0,896	687,3	—0,365	1,644
7,0	1437	0,2490	446,7	4,141	0,894	695,3	—0,370	1,622
8,0	1440	0,2840	447,0	4,140	0,892	703,1	—0,375	1,602
9,0	1443	0,3188	447,3	4,139	0,890	710,8	—0,380	1,583
10,0	1446	0,3535	447,7	4,138	0,888	718,5	—0,385	1,564
11,0	1449	0,3881	448,0	4,137	0,886	726,0	—0,390	1,546
12,0	1452	0,4226	448,3	4,136	0,884	733,5	—0,394	1,529
13,0	1455	0,4570	448,6	4,135	0,883	740,9	—0,398	1,513
14,0	1457	0,4912	449,0	4,134	0,881	748,2	—0,402	1,497
15,0	1460	0,5253	449,4	4,133	0,879	755,4	—0,406	1,482
16,0	1462	0,5594	449,8	4,132	0,878	762,5	—0,410	1,468
17,0	1465	0,5933	450,1	4,131	0,876	769,6	—0,413	1,454
18,0	1467	0,6271	450,5	4,130	0,875	776,6	—0,416	1,441
19,0	1470	0,6609	450,9	4,129	0,873	783,5	—0,420	1,428
20,0	1472	0,6945	451,2	4,128	0,872	790,4	—0,422	1,415
				T=333,15 K				
0,01	0,497	0,9977	625,6	4,897	0,599	149,5	23,76	3,023
0,02	0,997	0,9953	625,4	4,855	0,600	149,2	23,83	3,044
0,03	1,498	0,9929	625,3	4,830	0,601	148,9	23,90	3,066
0,04	2,003	0,9906	625,1	4,842	0,601	148,6	23,97	3,088
0,05	2,509	0,9882	625,0	4,798	0,602	148,3	24,04	3,111
0,1	5,081	0,9761	624,2	4,755	0,606	146,9	24,40	3,227
0,2	10,43	0,9512	622,7	4,710	0,614	143,8	25,19	3,486
0,3	16,08	0,9251	621,1	4,682	0,624	140,6	26,09	3,787
0,5	1390	0,0178	453,7	4,177	0,922	613,4	—0,288	1,893
1,0	1391	0,0356	453,9	4,176	0,920	618,0	—0,294	1,871
2,0	1396	0,0711	454,2	4,175	0,916	627,1	—0,303	1,837
3,0	1399	0,1063	454,4	4,174	0,913	636,1	—0,312	1,805
4,0	1403	0,1414	454,7	4,172	0,910	644,9	—0,320	1,775
5,0	1407	0,1763	455,0	4,171	0,908	653,5	—0,328	1,747
6,0	1410	0,2110	455,3	4,170	0,905	662,0	—0,335	1,720
7,0	1414	0,2456	455,6	4,169	0,902	670,4	—0,341	1,695
8,0	1417	0,2800	455,9	4,167	0,900	678,7	—0,348	1,671
9,0	1420	0,3143	456,3	4,166	0,897	686,9	—0,354	1,648
10,0	1423	0,3484	456,6	4,165	0,895	694,9	—0,359	1,627
11,0	1426	0,3825	456,9	4,164	0,893	702,8	—0,365	1,606
12,0	1429	0,4164	457,3	4,163	0,892	710,7	—0,370	1,587
13,0	1432	0,4501	457,6	4,162	0,889	718,4	—0,375	1,568
14,0	1435	0,4838	457,9	4,161	0,887	726,1	—0,380	1,550
15,0	1438	0,5173	458,2	4,160	0,886	733,6	—0,384	1,533
16,0	1441	0,5506	458,6	4,158	0,884	741,1	—0,388	1,517
17,0	1443	0,5841	458,9	4,157	0,882	748,5	—0,392	1,501
18,0	1446	0,6173	459,3	4,156	0,881	755,9	—0,396	1,486
19,0	1449	0,6504	459,6	4,155	0,879	763,1	—0,400	1,472
20,0	1451	0,6834	460,0	4,154	0,877	770,3	—0,404	1,458
				T=343,15 K				
0,01	0,483	0,9979	631,6	4,915	0,606	151,6	22,40	2,933
0,02	0,967	0,9957	631,4	4,873	0,607	151,4	22,46	2,953

p	Q	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,03	1,454	0,9935	631,3	4,848	0,607	151,1	22,52	2,972
0,04	1,943	0,9914	631,2	4,830	0,608	150,9	22,57	2,992
0,05	2,434	0,9892	631,0	4,816	0,609	150,6	22,63	3,012
0,1	4,922	0,9782	630,3	4,773	0,612	149,2	22,94	3,116
0,2	10,08	0,9555	628,9	4,728	0,620	146,4	23,60	3,344
0,3	15,50	0,9319	627,4	4,701	0,628	143,5	24,34	3,605
0,4	21,23	0,9072	625,8	4,680	0,638	140,3	25,18	3,908
0,5	1363	0,0177	463,0	4,204	0,935	584,0	—0,244	2,010
1,0	1365	0,0353	463,1	4,204	0,932	589,0	—0,250	1,988
2,0	1370	0,0703	463,4	4,202	0,928	598,8	—0,261	1,946
3,0	1374	0,1051	463,6	4,200	0,925	608,3	—0,272	1,907
4,0	1378	0,1398	463,9	4,197	0,921	617,7	—0,282	1,871
5,0	1382	0,1742	464,1	4,198	0,918	626,9	—0,291	1,837
6,0	1386	0,2085	464,4	4,197	0,915	635,9	—0,300	1,805
7,0	1389	0,2426	464,7	4,195	0,912	644,8	—0,309	1,775
8,0	1393	0,2765	465,0	4,194	0,909	653,5	—0,316	1,747
9,0	1396	0,3103	463,3	4,193	0,906	662,1	—0,324	1,721
10,0	1400	0,3440	465,6	4,192	0,904	670,6	—0,331	1,696
11,0	1403	0,3774	465,9	4,190	0,901	679,0	—0,337	1,672
12,0	1406	0,4108	466,2	4,189	0,899	687,2	—0,343	1,649
13,0	1410	0,4440	466,5	4,188	0,897	695,4	—0,349	1,628
14,0	1413	0,4771	466,8	4,187	0,895	703,4	—0,355	1,608
15,0	1416	0,5101	467,1	4,186	0,893	711,3	—0,360	1,588
16,0	1419	0,5430	467,4	4,185	0,891	719,2	—0,365	1,570
17,0	1422	0,5758	467,8	4,184	0,889	726,9	—0,370	1,552
18,0	1424	0,6084	468,1	4,183	0,887	734,6	—0,375	1,535
19,0	1427	0,6409	468,4	4,181	0,885	742,2	—0,379	1,519
20,0	1430	0,6734	468,8	4,180	0,883	749,7	—0,383	1,504
				***T*=353,15 K**				
0,01	0,469	0,9980	637,7	4,932	0,613	153,8	21,15	2,849
0,02	0,939	0,9961	637,5	4,890	0,613	153,5	21,20	2,866
0,03	1,412	0,9941	637,4	4,865	0,614	153,3	21,25	2,884
0,04	1,886	0,9921	637,3	4,848	0,614	153,0	21,30	2,902
0,05	2,363	0,9901	637,1	4,834	0,615	152,8	21,35	2,920
0,1	4,774	0,9800	636,5	4,791	0,618	151,5	21,61	3,012
0,2	9,753	0,9594	635,1	4,746	0,625	149,0	22,16	3,214
0,3	14,96	0,9380	633,7	4,419	0,633	146,3	22,78	3,443
0,4	20,44	0,9157	632,2	4,698	0,642	143,4	23,47	3,703
0,5	26,21	0,8924	630,7	4,682	0,652	140,4	24,25	4,005
1,0	1337	0,0350	472,5	4,231	0,947	558,7	—0,197	2,126
2,0	1342	0,0697	472,7	4,229	0,942	569,2	—0,212	2,074
3,0	1347	0,1042	472,9	4,228	0,938	579,4	—0,225	2,026
4,0	1352	0,1385	473,2	4,226	0,933	589,4	—0,238	1,981
5,0	1356	0,1725	473,4	4,225	0,929	599,2	—0,250	1,940
6,0	1360	0,2064	473,6	4,223	0,926	608,8	—0,261	1,902
7,0	1364	0,2401	473,9	4,222	0,922	618,2	—0,271	1,866
8,0	1368	0,2736	474,1	4,220	0,919	627,5	—0,281	1,832
9,0	1372	0,3069	474,4	4,219	0,916	636,6	—0,290	1,801
10,0	1376	0,3401	474,6	4,218	0,913	645,5	—0,298	1,772
11,0	1379	0,3731	474,9	4,217	0,910	654,3	—0,306	1,744
12,0	1383	0,4060	475,2	4,215	0,907	663,0	—0,313	1,718
13,0	1386	0,4387	475,5	4,214	0,905	671,6	—0,320	1,693

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
14,0	1390	0,4713	475,8	4,213	0,902	680,0	—0,327	1,670
15,0	1393	0,5038	476,1	4,212	0,900	688,3	—0,333	1,648
16,0	1396	0,5361	476,4	4,210	0,898	696,6	—0,339	1,626
17,0	1399	0,5684	476,7	4,209	0,896	704,7	—0,345	1,606
18,0	1402	0,6005	477,0	4,208	0,894	712,7	—0,351	1,587
19,0	1405	0,6335	477,3	4,207	0,892	720,6	—0,356	1,569
20,0	1408	0,6644	477,6	4,206	0,890	728,5	—0,361	1,552
				T=363,15 K				
0,01	0,456	0,9982	643,8	4,950	0,619	155,9	20,01	2,769
0,02	0,913	0,9964	643,7	4,907	0,620	155,6	20,05	2,785
0,03	1,372	0,9946	643,6	4,883	0,620	155,4	20,09	2,801
0,04	1,833	0,9928	643,5	4,865	0,621	155,2	20,14	2,817
0,05	2,296	0,9909	643,3	4,851	0,621	155,0	20,18	2,833
0,1	4,634	0,9817	642,7	4,800	0,624	153,8	20,39	2,916
0,2	9,450	0,9629	641,4	4,764	0,631	151,4	20,86	3,096
0,3	14,47	0,9434	640,1	4,737	0,638	148,9	21,38	3,297
0,4	19,71	0,9232	638,7	4,716	0,646	146,3	21,95	3,522
0,5	25,21	0,9023	637,2	4,700	0,655	143,6	22,58	3,780
0,6	31,01	0,8804	635,7	4,686	0,665	140,7	23,30	4,076
1,0	1308	0,0348	482,1	4,257	0,964	527,0	—0,133	2,292
2,0	1314	0,0693	482,2	4,256	0,958	538,3	—0,152	2,225
3,0	1319	0,1035	482,4	4,254	0,952	549,3	—0,170	2,164
4,0	1324	0,1376	482,6	4,252	0,947	560,0	—0,187	2,109
5,0	1329	0,1712	482,7	4,251	0,942	570,4	—0,202	2,058
6,0	1334	0,2047	482,9	4,249	0,938	580,7	—0,216	2,011
7,0	1338	0,2380	483,1	4,248	0,934	590,7	—0,228	1,968
8,0	1343	0,2711	483,4	4,246	0,930	600,5	—0,240	1,928
9,0	1347	0,3040	483,6	4,245	0,926	610,1	—0,251	1,891
10,0	1351	0,3367	483,8	4,244	0,923	619,6	—0,262	1,856
11,0	1355	0,3693	484,1	4,242	0,920	628,9	—0,271	1,823
12,0	1359	0,4018	484,3	4,241	0,917	638,0	—0,280	1,793
13,0	1363	0,4340	484,6	4,240	0,914	647,0	—0,289	1,764
14,0	1366	0,4662	484,9	4,238	0,911	655,8	—0,297	1,737
15,0	1370	0,4982	485,1	4,237	0,908	664,6	—0,304	1,711
16,0	1373	0,5301	485,4	4,236	0,906	673,2	—0,311	1,687
17,0	1377	0,5632	485,7	4,235	0,904	681,7	—0,318	1,664
18,0	1380	0,5934	486,0	4,233	0,901	690,1	—0,324	1,642
19,0	1383	0,6250	486,3	4,232	0,899	698,3	—0,331	1,621
20,0	1386	0,6564	486,6	4,231	0,897	706,5	—0,336	1,602
				T=373,15 K				
0,01	0,443	0,9983	650,1	4,966	0,625	157,9	18,96	2,694
0,02	0,888	0,9967	650,0	4,924	0,626	157,7	18,99	2,708
0,03	1,335	0,9950	649,8	4,900	0,626	157,5	19,03	2,723
0,04	1,783	0,9934	649,7	4,882	0,627	157,3	19,07	2,737
0,05	2,232	0,9917	649,6	4,868	0,627	157,1	19,10	2,752
0,1	4,503	0,9832	649,0	4,832	0,630	156,0	19,29	2,827
0,2	9,167	0,9660	647,7	4,781	0,636	153,8	19,68	2,987
0,3	14,01	0,9483	646,5	4,754	0,642	151,6	20,11	3,165

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,4	19,04	0,9300	645,2	4,734	0,649	149,2	20,58	3,362
0,5	24,30	0,9110	643,8	4,718	0,657	146,7	21,10	3,584
0,6	29,81	0,8913	642,4	4,704	0,667	144,1	21,68	3,834
0,7	35,59	0,8708	640,9	4,692	0,677	141,3	22,33	4,122
0,8	41,71	0,8493	639,3	4,681	0,689	138,4	23,06	4,456
1,0	1277	0,0347	491,8	4,284	0,985	493,7	—0,0543	2,497
2,0	1284	0,0690	491,9	4,282	0,977	506,0	—0,0806	2,409
3,0	1290	0,1030	492,0	4,280	0,970	517,8	—0,104	2,330
4,0	1296	0,1367	492,1	4,278	0,963	529,3	—0,126	2,260
5,0	1301	0,1701	492,2	4,277	0,957	540,6	—0,145	2,196
6,0	1306	0,2033	492,4	4,275	0,952	551,5	—0,163	2,138
7,0	1311	0,2363	492,5	4,273	0,947	562,1	—0,179	2,084
8,0	1316	0,2691	492,7	4,272	0,942	572,6	—0,193	2,036
9,0	1321	0,3016	492,9	4,270	0,938	582,8	—0,208	1,991
10,0	1326	0,3340	493,1	4,269	0,934	592,8	—0,220	1,949
11,0	1330	0,3662	493,3	4,267	0,930	602,6	—0,232	1,910
12,0	1334	0,3982	493,5	4,266	0,927	612,2	—0,243	1,874
13,0	1338	0,4301	493,8	4,264	0,923	621,6	—0,253	1,840
14,0	1342	0,4618	494,0	4,263	0,920	630,9	—0,263	1,809
15,0	1346	0,4934	494,3	4,262	0,917	640,1	—0,272	1,779
16,0	1350	0,5248	494,5	4,260	0,915	649,1	—0,281	1,751
17,0	1354	0,5561	494,8	4,259	0,912	658,0	—0,289	1,725
18,0	1347	0,5873	495,0	4,258	0,909	666,8	—0,296	1,700
19,0	1361	0,6183	495,3	4,257	0,907	675,4	—0,303	1,677
20,0	1364	0,6493	495,6	4,255	0,906	683,9	—0,310	1,654
				$T=383{,}15$ K				
0,01	0,432	0,9985	656,3	4,983	0,631	160,0	17,99	2,623
0,02	0,865	0,9970	656,2	4,941	0,631	159,8	18,02	2,636
0,03	1,300	0,9954	656,1	4,916	0,632	159,6	18,05	2,649
0,04	1,735	0,9939	656,0	4,899	0,632	159,4	18,08	2,662
0,05	2,173	0,9924	656,0	4,885	0,633	159,2	18,11	2,675
0,1	4,379	0,9846	655,3	4,842	0,635	158,2	18,27	2,743
0,2	8,901	0,9688	654,1	4,798	0,641	156,2	18,61	2,887
0,3	13,58	0,9526	652,9	4,771	0,647	154,1	18,97	3,045
0,4	18,43	0,9360	651,7	4,751	0,653	151,9	19,36	3,218
0,5	23,47	0,9188	650,4	4,735	0,661	149,6	19,79	3,410
0,6	28,72	0,9010	649,1	4,722	0,669	147,3	20,26	3,625
0,7	34,20	0,8826	647,7	4,710	0,678	144,8	20,78	3,867
0,8	39,95	0,8634	646,2	4,699	0,688	142,2	21,35	4,142
0,9	46,01	0,8434	644,7	4,689	0,700	139,5	22,00	4,459
1,0	52,43	0,8224	643,1	4,680	0,714	136,5	22,74	4,830
2,0	1252	0,0689	501,8	4,308	0,999	472,1	0,0086	2,638
3,0	1259	0,1028	501,8	4,306	0,990	485,0	—0,0236	2,533
4,0	1266	0,1363	501,8	4,304	0,982	497,5	—0,0521	2,441
5,0	1272	0,1695	501,9	4,302	0,974	509,6	—0,0766	2,359
6,0	1278	0,2025	502,0	4,300	0,967	521,3	—0,101	2,285
7,0	1284	0,2352	502,1	4,299	0,961	532,6	—0,121	2,219
8,0	1289	0,2676	502,2	4,297	0,956	543,7	—0,140	2,159
9,0	1294	0,2998	502,3	4,295	0,951	554,5	—0,158	2,104
10,0	1299	0,3319	502,5	4,294	0,946	565,1	—0,174	2,053
11,0	1304	0,3637	502,7	4,292	0,942	575,5	—0,188	2,007
12,0	1309	0,3953	502,9	4,291	0,938	585,6	—0,202	1,964

Продолжение табл. 21

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
13,0	1313	0,4268	503,1	4,289	0,934	595,6	—0,214	1,934
14,0	1318	0,4581	503,3	4,288	0,930	605,3	—0,226	1,887
15,0	1322	0,4893	503,5	4,286	0,927	614,9	—0,237	1,853
16,0	1326	0,5203	503,7	4,285	0,924	624,4	—0,247	1,820
17,0	1330	0,5512	503,9	4,283	0,921	633,6	—0,267	1,790
18,0	1334	0,5819	504,2	4,282	0,918	642,8	—0,266	1,761
19,0	1338	0,6125	504,4	4,281	0,915	651,8	—0,274	1,734
20,0	1341	0,6430	504,7	4,280	0,913	660,7	—0,282	1,709
				T=393,15 K				
0,01	0,421	0,9986	662,7	4,999	0,637	162,0	17,09	2,555
0,02	0,843	0,9972	662,6	4,957	0,637	161,8	17,12	2,567
0,03	1,266	0,9958	662,4	4,932	0,637	161,6	17,14	2,589
0,04	1,690	0,9944	662,3	4,915	0,638	161,4	17,17	2,591
0,05	2,116	0,9930	662,2	4,901	0,638	161,3	17,20	2,603
0,1	4,263	0,9859	661,7	4,858	0,641	160,4	17,33	2,664
0,2	8,652	0,9711	660,6	4,814	0,646	158,5	17,62	2,794
0,3	13,18	0,9566	659,4	4,788	0,651	156,6	17,92	2,935
0,4	17,86	0,9414	658,2	4,768	0,657	154,6	18,25	3,088
0,5	22,70	0,9257	657,0	7,752	0,664	152,5	18,61	3,257
0,6	27,72	0,9096	655,7	4,739	0,671	150,3	18,99	3,442
0,7	32,94	0,8930	654,5	4,727	0,679	148,1	19,41	3,648
0,8	38,38	0,8758	653,1	4,717	0,688	145,8	19,87	3,878
0,9	44,08	0,8580	651,7	4,707	0,698	143,3	20,38	4,139
1,0	50,06	0,8394	650,3	4,698	0,709	140,7	20,95	4,436
2,0	1217	0,0690	511,9	4,334	1,027	436,7	0,123	2,934
3,0	1226	0,1028	511,8	4,332	1,014	450,9	0,078	2,789
4,0	1234	0,1363	511,7	4,330	1,003	464,4	0,039	2,665
5,0	1241	0,1693	511,7	4,328	0,994	477,5	0,004	2,557
6,0	1248	0,2020	511,7	4,325	0,985	490,0	—0,011	2,462
7,0	1254	0,2345	511,8	4,324	0,978	502,2	—0,053	2,377
8,0	1261	0,2667	511,8	4,322	0,971	514,1	—0,078	2,302
9,0	1267	0,2986	511,9	4,320	0,965	525,6	—0,100	2,234
10,0	1272	0,3303	512,0	4,318	0,959	536,8	—0,120	2,172
11,0	1278	0,3618	512,2	4,316	0,956	547,7	—0,138	2,115
12,0	1283	0,3931	512,3	4,315	0,949	558,4	—0,155	2,064
13,0	1288	0,4242	512,4	4,313	0,945	568,9	—0,170	2,016
14,0	1293	0,4552	512,6	4,312	0,941	579,1	—0,185	1,973
15,0	1297	0,4860	512,8	4,310	0,937	589,1	—0,198	1,932
16,0	1302	0,5166	513,0	4,309	0,934	599,1	—0,210	1,894
17,0	1306	0,5471	513,2	4,307	0,930	608,8	—0,221	1,859
18,0	1310	0,5773	513,4	4,306	0,927	618,3	—0,232	1,826
19,0	1314	0,6076	513,6	4,305	0,924	627,7	—0,242	1,780
20,0	1318	0,6377	513,8	4,303	0,921	637,0	—0,252	1,767
				T=403,15 K				
0,01	0,410	0,9987	669,1	5,015	0,642	164,0	16,26	2,491
0,02	0,822	0,9974	669,0	4,973	0,642	163,8	16,29	2,502
0,03	1,234	0,9961	668,9	4,949	0,643	163,6	16,31	2,513
0,04	1,648	0,9948	668,7	4,931	0,643	163,5	16,33	2,523
0,05	2,062	0,9935	668,6	4,917	0,644	163,3	16,35	2,534

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,1	4,152	0,9870	668,1	4,874	0,646	162,5	16,47	2,590
0,2	8,418	0,9737	667,0	4,831	0,651	160,7	16,71	2,707
0,3	12,80	0,9601	665,9	4,804	0,656	159,0	16,97	2,834
0,4	17,32	0,9462	664,9	4,785	0,661	157,1	17,24	2,970
0,5	21,99	0,9320	663,7	4,769	0,667	155,3	17,54	3,118
0,6	26,80	0,9174	662,5	4,756	0,673	153,3	17,86	3,280
0,7	31,72	0,9024	661,3	4,744	0,681	151,2	18,20	3,457
0,8	36,97	0,8869	660,0	4,734	0,688	149,1	18,57	3,653
0,9	42,35	0,8709	658,7	4,725	0,697	147,0	18,98	3,870
1,0	47,97	0,8543	657,3	4,716	0,707	144,7	19,42	4,114
2,0	1180	0,0694	522,3	4,360	1,063	399,6	0,274	3,333
3,0	1190	0,1033	522,1	4,358	1,045	415,3	0,209	3,124
4,0	1200	0,1366	521,9	4,355	1,030	430,1	0,153	2,950
5,0	1208	0,1696	521,8	4,353	1,017	444,3	0,106	2,803
6,0	1216	0,2022	521,7	4,350	1,006	457,9	0,065	2,677
7,0	1224	0,2344	521,6	4,348	0,996	471,0	0,029	2,567
8,0	1231	0,2663	521,6	4,346	0,988	483,7	0,034	2,470
9,0	1238	0,2980	521,6	4,344	0,980	495,9	—0,032	2,384
10,0	1244	0,3294	521,7	4,342	0,973	507,8	—0,058	2,308
11,0	1250	0,3606	521,8	4,341	0,971	519,4	—0,081	2,239
12,0	1256	0,3916	521,8	4,339	0,962	530,7	—0,102	2,176
13,0	1261	0,4224	522,0	4,337	0,957	541,7	—0,121	2,119
14,0	1267	0,4529	522,1	4,335	0,952	552,5	—0,138	2,067
15,0	1272	0,4834	522,2	4,334	0,947	563,0	—0,154	2,019
16,0	1277	0,5136	522,4	4,332	0,943	573,3	—0,169	1,975
17,0	1281	0,5437	522,5	4,331	0,940	583,5	—0,183	1,934
18,0	1286	0,5736	522,6	4,329	0,936	593,4	—0,196	1,896
19,0	1290	0,6034	522,9	4,328	0,933	603,2	—0,208	1,860
20,0	1295	0,6332	523,2	4,327	0,930	613,0	—0,219	1,826
				$T=413{,}15$ K				
0,01	0,400	0,9988	675,5	5,031	0,647	165,9	15,49	2,430
0,02	0,802	0,9976	675,4	4,989	0,647	165,8	15,51	2,440
0,03	1,204	0,9964	675,3	4,964	0,648	165,6	15,53	2,450
0,04	1,607	0,9952	675,2	4,947	0,648	165,5	15,55	2,460
0,05	2,011	0,9940	675,1	4,933	0,649	165,3	15,57	2,470
0,1	4,047	0,9880	674,6	4,890	0,651	164,5	15,67	2,520
0,2	8,196	0,9758	673,6	4,847	0,055	162,9	15,88	2,687
0,3	12,45	0,9634	672,5	4,820	0,660	161,3	16,09	2,741
0,4	16,83	0,9507	671,4	4,800	0,665	159,6	16,33	2,862
0,5	21,32	0,9377	670,3	4,786	0,670	157,9	16,57	2,994
0,6	25,96	0,9244	669,2	4,773	0,676	156,1	16,84	3,136
0,7	30,74	0,9107	668,1	4,761	0,683	154,3	17,12	3,290
0,8	35,68	0,8967	666,9	4,751	0,690	152,3	17,42	3,458
0,9	40,79	0,8823	665,7	4,741	0,697	150,4	17,75	3,642
1,0	46,10	0,8675	664,4	4,733	0,706	148,3	18,10	3,846
1,5	76,44	0,7847	657,4	4,696	0,767	136,6	20,47	5,325
2,0	1138	0,0703	533,2	4,387	1,111	360,7	0,484	3,903
3,0	1151	0,1042	532,7	4,384	1,084	378,3	0,384	3,581
4,0	1163	0,1376	532,3	4,381	1,062	394,7	0,303	3,325
5,0	1173	0,1704	532,1	4,378	1,045	410,3	0,235	3,118
6,0	1183	0,2029	531,9	4,375	1,030	425,1	0,178	2,945
7,0	1192	0,2349	531,7	4,373	1,017	439,2	0,129	2,798
8,0	1200	0,2666	531,6	4,371	1,006	452,8	0,086	2,762
9,0	1207	0,2981	531,5	4,368	0,997	465,9	0,049	2,562

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
10,0	1215	0,3292	531,5	4,366	0,989	478,5	0,016	2,466
11,0	1222	0,3601	531,5	4,364	0,981	490,8	—0,014	2,380
12,0	1228	0,3908	531,5	4,363	0,974	502,7	—0,040	2,303
13,0	1234	0,4212	531,6	4,361	0,968	514,3	—0,064	2,234
14,0	1240	0,4514	531,7	4,359	0,963	525,6	—0,086	2,172
15,0	1246	0,4815	531,7	4,357	0,958	536,7	—0,106	2,115
16,0	1251	0,5114	531,8	4,355	0,953	547,5	—0,124	2,062
17,0	1256	0,5411	532,0	4,354	0,949	558,0	—0,141	2,015
18,0	1261	0,5707	532,1	4,352	0,945	568,4	—0,156	1,970
19,0	1266	0,6001	532,2	4,351	0,941	578,6	—0,170	1,929
20,0	1271	0,6294	532,4	4,349	0,938	588,6	—0,183	1,891
				T=423,15 K				
0,01	0,391	0,9989	682,0	5,047	0,652	167,9	14,78	2,372
0,02	0,783	0,9978	681,9	5,005	0,652	167,7	14,79	2,381
0,03	1,175	0,9967	681,8	4,980	0,653	167,6	14,81	2,390
0,04	1,569	0,9956	681,7	4,962	0,653	167,5	14,83	2,399
0,05	1,963	0,9945	681,6	4,949	0,654	167,3	14,84	2,408
0,1	3,948	0,9890	681,1	4,906	0,655	166,6	14,93	2,455
0,2	7,987	0,9778	680,1	4,862	0,660	165,1	15,10	2,551
0,3	12,12	0,9663	679,1	4,836	0,664	163,6	15,29	2,654
0,4	16,36	0,9547	678,1	4,817	0,669	162,0	15,48	2,763
0,5	20,71	0,9428	677,1	4,802	0,674	160,5	15,69	2,880
0,6	25,17	0,9306	676,0	4,789	0,679	158,8	15,91	3,006
0,7	29,77	0,9182	674,9	4,778	8,685	157,1	16,14	3,141
0,8	34,49	0,9055	673,8	4,768	0,691	155,4	16,39	3,286
0,9	39,37	0,8925	672,6	4,758	0,698	153,6	16,66	3,445
1,0	44,41	0,8791	671,5	4,750	0,705	151,8	16,94	3,617
1,5	72,68	0,8058	665,0	4,714	0,756	141,4	18,76	4,799
2,0	109,2	0,7154	656,9	4,682	0,859	128,1	21,80	7,197
3,0	1107	0,1058	543,8	4,410	1,137	339,7	0,631	4,240
4,0	1121	0,1392	543,2	4,407	1,104	358,2	0,505	3,841
5,0	1135	0,1720	542,7	4,403	1,079	375,4	0,405	3,534
6,0	1146	0,2043	542,3	4,400	1,058	391,6	0,323	3,288
7,0	1157	0,2362	542,0	4,397	1,041	406,9	0,254	3,087
8,0	1167	0,2677	541,8	4,395	1,027	421,5	0,196	2,919
9,0	1176	0,2989	541,6	4,392	1,015	435,5	0,146	2,776
10,0	1184	0,3297	541,5	4,390	1,005	449,0	0,103	2,652
11,0	1192	0,3603	541,4	4,388	0,995	462,0	0,064	2,544
12,0	1199	0,3907	541,3	4,386	0,987	474,6	0,031	2,449
13,0	1206	0,4208	541,3	4,384	0,980	486,8	0,001	2,365
14,0	1213	0,4507	541,3	4,382	0,974	498,7	—0,027	2,289
15,0	1219	0,4804	541,4	4,380	0,968	510,3	—0,051	2,221
16,0	1225	0,5100	541,4	4,378	0,962	521,5	—0,073	2,159
17,0	1231	0,5393	541,5.	4,377	0,958	532,6	—0,094	2,102
18,0	1236	0,5685	541,6	4,375	0,953	543,4	—0,112	2,051
19,0	1241	0,5976	541,7	4,373	0,949	554,0	—0,129	2,003
20,0	1247	0,6265	541,9	4,372	0,945	564,3	—0,145	1,959
				T=433,15 K				
0,01	0,382	0,9990	688,5	5,062	0,657	169,8	14,11	2,317
0,02	0,764	0,9980	688,5	5,020	0,657	169,7	14,12	2,325
0,03	1,148	0,9970	688,4	4,995	0,657	169,5	14,14	2,333

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,04	1,532	0,9960	688,3	4,978	0,658	169,4	14,15	2,342
0,05	1,917	0,9949	688,2	4,964	0,658	169,3	14,17	2,350
0,1	3,853	0,9898	687,7	4,921	0,660	168,6	14,24	2,392
0,2	7,788	0,9795	686,8	4,878	0,664	167,2	14,39	2,480
0,3	11,81	0,9690	685,8	4,852	0,668	165,8	14,54	2,574
0,4	15,92	0,9583	684,8	4,833	0,672	164,4	14,71	2,672
0,5	20,13	0,9474	683,8	4,817	0,677	162,9	14,88	2,777
0,6	24,44	0,9363	682,8	4,805	0,682	161,5	15,07	2,888
0,7	28,86	0,9250	681,8	4,794	0,687	159,9	15,26	3,007
0,8	33,41	0,9135	680,7	4,784	0,693	158,3	15,46	3,135
0,9	38,07	0,9017	679,6	4,775	0,699	156,7	15,68	3,972
1,0	42,88	0,8896	678,5	4,766	0,705	155,0	15,91	3,419
1,5	69,42	0,8242	672,5	4,731	0,748	145,9	17,33	4,387
2,0	102,2	0,7466	665,3	4,701	0,825	134,6	19,50	6,102
3,0	1056	0,1083	555,5	4,437	1,215	299,6	0,996	5,259
4,0	1076	0,1418	554,5	4,433	1,161	320,6	0,789	4,584
5,0	1092	0,1746	553,7	4,429	1,123	339,7	0,634	4,103
6,0	1107	0,2067	553,0	4,425	1,094	357,5	0,512	3,740
7,0	1120	0,2384	552,6	4,422	1,071	374,2	0,414	3,455
8,0	1132	0,2697	552,2	4,419	1,052	390,0	0,334	3,225
9,0	1142	0,3006	551,8	4,416	1,046	405,0	0,266	3,035
10,0	1152	0,3311	551,6	4,414	1,023	419,3	0,208	2,874
11,0	1161	0,3614	551,4	4,411	1,011	433,1	0,158	2,737
12,0	1169	0,3915	551,3	4,409	1,002	446,4	0,114	2,617
13,0	1177	0,4212	551,2	4,407	0,993	459,3	0,076	2,513
14,0	1185	0,4508	551,1	4,405	0,985	471,8	0,042	2,421
15,0	1192	0,4801	551,1	4,403	0,978	483,9	0,011	2,339
16,0	1198	0,5093	551,1	4,408	0,972	495,7	−0,016	2,265
17,0	1205	0,5383	551,1	4,399	0,966	507,2	−0,041	2,198
18,0	1211	0,5671	551,2	4,397	0,961	518,4	−0,064	2,138
19,0	1216	0,5958	551,3	4,395	0,957	529,4	−0,084	2,083
20,0	1222	0,6243	551,3	4,394	0,952	540,1	−0,103	2,032
				T=443,15 K				
0,01	0,373	0,9991	695,1	5,077	0,661	171,7	13,49	2,264
0,02	0,747	0,9981	695,0	5,035	0,662	171,6	13,50	2,272
0,03	1,122	0,9972	695,0	5,010	0,662	171,6	13,51	2,279
0,04	1,497	0,9963	694,9	4,993	0,662	171,3	13,52	2,287
0,05	1,873	0,9953	694,8	4,979	0,663	171,2	13,53	2,294
0,1	3,763	0,9906	694,3	4,936	0,664	170,6	19,60	2,333
0,2	7,600	0,9811	693,4	4,893	0,668	169,3	13,72	2,414
0,3	11,51	0,9717	692,5	4,867	0,672	168,0	13,86	2,498
0,4	15,51	0,9617	691,6	4,848	0,676	166,7	14,00	2,588
0,5	19,59	0,9517	690,6	4,833	0,680	165,4	14,14	2,682
0,6	23,76	0,9415	689,6	4,820	0,685	164,0	14,29	2,781
0,7	28,02	0,9312	688,6	4,809	0,689	162,6	14,46	2,887
0,8	32,40	0,9206	687,6	4,800	0,695	161,2	14,62	2,999
0,9	36,88	0,9099	686,6	4,790	0,700	159,7	14,80	3,119
1,0	41,47	0,8989	685,6	4,783	0,706	158,2	14,99	3,247
1,5	66,56	0,8402	679,9	4,743	0,743	150,0	16,12	4,055
2,0	96,51	0,7726	673,5	4,720	0,803	140,2	17,72	5,355
2,5	135,2	0,6896	665,4	4,692	0,925	128,0	20,24	7,970
3,0	995	0,1125	568,3	4,466	1,345	257,5	1,557	6,956
4,0	1022	0,1459	566,5	4,460	1,251	281,5	1,196	5,706

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
5,0	1045	0,1784	565,2	4,455	1,189	303,0	0,945	4,906
6,0	1063	0,2104	564,2	4,451	1,146	322,6	0,760	4,347
7,0	1079	0,2418	563,5	4,447	1,113	340,7	0,618	3,931
8,0	1094	0,2727	562,8	4,443	1,088	357,7	0,504	3,609
9,0	1106	0,3033	562,3	4,440	1,067	373,7	0,411	3,351
10,0	1118	0,3335	562,0	4,437	1,050	389,0	0,333	3,140
11,0	1128	0,3635	561,6	4,435	1,036	403,6	0,268	2,963
12,0	1138	0,3931	561,4	4,432	1,024	417,6	0,212	2,813
13,0	1147	0,4226	561,2	4,430	1,014	431,1	0,163	2,683
14,0	1155	0,4517	561,1	4,427	1,004	444,2	0,120	2,570
15,0	1163	0,4807	561,0	4,425	0,996	456,8	0,082	2,471
16,0	1171	0,5095	560,9	4,423	0,989	469,1	0,048	2,383
17,0	1178	0,5381	560,9	4,421	0,983	481,0	0,018	2,304
18,0	1184	0,5666	560,9	4,419	0,977	492,7	—0,009	2,233
19,0	1191	0,5949	560,9	4,417	0,971	504,0	—0,034	2,168
20,0	1197	0,6230	560,9	4,416	0,967	515,2	—0,056	2,110
				$T=453{,}15$ K				
0,01	0,365	0,9991	701,8	5,092	0,666	173,6	12,90	2,214
0,02	0,730	0,9983	701,7	5,050	0,666	173,5	12,91	2,221
0,03	1,097	0,9974	701,6	5,025	0,666	173,4	12,92	2,228
0,04	1,463	0,9966	701,5	5,008	0,667	173,2	12,93	2,235
0,05	1,831	0,9957	701,4	4,994	0,667	173,1	12,94	2,242
0,1	3,678	0,9914	701,0	4,951	0,669	172,6	13,00	2,277
0,2	7,421	0,9826	700,1	4,908	0,672	171,4	13,10	2,351
0,3	11,23	0,9737	699,2	4,882	0,676	170,2	13,22	2,428
0,4	15,12	0,9647	698,3	4,863	0,679	169,0	13,34	2,509
0,5	19,08	0,9555	697,4	4,848	0,683	167,7	13,46	2,594
0,6	23,12	0,9462	696,5	4,836	0,687	166,5	13,59	2,683
0,7	27,24	0,9368	695,5	4,825	0,692	165,2	13,72	2,778
0,8	31,46	0,9272	694,6	4,815	0,697	163,9	13,86	2,877
0,9	35,77	0,9174	693,6	4,806	0,702	162,5	14,01	2,982
1,0	40,18	0,9074	692,6	4,798	0,707	161,2	14,16	3,094
1,5	64,00	0,8545	687,4	4,765	0,739	153,8	15,06	3,779
2,0	91,74	0,7948	681,4	4,737	0,788	145,3	16,27	4,803
2,5	125,8	0,7248	674,3	4,712	0,873	135,1	18,01	6,571
3,0	172,2	0,6352	665,1	4,684	1,079	122,3	20,78	10,72
4,0	—	—	—	—	—	—	—	—
5,0	989	0,1843	577,6	4,483	1,306	263,9	1,347	6,048
6,0	1014	0,2157	576,1	4,477	1,241	285,3	1,065	5,165
7,0	1034	0,2467	574,9	4,472	1,195	304,8	0,858	4,548
8,0	1052	0,2772	574,0	4,468	1,160	323,0	0,699	4,091
9,0	1067	0,3073	573,3	4,465	1,133	340,0	0,574	3,739
10,0	1082	0,3371	572,7	4,461	1,112	356,1	0,472	3,459
11,0	1094	0,3666	572,2	4,458	1,094	371,4	0,387	3,230
12,0	1105	0,3959	571,9	4,455	1,078	386,1	0,316	3,039
13,0	1116	0,4249	571,6	4,453	1,066	400,1	0,255	2,877
14,0	1125	0,4537	571,3	4,450	1,055	413,6	0,203	2,739
15,0	1134	0,4822	571,1	4,448	1,046	426,7	0,157	2,618
16,0	1142	0,5106	571,0	4,446	1,037	439,4	0,117	2,512
17,0	1150	0,5388	570,9	4,443	1,030	451,7	0,081	2,419
18,0	1158	0,5669	570,8	4,441	1,023	463,6	0,049	2,335
19,0	1165	0,5948	570,8	4,439	1,017	475,3	0,021	2,260
20,0	1171	0,6225	570,8	4,437	1,012	486,7	—0,005	2,193

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=463{,}15$ K				
0,01	0,357	0,9992	708,4	5,106	0,670	175,4	12,36	2,166
0,02	0,715	0,9984	708,4	5,064	0,670	175,3	12,36	2,172
0,03	1,073	0,9976	708,3	5,040	0,670	175,2	12,37	2,178
0,04	1,431	0,9968	708,2	5,022	0,671	175,1	12,38	2,185
0,05	1,791	0,9960	708,1	5,009	0,671	175,0	12,39	2,191
0,1	3,596	0,9920	707,7	4,966	0,673	174,5	12,44	2,224
0,2	7,251	0,9840	706,9	4,923	0,676	173,4	12,53	2,292
0,3	10,97	0,9758	706,0	4,897	0,679	172,3	12,62	2,362
0,4	14,75	0,9675	705,1	4,878	0,683	171,2	12,72	2,436
0,5	18,60	0,9591	704,3	4,863	0,686	170,1	12,83	2,513
0,6	22,52	0,9506	703,4	4,851	0,690	168,9	12,93	2,593
0,7	26,51	0,9419	702,5	4,840	0,694	167,7	13,05	2,678
0,8	30,58	0,9331	701,6	4,830	0,699	166,5	13,16	2,766
0,9	34,74	0,9242	700,6	4,821	0,703	165,3	13,28	2,860
1,0	38,98	0,9151	699,7	4,814	0,708	164,0	13,41	2,958
1,5	61,70	0,8672	694,7	4,781	0,737	157,4	14,14	3,546
2,0	87,63	0,8141	689,2	4,755	0,777	149,9	15,07	4,367
2,5	118,3	0,7537	682,9	4,730	0,842	141,2	16,31	5,668
3,0	157,0	0,6816	675,2	4,706	0,963	131,0	18,06	8,058
3,5	213,1	0,5859	664,6	4,677	1,305	118,5	20,59	14,52
4,0	—	—	—	—	—	—	—	—
5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
6,0	—	—	—	—	—	—	—	—
7,0	985	0,2535	587,6	4,500	1,359	265,7	1,093	5,319
8,0	1007	0,2833	586,3	4,495	1,314	284,7	0,883	4,681
9,0	1026	0,3126	585,3	4,491	1,279	302,4	0,722	4,204
10,0	1043	0,3421	584,5	4,487	1,252	319,1	0,594	3,834
11,0	1058	0,3710	583,8	4,483	1,230	335,0	0,492	3,539
12,0	1071	0,3998	583,2	4,480	1,211	350,0	0,407	3,298
13,0	1083	0,4283	582,8	4,477	1,196	364,5	0,334	3,097
14,0	1094	0,4566	582,4	4,473	1,183	378,3	0,275	2,927
15,0	1104	0,4847	582,1	4,472	1,172	391,7	0,223	2,782
16,0	1113	0,5127	581,9	4,469	1,162	404,6	0,178	2,655
17,0	1122	0,5404	581,7	4,467	1,154	417,1	0,138	2,544
18,0	1130	0,5680	581,6	4,465	1,146	429,2	0,103	2,447
19,0	1138	0,5955	581,5	4,463	1,139	441,0	0,072	2,359
20,0	1145	0,6228	581,4	4,461	1,133	452,5	0,044	2,281
				$T=473{,}15$ K				
0,01	0,349	0,9993	715,2	5,121	0,674	177,3	11,84	2,119
0,02	0,699	0,9985	715,1	5,079	0,674	177,2	11,85	2,125
0,03	1,050	0,9978	715,0	5,054	0,674	177,1	11,86	2,131
0,04	1,401	0,9971	715,0	5,037	0,675	177,0	11,86	2,137
0,05	1,752	0,9963	714,8	5,023	0,675	176,9	11,87	2,143
0,1	3,518	0,9927	714,4	4,980	0,677	176,4	11,91	2,173
0,2	7,089	0,9852	713,6	4,937	0,680	175,4	11,99	2,236
0,3	10,71	0,9777	712,8	4,911	0,683	174,4	12,07	2,300
0,4	14,40	0,9701	712,0	4,893	0,686	173,4	12,15	2,367
0,5	18,14	0,9623	711,1	4,878	0,689	172,3	12,24	2,437
0,6	21,95	0,9545	710,3	4,865	0,693	171,3	12,33	2,510

Продолжение табл. 21

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,7	25,82	0,9466	709,4	4,855	0,697	170,2	12,42	2,586
0,8	29,76	0,9385	708,6	4,845	0,701	169,1	12,52	2,665
0,9	33,78	0,9304	707,7	4,837	0,705	168,0	12,62	2,749
1,0	38,87	0,9221	706,8	4,829	0,709	166,8	12,72	2,836
1,5	59,61	0,8786	702,1	4,797	0,735	160,8	13,31	3,346
2,0	84,03	0,8311	697,0	4,771	0,770	154,1	14,04	4,033
2,5	112,2	0,7782	691,2	4,748	0,821	146,6	14,96	5,025
3,0	146,0	0,7175	684,5	4,726	0,904	138,1	16,15	6,620
3,5	189,6	0,6447	676,3	4,702	1,070	128,4	17,67	9,684
4,0	—	—	—	—	—	—	—	—
5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
6,0	—	—	—	—	—	—	—	—
7,0	—	—	—	—	—	—	—	—
8,0	—	—	—	—	—	—	—	—
9,0	981	0,3202	599,2	4,520	1,516	265,6	0,832	4,730
10,0	1002	0,3486	598,1	4,516	1,484	282,6	0,683	4,258
11,0	1019	0,3769	597,1	4,512	1,457	298,7	0,565	3,886
12,0	1035	0,4050	596,4	4,508	1,436	314,0	0,469	3,586
13,0	1048	0,4329	595,8	4,505	1,418	328,7	0,390	3,340
14,0	1061	0,4607	595,3	4,502	1,403	342,7	0,325	3,134
15,0	1073	0,4883	594,9	4,499	1,390	356,2	0,269	2,960
16,0	1083	0,5157	594,5	4,496	1,379	369,3	0,221	2,810
17,0	1093	0,5430	594,3	4,494	1,369	381,9	0,179	2,680
18,0	1102	0,5701	594,0	4,491	1,360	394,1	0,143	2,565
19,0	1111	0,5972	593,9	4,489	1,353	405,9	0,111	2,465
20,0	1119	0,6240	593,7	4,487	1,346	417,4	0,082	2,375

Переносные свойства фреона-11 на линии кипения и конденсации

Таблица 22

T	p_s	$\eta' \cdot 10^5$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$\alpha' \cdot 10^6$	$\alpha'' \cdot 10^6$	Pr'	Pr''
298,15	0,1063	430,3	10,98	0,292	1,797	88,4	8,74	0,0676	2,46	4,32	0,731
303,15	0,1263	406,2	11,20	0,278	1,561	87,1	8,98	0,0668	2,13	4,16	0,732
308,15	0,1491	382,7	11,43	0,264	1,365	85,9	9,22	0,0661	1,854	3,99	0,734
313,15	0,1748	360,1	11,74	0,250	1,207	84,6	9,47	0,0653	1,623	3,83	0,736
318,15	0,2039	338,1	11,89	0,237	1,058	83,3	9,73	0,0644	1,431	3,68	0,738
323,15	0,2366	318,0	12,01	0,225	0,929	82,1	9,99	0,0637	1,264	3,53	0,738
328,15	0,2730	299,1	12,21	0,213	0,867	81,0	10,24	0,0631	1,177	3,38	0,738
333,15	0,3136	281,6	12,39	0,203	0,734	79,7	10,50	0,0622	0,995	3,26	0,739
338,15	0,3586	265,1	12,61	0,1927	0,657	78,4	10,77	0,0614	0,889	3,14	0,740
343,15	0,4083	250,2	12,82	0,1836	0,590	77,2	11,03	0,0606	0,795	3,03	0,742
348,15	0,4629	236,2	13,02	0,1751	0,531	76,0	11,30	0,0598	0,713	2,93	0,745
353,15	0,5229	223,1	13,23	0,1676	0,480	74,8	11,58	0,0590	0,641	2,84	0,748
358,15	0,5884	212,3	13,45	0,1607	0,435	73,6	11,87	0,0582	0,579	2,76	0,751
363,15	0,6599	202,4	13,67	0,1550	0,395	72,4	12,16	0,0573	0,522	2,71	0,756
368,15	0,7376	193,4	13,89	0,1498	0,359	71,2	12,46	0,0565	0,472	2,65	0,761
373,15	0,8219	184,9	14,13	0,1450	0,328	69,9	12,79	0,0556	0,429	2,61	0,764
378,15	0,9131	176,6	14,37	0,1401	0,300	68,7	13,12	0,0546	0,390	2,57	0,769
383,15	1,012	168,5	14,62	0,1355	0,275	67,8	13,45	0,0540	0,354	2,51	0,776
388,15	1,118	160,9	14,87	0,1309	0,252	66,3	13,79	0,0527	0,321	2,48	0,786
393,15	1,232	153,4	15,14	0,1267	0,232	65,0	14,14	0,0517	0,291	2,45	0,797
398,15	1,354	146,0	15,42	0,1224	0,214	63,9	14,51	0,0508	0,264	2,41	0,809
403,15	1,486	139,1	15,72	0,1185	0,1970	62,6	14,89	0,0497	0,239	2,38	0,824
408,15	1,626	132,7	16,02	0,1149	0,1818	61,4	15,29	0,0486	0,216	2,36	0,842
413,15	1,776	126,3	16,36	0,1113	0,1681	60,3	15,72	0,0475	0,1953	2,34	0,862
418,15	1,936	119,3	16,72	0,1071	0,1555	59,2	16,17	0,0464	0,1756	2,32	0,889
423,15	2,107	113,8	17,08	0,1042	0,1438	57,9	16,63	0,0451	0,1564	2,31	0,922
428,15	2,288	108,1	17,50	0,1011	0,1331	56,8	17,15	0,0439	0,1370	2,31	0,972
433,15	2,841	102,2	17,95	0,0978	0,1230	55,5	17,65	0,0424	0,1191	2,31	1,034
438,15	2,686	96,3	18,48	0,0945	0,1139	54,3	18,31	0,0410	0,1033	2,31	1,106
443,15	2,904	89,9	19,02	0,0907	0,1049	52,97	19,08	0,0394	0,0855	2,31	1,227
448,15	3,134	83,2	19,70	0,0865	0,0966	51,1	19,95	0,0374	0,0682	2,31	1,416

Таблица 23

Переносные свойства фреона-11 в однофазной области

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=233{,}15$ K		
0,1	893	104,5	0,0759	7,25
0,5	895	104,6	0,0759	7,26
1,0	898	104,7	0,0759	7,28
2,0	904	105,0	0,0761	7,30
3,0	910	105,3	0,0762	7,33
4,0	915	105,6	0,0764	7,35
5,0	921	105,9	0,0765	7,38
6,0	927	106,3	0,0767	7,40
7,0	933	106,6	0,0768	7,43
8,0	938	106,9	0,0769	7,45
9,0	944	107,2	0,0770	7,48
10,0	949	107,5	0,0771	7,51
12,0	961	108,1	0,0772	7,55
14,0	971	108,1	0,0774	7,61
16,0	985	109,3	0,0779	7,66
18,0	998	109,9	0,0781	7,73
20,0	1010	110,5	0,0784	7,78
		$T=243{,}15$ K		
0,1	791	102,1	0,0749	6,60
0,5	793	102,2	0,0749	6,61
1,0	796	102,3	0,0749	6,63
2,0	801	102,6	0,0750	6,65
3,0	805	102,9	0,0752	6,67
4,0	810	103,2	0,0754	6,69
5,0	815	103,6	0,0756	6,70
6,0	821	103,9	0,0757	6,73
7,0	826	104,2	0,0759	6,75
8,0	830	104,5	0,0760	6,76
9,0	836	104,9	0,0762	6,78
10,0	840	105,8	0,0764	6,80
12,0	850	105,8	0,0766	6,84
14,0	861	106,4	0,0769	6,89
16,0	871	107,0	0,0771	6,93
18,0	882	107,6	0,0774	6,98
20,0	892	108,2	0,0777	7,02
		$T=253{,}15$ K		
0,1	705	99,6	0,0736	6,07
0,5	707	99,8	0,0737	6,07
1,0	709	99,9	0,0738	6,08
2,0	714	100,2	0,0740	6,10
3,0	718	100,5	0,0741	6,12
4,0	723	100,8	0,0743	6,13
5,0	727	101,2	0,0745	6,14
6,0	732	101,5	0,0746	6,17
7,0	736	101,9	0,0749	6,18
8,0	740	102,2	0,0750	6,19
9,0	745	102,5	0,0752	6,21
10,0	749	102,8	0,0754	6,22
12,0	758	103,5	0,0757	6,25
14,0	767	104,1	0,0761	6,28
16,0	773	104,8	0,0765	6,29
18,0	785	105,4	0,0768	6,34
20,0	795	106,0	0,0770	6,39
		$T=263{,}15$ K		
0,1	631	97,2	0,0724	5,60
0,5	633	97,3	0,0725	5,61
1,0	635	97,5	0,0726	5,62
2,0	639	97,8	0,0728	5,63
3,0	643	98,1	0,0730	5,64
4,0	647	98,5	0,0732	5,65
5,0	651	98,8	0,0734	5,66
6,0	656	99,1	0,0736	5,68
7,0	660	99,5	0,0738	5,70
8,0	664	99,8	0,0740	5,71
9,0	668	100,2	0,0742	5,72
10	672	100,5	0,0745	5,73
12	680	101,2	0,0749	5,75
14	688	101,9	0,0753	5,77
16	696	102,5	0,0757	5,80
18	705	103,2	0,0760	5,83
20	713	103,8	0,0764	5,86
		$T=273{,}15$ K		
0,1	566,1	94,7	0,0711	5,19
0,5	568,5	94,9	0,0712	5,20
1,0	570,7	95,1	0,0714	5,21
2,0	574,3	95,4	0,0716	5,22
3,0	578,8	95,7	0,0718	5,24
4,0	582,9	96,1	0,0720	5,25
5,0	586,6	96,4	0,0722	5,26
6,0	590,2	96,8	0,0725	5,27
7,0	594,0	97,2	0,0728	5,27
8,0	598,5	97,5	0,0730	5,28
9,0	602	97,9	0,0733	5,29
10	604	98,8	0,0736	5,30
12	612	98,9	0,0739	5,31
14	619	99,6	0,0743	5,33
16	627	100,6	0,0748	5,35
18	635	100,9	0,0751	5,38
20	643	101,6	0,0756	5,40
		$T=283{,}15$ K		
0,1	508,6	92,4	0,0699	4,81
0,5	510,9	92,5	0,0700	4,82
1,0	512,8	92,7	0,0701	4,83

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
2,0	515,3	93,0	0,0702	4,84
3,0	519,4	93,3	0,0705	4,85
4,0	523,5	93,7	0,0708	4,86
5,0	527,3	94,1	0,0710	4,87
6,0	531,1	94,4	0,0713	4,88
7,0	535,2	94,8	0,0716	4,89
8,0	539,6	95,2	0,0718	4,90
9,0	542,4	95,6	0,0721	4,91
10	545,0	95,9	0,0724	4,92
12	553,1	96,6	0,0728	4,94
14	560,2	97,4	0,0733	4,95
16	567,6	98,1	0,0738	4,97
18	574,8	98,8	0,0741	4,99
20	582,3	99,5	0,0744	5,03
		$T=293{,}15$ K		
0,1	456,5	89,8	0,0684	4,48
0,5	457,7	90,0	0,0685	4,49
1,0	459,2	90,2	0,0687	4,49
2,0	462,9	90,6	0,0690	4,50
3,0	466,6	90,9	0,0692	4,51
4,0	470,5	91,3	0,0695	4,52
5,0	474,2	91,7	0,0699	4,53
6,0	478,1	92,1	0,0701	4,54
7,0	482,3	92,5	0,0704	4,55
8,4	486,7	92,9	0,0707	4,56
9,0	489,2	93,3	0,0709	4,57
10	492,7	93,7	0,0712	4,58
12	499,9	94,4	0,0718	4,59
14	507,1	95,2	0,0724	4,61
16	514,4	95,9	0,0729	4,63
18	521,7	96,6	0,0733	4,65
20	529,3	97,4	0,0738	4,67
		$T=303{,}15$ K		
0,1	11,16	8,95	2,72	0,728
0,5	407,0	87,5	0,0671	4,14
1,0	409,5	87,8	0,0673	4,15
2,0	414,4	88,2	0,0676	4,17
3,0	419,3	88,5	0,0679	4,19
4,0	422,7	89,0	0,0682	4,20
5,0	426,0	89,4	0,0685	4,24
6,0	430,6	90,1	0,0688	4,22
7,0	434,2	90,2	0,0692	4,23
8,0	438,7	90,6	0,0695	4,24
9,0	442,4	91,0	0,0698	4,25
10	445,0	91,4	0,0701	4,26
12	452,3	92,2	0,0707	4,27
14	459,6	93,0	0,0713	4,29
16	466,9	93,8	0,0719	4,31
18	474,0	94,6	0,0725	4,33
20	481,2	96,4	0,0738	4,35

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=313{,}15$ K		
0,1	11,52	9,42	2,93	0,724
0,5	361,3	85,1	0,0657	3,82
1,0	364,1	85,3	0,0658	3,84
2,0	368,7	85,7	0,0661	3,85
3,0	373,5	86,1	0,0665	3,87
4,0	377,1	86,6	0,0669	3,89
5,0	382,4	86,9	0,0672	3,92
6,0	386,3	87,5	0,0676	3,93
7,0	390,2	87,9	0,0680	3,97
8,0	394,9	88,9	0,0683	3,95
9,0	398,0	88,8	0,0686	3,96
10	401,3	89,2	0,0689	3,97
12	408,9	90,0	0,0695	3,99
14	416,5	90,8	0,0701	4,01
16	423,8	91,7	0,0708	4,03
18	430,7	92,5	0,0714	4,05
20	437,7	93,4	0,0721	4,07
		$T=323{,}15$ K		
0,1	11,87	9,82	3,12	0,721
0,5	320,6	82,6	0,0641	3,53
1,0	322,4	82,9	0,0644	3,54
2,0	327,2	83,3	0,0647	3,56
3,0	332,7	83,7	0,0651	3,58
4,0	336,5	84,2	0,0654	3,60
5,0	341,0	84,7	0,0660	3,61
6,0	345,6	85,2	0,0663	3,63
7,0	349,9	85,7	0,0667	3,65
8,0	354,2	86,1	0,0670	3,67
9,0	358,3	86,6	0,0674	3,68
10	361,3	87,0	0,0677	3,69
12	369,1	87,8	0,0684	3,71
14	376,8	88,7	0,0691	3,74
16	384,3	89,6	0,0698	3,76
18	391,5	90,6	0,0705	3,78
20	398,7	91,4	0,0712	3,80
		$T=333{,}15$ K		
0,1	12,21	10,25	3,29	0,719
0,5	283,4	80,1	0,0625	3,26
1,0	285,5	80,4	0,0628	3,27
2,0	290,3	80,9	0,0632	3,28
3,0	294,8	81,3	0,0637	3,30
4,0	299,9	81,9	0,0641	3,32
5,0	303,2	82,4	6,0645	3,34
6,0	309,1	82,9	0,0650	3,36
7,0	313,0	83,4	0,0654	3,38
8,0	317,7	83,8	0,0657	3,41
9,0	322,6	84,0	0,0659	3,43
10,0	325,0	84,8	0,0664	3,45

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
12	333,0	85,7	0,0672	3,47
14	341,0	86,7	0,0681	3,49
16	348,6	87,6	0,0688	3,51
18	355,9	88,5	0,0695	3,54
20	363,1	89,7	0,0705	3,56
		$T=343{,}15$ K		
0,1	12,56	10,72	3,56	0,717
0,5	252,4	77,6	0,0609	3,04
1,0	255,5	77,9	0,0612	3,05
2,0	260,7	78,4	0,0617	3,07
3,0	264,8	78,9	0,0620	3,10
4,0	269,9	79,5	0,0625	3,12
5,0	272,2	80,1	0,0631	3,13
6,0	277,5	80,6	0,0636	3,14
7,0	281,7	81,1	0,0640	3,16
8,0	285,1	81,6	0,0644	3,17
9,0	290,0	82,1	0,0649	3,19
10	293,4	82,6	0,0653	3,21
12	301,4	83,7	0,0662	3,23
14	309,4	84,7	0,0670	3,27
16	317,0	85,6	0,0677	3,30
18	324,2	86,6	0,0686	3,32
20	331,4	87,5	0,0693	3,34
		$T=353{,}15$ K		
0,1	12,90	11,15	3,78	0,715
0,5	228,2	75,1	4,39	1,981
1,0	231,2	75,4	0,0596	2,90
2,0	237,1	76,0	0,0601	2,93
3,0	242,3	76,5	0,0605	2,94
4,0	244,4	77,2	0,0612	2,95
5,0	247,5	77,8	0,0618	2,96
6,0	251,4	78,3	0,0622	2,97
7,0	255,6	78,9	0,0627	2,98
8,0	259,9	79,4	0,0632	2,99
9,0	263,0	80,0	0,0637	3,00
10	266,4	80,5	0,0641	3,02
12	274,1	81,6	0,0650	3,04
14	281,8	82,7	0,0660	3,07
16	289,2	83,7	0,0668	3,10
18	296,3	84,7	0,0676	3,12
20	303,4	85,6	0,0683	3,15
		$T=363{,}15$ K		
0,1	13,25	11,62	4,019	0,713
0,5	13,55	11,96	0,724	0,742
1,0	214,4	72,9	0,0578	2,83
2,0	218,3	73,5	0,0584	2,84
3,0	224,6	74,1	0,0590	2,84
4,0	225,5	74,8	0,0597	2,85
5,0	228,7	75,5	0,0603	2,85
6,0	231,3	76,1	0,0608	2,85
7,0	234,1	76,7	0,0614	2,85
8,0	238,0	77,3	0,0620	2,86
9,0	241,6	77,9	0,0624	2,87
10	244,7	78,4	0,0629	2,88
13	251,7	79,6	0,0639	2,89
14	258,6	80,7	0,0648	2,91
16	265,4	81,8	0,0658	2,93
18	272,1	82,8	0,0666	2,96
20	278,7	83,8	0,0674	2,98
		$T=373{,}15$ K		
0,1	13,65	12,02	4,24	0,712
0,5	13,88	12,43	0,779	0,733
1,0	195,5	70,3	0,0559	2,73
2,0	203,6	71,0	0,0566	2,74
3,0	206,6	71,7	0,0573	2,75
4,0	208,4	72,5	0,0581	2,76
5,0	211,2	73,2	0,0588	2,76
6,0	214,7	73,8	0,0584	2,77
7,0	217,9	74,5	0,0600	2,78
8,0	223,3	75,1	0,0605	2,78
9,0	224,4	75,8	0,0612	2,78
10	226,7	76,4	0,0617	2,78
12	233,0	77,6	0,0628	2,78
14	239,3	78,8	0,0638	2,80
16	245,5	79,9	0,0647	2,81
18	251,8	81,0	0,0657	2,82
20	258,1	82,1	0,0664	2,85
		T=383,15 K		
0,1	13,98	12,45	4,48	0,710
0,5	14,12	12,83	0,827	0,727
1,0	14,37	13,31	0,336	0,816
2,0	188,3	68,6	0,0548	2,74
3,0	191,6	69,3	0,0556	2,73
4,0	194,7	70,1	0,0564	2,73
5,0	197,1	70,9	0,0572	2,72
6,0	200,6	71,6	0,0579	2,71
7,0	203,5	72,3	0,0586	2,70
8,0	210,3	73,0	0,0592	2,70
9,0	209,1	73,7	0,0604	2,69
10	211,4	74,4	0,0610	2,69
12	217,3	75,6	0,0616	2,69
14	223,1	76,9	0,0627	2,70
16	229,0	78,0	0,0637	2,71
18	234,9	79,2	0,0647	2,72
20	240,8	80,4	0,0657	2,73

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=393{,}15$ K		
0,1	14,32	12,92	4,73	0,708
0,5	14,33	13,26	0,880	0,717
1,0	14,92	13,83	0,390	0,764
2,0	174,1	66,1	0,0529	2,70
3,0	177,9	66,9	0,0538	2,69
4,0	181,2	67,8	0,0548	2,68
5,0	184,4	68,6	0,0556	2,67
6,0	187,5	69,4	0,0565	2,66
7,0	190,5	70,2	0,0572	2,65
8,0	193,4	70,9	0,579	2,64
9,0	196,1	71,6	0,0586	2,64
10	198,2	72,3	0,0593	2,63
12	203,6	73,7	0,0605	2,62
14	209,0	75,0	0,0616	2,62
16	214,4	76,2	0,0627	2,62
18	219,9	77,5	0,0638	2,63
20	225,4	78,7	0,0648	2,64
		$T=403{,}15$ K		
0,1	14,65	13,35	4,98	0,706
0,5	14,86	13,73	0,936	0,722
1,0	15,23	14,23	0,420	0,756
2,0	153,2	63,6	0,0507	2,58
3,0	163,4	64,5	0,0519	2,64
4,0	167,6	65,5	0,0530	2,63
5,0	170,6	66,4	0,0540	2,62
6,0	174,3	67,2	0,0549	2,61
7,0	177,6	68,0	0,0558	2,60
8,0	180,7	68,8	6,0566	2,59
9,0	183,8	69,8	0,0575	2,58
10	186,4	70,3	0,0584	2,57
12	191,6	71,8	0,0594	2,57
14	196,8	73,1	0,0606	2,56
16	201,9	74,4	0,0617	2,56
18	207,0	75,8	0,0630	2,55
20	212,1	77,0	0,0641	2,55
		$T=413{,}15$ K		
0,1	14,93	13,82	5,25	0,703
0,5	15,18	14,13	0,989	0,720
1,0	15,53	14,63	0,450	0,749
2,0	142,7	61,1	0,0483	2,59
3,0	147,9	62,1	0,0498	2,58
4,0	153,1	63,1	0,0511	2,57
5,0	155,7	64,1	0,0523	2,55
6,0	160,4	65,0	0,0533	2,54
7,0	164,0	65,9	0,0544	2,58
8,0	167,3	66,7	0,0553	2,53
9,0	171,4	67,4	0,0560	2,53
10,0	174,1	68,3	0,0568	2,52
12	179,8	69,8	0,0584	2,51
14	185,5	71,3	0,0597	2,50
16	191,2	72,6	0,0609	2,51
18	196,9	74,0	0,0621	2,51
20	202,6	75,3	0,0632	2,52
		$T=423{,}15$ K		
0,1	15,26	14,25	5,51	0,701
0,5	15,51	14,56	1,043	0,718
1,0	15,83	15,03	0,480	0,743
2,0	16,95	15,97	0,1701	0,913
3,0	130,4	59,7	0,0478	2,48
4,0	137,4	60,7	0,0490	2,47
5,0	140,6	61,7	0,0504	2,46
6,0	146,7	62,7	0,0517	2,45
7,0	149,6	63,6	0,0528	2,44
8,0	153,1	64,5	0,0538	2,44
9,0	157,6	65,0	0,0545	2,44
10	161,2	66,2	0,0556	2,44
12	167,6	67,9	0,0574	2,44
14	173,9	69,4	0,0587	2,44
16	179,7	70,8	0,0601	2,44
18	184,8	72,2	0,0613	2,44
20	190,0	73,6	0,0625	2,43
		$T=433{,}15$ K		
0,1	15,59	14,72	5,79	0,700
0,5	15,83	15,03	1,109	0,713
1,0	16,15	15,43	0,510	0,738
2,0	17,16	16,63	0,1972	0,852
3,0	111,5	57,2	0,0446	2,37
4,0	121,5	58,3	0,0467	2,37
5,0	123,8	59,3	0,0484	2,38
6,0	131,8	60,3	0,0498	2,39
7,0	135,5	64,4	0,0512	2,38
8,0	139,6	62,4	0,0524	2,37
9,0	144,6	63,1	0,0533	2,37
10	148,0	64,1	0,0544	2,36
12	154,9	65,8	0,0562	2,36
14	161,8	67,5	0,0578	2,36
16	168,1	69,0	0,0593	2,36
18	174,9	70,5	0,0606	2,37
20	179,5	71,9	0,0618	2,37
		$T=443{,}15$ K		
0,1	15,97	15,12	6,05	0,699
0,5	16,15	15,43	1,158	0,712
1,0	16,46	15,83	0,541	0,734
2,0	17,40	16,70	0,215	0,839
3,0	99,6	53,9	0,0403	2,30
4,0	101,7	53,5	0,0434	2,29

Продолжение табл. 23

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
5,0	107,4	57,0	0,0449	2,29
6,0	116,4	58,1	0,0477	2,29
7,0	121,5	59,2	0,0493	2,29
8,0	125,6	60,2	0,0506	2,29
9,0	131,9	61,1	0,0518	2,29
10	134,9	62,0	0,0528	2,28
12	142,0	63,8	0,0547	2,28
14	149,0	65,6	0,0566	2,28
16	155,9	67,2	0,0580	2,29
18	162,4	68,7	0,0594	2,30
20	168,9	70,2	0,0606	2,32
		$T=453{,}15$ K		
0,1	16,24	15,55	6,32	0,699
0,5	16,47	15,86	1,217	0,709
1,0	16,77	16,26	0,572	0,730
2,0	17,65	17,33	0,240	0,802
3,0	19,42	19,06	0,103	1,095
4,0	—	—	—	—
5,0	90,0	54,7	0,0423	2,25
6,0	102,1	56,0	0,0445	2,25
7,0	107,6	57,2	0,0463	2,25
8,0	112,7	58,2	0,0477	2,25
9,0	119,6	59,1	0,0489	2,26
10	122,2	60,0	0,0499	2,26
12	129,3	61,8	0,0519	2,26
14	136,6	63,6	0,0536	2,27
16	143,8	65,3	0,0551	2,28
18	150,9	66,9	0,0565	2,30
20	158,0	68,5	0,0578	2,33

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=463{,}15$ K		
0,1	16,57	16,02	6,62	0,696
0,5	16,79	16,33	1,280	0,708
1,0	17,08	16,73	0,606	0,946
2,0	17,90	17,73	0,360	0,786
3,0	18,90	19,26	0,1273	0,942
7,0	93,7	55,1	0,0412	2,31
8,0	99,8	56,2	0,0425	2,33
9,0	107,3	57,1	0,0435	2,35
10	109,8	58,0	0,0444	2,37
12	117,3	60,0	0,0463	2,39
14	125,9	61,7	0,0477	2,41
16	133,3	63,4	0,0490	2,44
18	140,2	65,2	0,0503	2,47
20	147,1	66,9	0,0516	2,50
		$T=473{,}15$ K		
0,1	16,90	16,49	6,92	0,694
0,5	17,11	16,81	1,345	0,701
1,0	17,39	17,24	0,626	0,715
2,0	18,15	18,13	0,280	0,771
9	95,0	55,1	0,0370	2,60
10	106,3	58,2	0,0392	2,63
14	115,2	59,8	0,0402	2,68
16	122,8	61,5	0,0412	2,73
18	129,5	63,9	0,0422	2,78
20	143,4	65,3	0,0434	2,95

ГЛАВА 3

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-12

3.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Опытные данные в однофазной области. Термические свойства фреона-12 в газовой фазе подробно изучены до давлений 14 МПа и температур 483 К, причем минимальная температура составляет 273 К (табл. 24, рис. 24). В области жидкого состояния плотность измерена при очень высоких давлениях до 160 МПа [3.56].

Первое исследование плотности газообразного фреона-12, выполненное Баффингтоном и Джилки в 1931 г., охватывало

Таблица 24

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-12 в однофазной области

Год	Авторы	Величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число точек	Источник
1931	Баффингтон, Джилки	ϱ	303—399	0,6—1,8	г	29	[3.41]
1931	Баффингтон, Флейшер	c_p	273—323	0,1	г	3	[3.42]
		c_p/c_v	298	0,1	г	1	
		c_p	230—290	0,1	ж	2	
1936	Эйкен, Бертрам	c_p	173—279	0,1	г	3	[3.45]
1952	Мази	c_p	243—363	0,1	г	4	[3.60]
1955	Келлс, Орфео, Мирс	ϱ	326—474	0,9—6,6	г	73	[3.52]
1955	Мак Харнесс, Эйземан, Мартин	ϱ	303—483	0,6—13,9	г	170	[3.62]
1966	Михельс с сотрудниками	ϱ	323—423	0,7—8,2	г	186	[3.63]
1966	Вудбурн, Метрей, Хоа	w	297—361	0,4—0,7	г	22	[3.81]
1968	Хайяр, Мак Вуд	B_1	313—403	0,1	г	4	[3.49]
1969	Майер	w	198—235	0,1	ж	14	[2.54]
1969	Шелудяков, Колотов, Соловьев	w	233—576	0,01—10,0	г	549	[2.30]
1969	Шумская, Груздев	c_p	300—460	0,1	г	8	[3.35]
1970	Перельштейн	ϱ	341—471	0,8—8,5	г	71	[3.18]
1970	Нирод, Льюис, Гаггиоль, Оберт	w	389	0,2—2,8	г	4	[3.65]
1972	Кубота, Танака, Макита	ϱ	303—348	0,1—1,8	г	40	[3.55]
1977	Ватанабэ, Танака, Огучи	ϱ	273—403	0,1—11,0	г	104	[3.79]
1978	Кумагаи, Ивасаки	ϱ	253—313	9,5—160	ж	38	[3.56]
1979	Огучи	ϱ	293—353	0,9—30	ж	19	[3.66]
1981	Прасад	ϱ	298—373	до 0,5	г	60	[3.69]

область сравнительно низких давлений и плотностей [3.41]. Достигнутая точность измерений из-за низкого класса использованных приборов была невысока.

В 1955 г. двумя группами американских исследователей с помощью пьезометров постоянного объема были выполнены обстоятельные измерения плотности [3.52, 3.62]. Экспериментами были охвачены как докритическая, так и сверхкритическая области параметров состояния. Достигнутая точность опреде-

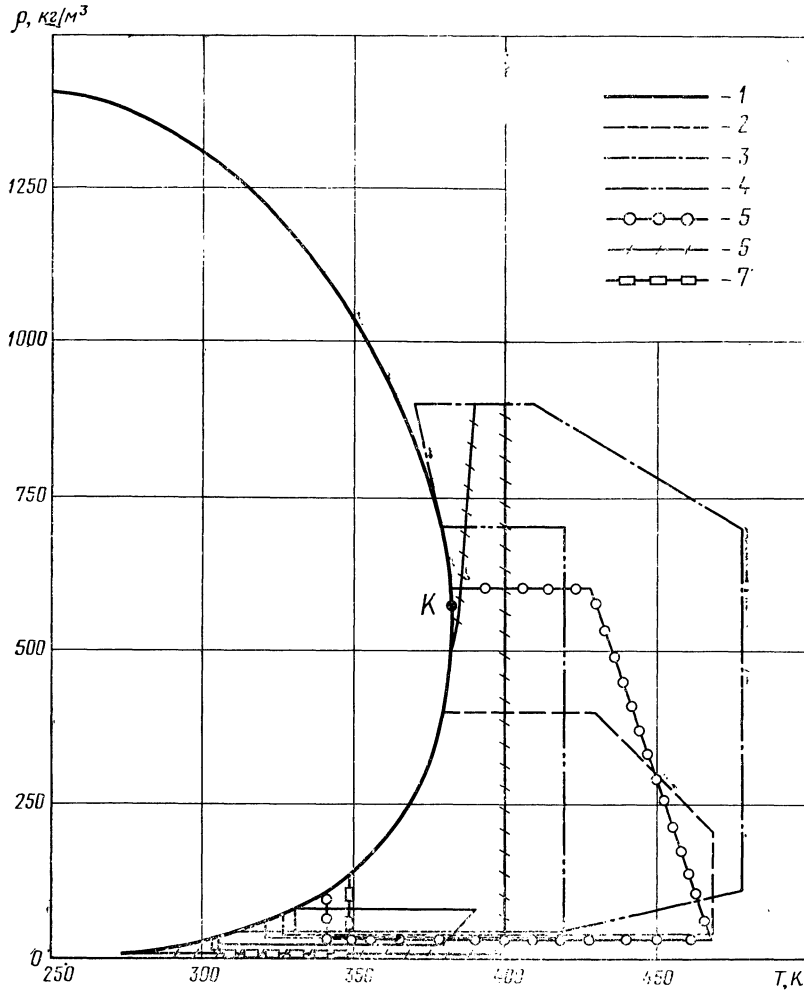


Рис. 24. Области экспериментального исследования термических свойств фреона-12:

1 — Баффингтон, Джилки [3.42]; *2* — Келлс, Орфео, Мирс [3.52]; *3* — Мак-Харнесс, Эйземан, Мартин [3.62]; *4* — Михельс и др. [3.63]; *5* — Перельштейн [3.18]; *6* — Ватанабе, Такака, Огучи [3.79]; *7* — Кубота, Танака, Макита [3.55]

ления сжимаемости была значительно выше, чем в работе Баффингтона и Джилки, и составляла в среднем 0,3 %.

В работах Михельса с сотрудниками [3.63] и И. И. Перельштейна [3.18] методом пьезометра переменного объема измерены плотности до давлений 8 МПа и более. Результаты экспериментального определения сжимаемости согласуются между собой до 0,1 %.

Сравнительно недавно методом Барнетта измерена плотность в области относительно низких [3.55, 3.69] и высоких плот-

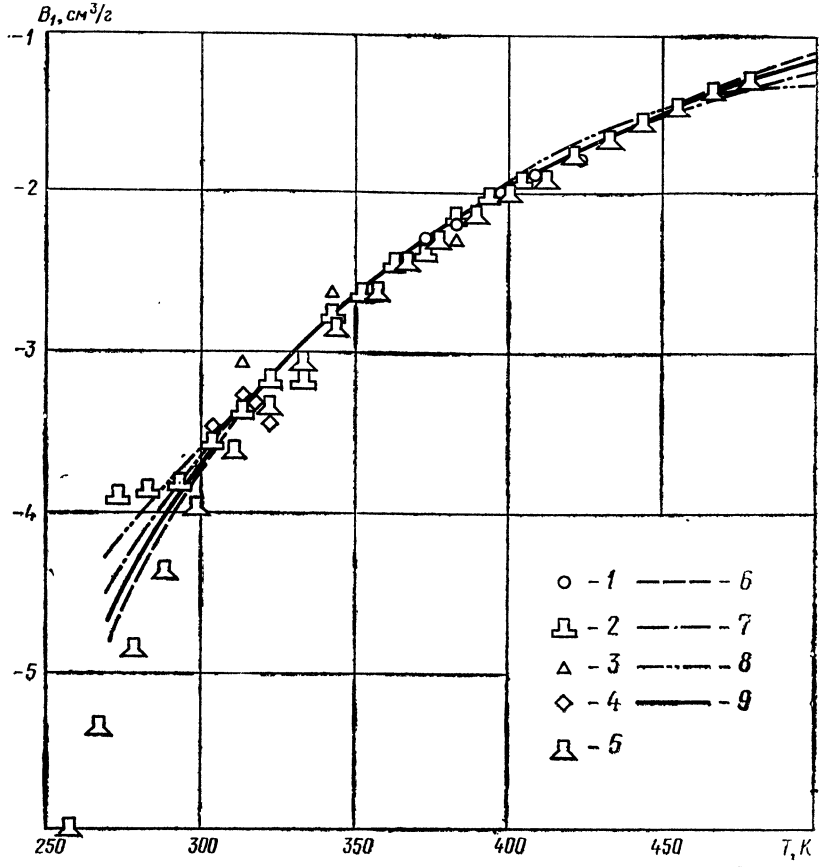


Рис. 25. Второй вириальный коэффициент фреона-12:

опытные данные: *1* — Михельса и др. [3.63]; *2* — Хайяра, Мак Вуда [3.49], *3* — Куботы, Танаки, Макиты [3.55]; *4* — Ватанабе, Танаки, Огучи [3.79]; расчетные данные: *5* — Кунца, Капнера [2.51]; *6* — Перельштейна [0.20]; *7* — Кондо, Ватанабе, Танишиты [0.46]; *8* — Ватанабе, Танаки, Огучи [3.79]; *9* — Перельштейна, Парушина [3.21]

ностей [3.79]. Полученные ими опытные данные отличаются высокой точностью (до 0,15 %) и хорошо согласуются не только между собой, но и с результатами работ Михельса и Перельштейна.

Таким образом, в области газовой фазы фреона-12 до 9 МПа и 450° С наблюдается согласование до 0,15 % результатов последних исследований [3.63, 3.18, 3.55, 3.79].

Второй вириальный коэффициент был найден в работах, специально поставленных для его определения [3.49, 3.55]. Кроме того, второй вириальный коэффициент определяли по результатам измерений в области малых плотностей с последующим аналитическим описанием данных о сжимаемости по изотермам [3.63, 3.79, 0.46], а также по двум переменным — температуре и плотности [3.18, 0.20]. Как следует из рис. 25, темпера-

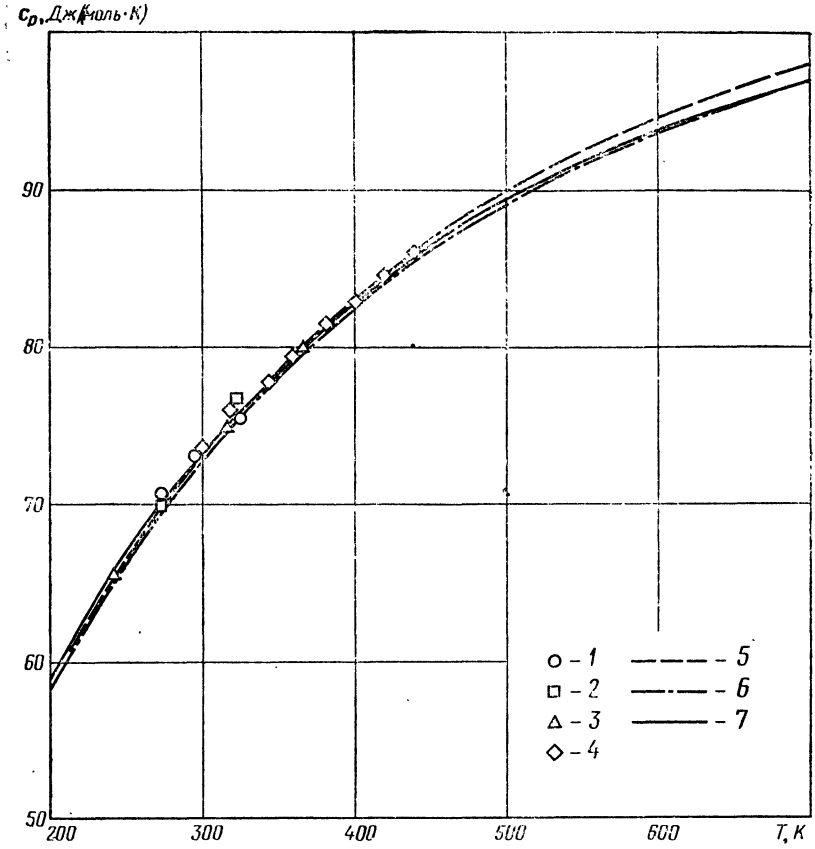


Рис. 26. Изобарная теплоемкость газообразного фреона-12 при низких давлениях:

опытные данные: *1* — Баффингтона, Флейшера [3.42]; *2* — Эйкена, Бертрама [3.45]; *3* — Мази [3.60]; *4* — Шумской, Груздева [3.35]; расчетные данные: *5* — Олбрайта, Галагера, Иннеса [2.31], Баро [0.42]; *6* — Чена, Вилхойта, Зволинского [0.43]; *7* — Перельштейна, Парушина [3.21]

турная зависимость B_1, предложенная Перельштейном и Парушиным, хорошо согласуется с имеющимися опытными и расчетными данными.

Изобарная теплоемкость газообразного фреона-12 при атмосферном давлении измерена в интервале температур от 173 до 460 К [3.42, 3.45, 3.60, 3.35, 3.8, 3.50]. Наиболее прецизионные измерения с точностью до 0,1 % в интервале температур от 243 до 363 К выполнены методом проточного калориметра Мази [3.60]. Полученные им данные согласуются с результатами работ [3.42, 3.45, 3.35] в пределах точности измерений последних (рис. 26).

Идеально-газовые функции рассчитаны в приближении жесткий ротатор — гармонический осциллятор [2.31, 0.42, 0.43, 0.45,

0.28]. Использованные в этих работах значения основных частот колебаний и структурных параметров мало отличаются друг от друга. В работе Баро и Олбрайта с сотрудниками при расчете идеально-газовых функций учтена поправка на ангармоничность на основе измерений теплоемкости [3.60].

В табл. 25 сопоставлены теплоемкости c_p^0, энтальпии $(H_T^0 - H_0^0)$ и энтропии S_T^0 по данным [2.31, 0.42, 0.43, 0.45, 0.28]. Расхождения данных [0.43], [0.45] и [0.28] невелики и составляют не более 29 кДж/моль по энтальпии и 0,22 кДж/(моль·К) по энтропии. Относительно упомянутых работ данные Олбрайта с сотрудниками [2.31] об энтальпии и энтропии сильно завышены при высоких температурах. Возможно, это связано с поправкой на ангармоничность, введенной в работе [2.31] по данным Мази, относящимся к сравнительно низким температурам.

Значения теплоемкости c_p^0 в [2.31] и [0.42] почти совпадают и примерно на 0,5 % превышают практически не отличающиеся друг от друга данные [0.43] и [0.45]. Результаты расчета соответствуют прецизионным опытным данным Мази и согласуются с опытными данными [3.42, 3.45, 3.35] с точностью эксперимента (см. рис. 26).

Скорость звука исследована в газовой [2.30, 3.65] и жидкой [2.54] фазах. В [3.65] скорость звука определена экспериментально лишь на одной околокритической изотерме в четырех точках при докритических давлениях. Результаты [2.54] охватывают жидкую фазу только при атмосферном давлении. Наиболее обстоятельно изучена скорость звука в газовой фазе Шелудяковым, Колотовым и Соловьевым [2.30], причем отклонение от вычисленных по уравнению состояния значений [3.20] лежит в пределах точности эксперимента [3.1].

Опытные данные на линии равновесия фаз. В проведенных исследованиях по линии равновесия фаз получены данные о давлении насыщенного пара p_s, плотности кипящей жидкости ϱ', скорости звука w' и w'' в паровой и жидкой фазах, теплоте парообразования r и поверхностном натяжении σ (табл. 26).

Давление насыщенного пара фреона-12 тщательно изучено в широком интервале температур от 172 К до критической точки в [3.47, 3.52, 3.62, 3.63, 3.79]. Опытные данные последних надежных исследований [3.63, 3.79] согласуются между собой со средним расхождением 0,2 %.

Для описания температурной зависимости давления насыщенного пара предложен ряд уравнений, из которых наиболее точным и простым является уравнение, приведенное в работе [0.23]:

$$\ln p_s = \ln p_{\text{кр}} + \text{Ri} \ln \tau + (\text{Ri} - 4 + p_\alpha) \cdot \psi(\tau), \qquad (3.1)$$

где

$$\psi(\tau) = \frac{4(\tau - 1)}{\tau} - 5{,}3 \ln \tau + s(\tau);$$

$$s(\tau) = (\tau - 1)\left[\frac{(\tau + 1)^2}{5} + \frac{1}{2}\right]; \qquad (3.2)$$

Таблица 25

Значения термодинамических функций фреона-12 в идеально газовом состоянии по данным разных авторов

T, К	c^0_p, Дж/(моль·К)				$(H^0_T - H^0_0)$, Дж/моль				S^0_T, Дж/(моль·К)			
	[2.31]	[0.42]	[0.43]	[0.45]	[2.31]	[0.43]	[0.45]	[0.28]	[2.31]	[0.43]	[0.45]	[0.28]
100	39,73	—	39,69	39,66	3466	3467	3467	—	241,33	241,29	241,47	—
150	49,53	—	49,53	—	5690	5698	—	—	259,20	259,25	—	—
200	58,82	58,96	58,66	58,64	8415	8407	8403	—	270,68	274,78	274,93	—
250	66,57	66,70	—	—	11555	—	—	—	288,85	—	—	—
298,15	—	—	72,47	72,46	—	14884	14876	14884	—	300,91	301,08	301,12
300	73,06	73,16	72,68	72,67	15047	15018	15010		301,53	301,37	301,52	—
400	82,94	83,04	82,44	82,41	22877	22805	22822	22805	323,97	323,72	323,85	323,91
500	89,76	89,85	89,10	89,08	31547	31401	31388	31401	343,32	342,86	343,01	343,06
600	94,54	94,58	93,66	93,66	40771	40553	40541	40553	360,11	359,52	359,68	359,74
700	97,89	97,93	96,88	96,87	50409	50090	50078	50095	374,97	374,22	374,37	374,44
800	100,36	100,38	99,19	99,16	60357	59901	59880	59909	388,28	387,32	387,46	387,53
900	102,20	102,23	100,86	100,85	70464	69903	69890	69911	400,13	399,12	399,24	399,32
1000	103,58	103,66	102,12	102,11	80805	80056	80039	80064	411,10	409,80	409,94	410,01

Таблица 26

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-12 на линиях равновесия жидкость — пар

Год	Авторы	Величина	Температура, К	Фаза	Число точек	Источник
1931	Джилки, Джерард, Бикслер	p_s	203—373	ж—г	98	[3.47]
1931	Быховский, Джилки	ϱ	235—380	ж	15	[3.44]
1931	Баффингтон,	r	243—301	ж—г	3	[3.42]
	Флейшер	c_s	230—290	ж	2	
1939	Ридель	c_s	194—294	ж	12	[3.70]
1955	Келлс, Орфео, Мирс	p_s	235—384	ж—г	18	[3.52]
1955	Мак Харнесс,	p_s	172—382	ж—г	7	[3.62]
	Эйземан, Мартин	ϱ	151—256	ж	3	
		c_s	169—253	ж	17	
1966	Михельс с сотрудниками	p_s	298—384	ж—г	9	[3.63]
1967	Шелудяков, Комаров, Колотов, Соловьев	w	269—378	п	13	[1.31]
		w	280—382	ж	13	
1969	Шелудяков, Колотов, Соловьев	w	233—385	п	24	[2.30]
1969	Дорохов, Кириянен-ко, Соловьев	σ	227—335	ж—г	24	[3.10]
1972	Поль, Азиз	w	117—198	ж	20	[3.68]
1973	Хайде	σ	213—363	ж—г	16	[2.46]
1977	Ватанабэ, Танака, Огучи	p_s	273—383	ж—г	24	[3.79]
1977	Ватанабэ, Окада	σ	273—347	ж—г	17	[2.64]
1977	Ратин, Штрауб	σ	128—303	ж—г	19	[0.55]
1979	Железный	σ	290—380	ж—г	10	[1.11]

Ri=6,5741; p_α=—0,0913; $p_{кр}$=4,119 МПа; $T_{кр}$=385,15 К.

Отклонение опытных данных о давлении насыщения от значений, рассчитанных по уравнению (3.1), показано на рис. 27.

Плотность кипящей жидкости ϱ' измерена пикнометрическим методом и методом гидростатистического взвешивания только в двух работах [3.44, 3.62] в интервале температур от 151 до 380 К. Опытные данные этих исследований согласуются между собой до 0,15 %.

Из предложенных для описания температурной зависимости плотности кипящей жидкости фреона-12 самым точным и простым является уравнение [0.23]:

$$\ln \rho' = \ln \rho_{кр} + a_1 (1 - \tau)^{1/3} + a_2 s(\tau), \qquad (3.3)$$

где $s(\tau)$ определяется по (3.2); $\varrho_{кр}$=579,1 кг/м³, a_1=1,4338, a_2=0,2338.

Отклонение опытных данных о плотности кипящей жидкости от значений, рассчитанных по уравнению (3.3), показано на рис. 28.

В табл. 27 даны приведенные в литературе значения критических параметров, нормальной температуры кипения $T_{н.т.к.}$ и

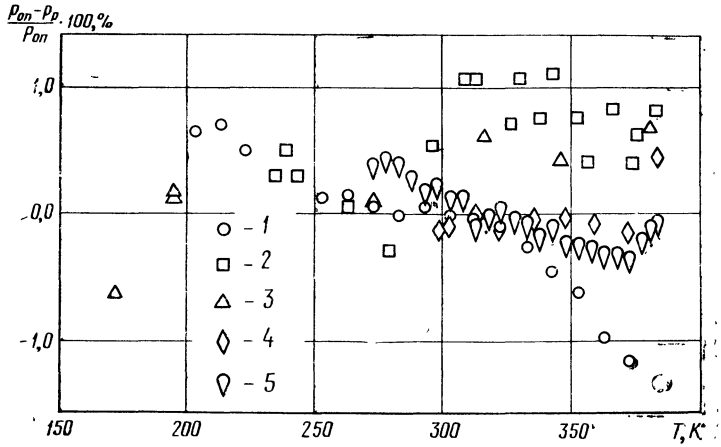


Рис. 27. Отклонение опытных значений давления насыщенного пара фреона-12 от принятых в настоящей работе, полученное:
1 — Джилки, Джерардом, Бикслером [3.47]; *2* — Келлсом, Орфео, Мирсом [3.52]; *3* — Мак Харнессом, Эйземаном, Мартином [3.62]; *4* — Михельсом и др. [3.63]; *5* — Ватанабе, Танаки, Огучи [3.79]

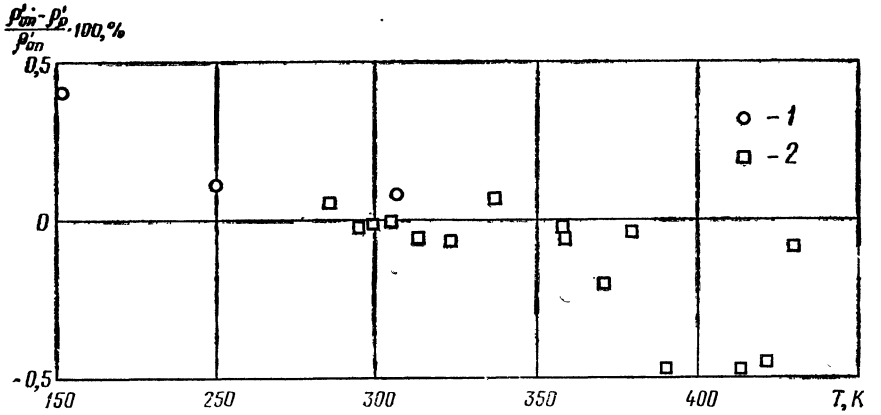


Рис. 28. Отклонение опытных значений плотности кипящей жидкости фреона-12 от принятых в настоящей работе, полученное:
1 — Быховски, Джилки [3.44]; *2* — Мак Харнессом, Эйземаном, Мартином [3.62]

температуры плавления T_0. В настоящей работе в узловых точках приняты значения параметров по И. И. Перельштейну и Е. Б. Парушину [0.23, 0.24]. Легко видеть, что принятые значения параметров узловых точек на линии равновесия фаз удовлетворительно согласуются с литературными.

Теплоемкость кипящей жидкости фреона-12 измерена методом нагрева и смешения в работах [3.42, 3.69, 3.62] в интервале температур от 169 до 294 К. Экспериментальные данные согласуются между собой и значениями, полученными расчетным

Таблица 27

Параметры узловых точек на линиях равновесия жидкость — пар фреона-12

Год	Авторы	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\varrho_{кр}$, кг/м³	$T_{н.т.к.}$, К	T_o, К	Источник
1931	Быховский, Джилки	384,65	4,008	0,555	—	—	[3.44]
1955	Мак Харнесс, Эйземан, Мартин	385,15	4,115	0,558	—	—	[3.62]
1955	Келлс, Орфео, Мирс	385,15	4,145	0,558	—	—	[3.52]
1965	Баер, Хиккен	385,15	4,148	0,558	—	—	[3.40]
1965	Элхардус, Маэстре	385,15	4,119	—	243,35	—	[3.44]
1966	Ромбуш, Гисен	385,15	4,158	0,558	243,35	—	[0.57]
1966	Михельс с сотрудниками	384,95	4,125	0,565	—	—	[3.63]
1968	Галлант	385,15	4,116	0,558	243,35	115	[3.46]
1971	Перельштейн	385,15	4,131	0,533	—	—	[0.20]
1974	ASHRAE	385,15	4,115	0,558	243,36	115	[0.39]
1974	Кондо, Ватанабэ, Танишита	385,15	4,136	0,5588	—	—	[0.46]
1976	Перельштейн, Парушин	385,15	4,119	0,5791	243,41	117,25	[0.23]
1977	Ватанабэ, Танака, Огучи	384,95	4,112	—	—	—	[3.79]

Примечание. Принятые в этой книге значения параметров указаны в табл. 3.

путем по таблицам термодинамических свойств, в пределах 1—3 % (рис. 29).

Скорость звука на линии насыщения исследована акустическими методами как в жидкой, так и в паровой фазах [1.31, 2.30, 3.15, 3.34, 3.54, 3.68]. Данные разных авторов в области жидкости и пара согласуются между собой в пределах нескольких десятых процента, причем такие же расхождения отмечаются между данными Института Теплофизики СО АН СССР, полученными в 1967 г. [1.31] и в 1969 г. [2.30].

Поверхностное натяжение экспериментально исследовано методом капиллярного поднятия [2.46, 2.64, 0.55, 1.11, 3.12, 3.57, 3.75] и комбинированным методом [2.12, 3.10]. Выше 210 К имеются данные разных авторов, причем расхождения лежат в пределах точности опыта порядка 1 %. Поверхностное натяжение в области низких температур вплоть до 128 К исследовано лишь в [0.55].

Рассчитанные по обобщенному уравнению [2.12, 3.10] значения поверхностного натяжения удовлетворительно согласуются с опытными данными во всем диапазоне температур.

Температурная зависимость поверхностного натяжения во

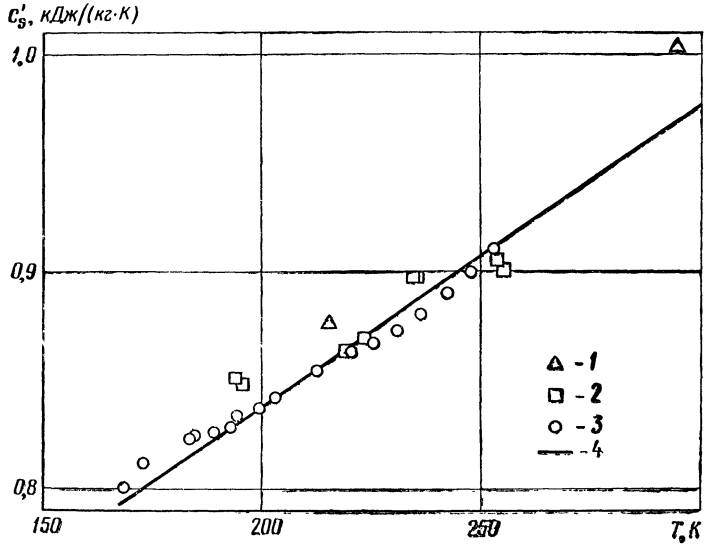


Рис. 29. Теплоемкость кипящей жидкости фреона-12:
опытные данные: *1* — Баффингтона, Флейшера [3.42]; *2* — Риделя [3.69]; *3* — Мак Харнесса, Эйземана, Мартина [3.62]; расчетные данные: *4* — Перельштейна, Парушина [3.21]

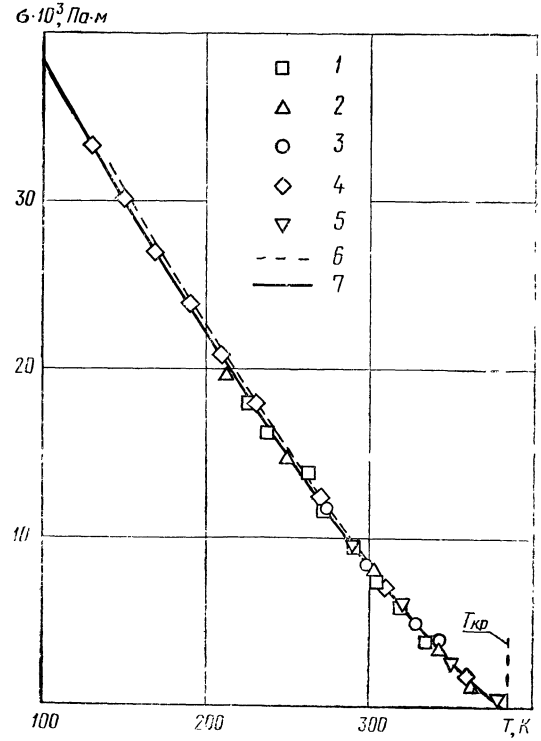


Рис. 30. Поверхностное натяжение фреона-12:
опытные данные: *1* — Дорохова, Кириянепко, Соловьева [3.10]; *2* — Хайде [2.46]; *3* — Ватанабе, Окады [2.64]; *4* — Ратьена, Штрауба [0.55]; *5* — Железного [1.11]; расчетные данные: *6* — Дорохова, Кириянепко, Соловьева [3.10]; *7* — по уравнению (3.4)

всем исследованном диапазоне температур с точностью опыта описывается уравнением Ван-дер-Ваальса [0.55]:

$$\sigma = 56{,}98 \cdot 10_{-3}(1-\tau)^{1{,}268}. \qquad (3.4)$$

Сопоставление опытных и расчетных значений поверхностного натяжения фреона-12 показано на рис. 30.

Уравнения состояния и таблицы. Первые таблицы термодинамических свойств фреона-12 были составлены группой американских исследователей в 1931 г. на основе измерений плотности, выполненных Баффингтоном и Джилки [3.41]. Эти таблицы охватывали область температур от —40 до +50° С; впоследствии таблицы были экстраполированы Планком и Зегером до —80° С и Вацири — до критической точки. Расширенные таблицы не отличались точностью и в настоящее время представляют лишь исторический интерес. Тем не менее, к сожалению, данные таблиц использованы во многих последних изданиях. В частности, в 1980 г. эти таблицы были опубликованы известным интернациональным издательством «Пергамон Пресс».

Значительно более надежные таблицы были составлены в 1955 г. Мак Харнессом, Эйземаном и Мартиным [3.62]. При расчете свойств применяли уравнение состояния в форме Мартина-Хау, которое описывало собственные термические измерения авторов до $\omega = 1{,}5$. По сравнению с первыми таблицами значительно был расширен диапазон параметров состояния и повышена точность входящих в таблицы свойств.

В 1965 г. Баером и Хиккеном [3.40] было предложено простейшее уравнение состояния, которое с «технической» точностью (до 2 %) описывало имеющиеся термические данные до 21 бар. По этому уравнению были рассчитаны термодинамические свойства и составлены таблицы насыщенных и перегретых паров. Для выполнения современных расчетов холодильных машин как уравнение, так и таблицы практического интереса не представляют.

В 1966 г. на базе обобщенного уравнения состояния Ромбуша были составлены таблицы и построена диаграмма $h - \lg p$ фреона-12 [3.71]. Однако уравнение состояния Ромбуша, хотя и описывает широкую область параметров состояния, не отличается высокой точностью аппроксимации не только калорических, но и термических данных.

В 1971 г. И. И. Перельштейном [3.2, 3.19, 0.20] были составлены таблицы термодинамических свойств фреона-12 с учетом новейших для того времени прецизионных экспериментальных исследований [3.18, 3.63]. Уравнение состояния, представленное в вириальной форме, с точностью эксперимента описывало все опытные данные вплоть до двух критических плотностей и 200° С. При этом в уравнении состояния в качестве первых температурных функций использовали тщательно выделенные второй и третий вириальные коэффициенты, что обеспечивало надежную экстраполяцию по температурам. Однако приведен-

ный в таблицах набор термодинамических свойств, а также диапазон параметров состояния были ограничены.

Наряду с отмеченными, в [3.13, 3.14, 3.30, 3.31, 3.32, 3.76, 3.80] были предложены уравнения, описывающие термические данные в однофазной области, причем в некоторых из них представлены таблицы термодинамических свойств. Как и рассмотренные выше, эти работы не в полной мере удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к данным о теплофизических свойствах.

3.2. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Рекомендуемое уравнение состояния представлено в виде вириального разложения коэффициента сжимаемости по плотностям:

$$z = \frac{p_v}{RT} = 1 + \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=0}^{3} \frac{b_{ij}}{\tau^j} \rho^i, \qquad (3.5)$$

где значения коэффициентов b_{ij} приведены в табл. 28, $T_{кр}$ = =385,15 К, а плотность ϱ выражена в г/см³.

Таблица 28

Коэффициенты b_{ij} уравнения состояния (3.5) фреона-12

i	Значения b_{ij} при j, равном			
	0	1	2	3
1	0,632550954	— 1,051027420	—1,475737020	—0,270382299
2	15,021616600	—49,097082400	56,287153200	—20,801059500
3	0	0	—2,099292270	2,636328430
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	—1,716834330	0	0	0

Уравнение (3.5) описывает всю экспериментально исследованную область параметров состояния в газовой фазе вплоть до 2,5 критических плотностей. Точность описания уравнением (3.5) термических и акустических данных соответствует погрешности их измерений (табл. 29), в которой приведено среднее квадратическое отклонение δ расчетных данных от экспериментальных в однофазной области.

Область жидкого состояния уравнение (3.5) не описывает из-за отсутствия опытных данных. Единственная работа, посвященная исследованию плотности жидкости [3.56], охватывает область очень высоких давлений. Поэтому в настоящее время не представляется возможным составить единое уравнение со-

Таблица 29

Среднее квадратическое отклонение δ расчетных данных от экспериментальных в однофазной области

Авторы	Источник	Величина	Температура, К	Давление, МПа	Число точек	δ, %
Баффингтон и Джилки	[3.41]	ϱ	303—399	0,6—1,8	29	1,2
Келлс, Орфео и Мирс	[3.52]	ϱ	326—474	0,9—6,6	73	0,3
Мак Харнесс, Эйземан и Мартин	[3.62]	ϱ	303—483	0,6—13,9	170	0,8
Михельс с сотрудниками	[3.63]	ϱ	323—423	0,7—8,2	186	0,05
Перельштейн	[3.18]	ϱ	341—471	0,8—8,5	71	0,05
Кубота, Танака и Макита	[3.55]	ϱ	303—348	0,1—1,8	40	0,5
Ватанабэ, Танака и Огучи	[3.79]	ϱ	273—403	0,1—11,0	104	—
Вудбурн, Меттрей и Хоа	[3.81]	w	297—362	0,4—0,9	22	0,2
Шелудяков, Колотов и Соловьев	[2.30]	w	233—576	0,01—10,0	549	0,8
Нирод, Льюис, Гаггиоль и Оберт	[3.65]	w	389	0,2—2,7	4	1,0

стояния для фреона-12, основанное только на экспериментальных данных.

Учитывая, что уравнение (3.5) описывает лишь газовую область, для описания температурных зависимостей давления насыщения и плотности кипящей жидкости рекомендуются уравнения (3.1) и (3.3), которые с точностью опыта описывают имеющиеся измерения (см. рис. 27 и 28).

Для теплоемкости в идеально-газовом состоянии рекомендуется уравнение:

$$\frac{C^0_v}{R} = -0{,}1801 + 43{,}865\vartheta - 75{,}088\vartheta^2 + 65{,}560\vartheta^3 - 23{,}226\vartheta^4, \qquad (3.6)$$

где $\vartheta = T/1000$.

Уравнение (3.6) составлено по данным, рассчитанным по методу, предложенному в [3.21, 3.22]. Оно хорошо соответствует как непосредственно калориметрическим измерениям [3.42, 3.45, 3.60, 3.35], так и расчетным данным [2.31, 0.43, 0.45], что иллюстрируется рис. 26.

Уравнения (3.1)—(3.6) использованы для расчета рекомендуемых таблиц термодинамических свойств. Взаимная согласованность интерполяционных уравнений (3.1) и (3.3), описывающих термические свойства в двухфазной области, и уравнения состояния (3.5) проверена сопоставлением вычисленных и непосредственно измеренных [3.42] трех значений теплоты парообразования в интервале температур от 243 до 301 К. Расхождения не превышают 1,5 % и лежат в пределах точности опыта.

О степени надежности рекомендуемых таблиц термодинамических свойств можно судить по согласованию вычисленных по таблицам значений теплоемкости кипящей жидкости вдоль пограничной кривой и непосредственно измеренных. Как видно

из рис. 29, согласование лежит в пределах точности опытных данных экспериментальных исследований [3.42, 3.69, 3.62].

3.3. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВАХ

Вязкость. Изучению вязкости фреона-12 посвящено сравнительно много экспериментальных работ, но обстоятельные исследования в однофазной области при повышенных давлениях выполнены лишь в середине 70-х годов (табл. 30). Поэтому

Таблица 30

Экспериментальные исследования вязкости фреона-12

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1936	Оберри, Гриффитс	268—303	p_s	ж	29	КШ	[3.38]
1939	Беннинг, Маркуд	274—353	0,1	г	4	КШ	[2.38]
		243—332	p_s	ж	5	КШ	[2.39]
1954	Макита	298—473	0,1—1,6	г	21	КШ	[3.59]
1955	Веллман	276—363	0,1	г	6	КШ	[2.66]
1957	Лилиос	213—243	0,1	ж	4	Ка	[2.66]
1959	Амме, Легвольд	300—473	0,1	г	3	ПР	[3.36]
1959	Кэмин, Витцель	303—363	0,1—1,96	г	19	Ка	[3.51]
1959	Тсюи	363—423	0,1	г	3	Ка	[2.66]
1961	Гержка, Пиктхаль	294—328	p_s	ж	2	КШ	[2.47]
1961	Вилберс	253—289	0,1	г	3	КШ	[2.66]
1962	Жалоудник	283—343	0,1	г	7	Ка	[3.82]
1964	Бэбб, Скотт	303	200—400	ж	2	КШ	[3.39]
1968	Шричанд, Тирунараянан, Рамачандран	300	0,1	г	1	КД	[3.74]
1969	Гордон, Хамильтон, Фонтайне	245—305	p_s	ж	7	Ка	[2.45]
1970	Филлипс, Мэрфи	203—312	p_s	ж	9	Ка	[4.48]
1970	Латто, Хезюн, Ашрани	244—348	0,1	г	19	Ка	[3.58]
1974	Геллер и Иванченко	254—432	0,1—60	г, ж	107	Ка	[0.9, 3.33]
1976	Геллер и Гунчук	186—238	p_s	ж	8	Ка	[3.6, 3.9]
1977	Латто	256—390	0,12	г	9	Ка	[4.45]
1980	Лавочник, Соловей	208—238	0,1	ж	7	Ка	[2.20]

* См. примечание к табл. 10.

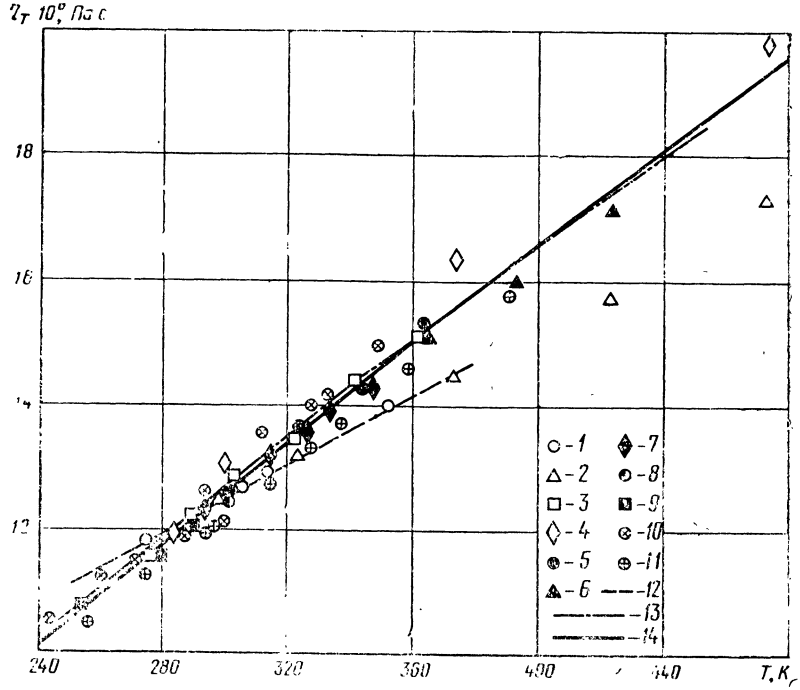


Рис. 31. Вязкость газообразного фреона-12 при низких давлениях:
опытные данные: *1* — Беннинга, Марквуда [2.38]; *2* — Макиты [3.59]; *3* — Веллмана [2.66]; *4* — Амме, Легволда [3.36]; *5* — Кемина, Витцеля [3.51]; *6* — Тсюи [2.66]; *7* — Жалоудика [3.82]; *8* — Шричанда и др. [3.74]; *9* — Вилберса [2.66]; *10* — Латто и др. [3.58]; *11* — Латто [4.45]; расчетные данные: *12* — [0.7]; *13* — по уравнению (0.32*а*); *14* — по уравнению (1.26)

в существующих справочных изданиях [0.5, 0.6, 0.7, 0.40, 0.58 и др.] приведены только таблицы η_T и (или) η'. Отличия указанных таблиц от рекомендуемых в этом справочнике могут быть большими, так как результаты измерений η_T и η' в ранних работах оказались недостаточно точными. Из рис. 31 видно, что расхождения опытных данных о вязкости газообразного фреона-12 при атмосферном давлении достигают 10—15 %, а измеренные в работах [3.36, 2.59] значения η_T систематически «уходят» от наиболее вероятной зависимости.

Расхождения опытных данных о вязкости жидкого фреона-12 на линии насыщения достигают десятков процентов и во многих случаях носят закономерный характер (рис. 32). Так систематически завышены результаты измерений методом катящегося шарика [2.39, 2.47, 3.38] и соответственно, табличные данные [0.5, 0.7, 0.30, 2.1]. Опытные данные, полученные на капиллярных вискозиметрах «с висячим уровнем» [2.45, 3.6, 3.9, 4.48] и переменным перепадом давления [0.9, 3.33] достаточно хорошо согласуются при низкой температуре (до 250 К), но

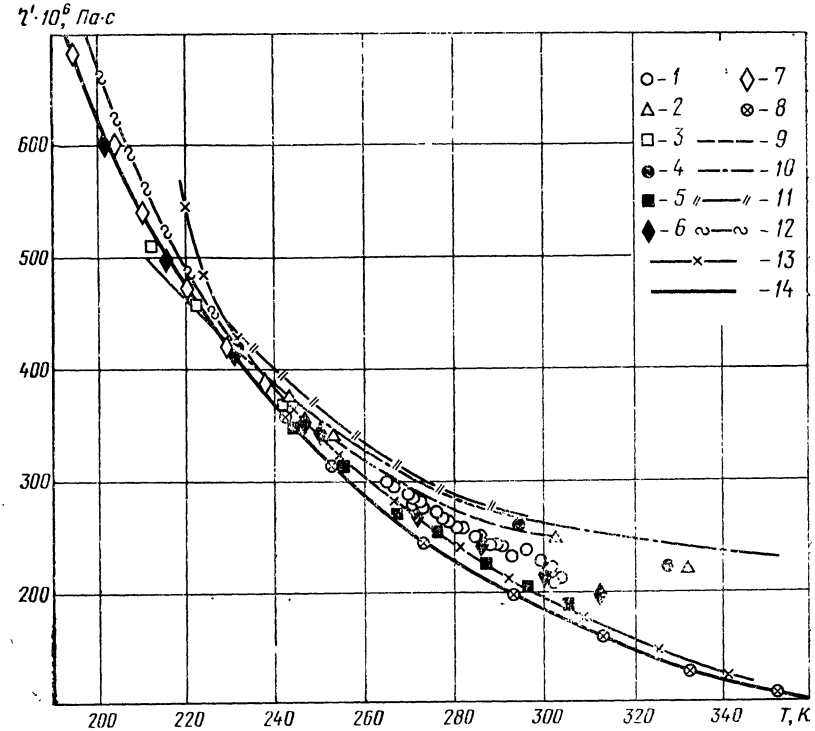


Рис. 32. Вязкость жидкого фреона-12 на линии насыщения:
опытные данные: *1* — Оберри, Гриффитса [3.38]; *2* — Беннинга, Марквуда [2.39]; *3* — Лилиоса [2.66]; *4* — Гержки, Пиктхаля [2.47]; *5* — Гордона и др. [2.45]; *6* — Филлипса, Мэрфи [4.48]; *7* — Геллера и др. [3.6, 3.9]; *8* — Чайковского и др. [3.33]; расчетные данные: *9* — [0.30]; *10* — [0.7]; *11* — [2.1]; *12* — [0.5]; *13* — по уравнению (0.32б); *14* — по уравнению (0.36)

с ростом температуры расхождения между данными Гордона с соавторами [2.45], Филипса, Мерфи [4.48] и В. З. Геллера с соавторами [0.9, 3.33] увеличиваются и при $T=300$ К достигают 5—15 % (см. рис. 32). Аналогичные (по значению и знаку) отклонения опытных данных Филипса, Мерфи [3.67, 4.48] существуют и для других фреонов.

Вязкость плотного фреона-12 в газовой и жидкой фазах подробно изучена в работах ОТИПП [0.9, 3.33]. Эти опытные данные охватывают широкую область состояний ($T=254$—432 К, $p=0{,}1$—60 МПа) и имеют погрешность, не превышающую по оценке авторов, 2 %. Приведенные в [3.39] два значения вязкости жидкого фреона-12 относятся к сверхвысоким давлениям, а опубликованные в 50-е годы работы [3.51, 3.59] содержат небольшое число опытных данных в газовой фазе при давлении до 2 МПа (см. табл. 31). Вероятно, из-за малой информативности измерений [3.51, 3.59] для оценки плотностной зависимости избыточной вязкости фреона-12 не раз использовали опыт-

ные данные для других фреонов. Так, Ватсон [3.80] рассчитал значительную часть таблиц вязкости фреона-12 ($T=233$—513 К, $p\leqslant 5$ МПа) по уравнению (0.33), коэффициенты которого для $\omega=0$—$1{,}5$ были найдены по опытным данным для фреона-11 [2.24].

В этом справочнике для расчета таблиц применена система обобщенных уравнений, которая получена на основании обработки опытных данных для фреонов-10, 11, 12, 13, 14 и включает уравнения (0.35), (0.36) и (1.26). Общие для рассматриваемой группы фреонов коэффициенты уравнений (0.35), (0.36) и (1.26) приведены соответственно в табл. 4 и гл. 1. Индивидуальные константы фреона-12 $\eta_{0,7}=275$ мкПа·с и $\eta_{T\,кр}=16$ мкПа·с.

Экспериментальная информация о вязкости фреона-12, использованная при получении рекомендуемой системы уравнений, представлена опытными данными [2.38, 2.66, 3.9, 3.33, 3.51, 3.58, 3.74, 3.82, 4.45], которые охватывают область $T=245$—470 К, $p=0{,}1$—60 МПа.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических вязкостей (η' и η'') фреона-12, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для η'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{н.т.к.}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Теплопроводность. Бóльшая часть существующих справочных данных о теплопроводности фреона-12 основана на измерениях, опубликованных до 1970 г. Так, приведенные в [0.5, 0.7, 0.30, 2.1] таблицы теплопроводности жидкого фреона-12 основаны на результатах первой серии измерений О. Б. Цветкова [3.25] в интервале температур 193—363 К и на границах этого интервала отличаются на 8—10 % от рекомендуемых в справочнике [0.8] и в этой книге. Отклонения табличных значений λ_T [0.7] и λ' [0.5] еще больше и достигают соответственно 10—15 % и 30—40 %.

Наиболее точные и надежные таблицы теплопроводности фреона-12 составлены Н. Б. Варгафтиком с соавторами [0.8] в результате графической обработки опытных данных, опубликованных до 1975 г. Эти таблицы охватывают газовую фазу при $T=250$—450 К, $p=0{,}1$—4 МПа и жидкую фазу при $T=118$—373 К, $p=p_s$—60 МПа, причем погрешность табулированных значений λ оценена значениями от 2 до 5 %.

Известные к настоящему времени экспериментальные исследования теплопроводности фреона-12 перечислены в табл. 31. Подавляющее большинство работ посвящено изучению температурных зависимостей теплопроводности газа при низком давлении и жидкости на линии насыщения. Основная часть экспериментальных данных о теплопроводности газообразного фреона-12 при атмосферном давлении с разбросом 2—3 % группируется около прямолинейной зависимости (рис. 33). Отклоне-

Таблица 31

Экспериментальные исследования теплопроводности фреона-12

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1938	Гриффитс, Оберри, Пауэлл	278—293	p_s	ж	3	П	[3.48]
1939	Шеррат, Гриффитс	306—489	0,1	г	6	Н	[3.73]
1940	Ридель	293	p_s	ж	1	П	[2.61]
1943	Марквуд,	273—348	p_s	ж	3	КЦ	[2.53]
	Беннинг	303—363	0,1	г	2	Н	[2.53]
1951	Данилова	243—273	p_s	ж	18	РР	[2.11]
1952	Чернеева	218—293	p_s	ж	35	Н	[2.29]
		248—353	0,1—0,7	г	44	Н	[2.29]
1954	Кейс	323—423	0,1—0,7	г	7	КЦ	[3.53]
1959	Пауэлл, Чаллонер	253—293	p_s	ж	3	П	[2.58]
1964	Масиа, Брасеро, Риенда	278—408	0,003—0,12	г	8	Н	[3.61]
1964	Сейл	250—300	p_s	ж	5	НН	[3.72]
1965	Цветков	193—363	p_s	ж	—	РР	[3.25]
1966	Джалалян	216—293	p_s	ж	6	Н	[1.54]
1967	Таушер	148—298	p_s	ж	12	НН	[1.95]
1969	Цветков	293—423	0,1	г	11	РР	[3.26]
1969	Груздев, Шестова, Селин	313—333	p_s	ж	2	КЦ	[2.8,
		315—445	0,15—1,6	г	18	КЦ	3.7]
1971	Садыков, Габдрахманов, Брыков, Мухамедзянов	126—231	p_s	ж	13	Н	[2.25]
		253—364	0,1	г	6	Н	[2.25]
1974	Цветков	293—366	$p_s \div 16$	ж	—	РР; КЦ	[3.77]
		293—366	0,1	г	—	РР; КЦ	[3.77]
1974	Груздев, Шестова	313—468	0,15—5,4	ж, г	92	КЦ	[2.9]
1975	Геллер с соавторами	224—437	0,1—60	г, ж	74	Н	[3.4, 3.5]
1975	Доналдсон	277—347	0,1	г	6	Н	[3.43]
1977	Кубков	232—374	p_s	ж	12	Н	[3.16]
1977	Цветков, Чилипенок, Данилова	121—301	0,6—19,7	ж	40	МР	[3.28, 3.29]
1978	Запорожан	116—273	p_s	ж	27	Н	[1.15]
1979	Войтенко	312—433	0,1—60	г, ж	143	Н	[3.3]
1980	Афшар, Саксена	280—450	0,1	г			[3.37]

* См. примечание к табл. 11.

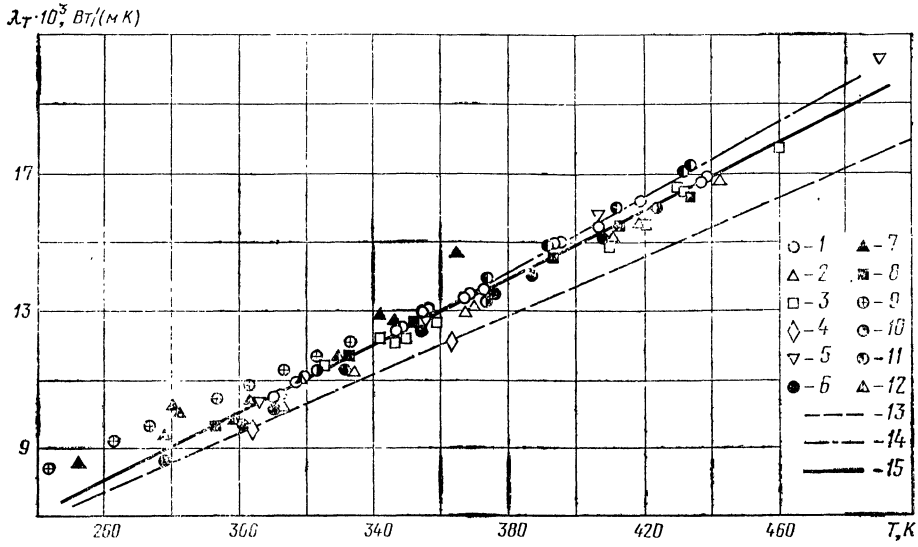


Рис. 33. Теплопроводность газообразного фреона-12 при низких давлениях:
опытные данные: *1* — Геллера и др. [3.4]; *2* — Груздева и др. [3.7]; *3* — Груздева, Шестовой [2.9]; *4* — Марквуда, Беннинга [2.53]; *5* — Шеррата, Гриффитса [3.73]; *6* — Масиа и др. [3.61]; *7* — Садыкова и др. [2.25]; *8* — Цветкова [3.26]; *9* — Чернеевой [2.29]; *10* — Кейса [3.53]; *11* — Войтенко [3.3]; *12* — Дональдсона [3.43]; расчетные данные: *13* — [0.7]; *14* — по уравнению (0.32*а*); *15* — по уравнению (0.31)

ния, превышающие ±5 %, относятся к опытным данным [2.25, 2.29, 2.53].

Теплопроводность жидкого фреона-12 на линии насыщения определяли в шестнадцати экспериментальных работах (рис. 34), но по методическим и иным причинам опытные данные [2.11, 2.29, 2.53, 2.58, 3.25] оказались неточными и их не принимали во внимание при составлении таблиц λ' [0.8]. Не упомянутые в книге [0.8] опытные данные [3.48, 3.72] являются существенно заниженными (см. рис. 34). Таким образом, в состав исходных данных для разработки уравнения $\lambda'(T)$ могут быть включены около 85 экспериментальных значений λ' из [1.15, 1.54, 1.95, 2.25, 2.61, 3.5, 3.7, 3.16, 3.77]. Выполненный Г. В. Запорожаном [1.15] анализ этих опытных данных показал, что они могут быть согласованы в пределах 2—4 %.

Теплопроводность фреона-12 в однофазной области при повышенных давлениях определяли в трех лабораториях, причем в каждой из них применены неодинаковые методы исследования, а в течение последних десяти лет проведены по две-

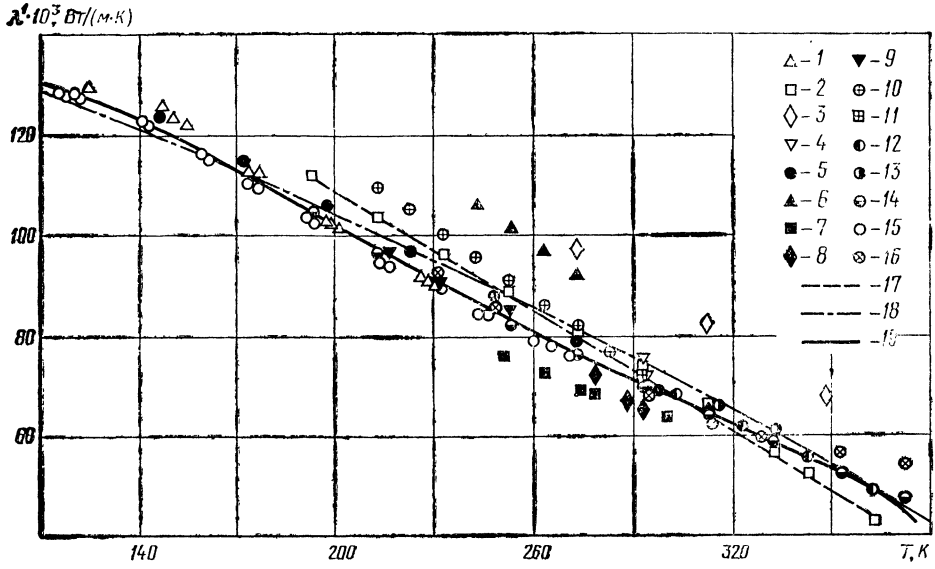


Рис. 34. Теплопроводность жидкого фреона-12 на линии насыщения:

опытные данные: *1* — Садыкова и др. [2.25]; *2* — Цветкова [3.25]; *3* — Марквуда, Беннинга [2.53]; *4* — Пауэлса, Чаллонера [2.58]; *5* — Таушера [1.95]; *6* — Даниловой [2.11]; *7* — Сейла [3.72]; *8* — Гриффитса и др. [3.48]; *9* — Джалаяна [1.54]; *10* — Чернеевой [2.29]; *11* — Риделя [2.61]; *12* — Цветкова [3.77]; *13* — Груздева и др. [3.7]; *14* — Геллера и др. [3.5]; *15* — Запорожана [1.15]; *16* — Кубкова [3.16]; расчетные данные: *17* — [0.7]; *18* — по уравнению (0.32*б*); *19* — по уравнению (0.46)

три серии измерений на отличающихся экспериментальных установках (см. табл. 31).

В работах Института теплофизики СО АН СССР [2.8, 2.9, 3.7], выполненных под руководством В. А. Груздева, применен стационарный метод коаксиальных цилиндров и измерена теплопроводность жидкого и газообразного фреона-12 в интервале $T=313$—468 К при давлении до 5,4 МПа. Полная информация об экспериментальной установке и результатах измерений содержится в статье [2.9].

В этой работе исследовали образец с массовой долей фреона-12 98,96 %. Погрешность опытных данных, по оценке авторов, не превышает 2—3 %.

Полученные в ЛТИХП результаты экспериментальных и расчетно-теоретических исследований теплопроводности фреона-12 в газовой и жидкой фазах изложены в многочисленных

статьях [0.32, 0.33, 2.27, 2.28, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.77 и др.], но экспериментальные данные о теплопроводности жидкого фреона-12 в однофазной области опубликованы в середине 70-х годов [3.28, 3.29, 3.77]. В работе О. Б. Цветкова [3.77] теплопроводность в жидкой фазе при температуре 293—366 К и давлении до 16 МПа измерена двумя независимыми методами — методом регулярного теплового режима и стационарным методом коаксиальных цилиндров. Автор сообщает о большом числе экспериментальных точек (156 значений λ при $p>p_s$), но результаты измерений приводит на графиках и в форме таблиц сглаженных значений. Эти данные согласуются с найденными в экспериментальных работах ОТИПП [3.4, 3.5] в пределах 3—4 %. Позднее О. Б. Цветков с соавторами [3.28, 3.29] опубликовал полученные методом монотонного разогрева опытные данные о теплопроводности жидкого фреона-12 в интервале $T=124$—301 К при давлении до 20 МПа. Погрешность опытных данных оценена в 2—2,7%. Сопоставление опытных данных [3.29] и [1.15, 3.4] показало, что расхождения, как правило, составляют 3—4 %, т. е. соответствуют суммарной погрешности сравниваемых данных, однако имеют систематический характер (результаты [3.29] выше). Последнее может быть связано с неточностью определения геометрической постоянной калориметра в работе [3.29].

В [1.15, 3.3, 3.4, 3.5] для определения теплопроводности фреона-12 в однофазной области применяли метод нагретой нити, а измерения выполняли на трех отличающихся экспериментальных установках и охватывали как жидкую, так и газовую фазу в интервале $T=116$—437 К при давлении до 60 МПа. В перекрывающейся области параметров результаты трех серий измерений достаточно хорошо согласуются, а расхождения с наиболее надежными опытными данными других авторов, как правило, не превышает 3—4 %.

Таким образом, и в однофазной области фреона-12 имеется сравнительно большой массив согласующихся методически независимых измерений λ.

Рассмотренная выше совокупность согласующихся опытных данных (включая измерения λ_T и λ') была использована для разработки рекомендуемой в этом справочнике системы уравнений: (0.31), (0.34), (0.45) и (0.46). Ниже для фреона-12 приведены параметры уравнений (0.31), (0.34) и (0.46):

$a_{\lambda\,0}=-4{,}943\cdot10^{-3}$; $a_{\lambda,1}=4{,}989\cdot10^{-5}$;
$b_{\lambda,1}=1{,}6037\cdot10^{-2}$; $b_{\lambda,3}=-3{,}3772\cdot10^{-2}$;
$b_{\lambda,2}=3{,}5015\cdot10^{-2}$; $b_{\lambda,4}=2{,}0579\cdot10^{-2}$;
$c_{\lambda,1}=9{,}9597\cdot10^{-2}$; $c_{\lambda\,4}=-1{,}8680\cdot10^{0}$;
$c_{\lambda,2}=-4{,}9265\cdot10^{-1}$; $c_{\lambda\,5}=1{,}2121\cdot10^{0}$;
$c_{\lambda,3}=1{,}3850\cdot10^{0}$; $c_{\lambda,6}=-2{,}9413\cdot10^{-1}$.
$\lambda_{\text{кр}}=293\cdot10^{-4}$ Вт/(м·К).

Коэффициенты обобщенного уравнения (0.45) приведены в табл. 5.

Указанная система уравнений применима во всей области измерений — см. табл. 31.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических теплопроводностей (λ' и λ'') фреона-12, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для λ'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{н.т.к.}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Самодиффузия. В [3.23] приведены данные о самодиффузии жидкого фреона-12 вблизи линии насыщения в интервале температур 300—370 К, полученные методом ЯМР. Измерения проведены на двух установках с рабочими частотами 17,5 и 9,5 МГц по сигналам от протонов и ядер фтора. Погрешность опытных данных согласно авторской оценке не превышает 5 %. Уравнение (0.52) описывает опытные данные [3.23] с погрешностью не более 8 %.

Таблицы самодиффузии газообразного фреона-12 при давлениях до 15 МПа рассчитаны Ленским [5.17] по результатам измерений бинарной диффузии в системе азот — фреон-12.

3.4. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРЕОНА-12

Термодинамические таблицы для газообразного и жидкого фреона-12 рассчитаны по уравнениям, указанным в разд. 3.2, включают по восемь величин на линиях кипения — конденсации в интервале $T=203-T_{кр}$ (табл. 32) и в однофазной области (газовая фаза) при $T=203$—473 К и $p=0{,}01$—14 МПа (табл. 33). В качестве начала отсчета калорических функций принято состояние кипящей жидкости при 273,15 К; значение энтальпии и энтропии в этой точке приняты равными 400 и 4 кДж/кг соответственно.

Приведенная в разд. 3.3 система уравнений для расчета вязкости и теплопроводности фреона-12 применима во всей экспериментально изученной области состояний. Однако необходимые для определения ν, a и Pr точные значения термодинамических функций (ϱ и c_p) имелись лишь до давления 14 МПа.

Поэтому рекомендуемые таблицы переносных свойств (табл. 34 и 35) охватывают ту же область состояний, что и термодинамические таблицы.

Таблица 32

Термодинамические свойства фреона-12 на линиях кипения и конденсации

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_p'	c_p''	r	σ
153,15	0,00014	1721,9	0,0131	298,1	497,5	3,515	4,816	0,776	0,417	199,4	29,96
158,15	0,00025	1709,7	0,0230	302,0	499,6	3,540	4,789	0,779	0,425	197,6	29,15
163,15	0,00044	1697,4	0,0389	305,9	501,7	3,564	4,764	0,782	0,432	195,8	28,33
168,15	0,00073	1685,1	0,0633	309,8	503,9	3,587	4,742	0,786	0,440	194,1	27,53
173,15	0,00119	1672,7	0,0997	313,8	506,1	3,610	4,721	0,790	0,448	192,4	26,73
178,15	0,00186	1660,2	0,1524	317,7	508,3	3,633	4,703	0,795	0,456	190,6	25,93
183,15	0,00285	1647,6	0,2267	321,7	510,6	3,655	4,687	0,800	0,463	188,9	25,14
188,15	0,00424	1634,9	0,3288	325,7	512,9	3,677	4,672	0,806	0,471	187,2	24,35
193,15	0,00617	1622,1	0,4663	329,8	515,2	3,698	4,658	0,812	0,479	185,5	23,57
198,15	0,00877	1609,2	0,6476	333,8	517,6	3,719	4,646	0,819	0,486	183,7	22,79
203,15	0,01223	1596,2	0,8825	338,0	519,9	3,739	4,635	0,826	0,494	181,9	22,02
208,15	0,01675	1583,0	1,182	342,1	522,3	3,759	4,625	0,833	0,502	180,2	21,26
213,15	0,02255	1569,7	1,557	346,3	524,7	3,779	4,616	0,840	0,510	178,4	20,50
215,15	0,02528	1564,3	1,732	348,0	525,6	3,787	4,613	0,842	0,513	177,6	20,20
217,15	0,02828	1559,0	1,921	349,7	526,6	3,795	4,610	0,845	0,516	176,9	19,90
219,15	0,03156	1553,6	2,127	351,4	527,5	3,803	4,607	0,848	0,520	176,1	19,60
221,15	0,03514	1548,1	2,350	353,1	528,5	3,811	4,604	0,851	0,523	175,4	19,30
223,15	0,03903	1542,7	2,591	354,8	529,5	3,818	4,601	0,854	0,526	174,6	19,00
225,15	0,04327	1537,2	2,850	356,5	530,4	3,826	4,598	0,857	0,530	173,9	18,71

Продолжение табл. 32

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_p'	c_p''	r	σ
227,15	0,04786	1531,7	3,130	358,3	531,4	3,834	4,596	0,860	0,533	173,1	18,41
229,15	0,05283	1526,1	3,431	360,0	532,3	3,841	4,593	0,863	0,536	172,3	18,11
231,15	0,05821	1520,6	3,754	361,8	533,3	3,849	4,591	0,866	0,540	171,5	17,82
233,15	0,06401	1515,0	4,100	363,5	534,3	3,856	4,589	0,869	0,543	170,7	17,53
235,15	0,07026	1509,3	4,471	365,3	535,2	3,864	4,587	0,871	0,546	169,9	17,24
237,15	0,07698	1503,7	4,867	367,0	536,2	3,871	4,584	0,873	0,550	169,1	16,94
239,15	0,08420	1498,0	5,289	368,8	537,1	3,879	4,583	0,876	0,553	168,3	16,65
241,15	0,09193	1492,3	5,740	370,6	538,1	3,886	4,581	0,880	0,557	167,5	16,37
243,15	0,1002	1486,5	6,220	372,4	539,0	3,893	4,579	0,884	0,561	166,7	16,08
245,15	0,1091	1480,7	6,730	374,2	540,0	3,901	4,577	0,887	0,564	165,8	15,79
247,15	0,1185	1474,9	7,272	376,0	540,9	3,908	4,576	0,890	0,568	165,0	15,51
249,15	0,1286	1469,1	7,847	377,8	541,9	3,915	4,574	0,894	0,572	164,1	15,22
251,15	0,1393	1463,2	8,457	379,6	542,8	3,923	4,572	0,898	0,576	163,2	14,94
253,15	0,1507	1457,2	9,102	381,4	543,8	3,930	4,571	0,902	0,579	162,3	14,66
255,15	0,1628	1451,2	9,785	383,2	544,7	3,937	4,570	0,904	0,583	161,5	14,38
257,15	0,1757	1445,2	10,51	385,1	545,6	3,944	4,568	0,907	0,587	160,5	14,10
259,15	0,1893	1439,2	11,27	386,9	546,5	3,951	4,567	0,911	0,591	159,6	13,82
261,15	0,2036	1433,1	12,07	388,8	547,5	3,958	4,566	0,915	0,595	158,7	13,54
263,15	0,2189	1426,9	12,92	390,6	548,4	3,965	4,565	0,919	0,600	157,8	13,26
265,15	0,2349	1420,7	13,81	392,5	549,3	3,972	4,564	0,922	0,604	156,8	12,99

Продолжение табл. 32

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_p'	c_p''	r	σ
267,15	0,2519	1414,5	14,75	394,4	550,2	3,979	4,563	0,926	0,608	155,9	12,71
269,15	0,2697	1408,2	15,74	396,2	551,1	3,986	4,562	0,930	0,613	154,9	12,44
271,15	0,2885	1401,9	16,78	398,1	552,0	3,993	4,561	0,934	0,617	153,9	12,17
273,15	0,3083	1395,5	17,87	400,0	552,9	4,000	4,560	0,938	0,622	152,9	11,90
275,15	0,3291	1389,0	19,01	401,9	553,8	4,007	4,559	0,942	0,626	151,9	11,63
277,15	0,3509	1382,5	20,21	403,8	554,7	4,014	4,558	0,946	0,631	150,9	11,36
279,15	0,3737	1376,0	21,47	405,7	555,6	4,021	4,557	0,950	0,636	149,9	11,10
281,15	0,3977	1369,3	22,79	407,6	556,4	4,027	4,557	0,954	0,641	148,8	10,83
283,15	0,4228	1362,7	24,18	409,6	557,3	4,034	4,556	0,958	0,646	147,7	10,57
285,15	0,4491	1355,9	25,63	411,5	558,1	4,041	4,555	0,962	0,652	146,7	10,31
287,15	0,4766	1349,1	27,14	413,4	559,0	4,047	4,554	0,966	0,657	145,6	10,05
289,15	0,5053	1342,2	28,73	415,4	559,8	4,054	4,554	0,970	0,663	144,5	9,79
291,15	0,5352	1335,3	30,39	417,3	560,7	4,061	4,553	0,974	0,669	143,3	9,53
293,15	0,5665	1328,3	32,12	419,3	561,5	4,067	4,552	0,979	0,675	142,2	9,27
295,15	0,5991	1321,2	33,94	421,2	562,3	4,074	4,652	0,983	0,681	141,0	9,02
297,15	0,6331	1314,0	35,83	423,2	563,1	4,081	4,551	0,987	0,687	139,9	8,76
299,15	0,6685	1306,7	37,81	425,2	563,9	4,087	4,551	0,992	0,694	138,7	8,51
301,15	0,7053	1299,4	39,88	427,2	564,6	4,094	4,550	0,998	0,700	137,4	8,26
303,15	0,7436	1292,0	42,05	429,2	565,4	4,100	4,550	1,004	0,708	136,2	8,01
305,15	0,7834	1284,5	44,30	431,2	566,2	4,107	4,549	1,009	0,715	135,0	7,77

Продолжение табл. 32

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_p'	c_p''	r	σ
307,15	0,8248	1276,8	46,66	433,2	566,9	4,113	4,548	1,015	0,722	133,7	7,52
309,15	0,8678	1269,1	49,13	435,3	567,6	4,120	4,548	1,021	0,730	132,4	7,28
311,15	0,9124	1261,3	51,70	437,3	568,3	4,126	4,547	1,027	0,739	131,1	7,04
313,15	0,9586	1253,3	54,39	439,3	569,0	4,133	4,547	1,033	0,747	129,7	6,80
315,15	1,007	1245,3	57,19	441,4	569,7	4,139	4,546	1,039	0,756	128,3	6,56
317,15	1,056	1237,1	60,13	443,5	570,4	4,145	4,546	1,045	0,766	126,9	6,32
319,15	1,108	1228,8	63,19	445,6	571,1	4,152	4,545	1,051	0,776	125,5	6,09
321,15	1,161	1220,4	66,39	447,7	571,7	4,158	4,545	1,058	0,786	124,0	5,85
323,15	1,216	1211,8	69,74	449,8	572,3	4,165	4,544	1,067	0,797	122,5	5,62
325,15	1,273	1203,1	73,24	451,9	572,9	4,171	4,543	1,081	0,809	121,0	5,39
327,15	1,332	1194,2	76,90	454,0	573,5	4,178	4,543	1,095	0,822	119,5	5,17
329,15	1,393	1185,2	80,73	456,2	574,0	4,184	4,542	1,110	0,835	117,9	4,94
331,15	1,456	1176,0	84,75	458,4	574,6	4,190	4,541	1,124	0,849	116,2	4,72
333,15	1,522	1166,6	88,95	460,6	575,1	4,197	4,541	1,140	0,864	114,5	4,50
335,15	1,589	1157,0	93,36	462,8	575,6	4,203	4,540	1,155	0,880	112,8	4,28
337,15	1,658	1147,2	97,98	465,0	576,0	4,210	4,539	1,171	0,897	111,0	4,06
339,15	1,730	1137,2	102,8	467,3	576,5	4,216	4,538	1,190	0,916	109,2	3,85
341,15	1,804	1126,9	107,9	469,5	576,9	4,223	4,537	1,212	0,937	107,3	3,64
343,15	1,880	1116,4	113,3	471,9	577,2	4,229	4,536	1,226	0,959	105,4	3,43
345,15	1,959	1105,6	119,0	474,2	577,6	4,236	4,535	1,250	0,983	103,4	3,23

Продолжение табл. 3

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_p'	c_p''	r	σ
347,15	2,040	1094,6	124,9	476,6	577,8	4,243	4,534	1,274	1,010	101,3	3,02
349,15	2,123	1083,2	131,2	479,0	578,1	4,249	4,533	1,299	1,040	99,1	2,82
351,15	2,210	1071,4	137,9	481,4	578,3	4,256	4,532	1,315	1,073	96,9	2,62
353,15	2,298	1059,2	145,0	483,9	578,5	4,263	4,531	1,353	1,110	94,6	2,43
355,15	2,390	1046,7	152,5	486,4	578,6	4,270	4,529	1,399	1,152	92,2	2,24
357,15	2,484	1033,6	160,5	488,9	578,6	4,277	4,528	1,445	1,200	89,7	2,05
359,15	2,580	1020,1	169,0	491,6	578,6	4,284	4,526	1,491	1,255	87,0	1,87
361,15	2,680	1005,9	178,2	494,2	578,5	4,291	4,524	1,537	1,319	84,2	1,69
363,15	2,782	991,1	188,0	497,0	578,3	4,298	4,522	1,583	1,395	81,3	1,51
365,15	2,888	975,5	198,7	499,8	578,0	4,305	4,520	1,68	1,486	78,2	1,34
367,15	2,996	959,0	210,3	502,7	577,6	4,313	4,517	1,78	1,597	74,9	1,17
369,15	3,108	941,5	222,9	505,7	577,1	4,321	4,514	1,87	1,735	71,4	1,01
371,15	3,222	922,7	236,9	508,8	576,5	4,329	4,511	1,97	1,912	67,7	0,85
373,15	3,340	902,3	252,5	512,1	576,6	4,337	4,508	2,06	2,148	63,6	0,70
375,15	3,461	879,9	270,1	515,5	574,6	4,346	4,504	2,40	2,473	59,1	0,56
377,15	3,586	854,7	290,3	519,1	573,2	4,355	4,499	2,75	2,949	54,1	0,42
379,15	3,714	825,6	314,2	523,0	571,5	4,365	4,493	3,13	3,702	48,5	0,29
381,15	3,845	790,2	343,3	527,4	569,2	4,376	4,486	4,09	5,034	41,8	0,17
383,15	3,980	741,8	380,5	532,5	566,1	4,389	4,477	—	7,769	33,6	0,07
385,15	4,119	579,0	579,0	546,8	546,8	4,426	4,426	—	—	0,0	0,00

Таблица 33

Термодинамические свойства фреона-12 в однофазной области

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
			$T=203{,}15$ K					
0,01	0,7205	0,9937	520,0	4,649	0,494	126,9	54,86	5,019
			$T=213{,}15$ K					
0,01	0,6859	0,9948	525,0	4,673	0,507	129,8	48,03	4,769
0,02	1,379	0,9893	524,7	4,625	0,509	129,2	48,47	4,851
			$T=223{,}15$ K					
0,01	0,6548	0,9952	530,1	4,697	0,520	132,6	42,35	4,547
0,02	1,3156	0,9908	529,9	4,648	0,522	132,1	42,68	4,613
0,03	1,983	0,986	529,7	4,620	0,524	131,6	43,02	4,682
			$T=233{,}15$ K					
0,01	0,6262	0,9961	535,4	4,720	0,532	135,3	37,58	4,342
0,02	1,258	0,9917	535,2	4,671	0,534	134,9	37,84	4,399
0,03	1,894	0,9879	535,0	4,643	0,536	134,2	38,10	4,455
0,04	2,536	0,9838	534,8	4,622	0,538	134,1	38,36	4,513
0,05	3,183	0,9799	534,5	4,607	0,540	133,6	38,63	4,573
			$T=243{,}15$ K					
0,01	0,6002	0,9965	540,7	4,742	0,544	138,0	33,55	4,158
0,02	1,205	0,9930	540,6	4,694	0,546	137,8	33,75	4,204
0,03	1,814	0,9894	540,4	4,666	0,548	137,3	33,95	4,251
0,04	2,427	0,9859	540,2	4,645	0,549	136,9	34,15	4,300
0,05	3,044	0,9824	540,0	4,629	0,551	136,5	34,36	4,349
0,1	6,207	0,9636	539,0	4,579	0,561	134,0	35,45	4,621
			$T=253{,}15$ K					
0,01	0,5764	0,9967	546,2	4,764	0,556	140,6	30,12	3,989
0,02	1,156	0,9939	546,1	4,716	0,557	140,3	30,27	4,027
0,03	1,740	0,9907	545,9	4,688	0,559	140,0	30,43	4,067
0,04	2,327	0,9877	545,7	4,668	0,560	139,6	30,58	4,108
0,05	2,918	0,9844	545,6	4,652	0,562	139,3	30,74	4,149
0,1	5,935	0,9680	544,7	4,602	0,570	137,5	31,58	4,373
			$T=263{,}15$ K					
0,01	0,5543	0,9970	551,9	4,786	0,567	143,2	27,17	3,834
0,02	1,111	0,9949	551,7	4,738	0,569	142,9	27,29	3,864
0,03	1,672	0,9916	551,6	4,710	0,570	142,6	27,41	3,900
0,04	2,235	0,9891	551,4	4,690	0,571	142,3	27,53	3,933
0,05	2,802	0,9862	551,2	4,674	0,573	142,0	27,66	3,969
0,1	5,686	0,9720	550,4	4,624	0,580	140,4	28,30	4,154
0,2	11,73	0,9422	548,7	4,572	0,596	137,1	29,73	4,590

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=273{,}15$ K				
0,01	0,5336	0,9978	557,6	4,808	0,579	145,7	24,63	3,688
0,02	1,070	0,9951	557,5	4,759	0,580	145,6	24,72	3,717
0,03	1,609	0,9927	557,3	4,731	0,581	145,2	24,82	3,746
0,04	2,151	0,9901	557,2	4,711	0,582	144,9	24,91	3,775
0,05	2,695	0,9878	557,0	4,695	0,583	144,6	25,01	3,805
0,1	5,459	0,9754	556,3	4,646	0,589	143,2	25,51	3,960
0,2	11,22	0,9490	554,7	4,594	0,603	140,2	26,61	4,320
0,3	17,34	0,9212	553,1	4,562	0,620	137,0	27,86	4,757
				$T=283{,}15$ K				
0,01	0,5147	0,9980	563,4	4,829	0,589	148,2	22,41	3,555
0,02	1,0318	0,9956	563,3	4,781	0,590	148,0	22,49	3,580
0,03	1,551	0,9934	563,2	4,752	0,591	147,7	22,56	3,605
0,04	2,073	0,9911	563,0	4,732	0,592	147,5	22,64	3,630
0,05	2,597	0,9889	562,9	4,717	0,593	147,2	22,72	3,656
0,1	5,252	0,9779	562,2	4,667	0,599	145,9	23,11	3,788
0,2	10,76	0,9547	560,8	4,616	0,611	143,2	23,96	4,088
0,3	16,56	0,9305	559,3	4,584	0,625	140,4	24,92	4,442
0,4	22,72	0,9043	557,7	4,561	0,642	137,3	26,00	4,871
				$T=293{,}15$ K				
0,01	0,4970	0,9982	569,7	4,849	0,599	150,7	20,48	3,432
0,02	0,9960	0,9962	569,3	4,801	0,600	150,5	20,54	3,452
0,03	1,497	0,9942	569,1	4,773	0,601	150,2	20,60	3,474
0,04	2,000	0,9922	569,0	4,753	0,602	150,0	20,66	3,496
0,05	2,505	0,9902	568,9	4,737	0,603	149,8	20,72	3,518
0,1	5,061	0,9803	568,2	4,688	0,608	148,6	21,03	3,632
0,2	10,34	0,9596	566,9	4,637	0,618	146,2	21,70	3,884
0,3	15,87	0,9378	565,6	4,606	0,631	143,6	22,44	4,178
0,4	21,68	0,9153	564,1	4,583	0,645	140,9	23,26	4,520
0,5	27,82	0,8916	562,6	4,564	0,662	138,0	24,18	4,928
				$T=303{,}15$ K				
0,01	0,4805	0,9984	575,4	4,869	0,609	153,1	18,78	3,316
0,02	0,9625	0,9969	575,3	4,821	0,610	152,9	18,83	3,334
0,03	1,447	0,9946	575,2	4,793	0,611	152,7	18,88	3,354
0,04	1,932	0,9933	575,1	4,773	0,612	152,5	18,93	3,372
0,05	2,420	0,9911	575,0	4,758	0,613	152,2	18,97	3,392
0,1	4,885	0,9820	574,4	4,709	0,617	151,2	19,22	3,490
0,2	9,950	0,9643	573,2	4,658	0,626	149,0	19,75	3,703
0,3	15,23	0,9450	571,9	4,627	0,637	146,7	20,32	3,948
0,4	20,75	0,9248	570,6	4,605	0,649	144,2	20,95	4,228
0,5	26,53	0,9041	569,2	4,586	0,662	141,7	21,65	4,553
0,6	32,63	0,8822	567,7	4,570	0,679	138,9	22,42	4,936
0,7	39,09	0,8590	566,1	4,555	0,698	136,0	23,29	5,394
				$T=313{,}15$ K				
0,01	0,4651	0,9985	581,6	4,889	0,619	155,5	17,28	3,209
0,02	0,9320	0,9966	581,5	4,841	0,620	155,3	17,32	3,226
0,03	1,400	0,9952	581,3	4,813	0,620	155,1	17,36	3,242

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,04	1,870	0,9934	581,2	4,793	0,621	154,9	17,40	3,258
0,05	2,341	0,9920	581,1	4,778	0,622	154,7	17,44	3,274
0,1	4,719	0,9841	580,6	4,729	0,626	153,7	17,64	3,359
0,2	9,597	0,9678	579,5	4,679	0,634	151,7	18,06	3,543
0,3	14,66	0,9504	578,3	4,648	0,643	149,6	18,50	3,750
0,4	19,92	0,9326	577,1	4,626	0,653	147,4	18,99	3,983
0,5	25,39	0,9146	575,8	4,608	0,665	145,1	19,52	4,246
0,6	31,12	0,8954	574,5	4,592	0,678	142,7	20,10	4,548
0,7	37,13	0,8755	573,1	4,578	0,693	140,2	20,74	4,898
0,8	43,48	0,8545	571,6	4,565	0,711	137,5	21,45	5,312
0,9	50,23	0,8322	570,0	4,554	0,733	134,6	22,25	5,808
				T=323,15 K				
0,01	0,4507	0,9986	587,8	4,909	0,628	157,8	15,95	3,108
0,02	0,9025	0,9973	587,7	4,861	0,629	157,8	15,98	3,122
0,03	1,356	0,9957	587,6	4,833	0,630	157,4	16,02	3,137
0,04	1,811	0,9942	587,5	4,813	0,630	157,3	16,05	3,152
0,05	2,267	0,9926	587,4	4,797	0,631	157,1	16,08	3,166
0,1	4,566	0,9856	586,9	4,749	0,634	156,2	16,24	3,240
0,2	9,276	0,9703	585,8	4,699	0,642	154,3	16,57	3,401
0,3	14,13	0,9555	584,8	4,669	0,650	152,4	16,93	3,575
0,4	19,16	0,9396	583,6	4,646	0,658	150,4	17,31	3,769
0,5	24,37	0,9235	582,5	4,628	0,668	148,4	17,72	3,987
0,6	29,79	0,9064	581,3	4,613	0,679	146,3	18,17	4,232
0,7	35,44	0,8890	580,0	4,600	0,692	144,0	18,65	4,510
0,8	41,34	0,8710	578,7	4,588	0,706	141,7	19,17	4,826
0,9	47,55	0,8518	577,3	4,576	0,723	139,2	19,75	5,195
1,0	54,08	0,8321	575,8	4,566	0,742	136,6	20,39	5,625
				T=333,15 K				
0,01	0,4371	0,9987	594,1	4,928	0,637	160,1	14,77	3,014
0,02	0,8757	0,9970	594,0	4,880	0,638	159,9	14,80	3,027
0,03	1,315	0,9960	593,9	4,852	0,638	159,8	14,82	3,039
0,04	1,755	0,9950	593,8	4,832	0,639	159,6	14,85	3,051
0,05	2,197	0,9936	593,7	4,817	0,639	159,4	14,87	3,064
0,1	4,423	0,9870	593,3	4,768	0,643	158,6	15,00	3,129
0,2	8,969	0,9734	592,3	4,718	0,649	156,9	15,27	3,268
0,3	13,65	0,9594	591,3	4,688	0,656	155,2	15,56	3,420
0,4	18,47	0,9454	590,3	4,667	0,664	153,4	15,86	3,585
0,5	23,44	0,9311	589,2	4,649	0,672	151,5	16,18	3,767
0,6	28,59	0,9161	588,1	4,634	0,682	149,6	16,52	3,968
0,7	33,92	0,9008	586,9	4,621	0,692	147,6	16,89	4,192
0,8	39,46	0,8850	585,7	4,609	0,704	145,5	17,29	4,442
0,9	45,25	0,8683	584,5	4,598	0,717	143,4	17,71	4,726
1,0	51,28	0,8512	583,2	4,588	0,732	141,1	18,17	5,049
1,5	87,11	0,7517	575,5	4,543	0,855	127,7	21,32	7,770
				T=343,15 K				
0,01	0,4243	0,9989	600,5	4,947	0,646	162,4	13,71	2,925
0,02	0,8496	0,9977	600,5	4,899	0,646	162,2	13,73	2,936

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,03	1,276	0,9964	600,4	4,871	0,647	162,1	13,75	2,947
0,04	1,703	0,9955	600,3	4,851	0,647	161,9	13,77	2,958
0,05	2,132	0,9939	600,2	4,836	0,648	161,8	13,80	2,970
0,1	4,290	0,9879	599,7	4,787	0,651	161,0	13,90	3,028
0,2	8,688	0,9756	598,9	4,738	0,656	159,4	14,12	3,149
0,3	13,20	0,9632	597,9	4,708	0,663	157,9	14,35	3,280
0,4	17,83	0,9507	596,9	4,686	0,670	156,2	14,59	3,421
0,5	22,60	0,9377	595,9	4,669	0,677	154,5	14,84	3,576
0,6	27,51	0,9243	594,9	4,654	0,685	152,8	15,11	3,744
0,7	32,57	0,9108	593,9	4,641	0,694	151,0	15,40	3,928
0,8	37,82	0,8965	592,8	4,630	0,704	149,1	15,70	4,132
0,9	43,23	0,8823	591,6	4,619	0,714	147,2	16,02	4,355
1,0	48,88	0,8671	590,5	4,610	0,726	145,2	16,36	4,607
1,5	81,17	0,7832	583,8	4,567	0,815	134,0	18,55	6,491
				$T=353{,}15$ K				
0,01	0,4122	0,9991	607,0	4,966	0,654	164,6	12,76	2,841
0,02	0,8251	0,9982	607,0	4,918	0,654	164,5	12,78	2,850
0,03	1,239	0,9971	606,9	4,890	0,655	164,3	12,80	2,861
0,04	1,655	0,9953	606,8	4,870	0,655	164,2	12,81	2,871
0,05	2,070	0,9947	606,7	4,855	0,656	164,0	12,83	2,881
0,1	4,163	0,9892	606,3	4,806	0,658	163,3	12,92	2,931
0,2	8,425	0,9776	605,4	4,757	0,664	161,9	13,09	3,040
0,3	12,78	0,9667	604,5	4,727	0,669	160,7	13,28	3,153
0,4	17,24	0,9555	603,6	4,706	0,675	158,9	13,47	3,275
0,5	21,82	0,9437	602,7	4,688	0,682	157,4	13,67	3,408
0,6	26,53	0,9314	601,8	4,674	0,689	155,9	13,89	3,551
0,7	31,36	0,9193	600,8	4,661	0,697	154,2	14,11	3,704
0,8	36,34	0,9067	599,8	4,650	0,705	152,5	14,34	3,872
0,9	41,46	0,8940	598,8	4,640	0,714	150,9	14,59	4,054
1,0	46,75	0,8809	597,7	4,631	0,724	149,0	14,85	4,254
1,5	76,39	0,8086	591,8	4,590	0,791	139,3	16,43	5,644
2,0	114,3	0,7205	584,4	4,554	0,926	127,2	18,77	8,455
				$T=363{,}15$ K				
0,01	0,4008	0,9992	613,6	4,984	0,662	166,8	11,91	2,762
0,02	0,8026	0,9980	613,5	4,936	0,662	166,7	11,92	2,771
0,03	1,205	0,9970	613,5	4,908	0,663	166,3	11,94	2,780
0,04	1,608	0,9962	613,4	4,888	0,663	166,4	11,95	2,788
0,05	2,012	0,9952	613,3	4,873	0,664	166,4	11,96	2,797
0,1	4,045	0,9900	612,9	4,825	0,666	165,6	12,03	2,843
0,2	8,177	0,9795	612,1	4,775	0,671	164,3	12,18	2,939
0,3	12,39	0,9697	611,3	4,746	0,676	162,9	12,33	3,038
0,4	16,70	0,9592	610,4	4,724	0,681	161,6	12,49	3,145
0,5	21,11	0,9485	609,6	4,707	0,687	160,2	12,65	3,259
0,6	25,62	0,9378	608,7	4,693	0,693	158,7	12,82	3,380
0,7	30,25	0,9267	607,8	4,681	0,700	157,2	12,99	3,511
0,8	34,99	0,9156	606,9	4,670	0,707	155,7	13,18	3,651
0,9	39,87	0,9040	605,9	4,660	0,715	154,2	13,37	3,803
1,0	44,88	0,8923	605,0	4,651	0,723	152,6	13,57	3,966
1,5	72,43	0,8294	599,7	4,612	0,777	144,1	14,74	5,037
2,0	105,9	0,7563	593,3	4,579	0,868	134,0	16,32	6,886
2,5	150,9	0,6535	585,0	4,545	1,073	121,2	18,68	11,09

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=373{,}15$ K				
0,01	0,3902	0,9988	620,3	5,002	0,669	169,0	11,14	2,688
0,02	0,7806	0,9985	620,2	4,955	0,670	168,9	11,15	2,695
0,03	1,172	0,9976	620,1	4,926	0,670	168,7	11,16	2,702
0,04	1,564	0,9968	620,1	4,907	0,671	168,9	11,17	2,712
0,05	1,958	0,9953	620,0	4,891	0,671	168,5	11,18	2,719
0,1	3,933	0,9910	619,6	4,843	0,673	167,9	11,24	2,760
0,2	7,943	0,9814	618,8	4,794	0,678	166,7	11,36	2,844
0,3	12,025	0,9723	618,1	4,764	0,682	165,4	11,48	2,932
0,4	16,19	0,9629	617,3	4,743	0,687	164,1	11,61	3,026
0,5	20,45	0,9529	616,5	4,726	0,692	162,8	11,74	3,125
0,6	24,79	0,9433	615,6	4,712	0,698	161,5	11,88	3,230
0,7	29,23	0,9333	614,8	4,700	0,704	160,2	12,02	3,342
0,8	33,77	0,9232	614,0	4,689	0,710	158,8	12,16	3,461
0,9	38,42	0,9130	613,1	4,679	0,716	157,4	12,31	3,588
1,0	43,18	0,9026	612,2	4,670	0,723	156,0	12,47	3,723
1,5	69,06	0,8465	607,4	4,633	0,767	148,4	13,37	4,578
2,0	99,40	0,7842	601,8	4,602	0,835	139,7	14,48	5,901
2,5	137,2	0,7102	595,1	4,572	0,956	129,5	15,96	8,294
3,0	190,1	0,6151	585,9	4,539	1,255	116,5	18,12	14,27
				$T=383{,}15$ K				
0,01	0,3799	0,9991	627,0	5,020	0,677	171,1	10,44	2,617
0,02	0,7605	0,9982	626,9	4,972	0,677	171,0	10,45	2,624
0,03	1,142	0,9971	626,9	4,944	0,678	170,9	10,46	2,632
0,04	1,523	0,9969	626,8	4,924	0,678	170,8	10,47	2,637
0,05	1,906	0,9958	626,7	4,909	0,678	170,7	10,47	2,645
0,1	3,827	0,9918	626,4	4,861	0,680	170,1	10,52	2,681
0,2	7,722	0,9831	625,6	4,812	0,684	169,0	10,62	2,757
0,3	11,68	0,9749	624,9	4,782	0,688	167,8	10,72	2,834
0,4	15,72	0,9658	624,2	4,761	0,693	166,6	10,82	2,918
0,5	19,83	0,9571	623,4	4,745	0,699	165,5	10,93	3,005
0,6	24,02	0,9481	622,6	4,731	0,702	164,2	11,04	3,096
0,7	28,29	0,9392	621,9	4,719	0,708	163,0	11,15	3,192
0,8	32,65	0,9301	621,1	4,708	0,713	161,8	11,27	3,294
0,9	37,11	0,9205	620,3	4,698	0,719	160,5	11,39	3,403
1,0	41,65	0,9114	619,4	4,690	0,725	159,2	11,51	3,517
1,5	66,09	0,8614	615,0	4,653	0,762	152,4	12,20	4,213
2,0	94,07	0,8070	610,1	4,624	0,814	144,8	13,02	5,212
2,5	127,3	0,7454	604,3	4,597	0,897	136,3	14,03	6,790
3,0	169,2	0,6729	597,3	4,569	1,048	126,4	15,30	9,692
,5	229,7	0,5784	587,5	4,537	1,434	114,0	16,97	17,20
3								
				$T=393{,}15$ K				
0,01	0,3702	0,9992	633,8	5,038	0,684	173,3	9,80	2,550
0,02	0,7407	0,9988	633,7	4,990	0,684	173,2	9,81	2,555
0,03	1,1123	0,9977	633,7	4,962	0,684	173,1	9,82	2,563
0,04	1,484	0,9970	633,6	4,942	0,685	173,0	9,82	2,569
0,05	1,857	0,9960	633,5	4,927	0,685	172,8	9,83	2,575

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,1	3,727	0,9925	633,2	4,878	0,687	172,3	9,87	2,607
0,2	7,515	0,9845	632,5	4,829	0,691	171,3	9,95	2,675
0,3	11,36	0,9769	631,8	4,800	0,695	170,2	10,04	2,744
0,4	15,27	0,9690	631,1	4,779	0,699	169,1	10,12	2,817
0,5	19,25	0,9603	630,4	4,763	0,703	168,0	10,21	2,896
0,6	23,30	0,9526	629,7	4,749	0,707	166,9	10,30	2,975
0,7	27,42	0,9444	629,0	4,737	0,712	165,7	10,39	3,059
0,8	31,62	0,9360	628,2	4,726	0,716	164,6	10,48	3,148
0,9	35,89	0,9276	627,5	4,717	0,722	163,4	10,58	3,240
1,0	40,24	0,9192	626,7	4,708	0,727	162,2	10,68	3,337
1,5	63,45	0,8745	622,6	4,673	0,758	156,1	11,21	3,910
2,0	89,53	0,8264	618,1	4,645	0,801	149,4	11,83	4,700
2,5	119,5	0,7739	613,1	4,619	0,862	142,1	12,54	5,827
3,0	155,4	0,7141	607,2	4,595	0,957	133,2	13,38	7,604
3,5	200,8	0,6448	600,1	4,570	1,129	124,7	14,35	10,82
4,0	265,7	0,5568	590,4	4,540	1,539	113,9	15,35	18,51
4,5	396,7	0,4196	573,2	4,492	3,636	101,2	15,05	57,75
5,0	714,3	0,2589	543,3	4,414	3,346	119,4	6,92	44,60
5,5	802,4	0,2535	536,8	4,395	2,013	156,0	4,03	19,11
6,0	846,7	0,2621	533,6	4,386	1,702	181,8	2,96	13,40
6,5	877,8	0,2739	531,5	4,379	1,560	201,7	2,38	10,83
7,0	902,2	0,2870	529,8	4,373	1,476	217,6	2,01	9,344
				$T=403{,}15$ K				
0,01	0,3610	0,9993	640,7	5,055	0,691	175,4	9,22	2,486
0,02	0,7225	0,9985	640,6	5,007	0,691	175,3	9,23	2,492
0,03	1,084	0,9984	640,6	4,979	0,691	175,2	9,23	2,498
0,04	1,447	0,9972	640,5	4,959	0,692	175,1	9,24	2,503
0,05	1,810	0,9965	640,4	4,944	0,692	175,0	9,25	2,509
0,1	3,634	0,9927	640,1	4,896	0,694	174,5	9,28	2,539
0,2	7,319	0,9858	639,5	4,847	0,697	173,5	9,35	2,599
0,3	11,06	0,9785	638,8	4,818	0,700	172,5	9,42	2,661
0,4	14,86	0,9710	638,1	4,797	0,704	171,5	9,49	2,726
0,5	18,71	0,9640	637,5	4,780	0,708	170,5	9,56	2,794
0,6	22,63	0,9565	636,8	4,767	0,712	169,4	9,63	2,865
0,7	26,61	0,9490	636,1	4,755	0,716	168,4	9,70	2,939
0,8	30,66	0,9413	635,4	4,744	0,720	167,3	9,78	3,016
0,9	34,77	0,9337	634,7	4,735	0,725	166,3	9,86	3,097
1,0	38,96	0,9259	634,0	4,727	0,729	165,2	9,94	3,181
1,5	61,09	0,8858	630,2	4,692	0,757	159,6	10,36	3,668
2,0	85,59	0,8430	626,1	4,665	0,792	153,6	10,82	4,301
2,5	113,2	0,7967	621,6	4,641	0,839	147,2	11,35	5,153
3,0	145,0	0,7464	616,5	4,619	0,906	140,3	11,94	6,369
3,5	182,8	0,6907	610,7	4,596	1,009	132,8	12,57	8,230
4,0	230,4	0,6263	603,7	4,575	1,184	124,7	13,20	11,41
4,5	295,4	0,5495	594,7	4,546	1,539	116,0	13,60	17,82
5,0	398,4	0,4527	581,9	4,511	2,414	108,3	12,93	33,31
5,5	568,8	0,3488	564,5	4,465	3,403	109,9	9,59	48,54
6,0	702,25	0,3082	553,4	4,435	2,377	133,3	5,87	26,77
6,5	768,3	0,3051	548,3	4,421	1,855	158,9	4,04	16,75
7,0	810,1	0,3117	545,2	4,412	1,632	180,0	3,09	12,62
7,5	841,0	0,3217	543,1	4,405	1,511	197,2	2,52	10,42
8,0	865,8	0,3333	541,4	4,399	1,435	211,5	2,14	9,063
8,5	886,9	0,3457	540,0	4,394	1,383	223,0	1,86	8,135
9,0	905,4	0,3586	538,8	4,390	1,345	233,2	1,65	7,466

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=413{,}15$ K				
0,01	0,3522	0,9994	647,6	5,072	0,697	177,4	8,69	2,425
0,02	0,7047	0,9990	647,6	5,024	0,697	177,4	8,69	2,430
0,03	1,0581	0,9981	647,5	4,996	0,698	177,3	8,70	2,436
0,04	1,412	0,9972	647,4	4,976	0,698	177,2	8,71	2,441
0,05	1,766	0,9966	647,4	4,961	0,698	177,1	8,71	2,446
0,1	3,544	0,9933	647,1	4,913	0,700	176,6	8,74	2,473
0,2	7,133	0,9870	646,5	4,864	0,703	175,7	8,80	2,527
0,3	10,77	0,9805	645,8	4,835	0,706	174,8	8,85	2,583
0,4	14,46	0,9738	645,2	4,814	0,710	173,8	8,91	2,641
0,5	18,20	0,9671	644,6	4,798	0,713	172,9	8,97	2,701
0,6	22,00	0,9599	643,9	4,784	0,717	171,9	9,03	2,765
0,7	25,85	0,9532	643,3	4,772	0,720	171,0	9,09	2,830
0,8	29,76	0,9462	642,6	4,762	0,724	170,0	9,15	2,898
0,9	33,74	0,9390	642,0	4,753	0,728	169,0	9,21	2,969
1,0	37,76	0,9321	641,3	4,744	0,732	168,0	9,28	3,041
1,5	58,96	0,8955	637,8	4,710	0,756	162,9	9,62	3,458
2,0	82,12	0,8573	634,0	4,684	0,786	157,5	9,98	3,978
2,5	107,8	0,8164	629,9	4,661	0,824	151,8	10,37	4,650
3,0	136,6	0,7731	625,4	4,640	0,874	145,8	10,79	5,539
3,5	169,8	0,7256	620,4	4,620	0,944	139,5	11,23	6,778
4,0	208,8	0,6743	614,7	4,600	1,047	132,9	11,64	8,582
4,5	256,7	0,6171	608,1	4,579	1,208	126,1	11,96	11,39
5,0	318,2	0,5531	600,1	4,555	1,476	119,7	11,96	16,02
5,5	401,1	0,4827	590,3	4,528	1,912	115,2	11,23	23,28
6,0	508,9	0,4150	579,2	4,498	2,358	116,2	9,43	29,80
6,5	616,4	0,3711	569,4	4,473	2,288	127,4	7,03	26,42
7,0	693,0	0,3556	563,0	4,455	1,938	146,2	5,09	18,96
7,5	744,6	0,3546	559,0	4,444	1,694	165,3	3,87	14,24
8,0	781,9	0,3602	556,2	4,436	1,546	182,3	3,10	11,50
8,5	811,4	0,3688	554,1	4,429	1,452	196,8	2,59	9,790
9,0	835,8	0,3791	552,4	4,423	1,387	209,3	2,22	8,634
9,5	856,9	0,3902	551,0	4,419	1,340	219,8	1,94	7,804
10,0	875,6	0,4020	549,8	4,414	1,304	228,7	1,72	7,181
				$T=423{,}15$ K				
0,01	0,3439	0,9994	654,6	5,089	0,703	179,5	8,20	2,368
0,02	0,6882	0,9988	654,6	5,041	0,704	179,4	8,21	2,372
0,03	1,033	0,9981	654,5	5,013	0,704	179,3	8,21	2,377
0,04	1,378	0,9977	654,4	4,993	0,704	179,2	8,22	2,382
0,05	1,724	0,9968	654,4	4,978	0,705	179,2	8,22	2,387
0,1	3,458	0,9939	654,1	4,929	0,706	178,7	8,25	2,411
0,2	6,959	0,9878	653,5	4,881	0,709	177,9	8,29	2,460
0,3	10,50	0,9818	652,9	4,852	0,712	177,0	8,34	2,510
0,4	14,09	0,9757	652,3	4,831	0,715	176,1	8,39	2,563
0,5	17,73	0,9692	651,7	4,815	0,718	175,2	8,44	2,617
0,6	21,41	0,9632	651,1	4,801	0,721	174,4	8,49	2,673
0,7	25,14	0,9570	650,5	4,790	0,725	173,5	8,54	2,730
0,8	28,93	0,9504	649,9	4,779	0,728	172,6	8,59	2,791
0,9	32,77	0,9439	649,3	4,770	0,732	171,7	8,64	2,853
1,0	36,66	0,9375	648,6	4,762	0,736	170,7	8,69	2,917
1,5	57,01	0,9043	645,3	4,728	0,756	166,1	8,96	3,277
2,0	79,03	0,8698	641,8	4,703	0,782	161,2	9,25	3,714

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
2,5	103,1	0,8334	638,1	4,681	0,813	156,1	9,55	4,254
3,0	129,7	0,7950	634,0	4,661	0,853	150,8	9,86	4,940
3,5	159,4	0,7546	629,7	4,642	0,905	145,3	10,17	5,827
4,0	193,3	0,7112	624,8	4,624	0,974	139,7	10,46	7,014
4,5	232,6	0,6649	619,4	4,606	1,069	134,1	10,68	8,642
5,0	279,2	0,6155	613,3	4,587	1,205	128,8	10,76	10,91
5,5	335,6	0,5633	606,4	4,567	1,395	124,4	10,54	14,03
6,0	403,9	0,5106	598,7	4,545	1,638	122,2	9,86	17,78
6,5	482,6	0,4629	590,5	4,523	1,862	123,7	8,67	20,77
7,0	562,9	0,4274	582,9	4,503	1,936	130,8	7,15	20,78
7,5	632,1	0,4078	576,9	4,487	1,837	143,2	5,67	17,93
8,0	685,9	0,4009	572,4	4,474	1,686	158,2	4,50	14,65
8,5	727,3	0,4017	569,1	4,465	1,557	173,1	3,65	12,13
9,0	760,5	0,4067	566,6	4,457	1,462	186,9	3,04	10,35
9,5	787,7	0,4145	564,6	4,451	1,391	199,0	2,59	9,080
10,0	811,2	0,4237	563,0	4,446	1,338	209,7	2,26	8,147
				$T=433{,}15$ K				
0,01	0,3359	0,9996	661,7	5,105	0,709	181,5	7,76	2,313
0,02	0,6720	0,9992	661,6	5,057	0,710	181,4	7,76	2,316
0,03	1,009	0,9983	661,6	5,029	0,710	181,4	7,76	2,322
0,04	1,346	0,9977	661,5	5,010	0,710	181,3	7,77	2,326
0,05	1,684	0,9969	661,5	4,994	0,710	181,2	7,77	2,330
0,1	3,376	0,9945	661,2	4,946	0,712	180,8	7,79	2,352
0,2	6,793	0,9885	660,6	4,897	0,714	180,0	7,83	2,397
0,3	10,25	0,9827	660,1	4,869	0,717	179,2	7,87	2,442
0,4	13,74	0,9774	659,5	4,848	0,720	178,4	7,91	2,489
0,5	17,28	0,9715	658,9	4,832	0,723	177,6	7,95	2,538
0,6	20,86	0,9657	658,4	4,818	0,726	176,1	7,99	2,588
0,7	24,48	0,9601	657,8	4,807	0,729	175,9	8,04	2,640
0,8	28,15	0,9542	657,2	4,797	0,732	175,1	8,08	2,693
0,9	31,86	0,9485	656,6	4,787	0,736	174,2	8,12	2,748
1,0	35,63	0,9423	656,0	4,779	0,739	173,4	8,16	2,805
1,5	55,21	0,9122	652,9	4,746	0,757	169,1	8,38	3,118
2,0	76,23	0,8809	649,6	4,721	0,780	164,6	8,61	3,489
2,5	98,96	0,8482	646,2	4,700	0,806	160,1	8,84	3,936
3,0	123,7	0,8142	642,5	4,681	0,838	155,4	9,07	4,481
3,5	150,9	0,7787	638,6	4,663	0,878	150,5	9,30	5,153
4,0	181,2	0,7412	634,3	4,646	0,929	145,7	9,50	6,001
4,5	215,1	0,7024	629,7	4,630	0,994	140,9	9,66	7,074
5,0	253,7	0,6617	624,7	4,613	1,078	136,4	9,74	8,453
5,5	298,0	0,6197	619,2	4,597	1,186	132,5	9,66	10,18
6,0	348,8	0,5776	613,3	4,579	1,319	129,8	9,34	12,23
6,5	406,2	0,5373	607,0	4,562	1,465	129,1	8,74	14,31
7,0	468,4	0,5018	600,6	4,544	1,594	131,3	7,86	15,86
7,5	530,8	0,4744	594,6	4,528	1,664	136,9	6,82	16,22
8,0	588,6	0,4564	589,3	4,514	1,659	145,9	5,76	15,29
8,5	638,3	0,4471	585,0	4,502	1,600	157,2	4,81	13,64
9,0	679,8	0,4445	581,6	4,492	1,522	169,4	4,03	11,93
9,5	714,3	0,4466	578,8	4,484	1,449	181,4	3,42	10,47
10,0	743,4	0,4516	576,6	4,478	1,386	192,7	2,94	9,300
11,0	790,8	0,4670	573,1	4,467	1,292	211,8	2,26	7,651
12,0	828,9	0,4861	570,6	4,458	1,229	226,1	1,82	6,592

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^5$
				$T=443{,}15$ K				
0,01	0,3283	0,9996	668,8	5,121	0,715	183,5	7,34	2,260
0,02	0,6570	0,9990	668,8	5,074	0,716	183,5	7,35	2,264
0,03	0,9861	0,9984	668,7	5,046	0,716	183,9	7,35	2,268
0,04	1,315	0,9982	668,7	5,026	0,716	183,3	7,35	2,272
0,05	1,645	0,9975	668,6	5,010	0,716	183,2	7,36	2,276
0,1	3,299	0,9947	668,3	4,962	0,717	182,9	7,37	2,296
0,2	6,631	0,9898	667,8	4,914	0,720	182,1	7,41	2,336
0,3	10,00	0,9845	667,3	4,885	0,723	181,4	7,44	2,378
0,4	13,41	0,9789	666,7	4,864	0,725	180,6	7,48	2,421
0,5	16,85	0,9738	666,2	4,848	0,728	179,8	7,51	2,464
0,6	20,33	0,9686	665,6	4,835	0,731	179,1	7,55	2,509
0,7	23,85	0,9632	665,1	4,823	0,733	178,3	7,58	2,556
0,8	27,41	0,9578	664,5	4,813	0,736	177,5	7,62	2,603
0,9	31,02	0,9522	664,0	4,804	0,739	176,8	7,65	2,652
1,0	34,66	0,9468	663,4	4,796	0,742	176,0	7,69	2,703
1,5	53,56	0,9191	660,5	4,763	0,759	172,0	7,86	2,978
2,0	73,69	0,8907	657,4	4,739	0,778	167,9	8,04	3,298
2,5	95,27	0,8612	654,2	4,718	0,801	163,8	8,23	3,673
3,0	118,5	0,8308	650,8	4,700	0,828	159,6	8,40	4,116
3,5	143,7	0,7993	647,2	4,683	0,860	155,3	8,57	4,647
4,0	171,2	0,7668	643,4	4,667	0,899	151,0	8,72	5,285
4,5	201,5	0,7329	639,4	4,652	0,947	146,8	8,83	6,058
5,0	235,0	0,6983	635,1	4,637	1,005	142,9	8,89	6,992
5,5	272,1	0,6634	630,5	4,622	1,075	139,5	8,85	8,100
6,0	313,5	0,6281	625,6	4,607	1,159	136,9	8,68	9,369
6,5	359,1	0,5940	620,4	4,592	1,252	135,6	8,33	10,71
7,0	408,1	0,5629	615,2	4,578	1,347	136,1	7,81	11,94
7,5	459,3	0,5358	610,0	4,563	1,428	138,7	7,13	12,81
8,0	510,2	0,5146	605,1	4,550	1,482	143,7	6,36	13,11
8,5	558,3	0,4996	600,6	4,538	1,500	150,9	5,58	12,80
9,0	602,0	0,4906	596,7	4,527	1,486	159,9	4,85	12,04
9,5	640,6	0,4867	593,4	4,518	1,451	169,8	4,20	11,07
10,0	674,3	0,4867	590,6	4,510	1,408	179,9	3,65	10,07
11,0	729,7	0,4947	586,2	4,496	1,321	199,0	2,82	8,391
12,0	773,7	0,5090	583,0	4,486	1,251	214,9	2,25	7,174
13,0	810,6	0,5263	580,5	4,478	1,197	226,8	1,85	6,313
				$T=453{,}15$ K				
0,01	0,3211	0,9994	676,0	5,137	0,721	185,5	6,96	2,210
0,02	0,6428	0,9985	675,9	5,090	0,721	185,5	6,97	2,215
0,03	0,9643	0,9984	675,9	5,062	0,721	185,4	6,97	2,218
0,04	1,286	0,9983	675,8	5,042	0,722	185,3	6,97	2,224
0,05	1,608	0,9979	675,8	5,026	0,722	185,2	6,98	2,225
0,1	3,224	0,9955	675,5	4,978	0,723	184,9	6,99	2,242
0,2	6,481	0,9904	675,0	4,930	0,725	184,2	7,02	2,279
0,3	9,766	0,9859	674,5	4,901	0,728	183,5	7,06	2,316
0,4	13,09	0,9807	674,0	4,881	0,730	182,8	7,08	2,356
0,5	16,44	0,9761	673,5	4,865	0,733	182,1	7,11	2,395
0,6	19,83	0,9711	673,0	4,851	0,735	181,4	7,13	2,436
0,7	23,26	0,9659	672,4	4,840	0,738	180,6	7,16	2,478
0,8	26,72	0,9609	671,9	4,830	0,740	179,9	7,19	2,521
0,9	30,21	0,9561	671,4	4,821	0,743	179,2	7,22	2,564

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
1,0	33,75	0,9509	670,8	4,813	0,746	178,0	7,25	2,610
1,5	52,00	0,9257	668,1	4,780	0,761	174,8	7,40	2,853
2,0	71,36	0,8995	665,2	4,756	0,778	171,1	7,54	3,131
2,5	91,94	0,8727	662,2	4,736	0,798	167,3	7,69	3,450
3,0	113,9	0,8453	659,1	4,718	0,821	163,5	7,82	3,821
3,5	137,5	0,8169	655,8	4,702	0,847	159,7	7,95	4,251
4,0	162,9	0,7881	652,3	4,687	0,878	155,9	8,06	4,752
4,5	190,4	0,7585	648,7	4,673	0,915	152,2	8,14	5,336
5,0	220,3	0,7284	644,9	4,659	0,958	148,8	8,18	6,017
5,5	252,8	0,6983	640,9	4,645	1,009	145,7	8,15	6,794
6,0	288,1	0,6684	636,7	4,632	1,066	143,3	8,04	7,658
6,5	326,3	0,6393	632,3	4,619	1,131	141,9	7,82	8,571
7,0	367,1	0,6120	627,8	4,606	1,197	141,7	7,48	9,459
7,5	409,7	0,5875	623,4	4,593	1,261	143,0	7,02	10,21
8,0	453,1	0,5666	619,0	4,581	1,316	146,0	6,48	10,73
8,5	495,8	0,5525	614,9	4,569	1,356	150,7	5,89	10,90
9,0	536,8	0,5383	611,1	4,559	1,378	157,0	5,29	10,85
9,5	574,7	0,5305	607,6	4,549	1,382	164,4	4,73	10,48
10,0	609,8	0,5265	604,5	4,541	1,371	172,7	4,20	9,959
11,0	669,5	0,5273	599,5	4,526	1,323	189,8	3,34	8,737
12,0	718,4	0,5361	595,6	4,514	1,267	205,7	2,70	7,499
13,0	759,3	0,5495	592,5	4,505	1,215	218,7	2,22	6,773
14,0	794,7	0,5654	590,1	4,496	1,170	228,3	1,87	6,050
				$T=463{,}15$ K				
0,01	0,3142	0,9994	683,2	5,153	0,726	187,2	6,61	2,163
0,02	0,6285	0,9992	683,2	5,105	0,727	187,4	6,61	2,165
0,03	0,9434	0,9985	683,1	5,078	0,727	187,4	6,62	2,169
0,04	1,2583	0,9982	683,1	5,058	0,727	187,3	6,62	2,172
0,05	1,5736	0,9977	683,0	5,042	0,727	187,2	6,62	2,175
0,1	3,155	0,9953	682,8	4,994	0,728	186,9	6,63	2,192
0,2	6,337	0,9910	682,3	4,946	0,730	186,2	6,66	2,226
0,3	9,549	0,9863	681,8	4,917	0,733	185,6	6,68	2,260
0,4	12,79	0,9821	681,3	4,897	0,735	184,9	6,71	2,295
0,5	16,06	0,9776	680,8	4,881	0,737	184,3	6,73	2,331
0,6	19,36	0,9732	680,3	4,867	0,740	183,6	6,76	2,368
0,7	22,70	0,9683	679,8	4,856	0,742	182,9	6,78	2,406
0,8	26,06	0,9639	679,3	4,846	0,744	182,3	6,81	2,444
0,9	29,46	0,9592	678,8	4,837	0,747	181,6	6,83	2,484
1,0	32,89	0,9547	678,3	4,829	0,749	180,2	6,86	2,524
1,5	50,58	0,9312	675,7	4,797	0,763	177,5	6,98	2,741
2,0	69,20	0,9075	673,0	4,773	0,779	174,1	7,10	2,984
2,5	88,91	0,8829	670,2	4,753	0,796	178,7	7,21	3,260
3,0	109,8	0,8579	667,2	4,736	0,816	167,2	7,32	3,574
3,5	132,0	0,8326	664,2	4,720	0,838	163,8	7,41	3,929
4,0	155,7	0,8067	661,0	4,706	0,864	160,4	7,49	4,335
4,5	181,0	0,7807	657,7	4,692	0,893	157,1	7,55	4,794
5,0	208,2	0,7541	654,3	4,679	0,927	154,1	7,58	5,314
5,5	237,3	0,7278	650,7	4,667	0,965	151,4	7,55	5,893
6,0	268,5	0,7017	647,0	4,655	1,007	149,2	7,47	6,522
6,5	301,8	0,6763	643,2	4,643	1,054	147,8	7,31	7,184
7,0	336,8	0,6526	639,3	4,631	1,103	147,3	7,07	7,833
7,5	373,4	0,6307	635,4	4,619	1,152	148,0	6,75	8,426
8,0	410,8	0,6115	631,6	4,608	1,197	149,9	6,35	8,905

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
8,5	448,2	0,5955	627,8	4,598	1,236	153,2	5,91	9,226
9,0	485,0	0,5827	624,3	4,588	1,267	157,8	5,44	9,371
9,5	520,3	0,5733	621,0	4,578	1,286	163,4	4,97	9,342
10,0	553,7	0,5671	617,9	4,570	1,296	170,0	4,52	9,166
11,0	613,9	0,5626	612,6	4,555	1,289	184,5	3,73	8,522
12,0	665,1	0,5665	608,2	4,542	1,259	199,1	3,08	7,730
13,0	708,9	0,5758	604,7	4,531	1,221	212,3	2,58	6,977
14,0	746,9	0,5886	601,9	4,522	1,183	223,0	2,19	6,332

$T = 473{,}15$ K

0,01	0,3075	0,9996	690,5	5,169	0,732	189,4	6,29	2,116
0,02	0,6154	0,9989	690,5	5,121	0,732	189,4	6,29	2,120
0,03	0,9234	0,9986	690,4	5,093	0,732	189,3	6,29	2,123
0,04	1,232	0,9980	690,4	5,073	0,732	189,3	6,29	2,126
0,05	1,540	0,9979	690,3	5,058	0,732	189,2	6,29	2,128
0,1	3,086	0,9960	690,1	5,010	0,733	188,9	6,30	2,144
0,2	6,200	0,9915	689,6	4,961	0,735	188,3	6,33	2,175
0,3	9,338	0,9875	689,2	4,933	0,738	187,6	6,35	2,206
0,4	12,50	0,9836	688,7	4,912	0,740	187,0	6,37	2,237
0,5	15,70	0,9789	688,2	4,896	0,742	186,4	6,39	2,271
0,6	18,92	0,9748	687,8	4,883	0,744	185,8	6,41	2,304
0,7	22,16	0,9709	687,3	4,872	0,746	185,2	6,43	2,338
0,8	25,45	0,9662	686,8	4,862	0,748	184,5	6,45	2,373
0,9	28,75	0,9622	686,3	4,853	0,751	183,9	6,47	2,409
1,0	32,08	0,9581	685,8	4,845	0,753	183,3	6,50	2,445
1,5	49,24	0,9364	683,3	4,813	0,766	180,2	6,59	2,639
2,0	67,20	0,9147	680,8	4,790	0,779	177,0	6,69	2,854
2,5	86,13	0,8921	678,1	4,770	0,795	173,9	6,78	3,095
3,0	106,0	0,8699	675,4	4,753	0,812	170,7	6,87	3,362
3,5	127,1	0,8464	672,5	4,738	0,831	167,6	6,94	3,664
4,0	149,3	0,8235	669,6	4,724	0,853	164,6	7,00	3,997
4,5	172,9	0,8000	666,6	4,711	0,877	161,6	7,04	4,370
5,0	197,9	0,7766	663,4	4,699	0,904	158,9	7,06	4,781
5,5	224,5	0,7530	660,2	4,687	0,934	156,5	7,03	5,231
6,0	252,6	0,7301	656,9	4,676	0,967	154,6	6,97	5,712
6,5	282,2	0,7079	653,5	4,665	1,003	153,2	6,85	6,210
7,0	313,3	0,6868	650,0	4,654	1,040	152,7	6,67	6,706
7,5	345,5	0,6672	646,5	4,643	1,078	153,0	6,43	7,172
8,0	378,5	0,6497	643,1	4,633	1,115	154,4	6,13	7,575
8,5	411,7	0,6346	639,7	4,623	1,148	156,8	6,78	7,887
9,0	444,6	0,6222	636,5	4,614	1,177	160,3	5,41	8,095
9,5	476,9	0,6123	633,4	4,605	1,200	164,8	5,03	8,194
10,0	507,9	0,6052	630,4	4,597	1,217	170,1	4,65	8,190
11,0	565,3	0,5981	625,2	4,582	1,233	182,3	3,95	7,933
12,0	616,2	0,5986	620,7	4,569	1,228	195,4	3,35	7,475
13,0	661,0	0,6045	616,9	4,557	1,210	208,0	2,86	6,948
14,0	700,6	0,6142	613,7	4,547	1,184	219,0	2,46	6,433

Таблица 34

Переносные свойства фреона-12 на линиях кипения и конденсации

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
153,15	0,00014	1583	—	0,919	—	118,9	—	0,0890	—	10,33	—
158,15	0,00025	1409	—	0,824	—	117,1	—	0,0879	—	9,37	—
163,15	0,00044	1268	—	0,747	—	115,4	—	0,0869	—	8,60	—
168,15	0,00073	1151	—	0,683	—	113,6	—	0,0858	—	7,96	—
173,15	0,00119	1049	—	0,627	—	111,7	—	0,0845	—	7,42	—
178,15	0,00186	962	—	0,579	—	109,9	—	0,0833	—	6,95	—
183,15	0,00285	885	—	0,537	—	108,0	—	0,0819	—	6,56	—
188,15	0,00424	818	—	0,500	—	106,2	—	0,0806	—	6,20	—
193,15	0,00617	758	—	0,467	—	104,3	—	0,0792	—	5,90	—
198,15	0,00877	705	—	0,438	—	102,4	—	0,0777	—	5,64	—
203,15	0,01223	655	—	0,410	—	100,5	—	0,0762	—	5,38	—
208,15	0,01675	611	—	0,386	—	98,7	—	0,0749	—	5,15	—
213,15	0,02255	570	—	0,363	—	96,8	—	0,0734	—	4,95	—
215,15	0,02528	557	—	0,356	—	96,0	—	0,0729	—	4,88	—
217,15	0,02828	546	—	0,350	—	95,3	—	0,0723	—	4,84	—
219,15	0,03156	530	—	0,341	—	94,5	—	0,0717	—	4,76	—
221,15	0,03514	511	—	0,330	—	93,8	—	0,0712	—	4,64	—
223,15	0,03903	490	—	0,318	—	93,0	—	0,0706	—	4,50	—
225,15	0,04327	461	—	0,300	—	92,3	—	0,0701	—	4,28	—
227,15	0,04786	442	—	0,289	—	91,6	—	0,0695	—	4,16	—

Продолжение табл. 34

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
229,15	0,05283	424	—	0,278	—	90,8	—	0,0689	—	4,04	—
231,15	0,05821	406	—	0,267	—	90,1	—	0,0684	—	3,90	—
233,15	0,06401	401	—	0,265	—	89,3	—	0,0678	—	3,89	—
235,15	0,07026	389	—	0,258	—	88,6	—	0,0674	—	3,88	—
237,15	0,07698	388	—	0,258	—	87,8	—	0,0669	—	3,87	—
239,15	0,08420	386	—	0,258	—	87,1	—	0,0664	—	3,89	—
241,15	0,09193	385	—	0,258	—	86,4	—	0,0658	—	3,92	—
243,15	0,1002	383	—	0,258	—	85,6	—	0,0651	—	3,96	—
245,15	0,1091	372	10,31	0,251	1,532	84,9	7,19	0,0646	1,894	3,89	0,809
247,15	0,1185	362	10,41	0,245	1,432	84,1	7,38	0,0641	1,788	3,82	0,801
249,15	0,1286	351	10,52	0,239	1,341	83,4	7,57	0,0635	1,687	3,76	0,795
251,15	0,1393	341	10,61	0,233	1,255	82,7	7,74	0,0629	1,589	3,70	0,790
253,15	0,1507	331	10,70	0,227	1,176	81,9	7,89	0,0623	1,497	3,64	0,786
255,15	0,1628	322	10,80	0,222	1,104	81,2	8,02	0,0619	1,406	3,59	0,785
257,15	0,1757	312	10,89	0,216	1,036	80,5	8,13	0,0614	1,318	3,52	0,786
259,15	0,1893	303	10,98	0,211	0,974	79,8	8,22	0,0609	1,234	3,47	0,789
261,15	0,2036	294	11,08	0,205	0,918	79,1	8,32	0,0603	1,159	3,40	0,792
263,15	0,2189	285	11,17	0,1997	0,865	78,4	8,42	0,0598	1,086	3,34	0,797
265,15	0,2349	276	11,27	0,1943	0,816	77,7	8,52	0,0593	1,021	3,28	0,799
267,15	0,2519	268	11,36	0,1895	0,770	77,0	8,63	0,0588	0,962	3,22	0,800
269,15	0,2697	260	11,46	0,1846	0,728	76,3	8,74	0,0583	0,906	3,17	0,804

Продолжение табл. 34

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
271,15	0,2885	251	11,56	0,1790	0,689	75,6	8,87	0,0577	0,857	3,10	0,805
273,15	0,3083	243	11,65	0,1741	0,652	74,9	8,99	0,0572	0,809	3,04	0,806
275,15	0,3291	236	11,75	0,1700	0,618	74,3	9,12	0,0568	0,766	2,99	0,808
277,15	0,3509	229	11,85	0,1654	0,586	73,6	9,20	0,0563	0,721	2,93	0,811
279,15	0,3737	222	11,95	0,1613	0,557	73,0	9,28	0,0558	0,687	2,89	0,814
281,15	0,3977	215	12,05	0,1570	0,529	72,3	9,51	0,0553	0,651	2,84	0,815
283,15	0,4228	209	12,15	0,1533	0,502	71,7	9,64	0,0549	0,617	2,79	0,816
285,15	0,4491	203	12,25	0,1502	0,478	71,1	9,76	0,0545	0,584	2,75	0,818
287,15	0,4766	197,5	12,35	0,1464	0,455	70,5	9,89	0,0541	0,555	2,71	0,820
289,15	0,5053	192,1	12,46	0,1431	0,434	69,9	10,02	0,0537	0,526	2,67	0,825
291,15	0,5352	187,0	12,56	0,1400	0,413	69,4	10,15	0,0534	0,499	2,62	0,828
293,15	0,5665	182,0	12,67	0,1370	0,395	68,8	10,28	0,0529	0,474	2,59	0,833
295,15	0,5991	177,3	12,77	0,1342	0,376	68,2	10,41	0,0525	0,450	2,56	0,836
297,15	0,6331	172,7	12,88	0,1311	0,359	67,6	10,55	0,0521	0,429	2,52	0,837
299,15	0,6685	168,2	12,98	0,1287	0,343	67,0	10,69	0,0517	0,407	2,49	0,843
301,15	0,7053	163,8	13,10	0,1261	0,329	66,4	10,82	0,0512	0,388	2,46	0,848
303,15	0,7436	159,5	13,21	0,1235	0,314	65,8	10,96	0,0507	0,368	2,44	0,853
305,15	0,7834	155,2	13,32	0,1208	0,301	65,1	11,10	0,0502	0,350	2,41	0,860
307,15	0,8248	151,1	13,44	0,1183	0,288	64,6	11,25	0,0498	0,334	2,38	0,862
309,15	0,8678	147,2	13,55	0,1160	0,276	64,0	11,39	0,0494	0,318	2,35	0,868
311,15	0,9124	141,3	13,67	0,1120	0,264	63,5	11,53	0,0490	0,302	2,29	0,874

Продолжение табл. 34

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
313,15	0,8586	139,6	13,79	0,1114	0,254	63,0	11,67	0,0487	0,287	2,28	0,885
315,15	1,007	136,1	13,91	0,1093	0,243	62,6	11,81	0,0484	0,273	2,26	0,890
317,15	1,056	132,8	14,04	0,1074	0,234	62,2	11,97	0,0481	0,260	2,23	0,900
319,15	1,108	129,6	14,16	0,1055	0,224	61,8	12,12	0,0478	0,247	2,21	0,907
321,15	1,161	126,6	14,30	0,1037	0,215	61,4	12,29	0,0476	0,236	2,18	0,911
323,15	1,216	123,6	14,43	0,1020	0,207	60,8	13,48	0,0470	0,225	2,17	0,920
325,15	1,273	120,8	14,57	0,1004	0,1991	60,2	13,67	0,0463	0,211	2,17	0,930
327,15	1,332	117,9	14,71	0,0987	0,1913	59,6	12,88	0,0456	0,204	2,16	0,938
329,15	1,393	115,1	14,86	0,0971	0,1741	59,0	13,09	0,0449	0,1942	2,16	0,946
331,15	1,456	112,3	15,01	0,0955	0,1711	58,5	13,31	0,0443	0,1850	2,16	0,957
333,15	1,522	109,7	15,16	0,0940	0,1704	57,9	13,52	0,0435	0,1759	2,16	0,969
335,15	1,589	107,1	15,32	0,0924	0,1641	57,4	13,72	0,0430	0,1670	2,15	0,983
337,15	1,658	104,5	15,48	0,0919	0,1580	56,9	13,90	0,0424	0,1582	2,15	0,999
339,15	1,730	102,0	15,65	0,0897	0,1522	56,4	14,04	0,0417	0,1491	2,15	1,021
341,15	1,804	99,6	15,82	0,0884	0,1466	55,9	14,16	0,0409	0,1401	2,15	1,046
343,15	1,880	97,2	16,00	0,0871	0,1412	55,4	14,25	0,0405	0,1311	2,15	1,077
345,15	1,959	94,9	16,19	0,0858	0,1316	54,8	14,36	0,0397	0,1228	2,16	1,108
347,15	2,040	92,6	16,39	0,0846	0,1312	54,3	14,56	0,0389	0,1154	2,17	1,137
349,15	2,123	90,3	16,60	0,0834	0,1265	53,7	14,98	0,0382	0,1098	2,18	1,152
351,15	2,210	88,0	16,82	0,0821	0,1220	53,2	15,38	0,0378	0,1039	2,18	1,174
353,15	2,298	85,6	17,06	0,0808	0,1177	52,6	15,92	0,0367	0,0989	2,20	1,190

Продолжение табл. 34

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
355,15	2,390	83,1	17,31	0,0794	0,1135	52,0	16,38	0,0355	0,0932	2,24	1,218
357,15	2,484	80,6	17,57	0,0780	0,1095	51,4	16,77	0,0344	0,0871	2,28	1,257
359,15	2,580	77,9	17,85	0,0764	0,1056	50,8	17,20	0,0329	0,0802	2,32	1,303
361,15	2,680	75,2	18,16	0,0748	0,1019	50,1	17,63	0,0324	0,0750	2,34	1,359
363,15	2,782	72,5	18,48	0,0732	0,0983	49,4	18,06	0,0315	0,0689	2,37	1,427
365,15	2,888	69,8	18,83	0,0716	0,0948	48,8	18,68	0,0298	0,0632	2,40	1,500
367,15	2,996	67,1	19,22	0,0700	0,0914	48,3	19,28	0,0283	0,0574	2,47	1,592
369,15	3,108	64,3	19,69	0,0683	0,0883	47,6	19,52	0,0270	0,0505	2,53	1,749
371,15	3,224	61,1	20,6	0,0662	0,0869	46,6	19,94	0,0257	0,0440	2,58	1,975
373,15	3,340	58,6	21,4	0,0650	0,0848	45,8	20,5	0,0246	0,0378	2,64	2,24
375,15	3,461	56,3	21,9	0,0640	0,0812	44,9	21,0	0,0213	0,0314	3,01	2,59
377,15	3,586	53,6	23,0	0,0627	0,0792	43,9	21,5	0,0187	0,0251	3,35	3,16
379,15	3,714	51,2	24,2	0,0620	0,0770	42,9	22,2	0,0166	0,0191	3,74	3,67
381,15	3,845	48,3	25,7	0,0611	0,0749	41,7	23,2	0,0129	0,0134	4,74	5,59
383,15	3,980	44,6	27,9	0,0601	0,0733	38,8	24,8	—	0,0100	—	7,33

Переносные свойства фреона-12 в однофазной области

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
	$T=243{,}15$ K			
0,1	10,16	7,26	2,08	0,783
	$T=253{,}15$ K			
0,1	10,60	7,76	2,29	0,778
	$T=263{,}15$ K			
0,1	11,05	8,26	2,50	0,774
	$T=273{,}15$ K			
0,1	11,46	8,76	2,72	0,770
	$T=283{,}15$ K			
0,1	11,88	9,26	2,94	0,768
	$T=293{,}15$ K			
0,1	12,30	9,75	3,17	0,767
0,5	12,65	10,16	0,552	0,824
	$T=303{,}15$ K			
0,1	12,72	10,26	3,40	0,766
0,5	13,12	10,63	0,605	0,817
	$T=313{,}15$ K			
0,1	13,14	10,76	3,64	0,755
0,5	13,44	11,06	0,655	0,808
	$T=323{,}15$ K			
0,1	13,55	11,26	3,89	0,764
0,5	13,86	11,56	0,710	0,801
1,0	14,29	12,13	0,302	0,874
	$T=333{,}15$ K			
0,1	13,96	11,76	4,20	0,763
0,5	14,25	12,06	0,766	0,794
1,0	14,67	12,56	0,335	0,855
	$T=343{,}15$ K			
0,1	14,37	12,26	4,39	0,762
0,5	14,65	12,56	0,821	0,789
1,0	15,04	13,03	0,367	0,838
	$T=353{,}15$ K			
0,1	14,76	12,76	4,66	0,762
0,5	15,04	13,06	0,873	0,785
1,0	15,41	13,46	0,398	0,829
2,0	16,69	14,79	0,139	1,045
	$T=363{,}15$ K			
0,1	15,17	13,26	4,92	0,762
0,5	15,43	13,56	0,935	0,782
1,0	15,78	13,96	0,430	0,817
2,0	16,94	15,13	0,165	0,972
	$T=373{,}15$ K			
0,1	15,57	13,76	5,20	0,762
0,5	15,82	14,03	0,991	0,780
1,0	16,16	14,43	0,462	0,810
2,0	17,27	15,53	0,187	0,929
3,0	19,61	17,53	0,0735	1,403
	$T=383{,}15$ K			
0,1	15,96	14,26	5,48	0,761
0,5	16,21	14,46	1,043	0,784
1,0	16,52	14,86	0,492	0,806
2,0	17,63	15,93	0,208	0,901
3,0	19,48	17,66	0,0992	1,159
	$T=393{,}15$ K			
0,1	16,35	14,76	5,76	0,761
0,5	16,59	14,96	1,105	0,780
1,0	16,90	15,36	0,525	0,800
2,0	17,79	16,33	0,228	0,873
3,0	19,52	17,86	0,1204	1,046
4,0	24,1	20,9	0,0513	1,775
5,0	49,4	34,7	0,0141	2,77
6,0	59,9	44,2	0,0307	2,31
7,0	67,7	46,6	0,0352	2,14
	$T=403{,}15$ K			
0,1	16,74	15,26	6,05	0,761
0,5	16,97	15,46	1,167	0,777
1,0	17,26	15,86	0,558	0,793
2,0	18,12	16,76	0,247	0,856

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
3,0	19,63	18,09	0,1371	0,983
4,0	22,8	20,4	0,0743	1,324
5,0	35,7	27,5	0,0286	3,13
6,0	51,3	37,4	0,0227	3,26
7,0	59,7	41,3	0,0311	2,35
8,0	67,4	45,2	0,0360	2,14
9,0	73,2	47,2	0,0392	2,08
		$T=413{,}15$ K		
0,1	17,12	15,76	6,35	0,760
0,5	17,35	15,96	1,230	0,775
1,0	17,63	16,33	0,591	0,790
2,0	18,42	17,23	0,267	0,840
3,0	19,79	18,43	0,1540	0,938
4,0	22,4	20,3	0,0932	1,152
5,0	28,5	24,1	0,0514	1,744
6,0	41,2	31,9	0,0268	3,04
7,0	52,5	36,7	0,0274	2,78
8,0	59,8	41,6	0,0341	2,23
9,0	65,8	44,1	0,0383	2,07
10,0	69,6	46,5	0,0425	1,906
		$T=423{,}15$ K		
0,1	17,41	16,26	6,66	0,760
0,5	17,72	16,46	1,293	0,773
1,0	17,99	16,76	0,621	0,790
2,0	18,76	17,63	0,285	0,832
3,0	19,98	18,79	0,1695	0,907
4,0	22,0	20,5	0,1092	1,047
5,0	26,6	23,2	0,0694	1,383
6,0	35,8	27,9	0,0423	2,10
7,0	45,1	33,1	0,0300	2,64
8,0	53,0	38,2	0,0331	2,34
9,0	59,7	41,0	0,0377	2,12
10,0	63,8	43,9	0,0404	1,970
		$T=433{,}15$ K		
0,1	17,88	16,76	6,97	0,7600
0,5	18,09	16,96	1,357	0,771
1,0	18,36	17,26	0,655	0,786
2,0	19,06	18,06	0,304	0,823
3,0	20,2	19,13	0,1852	0,881
4,0	22,0	20,7	0,1238	0,985
5,0	25,1	22,8	0,0833	1,186
6,0	30,9	26,4	0,0570	1,545
7,0	39,9	30,8	0,0416	2,04
8,0	47,0	35,3	0,0363	2,21
9,0	52,9	38,5	0,0375	2,09
10,0	58,4	41,6	0,0403	1,944
12,0	68,1	45,5	0,0451	1,838

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=443{,}15$ K		
0,1	18,25	17,26	7,30	0,759
0,5	18,45	17,45	1,423	0,769
1,0	18,83	17,76	0,691	0,787
2,0	19,45	18,53	0,323	0,817
3,0	20,4	19,53	0,1993	0,865
4,0	22,0	20,9	0,1359	0,950
5,0	25,2	22,6	0,0964	1,119
6,0	21,0	25,4	0,0701	1,411
7,0	35,6	29,3	0,0530	1,634
8,0	42,9	33,1	0,0443	1,918
9,0	49,9	36,3	0,0412	2,04
10,0	54,3	39,5	0,0428	1,936
12,0	62,7	43,7	0,0452	1,793
		$T=453{,}15$ K		
0,1	18,63	17,76	7,62	0,759
0,5	18,84	17,96	1,490	0,769
1,0	18,88	18,26	0,725	0,771
2,0	19,48	18,96	0,342	0,799
3,0	20,7	19,93	0,213	0,851
4,0	22,1	21,1	0,148	0,920
5,0	22,4	22,8	0,109	0,944
6,0	28,1	25,0	0,0814	1,199
7,0	35,1	28,1	0,0640	1,492
8,0	37,2	31,3	0,0526	1,564
9,0	42,6	34,4	0,0465	1,707
10,0	47,9	37,6	0,0453	1,751
12,0	57,3	42,0	0,0460	1,730
14,0	65,2	45,3	0,0494	1,681
		$T=463{,}15$ K		
0,1	18,89	18,26	7,950	0,757
0,5	19,18	18,46	1,559	0,765
1,0	19,42	18,76	0,762	0,775
2,0	20,0	19,43	0,360	0,803
3,0	20,9	20,3	0,227	0,838
4,0	22,3	21,5	0,1591	0,895
5,0	24,3	22,9	0,1198	0,981
6,0	27,3	24,8	0,0923	1,110
7,0	31,6	27,4	0,0742	1,268
8,0	36,5	30,1	0,0614	1,450
9,0	41,6	33,0	0,0545	1,595
10,0	46,2	35,9	0,0505	1,665
12,0	54,2	40,5	0,0481	1,687
14,0	62,3	43,9	0,0506	1,678

Продолжение табл. 35

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr	p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
				T=473,15 K					
0,1	19,36	18,76	8,29	0,757	6,0	26,7	24,8	0,1020	1,041
0,5	19,54	18,96	1,628	0,765	7,0	30,2	27,0	0,0836	1,161
1,0	19,77	19,26	0,797	0,773	8,0	34,3	29,2	0,0694	1,310
2,0	20,3	19,83	0,379	0,797	9,0	38,1	31,8	0,0613	1,437
3,0	21,2	20,7	0,241	0,830	10,0	43,3	34,4	0,0569	1,530
4,0	22,5	21,8	0,1713	0,879	12,0	50,9	39,1	0,0522	1,601
5,0	24,2	23,0	0,1295	0,949	14,0	58,1	42,6	0,0511	1,616

ГЛАВА 4

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-13

4.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

В современных справочных изданиях [0.5, 0.7, 0.20, 0.23, 0.37, 0.39 и др.] приводится информация о термодинамических свойствах фреона-13 на кривой насыщения и в области перегретого пара. Однако в последние годы проведены обширные экспериментальные исследования фреона-13 как в газовой, так и в жидкой фазах. Поэтому таблицы термодинамических свойств могут быть расширены и уточнены.

Опытные данные в однофазной области. Из табл. 36 и рис. 35 видно, что экспериментальные данные о p, v, T-зависимости охватывают сравнительно широкую область изменения независимых переменных уравнения состояния (τ=0,32—1,57; ω=0,0—3,2) и включают около 1000 точек в интервале температуры от 98 до 473 К при давлении до 47 МПа. Кроме того, в работе Д. С. Циклиса с соавторами [4.22] определена сжимаемость фреона-13 при сверхвысоких давлениях (до 800 МПа и ω=3,28).

Результаты сравнительного анализа данных Риделя [4.51], Олбрайта, Мартина [4.36] и Михельса [3.63] сообщаются не только в последующих экспериментальных работах [3.55, 4.25, 4.47], но и в обобщающих исследованиях [0.46, 0.51]. Отмечены относительно большие и систематические отклонения данных [4.51], которые могут быть обусловлены примесями и недостаточно точным измерением давления (0,3—0,5 %).

Преобладающая часть опытных p, v, T-данных при повышенных давлениях получена пьезометрическими методами на фреоне высокой чистоты. Так, в работе Амстердамской лабо-

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-13 в однофазной области

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1941	Ридель	ϱ	194—333	0,1—1,7	г	66	[4 51]
1952	Олбрайт, Мартин	ϱ	215—403	0,3—14	г	87	[4 36]
1956	Вандеркой, Девриз	c_v	300	0,1	г	1	[4 63]
1966	Михельс, Вассенаар Уолкерс, Принс, Клундерт	ϱ	273—423	1,5—47	г	280	[3 63]
1968	Хайяр, Маквуд	B_1	313—403	0,1	г	4	[3 49]
1970	Саттер, Коул	B_1	323—405	до 1,0	г	3	[4 60]
1971	Хейворт, Саттен	B_1	298—328	0,1	г	3	[4 42]
1973	Семенова, Циммерман, Циклис	ϱ	323—473	200—800	г	48	[4 22]
1974	Егоров, Лавренченко	δ_T	300—303	н д	г	3	[4 9]
1974	Груздев, Шумская	c_p	300—453	0,3—2,0	г	48	[2 10, 3 8]
1974	Кубота, Танака, Макита	ϱ	298—348	0,1—3,0	г	64	[3.55]
1975	Огучи, Танишита, Ватанабе	ϱ	282—372	1,6—10	г, ж	204	[4.47]
1976	Рассказов, Петров, Ушмайкин	ϱ	243—473	0,5—17	г	139	[4.18, 4.25]
		ϱ	238—363	0,8—27	ж, г	100	
1976	Рассказов, Утенков	δ_T	223—373	0,3—7,0	г	123	[4.20, 4.24]
1979	Геллер, Поричанский, Светличный, Элькин	ϱ	98—296	5—50	ж	68	[4.6, 4.35]
1980	Петров, Рассказов, Саньков	ϱ	273—423	1,6—20	г	37	[4.17]

ратории [3.63] измерения выполнены по методу пьезометра переменного объема на образце с массовой долей фреона-13 99,95 %. Погрешность опытных значений p, v во всей области измерений (273—423 К; 1,5—47 МПа) авторы [3.63] оценивают в 0,05 %. Однако, судя по результатам последующих экспериментальных исследований [3.55, 4.18, 4.47], эта оценка справедлива для области, удаленной от кривой насыщения.

В работе Огучи с соавторами [4.47] особое внимание уделялось как раз области, примыкающей к кривой насыщения. Опыты проведены на установке, реализующей метод пьезометра постоянного объема с безбалластным сферическим пьезометром. Массовая доля фреона-13 в исследуемом образце составила 99,93 %. Давление измеряли поршневым манометром, калиброванным по давлению насыщенного пара чистой двуокиси углерода при 0° С. Дифманометр мембранного типа имел чувствительность 0,4 кПа, а полная погрешность определения $p_{оп}$ оценивается в 0,015—0,03 % (бо́льшее значение относится к

наименьшему давлению). Вероятная неточность измерения температуры с помощью образцового платинового термометра сопротивления не превышала 0,015 К. Погрешность определения v авторы оценивают в (0,01—0,18) %. Измерения p, v, T-зависимости проведены на 15 изохорах в интервале $\omega=0{,}17—1{,}79$,

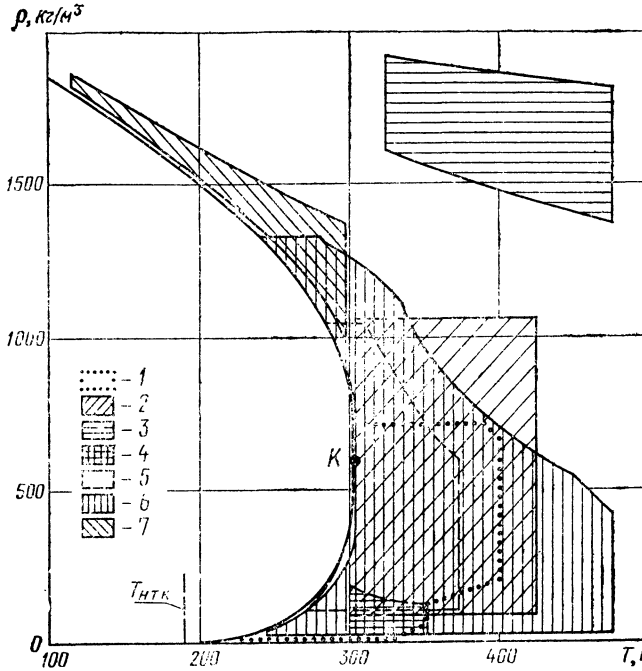


Рис. 35. Области экспериментального исследования термических свойств фреона-13:

1 — **Олбрайт, Мартин [4.36]; *2* — Михельс и др. [3.63]; *3* — Семенова, Циммерман, Циклис [4.22]; *4* — Кубота и др. [3.55]; *5* — Огучи и др. [4.47]; *6* — Рассказов, Петров, Ушмайкин [4.17, 4.25]; *7* — Элькин и др. [4.6]**

$\tau=0{,}90—1{,}23$. Результаты согласуются с опытными данными Амстердамской лаборатории [3.63] в пределах 0,25 %, за исключением области вблизи кривой насыщения, где расхождение больше.

Другая группа японских исследователей [3.55] измерила сжимаемость фреона-13 в газовой фазе методом Барнетта. Их опытные данные на изотермах 313, 323 и 348 К ($p_{оп}\leqslant 3$ МПа) хорошо согласуются с данными [3.63], однако при 298 К различие по значению z достигает 4 %.

В работах МЭИ [4.18, 4.25] для изучения термических свойств фреона-13 в газовой и жидкой фазах в интервале (238—473) К при $p\leqslant 27$ МПа применены две экспериментальные установки. В одной установке реализован новый вариант метода Барнетта, и она использована для определения сжимаемости газовой фазы, в другой — метод безбалластного пьезо-

метра постоянного объема. При исследовании плотности в жидкой фазе применяли разделительную систему мембранного типа чувствительностью 25 мм вод. ст., а при изучении сжимаемости газовой фазы — ртутный нуль-прибор чувствительностью 2 мм вод. ст. Давление измеряли грузопоршневыми манометрами МП-6, МП-60 и МП-600 класса 0,05, а температуру — образцовыми платиновыми термометрами сопротивления в комплекте с потенциометром Р-348 класса 0,002 и образцовой катушкой сопротивления. Для определения количества вещества в пьезометре применяли отделяющиеся емкости, которые взвешивали по методу Д. И. Менделеева до и после вымораживания вещества на аналитических весах ВЛА — 200 М чувствительностью 0,1 мг. Масса вещества составляла 4—50 г и погрешность ее определения не превышала 0,01 %. Максимальная погрешность $\varrho_{оп}$ с учетом ошибок отнесения оценивается в 0,12 % для газовой фазы (за исключением критической области) и в 0,07 % для плотного газа и жидкости. В рассматриваемых работах исследовали образец с массовой долей фреона-13 99,85 %. Для выявления возможных систематических погрешностей области исследования на различных установках перекрыты. Установлено, что расхождения значений ϱ находятся в пределах погрешности экспериментов.

Ю. Г. Элькин с соавторами [4.6, 4.35] измерили плотность жидкого фреона-13 в интервале 98—296 К при давлении 5—50 МПа методом гидростатического взвешивания на экспериментальной установке, подобной применявшейся в ГИАП. Авторы сообщают, что массовая доля фреона-13 в исследуемом образце составляла 99,94 %, а погрешность полученных опытных данных не превышает 0,1 %. По нашему мнению, действительная ошибка больше, так как в расчетной формуле учтены не все характерные поправки метода.

В работе Е. К. Петрова с соавторами [4.17] основной задачей было исследование термических свойств газовых смесей фреонов-13 и 23. Но измерения, выполненные методом Барнетта, проведены в полном концентрационном интервале и для чистого фреона-13 получены новые опытные данные о сжимаемости в интервале $T = (273—423)$ К и $p \leqslant 20$ МПа. Результаты измерений достаточно хорошо согласуются с данными, полученными ранее в МЭИ [4.18, 4.25].

На рис. 36 представлены имеющиеся экспериментальные данные о втором и третьем вириальных коэффициентах фреона-13. Там же приведены результаты наших расчетов по рекомендуемому уравнению состояния (см. разд. 4.2) и двум обобщенным уравнениям $B_1(\tau)$, предложенным в [4.15, 4.59].

Необходимые для расчета B_1 по обобщенным уравнениям (1.1) и (1.2) значения $B_1^{кр}$ и $\tau_Б$ были оценены по корреляциям (1.4) и (1.5) с параметрами, указанными в табл. 2. Из рис. 35 видно, что расчетные зависимости $B_1(T)$ вполне удовлетворительно согласуются между собой и со значительной частью экс-

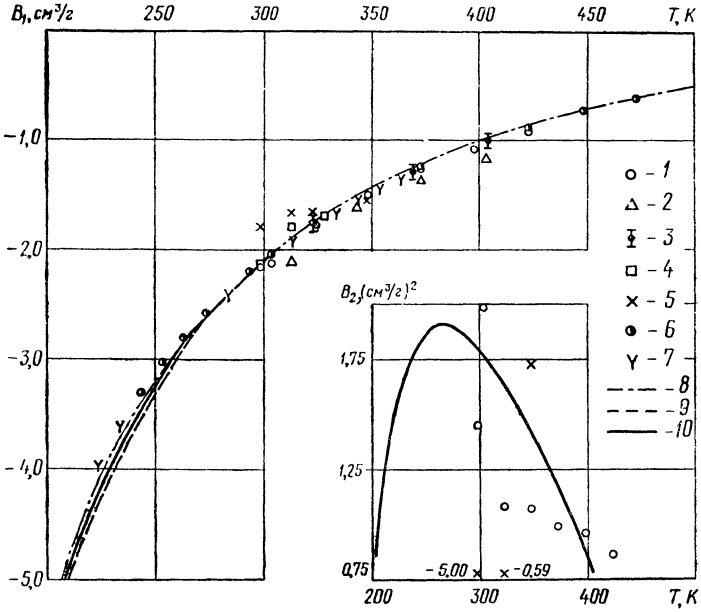


Рис. 36. Второй и третий вириальные коэффициенты фреона-13:
опытные данные: *1* — Михельса и др. [3.63]; *2* — Хайяра, Маквуда [3.49]; *3* — Саттера, Коула [4.60]; *4* — Хейворта, Саттена [4.42]; *5* — Куботы и др. [3.55]; *6* — Ушмайкина [4.25]; *7* — Утенкова [4.24]; расчетные данные: *8* — по уравнению (1.1); *9* — по уравнению (1.2); *10* — по рекомендуемому уравнению состояния

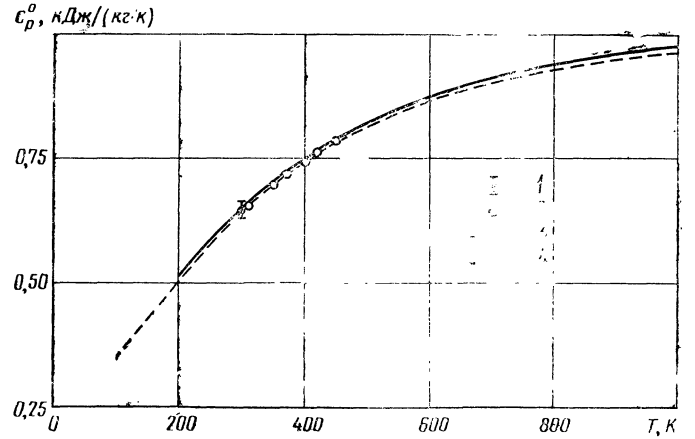


Рис. 37. Изобарная теплоемкость газообразного фреона-13 при низких давлениях:
опытные данные: *1* — Вандеркоя, Девриза [4.63]; *2* — Груздева, Шумской [3.8]; расчетные данные: *3* — [0.29, 2.44]; *4* — [0.42]

периментальных данных. Изобарную теплоемкость газообразного фреона-13 измеряли в интервале (300—453) К при давлении до 2 МПа (см. табл. 36). В. А. Груздев, А. И. Шумская [2.10, 3.8], выполнившие измерения c_p с помощью капиллярного калориметра на образце фреона высокой чистоты, оценивают погрешность опытных данных в (0,4—0,7) % и приводят таблицу сглаженных величин, в том числе и экстраполированные на нулевое давление значения c_p^0. Их данные о c_p^0 примерно на

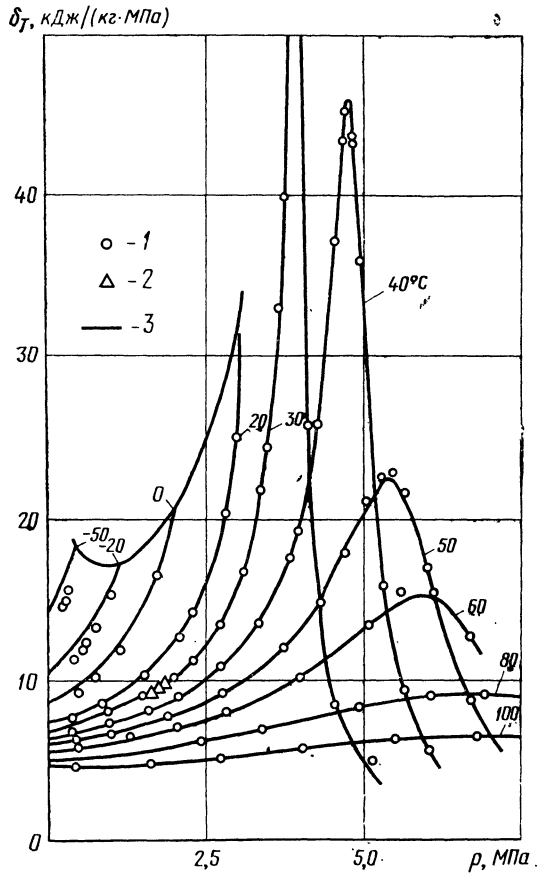


Рис. 38. Изотермический дроссель-эффект газообразного фреона-13 при повышенных давлениях:
опытные данные: *1* — Рассказова, Утенкова [4.20]; *2* — [4.9]; расчетные данные: *3* — по уравнению состояния

0,7 % ниже рассчитанных Баро [0.42] и, как видно из рис. 37, занимают промежуточное положение между вычисленными по спектрам в приближении к модели ЖРГО [0.29, 0.43, 0.45, 2.44] и с поправкой на ангармоничность колебаний [0.42].

Литературные данные о теплоемкости, энтальпии и энтропии в идеально газовом состоянии сравнены в табл. 37.

Изотермический дроссель — эффект измеряли в двух работах (см. табл. 36). Д. С. Рассказов, В. Ф. Утенков [4.20, 4.24]

Таблица 37

Значения термодинамических функций фреона-13 в идеально газовом состоянии по данным разных авторов

T, К	c_p^0, Дж/(моль·К)			$H_T^0-H_0^0$, Дж/моль			s_T^0, Дж/(моль·К)		
	[0.42]	[0.43]	[0.29]	[0.28]	[0.43]	[0.29]	[0.28]	[0.43]	[0.29]
100	—	36,81	36,878	—	3389	3393	—	230,99	231,023
150	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	53,35	53,05	53,078	—	7866	7873	—	261,35	261,419
250	60,96	—	—	—	—	—	—	—	—
298,16	—	66,88	66,886	13780	13782	13791	285,22	285,24	285,309
300	67,59	67,11	67,111	—	13908	13914	—	285,65	285,724
400	78,17	77,53	77,528	21160	21167	21174	306,44	306,46	306,536
500	85,78	85,02	85,013	29320	29313	29322	324,61	324,62	324,687
600	91,22	90,33	90,329	38105	38095	38104	340,61	340,61	340,684
700	95,14	94,13	94,132	47340	47329	47338	354,85	354,84	354,910
800	98,02	96,90	96,898	56905	56890	56896	367,61	367,60	367,670
900	100,20	98,95	98,952	66705	66689	66694	379,15	379,14	379,207
1000	101,89	100,51	100,507	76680	76668	76670	389,65	389,65	389,717
1300	—	103,40	103,404	107335	107299	107307	416,45	416,42	416,494
1500	—	104,51	104,513	128140	128097	128106	431,33	431,31	431,374

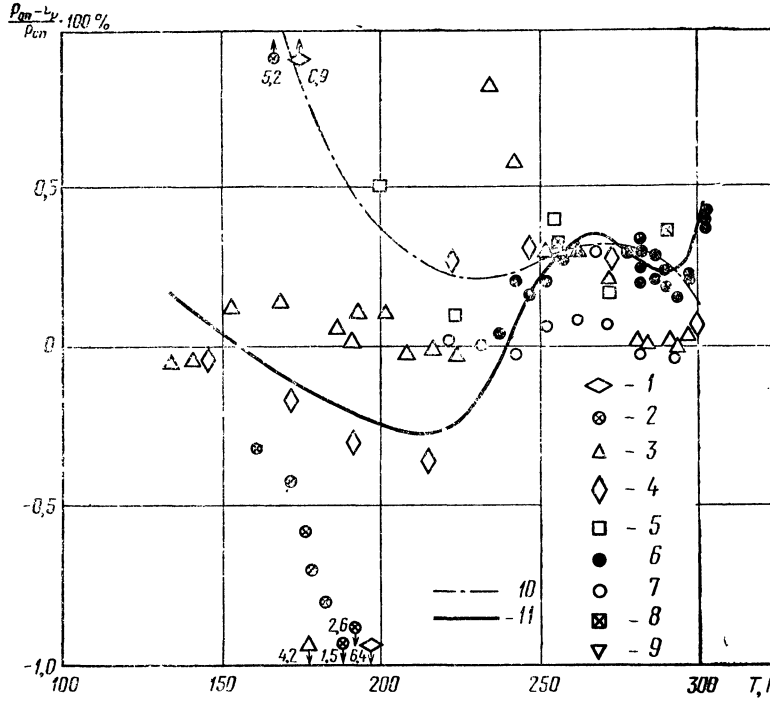


Рис. 39. Отклонение значений давления насыщенного пара фреона-13 от принятых в настоящей работе:

опытные данные: *1* — Руффа, Кайма [4.54]; *2* — Торнтона и др. [4.62]; *3* — Риделя [4.51]; *4* — Олбрайта, Мартина [4.36]; *5* — Штейна, Прюста [4.58]; *6* — Огучи и др. [4.47]; *7* — Ушмайкина [4.18, 4.25]; *8* — Моллерупа, Фреденслунда [4.46]; *9* — Прюста, Штейна [4.49]; расчетные данные: *10* — по уравнению (0.19); *11* — [4.47]

выполнили подробные измерения δ_T в газовой фазе методом проточного компенсационного калориметра с вентильным дроссельным устройством. В опытах использовали образец с массовой долей фреона-13 99,85 %, влаги — 0,00045 %, воздуха — 0,07 %, фреона-14 — 0,08 %. По оценке авторов погрешность опытных данных составляет 0,6 % (без учета ошибок отнесения). Однако на пиках δ_T и вблизи кривой насыщения ошибки отнесения становятся большими, поэтому расхождения между опытными и рассчитанными по p, v, T-данным значениями δ_T могут достигать 6 % и более. Из рис. 38 видно, что при низкой температуре расчетные изотермы δ_T расположены выше опытных. Максимальное расхождение (до 10 %) наблюдается при 223,15 К. Аналогичные результаты получаются также при сравнении измеренных значений δ_T с найденными по таблицам [0.20].

В сводную табл. 36 не включена информация об акустических исследованиях В. А. Редкозубова и Г. И. Фирсова, так

как измеренные в этих работах на изотермах 202—523 К значения скорости звука относятся к дисперсионной области [4.26].

Опытные данные на линии равновесия фаз. Термодинамические свойства на линиях равновесия жидкость — пар изучали многие авторы (табл. 38). Давление насыщенного пара p_s из-

Таблица 38

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-13 на линиях равновесия жидкость — пар

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1931	Руфф, Кайм	p_s	135—198	ж—г	3	[4.54]
		ϱ	143	ж	1	[4.54]
1933	Торнтон, Бург, Шлезингер	p_s	161—192	ж—г	9	[4.62]
1941	Ридель	p_s	134—298	ж—г	22	[4.51]
		ϱ	155—298	ж; г	24	[4.51]
1941	Ридель	c_s	185—276	ж	8	[4.52]
1952	Олбрайт, Мартин	p_s	145—300	ж—г	7	[4.36]
		ϱ	131—299	ж	11	[4.36]
1969	Григуль, Штрауб	σ	278—300,6	ж—г	26	[4.40, 4.50]
1971	Штейн, Прюст	p_s	200—273	ж—г	4	[4.57]
1973	Хайде	σ	213—283	ж—г	8	[2.46]
1974	Азиз	w	93—189	ж	уравнение	[1.37]
1975	Муратов, Скрипов	σ	273—301	ж—г	7	[4.12]
1975	Огучи, Танишита, Ватанабе	p_s	238—301,8	ж—г	28	[4.47]
		ϱ	264—300	ж; г	10	[4.47]
1976	Ушмайкин	p_s	223—302	ж—г	9	[4.18, 4.25]
1976	Моллеруп, Фрединслунд	p_s	255,290	ж—г	2	[4.46]
1977	Ходеева, Губочкина	ϱ	300,9—301,6	ж—г	17	[4.27]
1977	Ратьен, Штрауб	σ	92—302	ж, г	37	[0.55]
1978	Геллер, Поричанский, Светличный, Элькин	ϱ	130—290	ж	17	[4.35, 5.10]
1978	Соловьев, Шавандрин, Столяров	ϱ	167—302	ж, г	48	[4.23, 4.33]
		c_T; c_v	154—299	ж—г	29	[4.23]
1979	Прюст, Штейн	p_s	199,8	ж—г	1	[4.49]

меряли в девяти работах, опытные данные охватывают интервал от 134 К до $T_{кр}=(301{,}90\pm0{,}1)$ К. Согласование экспериментальных данных не очень хорошее. Даже, если исключить неточные результаты ранних работ [4.54, 4.62] и несколько явно выпадающих точек [4.51], то и тогда средние отклонения от табличных значений [0.20] будут на уровне ±0,3 % (рис. 39). Обобщенное уравнение (0.19) с параметрами, указанными в табл. 2, хорошо приближает опытные данные 70-х годов при $T>200$ К, но «уходит» от измерений [4.36] и [4.51] при низкой

температуре. Более подходящим является уравнение, предложенное в работе [4.47]:

$$\lg p_s = \sum_{j=-2}^{3} B_{j+3}\Theta^j + B_7\Theta^6 + B_8 \lg \Theta, \qquad (4.1)$$

$B_1 = -0{,}14197971 \cdot 10^3$; $B_2 = 0{,}82537880 \cdot 10^3$; $B_3 = -0{,}17174665 \times 10^3$; $B_4 = -0{,}60167546 \cdot 10^3$; $B_5 = 0{,}93301959 \cdot 10^2$; $B_6 = -0{,}81039234 \cdot 10^1$; $B_7 = 0{,}78109411 \cdot 10^{-2}$; $B_8 = 0{,}22895548 \cdot 10^4$; $\Theta = T_{68/100}$; T — температура по МПТШ-68; а p_s выражено в кгс/см^2.

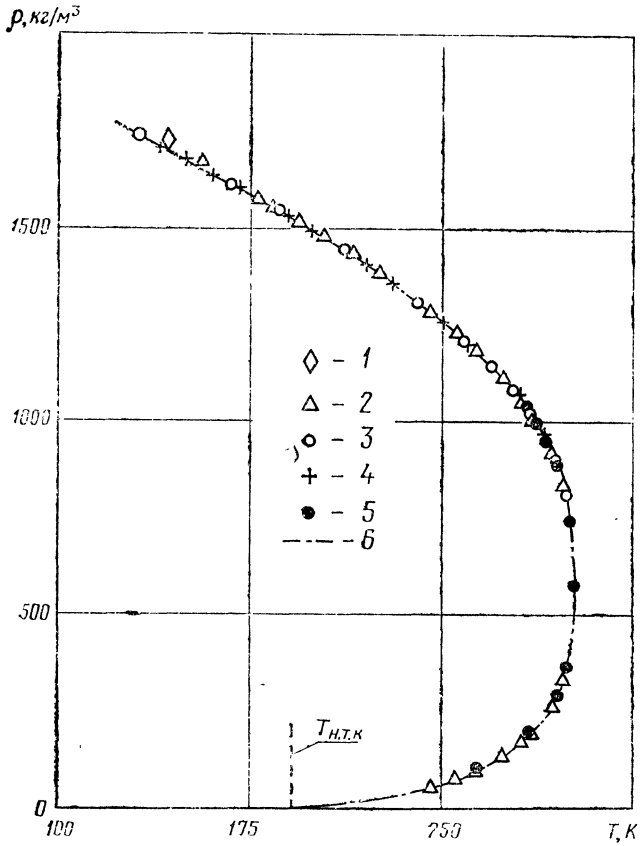


Рис. 40. Ортобарические плотности фреона-13:
опытные данные: *1* — Руффа, Кайма [4.54]; *2* — Риделя [4.51]; *3* — Олбрайта, Мартина [4.36]; *4* — Элькина и др. [5.10]; *5* — Огучи и др. [4.47]; расчетные данные: *6* — [0.20]

Уравнение (4.1) достаточно хорошо «интегрирует» экспериментальные данные [4.25, 4.36, 4.46, 4.47, 4.49, 4.51, 4.57] и рекомендуется для расчетов по МПТШ-68 во всем изученном интервале температур.

Непосредственные измерения плотности на кривой насыщения фреона-13 выполнены в нескольких работах, но в табл. 38 и на рис. 40 представлены также данные кос-

венных определений ρ' и ρ''. Для определения ρ' и ρ'' Ридель [4.51] применял пикнометрический метод и метод Юнга. Максимальная погрешность его опытных данных: $\delta\rho' \approx \approx 0{,}3\ \%$, $\delta\rho'' \approx 1\ \%$. В работе Олбрайта, Мартина [4.36] измерения ρ' выполнены по методу гидростатического взвешивания, а плотность насыщенного пара ρ'' определена графической экстраполяцией опытных изохор из области перегретого пара на принятую p_s, T_s-зависимость. Огучи с соавторами [4.47] использовали аналогичный прием, но искомые значения ρ' и ρ'' находили аналитически из совместного решения уравнения изохор $p_v = f(T)$ и уравнения кривой упругости $p_s = f(T)$. Приведенные в [5.10] «экспериментальные» значения ρ' также получены из совместного решения эмпирического уравнения состояния жидкой фазы $p = f(\rho, T)$ и уравнения $p_s = f(T)$.

Интерполяционные уравнения $\rho' = f(T)$ составляли неоднократно, либо в форме (0.21) [0.46, 0.48, 0.57, 4.47], либо в форме (0.22) [0.20, 4.36, 4.51]. Рекомендуемые в работе [4.47] уравнения «интегрируют» опытные данные [4.36, 4.47, 4.51] и поэтому приведены ниже:

$$\rho' = \sum_{j=0}^{4} d_j (T_к - T)^{j/3}, \qquad (4.2)$$

$d_0 = 0{,}58241 \cdot 10^0$; $d_1 = 0{,}13621429 \cdot 10^0$; $d_2 = 0{,}17151624 \cdot 10^{-1}$; $d_3 = -0{,}234359 \cdot 10^{-2}$; $d_4 = 0{,}28679372 \cdot 10^{-3}$; $T_к = 301{,}88$ К;

$$\frac{1}{2}(\rho' + \rho'') = 0{,}62424 - 0{,}1450 \cdot 10^{-2} \cdot t, \qquad (4.3)$$

где ρ выражена в г/см³, T — в К, t — в °С.

Особый интерес представляют опытные данные Л. М. Шавандрина и С. А. Ли [4.33], полученные методом квазистатических термограмм на фреоне-13 высокой чистоты, массовая доля которого в основном продукте составляла 99,99 % с погрешностью, по оценке авторов, (0,03—0,15) %. Температуру фазового перехода определяли по шкале МПТШ-68 с погрешностью ±0,01 К. На жидкостной ветви кривой насыщения измерения проведены в интервале 168—301,97₃ К, а на паровой ветви — в интервале 256—301,97₄ К. Экспериментальные данные аппроксимированы уравнениями

$$\left.\begin{aligned} \rho' &= 0{,}5810 + 0{,}4980\varepsilon + 1{,}07347\varepsilon^{0{,}340} + 0{,}03530\varepsilon^{0{,}655}; \\ \rho'' &= 0{,}5810 + 0{,}4980\varepsilon - 1{,}07945\varepsilon^{0{,}340} - 0{,}02660\varepsilon^{0{,}655}, \end{aligned}\right\} \qquad (4.4)$$

где $\varepsilon = 1 - \tau$; $T_{кр} = 301{,}974$ К; ρ — [г/см³]. Среднее квадратическое отклонение рассчитанных значений ρ_s от экспериментальных составляет 0,08 %.

В табл. 39 приведены как экспериментально найденные параметры узловых точек на линии равновесия жидкость — пар, так и рекомендуемые в обобщающих исследованиях. Вариации

Таблица 39

Параметры узловых точек на линии равновесия жидкость — пар фреона-13

Год	Авторы	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\rho_{кр}$, кг/м³	$T_{н.т.к}$, К	T_0, К	Источник
1931	Руфф, Кайм	—	—	—	193	92±2	[4.54]
1933	Торнтон, Бург, Шлезингер	—	—	—	192	—	[4.63]
1941	Ридель	301,95	3,856	581	191,65	—	[4.51]
1952	Олбрайт, Мартин	302,01	3,867	578	—	—	[4.36]
1956	Планк Р.	302,0	3,860	581	191,65	92,2	[0.54]
1966	Ромбуш, Гизен	301,93	3,865	581,06	191,66	—	[0.57]
1966	Михельс и др.	302,30	3,911	579	—	—	[3.63]
1967	Циклис, Прохоров	301,80	—	580	—	—	[4.30]
1970	Филипс, Мэрфи	—	—	—	191,75	—	[4.48]
1971	Штрауб	301,86	3,889	—	—	—	[4.55]
1971	Перельштейн	301,99	3,870	553,2	191,7	—	[0.20]
1974	Кондо, Ватанабе, Танишита	301,96±0,06	3,870±0,01	579,43±1,77	—	—	[0.46]
1975	Огучи, Танишита, Ватанабе	301,88±0,02	3,873	582,4	191,69	—	[4.47]
1975	Муратов, Скрипов	301,92±0,03	—	—	—	—	[4.12]
1976	Перельштейн, Парушин	301,90	3,869	598,9	—	—	[4.15]
1977	Ходеева, Губочкина	301,54	—	578	—	—	[4.27]
1978	Соловьев, Шавандрин, Столяров	301,98	—	581,0	—	—	[4.23]
1977	Ратьен, Штрауб	301,928	—	—	—	—	[0.55]
1979	Кудчадкер и др.	302,0	3,870	—	191,74	—	[0.49]
1980	Стэвели, Лобо, Каладо	—	—	—	—	86,74	[4.56]
1980	Перельштейн, Парушин	301,90	3,868	598,9	191,56	93,15	[0.23, 0.24]

Примечание. Принятые в этой книге значения параметров указаны в табл. 3.

некоторых величин большие и отчасти объясняются различиями в температурных шкалах и разной чистотой исследуемого вещества.

Температурная зависимость поверхностного натяжения σ жидкого фреона-13 изучена практически во всем интервале от тройной точки до критической (см. табл. 38), однако числовые значения σ сообщаются только в работах [2.46, 4.12, 4.40]. Ратьен и Штрауб [0.55] приводят только экспериментальные значения капиллярной постоянной. Поэтому первоначально для расчета σ фреона-13 мы использовали обобщенное уравнение (0.56), преобразованное к виду (1.12), и приняли константу $10^3\sigma = 15{,}173$ Па·м [0.25]. Оказалось, однако, что при низкой температуре это уравнение выходит на ложный экстремум (рис. 41). По указанной причине окончательный вариант таб-

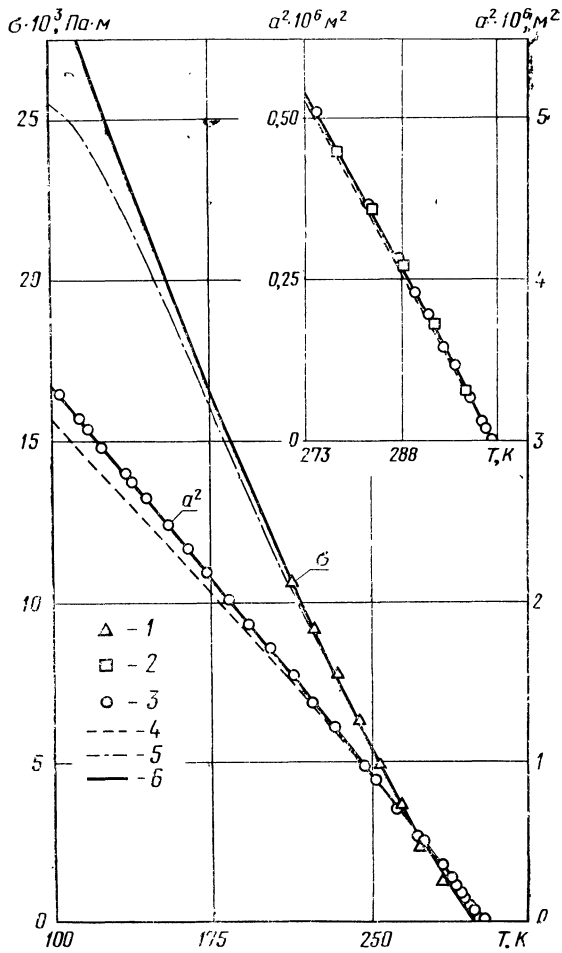


Рис. 41. **Капиллярная постоянная и поверхностное натяжение фреона-13:**

опытные данные: *1* — Хайде [2.46]; *2* — Муратова, Скрипова [4.12]; *3* — Ратьена, Штрауба [4.50, 0.55]; расчетные данные: *4* — по уравнению (1.14); *5* — по уравнению (1.12); *6* — по уравнениям (4.5) и (4.6)

лиц был рассчитан по уравнению, предложенному в работе [0.55]:

$$\sigma = \sigma_0 (1 - \tau)^{\mu} \{1 + b_1 (1 - \tau)^{\delta}\}, \qquad (4.5)$$

где $\sigma_0 10^3 = 53{,}95$ Па·м, $\mu = 1{,}287$; $b_1 = -0{,}093$; $\delta = 0{,}664$; $T_c = 301{,}928$ К.

Для вычисления капиллярной постоянной рекомендуется использовать уравнение вида

$$a^2 = a_0^2 (1 - \tau)^{\Phi} \{1 + a_1^2 (1 - \tau)^{\Phi_1}\}, \qquad (4.6)$$

где $a_0 10^6 = 4{,}7430$ м^2, $\Phi = 0{,}9346$; $a_1^2 = 0{,}0472$; $\Phi_1 = 1{,}0$ [0.55].

Оба уравнения применимы в интервале $T_0 - T_{кр}$.

В табл. 38 упоминаются два экспериментальных исследования теплоемкости жидкого фреона-13 [4.52, 4.23]. Однако полу-

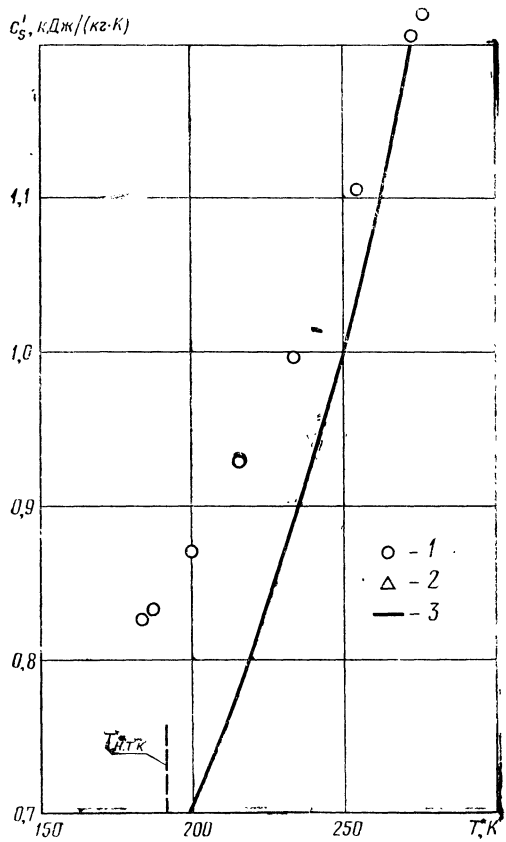


Рис. 42. Теплоемкость жидкого фреона-13 на линии насыщения:
опытные данные: *1* — Риделя [4.52]; *2* — Соловьева и др. [4.23]; расчетные данные: *3* — по уравнению ( ); *4* — по рекомендуемому уравнению состояния

ченные в НПО «Дальстандарт» калориметрические данные пока не опубликованы. Поэтому приведенные в работе Риделя [4.52] экспериментальные значения c_s' можно сравнить только с рассчитанными по различным эмпирическим уравнениям и обобщенным корреляциям (рис. 42).

Скорость звука в жидком фреоне-13 измеряли в интервале (93—189) К [1.37], но результаты измерений представлены аналитически:

$$w' = 1775{,}43 - 0{,}575289 \cdot 10^{+1}T + 0{,}129947 \cdot 10^{-2}T^2 \text{ м/с.} \quad (4.7)$$

Сообщается также, что уравнение (4.7), аппроксимирует опытные данные с погрешностью 0,4 м/с.

Экспериментальные данные о термодинамических свойствах твердого фреона-13 не обнаружены.

Уравнения состояния и таблицы. Первые таблицы термодинамических свойств фреона-13 на кривой насыщения, основанные на опубликованных экспериментальных данных, составил в 1941 г. Ридель [4.51, 4.52]. Эти таблицы были включены Р. Планком (1956 г.), а затем И. С. Бадылькесом (1960 г.) в энциклопедические справочники по холодильной технике и фактически их рекомендовали до начала 70-х гг. [0.6, 0.54, 2.1, 4.8 и др.].

В начале 50-х годов Олбрайт, Мартин [4.36] разработали новую систему уравнений и рассчитали таблицы v, h, s и h, $\lg p$-диаграмму (в британской системе единиц), которые охватывают кривую насыщения и область перегретого пара при $T = 144$—533 К, $p \leqslant 4$ МПа. Эти данные приводятся в справочниках ASHRAE с 1953 по 1975 гг. [0.38, 0.39 и др.].

Совместную обработку экспериментальных p, v, T-данных Риделя [4.51] и Олбрайта, Мартина [4.36] производили в работах [0.57, 4.14, 4.31]. Ромбуш, Гиезен [0.57] сообщают, в частности, коэффициенты уравнения состояния (0.6) и температурных зависимостей (0.16) и (0.21), которые использованы ими для расчета таблиц p_s, ϱ_s, h_s, r, s_s в интервале $T = 143$—$301{,}9$ К [4.53]. В статьях [4.14, 4.31] приведены коэффициенты уравнения (0.7), но полные справочные данные о термодинамических свойствах насыщенного и перегретого пара рассчитали по уравнению состояния этого типа В. А. Загорученко, Нгуен Тхань [0.7, 4.13]. В [4.13] состав исходных экспериментальных данных расширен за счет p, v, T-измерений, проведенных в Амстердамской лаборатории [3.63], уравнение состояния точнее, а таблицы и h, $\lg p$-диаграмма охватывают интервал температур $T = (163$—$573)$ К при давлении до (10—12) МПа [0.7, 4.13].

Полученные в начале 70-х годов уравнения состояния газовой фазы фреона-13 в той или иной степени основаны на экспериментальных данных [4.51, 4.36, 3.63]. Так, Морси [0.51] нашел константы уравнения состояния (0.4) по полной совокупности опытных данных ($T = 194$—423 К, $p \leqslant 47$ МПа, $n_{\text{оп}} = 433$) и сообщил, что среднее квадратическое отклонение составляет 0,13 %, но максимальные отклонения обнаружены в области данных [4.51] и [4.36] и достигают 1,44 %. По-видимому, такой же массив опытных данных использовал И. И. Перельштейн [0.20, 3.20] при разработке уравнений состояния (0.8). Оба варианта уравнения содержат по 26 коэффициентов (при $i_{\max} = 8$,

$j_{max}=3$), применимы в области $\omega=0$—2,0 при $\tau<1{,}4$ и включают предварительно найденные зависимости $B_1(\tau)$ и $B_2(\tau)$. Поскольку остальные коэффициенты не одинаковы, то таблицы [0.20] и [3.20] несколько отличаются. Справочник [0.20] опубликован позднее и кроме подробных таблиц v, h, s на кривой насыщения ($T=123$—$301{,}9$ К) и в области перегретого пара (при $T=123$—473 К, $p\leqslant 40$ МПа) содержит h, $\lg p$-диаграмму. Заметим, что таблицы [0.20] приведены также в справочниках [0.5, 2.1], а в статьях [3.1, 3.21]* опубликованы расчетные данные о скорости звука и показателе изоэнтропы в насыщенных и перегретых парах фреона-13 при давлении до 6 МПа.

Рекомендуемое в работе [0.46] уравнение состояния вириального типа содержит 19 констант, $i_{max}=6$, $B_i=[b_{i0}+b_{i1}/\tau+b_{i2}\times\times\exp(-kT)]$ и построено на основании машинной обработки опытных данных [3.63] и [4.36]. Качество аппроксимации двух групп опытных данных следующее: средние отклонения — 0,12 % и 0,31 %, максимальные отклонения — 0,72 % и 1,15 %.

В статьях [0.24, 3.1] и справочнике [0.23] приведены коэффициенты уравнения состояния (0.8), разработанного И. И. Перельштейном, Е. Б. Парушиным в 1976 г. Характеристика этого уравнения в указанных публикациях отсутствует, но поскольку принято $i_{max}=9$, $j_{max}=3$, $\Sigma s_i=25$, то область его применимости может быть несколько шире, чем в работах [0.20, 3.20].

Д. С. Рассказов с соавторами [4.18] рекомендует единое для жидкой и газовой фаз фреона-13 уравнение состояния (0.8), которое построено на основании машинной обработки экспериментальных p, v, T-данных МЭИ в области $T=(238$—$473)$ К, $p\leqslant\leqslant 27$ МПа [4.18, 4.25]. Авторы обсуждаемой работы привели коэффициенты «среднего» единого уравнения состояния (ЕУС) ($i_{max}=6$, $j_{max}=7$, $\Sigma s_i=47$), полученного по методу эквивалентных уравнений [0.27], и сообщают результаты сравнительных расчетов по c_p и δ_T. В другой статье тех же авторов [4.19] представлены подробные таблицы термодинамических свойств жидкого и газообразного фреона-13, которые включают ϱ, z, h, s, c_p, c_v, w, μ на кривой насыщения и в однофазной области при $T=(223$—$473)$ К, $p=(0{,}01$—$20)$ МПа.

В [4.3] исследовано уравнение состояния, близкое по форме к уравнениям (0.3)—(0.5), и приведены его коэффициенты для фреона-13. Это уравнение строилось как ЕУС, рекомендуется для области $T=(190$—$500)$ К, $p\leqslant 30$ МПа, но состав исходных опытных данных и качество их аппроксимации не оговорены.

Известны локальные уравнения состояния, применяемые для сильно сжатого газа [4.22] и «холодной» жидкости [4.35, 5.12]. В [4.22] опытные данные о мольных объемах фреона-13 в области $T=(323$—$473)$ К, $p=(200$—$800)$ МПа описаны двумя отличающимися уравнениями. Лучшие результаты дало уравнение

* Опубликованная в 1967 г. статья [4.34] содержит расчетные значения w'' и c_v'' в интервале $T=138$—293 К, но источники исходных данных не указаны.

(0.27), поэтому по нему рассчитаны таблицы f, h, s [0.34]. Элькин Ю. Г. [4.35] обработал свои опытные данные о плотности жидкости при $T=(98—296)$ К, $p\leqslant 50$ МПа и приводит коэффициенты уравнения состояния

$$p^* = \sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{5} a_{ij}\rho^{2i+1}\cdot (T^*)^j, \qquad (4.8)$$

где $p^*=5\cdot 10^{-2}\cdot p$, МПа, $T^*=5\cdot 10^{-3}\cdot T$ К; ρ, г/см^3. Это уравнение содержит 19 коэффициентов и, по свидетельству автора, передает исходные данные с погрешностью эксперимента. Со своей стороны заметим, что в статье [4.6] искажена форма уравнения и неверно значение коэффициента a_{71}, а в статье [5.10] уравнение записано верно, но отсутствует коэффициент a_{73}.

П. М. Кессельман с соавторами [5.12] рассчитали таблицы плотности ρ жидкого фреона-13 в интервале температур от 123 до 373 К с шагом 10 К и в интервале давлений от 2 до 30 МПа с шагом 2 МПа. Расчет выполнен по уравнению состояния вида

$$z = 1 + A(T)\,\omega^2 + B(T)\,\omega^4 \qquad (4.9)$$

с обобщенными (для фреонов-11, 12, 13 и 14) зависимостями $A(T)$ и $B(T)$. Сообщается также, что среднее отклонение расчетных значений ρ от экспериментальных данных МЭИ [4.18] равно 0,3 %.

Известно, однако, что изотермы в $(z-1)/\omega^2$, ω^2 — диаграмме начинают заметно искривляться при $\tau>0{,}9$ и здесь уравнение (4.9) становится малопригодным для точных расчетов [4.2]. Выполненный нами сравнительный анализ показал, что приведенные в работе [5.12] значения ρ при $T>273$ К начинают систематически «уходить вниз» от опытных данных [4.18] и таблиц настоящей работы, а максимальное расхождение достигает — 1,7 %. Расхождения расчетных [5.12] и экспериментальных [4.35] данных при $p\leqslant 30$ МПа и $T=98—296$ К лежат в пределах $\pm 0{,}9$ %.

Из сделанного обзора следует, что задача численного анализа и согласования всей совокупности имеющихся опытных данных о термодинамических свойствах газообразного и жидкого фреона-13 по-прежнему актуальна [4.16].

4.2. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

При получении уравнения состояния фреона-13 использована машинная методика совместной обработки опытных данных о термических свойствах жидкой и газовой фаз, отличительная особенность которой состоит в следующем. На первом этапе получения уравнения состояния выбранной структуры каждой группе опытных данных присваивается своя весовая функция, и в обработке участвуют все без исключения точки. Далее присвоением нулевого веса исключаются точки с отклонениями

больше наперед заданной величины, пересчитываются пропорционально отклонениям веса оставшихся точек и вновь определяются коэффициенты $\{b_{ij}\}$ уравнения той же структуры. На последующих этапах аппроксимации значение допустимого максимального отклонения $\delta z_{\max}$ уменьшается по заданному закону до некоторой предельной величины, причем на каждом этапе фиксируются полученные $\{b_{ij}\}$ и заново повторяется операция исключения точек из исходного массива данных и пересчета весов оставшихся точек. После выхода программы из цикла производится либо останов, либо переход на поиск уравнения состояния другой структуры. Во втором случае описанная выше процедура повторяется. Таким образом, в результате серии последовательных аппроксимаций, осуществляемых в автоматическом режиме, получаем серию в той или иной степени отличающихся уравнений состояния по массиву согласующихся (в заданных пределах) экспериментальных p, v, T-данных *. Окончательный выбор уравнения состояния производился с учетом средней квадратической погрешности аппроксимации исходных p, v, T-данных, распределения индивидуальных отклонений и результатов сравнения рассчитанных по уравнению состояния термодинамических величин (c_p, w, δ_T и др.) с экспериментом.

На заключительном этапе построения уравнения состояния фреона-13 в обработке участвовало 920 экспериментальных точек $\varrho(p, T)$ из семи работ [3.55, 3.63, 4.6, 4.18, 4.25, 4.36, 4.47] в интервале (98—473) К при давлении до 47 МПа. Полученное уравнение состояния имеет вид (0.9) с коэффициентами, приведенными в табл. 40, причем $\omega=\varrho/553{,}2$ и $\tau=T/301{,}99$. Средняя квадратическая погрешность аппроксимации экспериментальных данных уравнением состояния составляет 0,28 %, гистограмма отклонений представлена на рис. 43.

Температурную зависимость теплоемкости в идеально-газовом состоянии рекомендуется определять по уравнению (0.23), коэффициенты которого (при $\tau=T/100$) следующие:

$$\alpha_0 = 0{,}560596672\cdot 10^1; \quad \beta_1 = -0{,}769963004\cdot 10^1;$$
$$\alpha_1 = 0{,}201763539\cdot 10^1; \quad \beta_2 = 0{,}618769048\cdot 10^1;$$
$$\alpha_2 = -0{,}197918398\cdot 10^0; \quad \beta_3 = -0{,}148838382\cdot 10^1.$$
$$\alpha_3 = 0{,}698310593\cdot 10^{-2};$$

Термодинамические свойства на линии кипения и конденсации рассчитаны по схеме ЕУС в результате решения системы уравнений (0.12) и (0.13). Для нахождения начального приближения p_s можно использовать или уравнение (0.17) с коэффициентами $\alpha_0=-0{,}958224317\cdot 10^1$; $\alpha_1=0{,}875248630\cdot 10^1$; $\alpha_4=-0{,}829744797\cdot 10^0$; $\alpha_{n+1}=-0{,}548011253\cdot 10^1$ или уравнение (4.1).

* Планомерного улучшения качества аппроксимации можно достичь и при независимом изменении числа Σ_{n_i} и статистического веса Ω_i аппроксимируемых точек [0.27, 4.1, 4.2 и др.]. Но описанная здесь и в [4.16] процедура взаимосогласованной вариации Σ_{n_i} и Ω_i является более универсальной, так как допускает работу с «сырым» массивом точек и не предъявляет жестких требований к экспертным оценкам погрешности опытных данных.

Таблица 40

Коэффициенты уравнения состояния (0.9) для фреона-13

i	Значения b_{ij} при j, равном					
	0	1	2	3	4	5
1	$0{,}249307427 \cdot 10^{1}$	$-0{,}840025209 \cdot 10^{1}$	$0{,}983989909 \cdot 10^{1}$	$-0{,}663368288 \cdot 10^{1}$	$0{,}170756752 \cdot 10^{1}$	$-0{,}167889964 \cdot 10^{0}$
2	$-0{,}341986947 \cdot 10^{1}$	$0{,}105758698 \cdot 10^{2}$	$-0{,}117769883 \cdot 10^{2}$	$0{,}706040933 \cdot 10^{1}$	$-0{,}189064482 \cdot 10^{1}$	—
3	$0{,}354361110 \cdot 10^{1}$	$-0{,}574911889 \cdot 10^{1}$	$0{,}783703059 \cdot 10^{0}$	$-0{,}759737238 \cdot 10^{-1}$	$0{,}865750985 \cdot 10^{0}$	$-0{,}227830359 \cdot 10^{-1}$
4	$-0{,}284689009 \cdot 10^{1}$	$0{,}304202093 \cdot 10^{1}$	$0{,}243397124 \cdot 10^{1}$	$-0{,}106697920 \cdot 10^{1}$	—	—
5	$0{,}157778407 \cdot 10^{1}$	$-0{,}144824473 \cdot 10^{1}$	$-0{,}179243330 \cdot 10^{1}$	—	—	—
6	$-0{,}545948347 \cdot 10^{0}$	$0{,}698480635 \cdot 10^{0}$	$0{,}689301226 \cdot 10^{0}$	—	—	—
7	$0{,}800307225 \cdot 10^{-1}$	$-0{,}223110980 \cdot 10^{0}$	$-0{,}574845509 \cdot 10^{-1}$	—	—	—
8	$0{,}506525957 \cdot 10^{-2}$	$0{,}137838459 \cdot 10^{-1}$	—	—	—	—
9						

Рассчитанные по уравнению состояния значения ϱ' и ϱ'' хорошо согласуются с табличными данными [0.20, 3.20]. Согласование вычисленных значений теплоемкости кипящей жидкости с опытными данными Риделя [4.52] неполное и расхождение

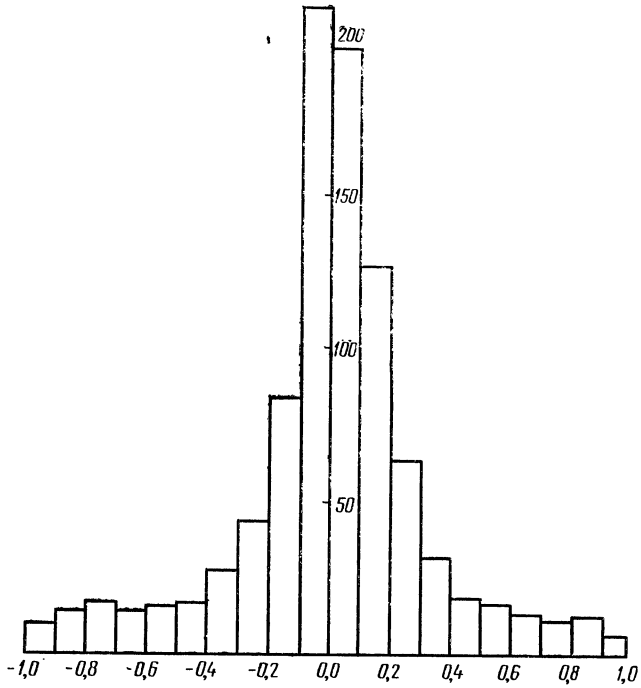


Рис. 43. Гистограмма отклонений рассчитанных по рекомендуемому уравнению состояния значений сжимаемости фреона-13 от опытных данных [3.55, 3.63, 4.6, 4.18, 4.25, 4.36, 4.47]

увеличивается по мере понижения температуры (см. рис. 42). Отклонение расчетных значений δ_T от экспериментальных (см. рис. 38) лежит в пределах 3—5 % и лишь в области пиков достигает 12—15 %.

Согласование рассчитанных по уравнению состояния значений теплоемкости c_p с данными В. А. Груздева, А. И. Шумской [2.10, 3.8] для основной массы точек находится в пределах погрешности экспериментальных данных (~ 1 %). Небольшое, но систематическое завышение расчетных величин c_p объясняется тем, что экстраполированные на нулевое давление опытные данные [2.10, 3.8] дают меньшие значения c_p^0 по сравнению с принятыми в настоящей работе (см. рис. 37).

Рассчитанные по уравнению состояния температурные зависимости второго и третьего вириальных коэффициентов вполне удовлетворительно согласуются с имеющимися экспериментальными данными (см. рис. 35).

Таким образом, рекомендуемое уравнение состояния, в целом достаточно хорошо согласует имеющуюся экспериментальную информацию о термодинамических свойствах газообразного и жидкого фреона-13 в широкой области температуры и давления.

4.3. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВАХ

Вязкость. Сведения о вязкости фреона-13 в фундаментальных справочниках [0.6, 0.7, 0.54] отсутствуют, а в [0.30, 2.1, 4.8] приведены расчетные значения η', которые отличаются от современных данных в 1,5—2 раза. Таблицы вязкости фреона-13, основанные на более или менее представительном массиве опытных данных, появились только в 70-е годы после опубликования экспериментальных работ [2.45, 2.66, 3.51, 3.58, 3.67, 4.48]. Небольшая часть этих опытных данных учтена в справочнике [0.5], а полностью — в [0.39, 0.40, 0.58]. Таблицы справочника [0.58] даны в метрической системе единиц и включают значения η_T при $T = (230—500)$ К и η' при $T = (170—302)$ К, причем погрешность η_T оценена в ± 2 %, а погрешность η' от 5 до 7 % (при температуре ниже 270 К) до ± 15 %. Однако дальнейшие исследования показали, что указанные оценки погрешности η' являются слишком оптимистическими.

Из табл. 41 следует, что в настоящее время температурная

Таблица 41

Экспериментальные исследования вязкости фреона-13

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1955	Веллман	288—361	0,1	г	5	КШ	[2.66]
1959	Амме, Легвольд	300—574	0,1	г	4	ПР	[3.36]
1959	Кэмин, Витцель	303—363	0,1—2,0	г	3	Ка	[3.51]
1959	Тсюи	363—423	0,1	г	3	Ка	[2.66]
1961	Вилберс	235—289	0,1	г	4	КШ	[2.66]
1969	Гордон, Хамильтон, Фонтайне	200—255	p_s	ж	7	Ка	[2.45]
1970	Филлипс, Мэрфи	192—273	p_s	ж	8	Ка	[3.67, 4.48]
1970	Латто, Хезюн, Ашрони	220—360	0,1	г	21	Ка	[3.58]
1974	Геллер, Иванченко	254—443	0,1—60	г, ж	108	Ка	[0.9, 4.11]
1977	Чайковский, Геллер, Бондарь	89—299	3,5—60	ж	113	Ка	[4.7, 4.32]
1977	Латто	224—401	0,12	г	9	Ка	[4.45]
1977	Танака, Кубота, Макита, Окацаки	298; 323	0,1	г	2	КШ	[4.61]
1979	Кронберг	246—344	0,3—3,5	г	69	Ка	[1.18]
1979	Клиффорд, Грей, Скотт	373—570	0,1	г	5	Ка	[4.39]
1980	Хайде	220—301	p_s	ж	График	КШ	[4.43]

* См. примечание к табл. 10.

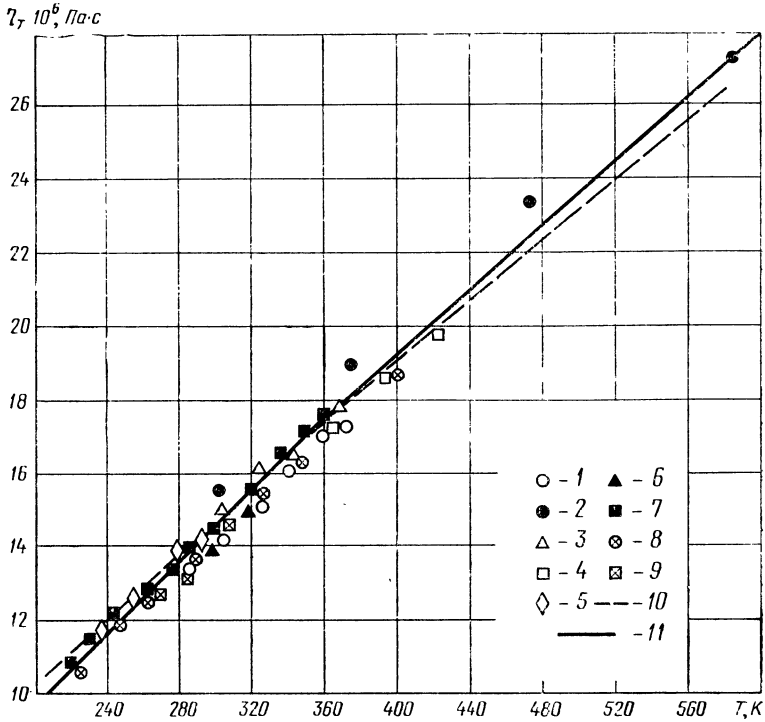


Рис. 44. Вязкость газообразного фреона-13 при низких давлениях: опытные данные: *1* — Веллмана [2.66]; *2* — Амме, Легвольда [3.36]; *3* — Кэмина, Витцеля [3.51]; *4* — Тсюи [2.66]; *5* — Вилберса [2.66]; *6* — Танаки и др. [4.61]; *7* — Латто и др. [3.58]; *8* — Латто [4.45]; *9* — Геллера, Иванченко [4.11]; расчетные данные: *10* — по уравнению (0.32*а*); *11* — по уравнению (1.26)

зависимость вязкости газообразного фреона-13 при атмосферном давлении изучена в интервале $T=220$—570 К. Но расхождения между опытными данными разных авторов сравнительно большие и достигают 3—5 % (рис. 44). Однако бóльшая часть измерений согласуется в пределах (1—2) % и рекомендуемым значениям η_T можно присвоить погрешность (1—2) %.

Данные о вязкости жидкого фреона-13 на линии насыщения приведены в четырех экспериментальных работах (см. табл. 41). В работах американских исследователей [2.45, 3.67, 4.48] измерения выполнены на капиллярных вискозиметрах «с висячим уровнем», а в работах ОТИПП [4.11, 4.32] — на капиллярных вискозиметрах с переменным перепадом давления. Из рис. 45 видно, что полученные в работах [2.45, 3.67, 4.48] значения вязкости жидкого фреона-13 (также как и для других фреонов) весьма существенно отличаются от более поздних измерений, причем расхождения увеличиваются с ростом температуры и при 273 К достигают 80 %. В настоящем справочнике предпочтение отдано результатам измерений [4.11, 4.32].

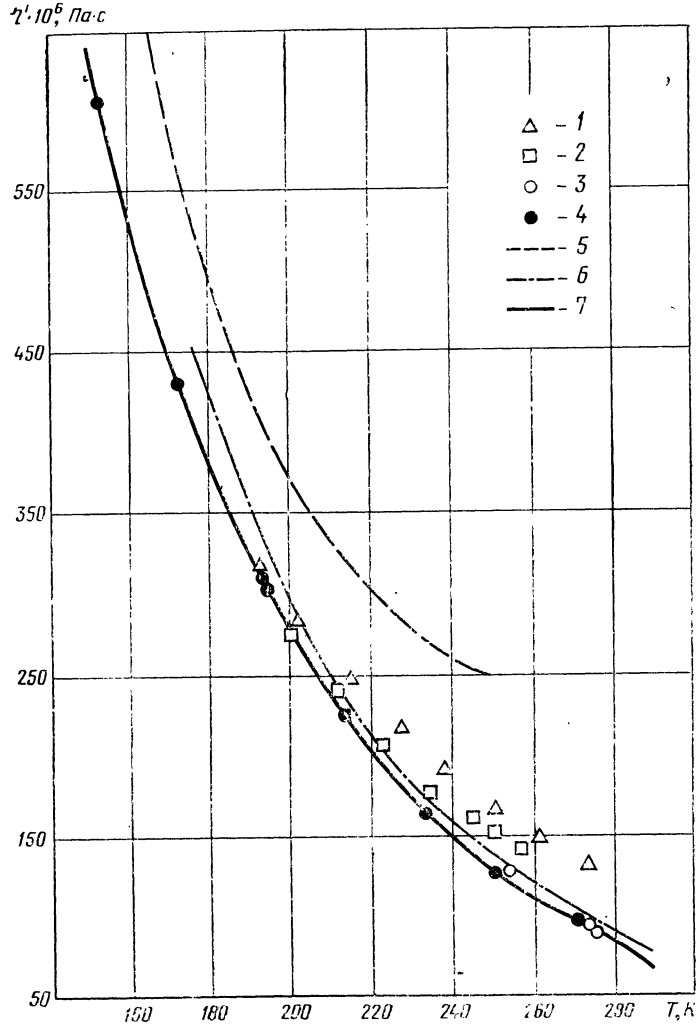


Рис. 45. Вязкость жидкого фреона-13 на линии насыщения:
опытные данные: *1* — Филлипса, Мэрфи [3.67]; *2* — Гордона и др. [2.45]; *3* — Геллера, Иванченко [4.11]; *4* — Чайковского и др. [4.38]; расчетные данные: *5* — [0.30, 2.1]; *6* — по уравнению (0.32б); *7* — по уравнению (0.36)

Вязкость сжатого газа и жидкости изучена экспериментально в интервале $T = (89—443)$ К, $p \leqslant 60$ МПа (см. табл. 41). Основная часть опытных данных получена в ОТИПП [1.18, 4.11, 4.32]*. Результаты измерений, выполненных одинаковым методом, но на отличающихся экспериментальных установках, согласуются в пределах погрешности данных (1,5—2) % и приняты

* В работе [4.32] приведены также данные о вязкости фреона-13 в состоянии переохлажденной жидкости.

в качестве исходных при разработке рекомендуемой системы уравнений.

Поскольку крупномасштабные исследования вязкости фреона-13 выполнены за последние годы, то и уравнений, предназначенных для расчета η в широкой области состояний, опубликовано немного. Так, в [0.9, 5.11] приведено уравнение (0.33), полученное по опытным данным [4.11] в интервале $T=(254—443)$ К, $p=(0{,}1—60)$ МПа. В статье [4.39] проделан анализ корреляции, предложенной ранее в [4.38], и показана возможность ее применения для надежной расчетной оценки η_T фреонов в широком интервале температур.

В этом справочнике рекомендуется система обобщенных уравнений, разработанная В. З. Геллером, А. В. Кронбергом [0.12, 1.18] на основании обработки опытных данных для фреонов-10, 11, 12, 13 и 14. Указанная система включает уравнения (0.35), (0.36) и (1.26). Общие для рассматриваемой группы фреонов коэффициенты уравнений (0.35), (0.36) и (1.26) приведены соответственно в табл. 4 и гл. 1. Индивидуальные константы фреона-13: $\eta_{0,7}=243$ мкПа·с и $\eta_{T\,\text{кр}}=14{,}7$ мкПа·с.

Экспериментальная информация о вязкости фреона-13, использованная при получении рекомендуемой системы уравнений, представлена опытными данными [1.18, 2.66, 3.51, 3.58, 4.11, 4.32, 4.45, 4.61], которые охватывают область $T=(89—474)$ К, $p=(0{,}1—60)$ МПа.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических вязкостей (η' и η'') фреона-13, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для η'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{\text{н.т.к.}}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Теплопроводность. Наиболее полные и надежные таблицы теплопроводности фреона-13 приведены в справочнике [0.8]. Они получены в результате графической обработки опытных данных, опубликованных в 1964—1975 гг., и охватывают как газовую фазу [$T=(250—440)$ К, $p=(0{,}1—60)$ МПа], так и жидкую [$T=(100—302)$ К, $p=p_s—60$ МПа]. Табулированные в справочнике ASHRAE [0.39] значения λ_T и λ' близки к рекомендуемым в [0.8], в то время как значения λ' в таблицах [0.7, 0.30, 2.1, 4.8], основанные на измерениях [3.25], завышены на (8—10) %. В статьях О. Б. Цветкова с соавторами [0.33, 2.28] представлены идентичные таблицы λ_T для $T=(200—350)$ К, рассчитанные по обобщенному уравнению $\lambda^*/c_v^*=f(\tau)$, которое предложено авторами ранее [4.28].

Известные нам экспериментальные исследования теплопроводности фреона-13 перечислены в табл. 42, из которой, в частности, следует, что преобладающая часть опытных данных получена методом нагретой нити и опубликована в 70-х годах.

Теплопроводность газообразного фреона-13 при атмосферном давлении измерена в интервале $T=209—452$ К. Опытные

Таблица 42

Экспериментальные исследования теплопроводности фреона-13

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1964	Масиа, Брасеро, Риенда	278—408	0,003—0,12	г	8	Н	[3.61]
1964	Джалалян	212—273	p_s	ж	6	Н	[1.54, 2.42]
1965	Цветков	193—273	p_s	ж	8	РР	[3.25]
1967	Таушер	148—273	p_s	ж	12	НН	[1.95]
1974	Груздев, Шестова	313—452	0,15—5,4	г	51	КЦ	[2.9]
1975	Геллер, Передрий	213—435	0,1—60	г; ж	132	Н	[3.4, 4.4]
1975	Садыков, Брыков, Мухамедзянов	103—433	0,1—16,0	г; ж	56	Н	[4.21]
1976	Геллер, Запорожан	93—275	0,1—60	ж	63	Н	[4.5, 4.10]
1976	Венарт, Мэн, Пауль	98—423	0,17—21	г, ж	График	Н	[4.64]
1977	Цветков, Лаптев, Васильков	264—416	0,1	г	11	Н	[4.29]

* См. примечание к табл. 11.

данные пяти работ согласуются, как правило, в пределах ±3 % (рис. 46). На бо́льшую величину (до 10—13 %) отклоняются от линейной зависимости лишь три опытные точки при T = =209—218 К по данным [4.21].

Теплопроводность газообразного фреона-13 при повышенных давлениях измеряли в нескольких лабораториях и полученные в работах [2.9, 4.4, 4.21] экспериментальные данные достаточно хорошо согласуются в перекрывающейся области. В работе канадских исследователей [4.64] результаты измерений представлены только на графиках, а работы советских исследователей не упоминаются. Поэтому использование и оценка этих измерений затруднительна. Можно, однако, отметить, что в [4.64] выполнены подробные измерения теплопроводности фреона-13 в критической области и в жидкой фазе, причем зафиксированы «пики» вблизи $T_{кр}$ и $\varrho_{кр}$, а также расслоение изотерм при больших ϱ в $\Delta\lambda$, ϱ-диаграмме. Критический индекс избыточной теплопроводности на критической изохоре оказался близким к найденному для других веществ [0.4, 4.2].

Теплопроводность жидкого фреона-13 на линии насыщения измерена в шести работах (см. табл. 42) в интервале T= =93—293 К. Расхождения опытных данных разных авторов находятся в пределах ±4 %, если исключить из рассмотрения сильно завышенные данные [3.25] и быть может часть точек, полученных в работе [2.42] (рис. 47).

Теплопроводность жидкого фреона-13 в однофазной области

измеряли в трех работах [4.4, 4.10, 4.21]. Согласование трех серий независимых измерений, в целом, можно признать удовлетворительным: в подавляющем большинстве опытных точек расхождения не превышают 3—5 %.

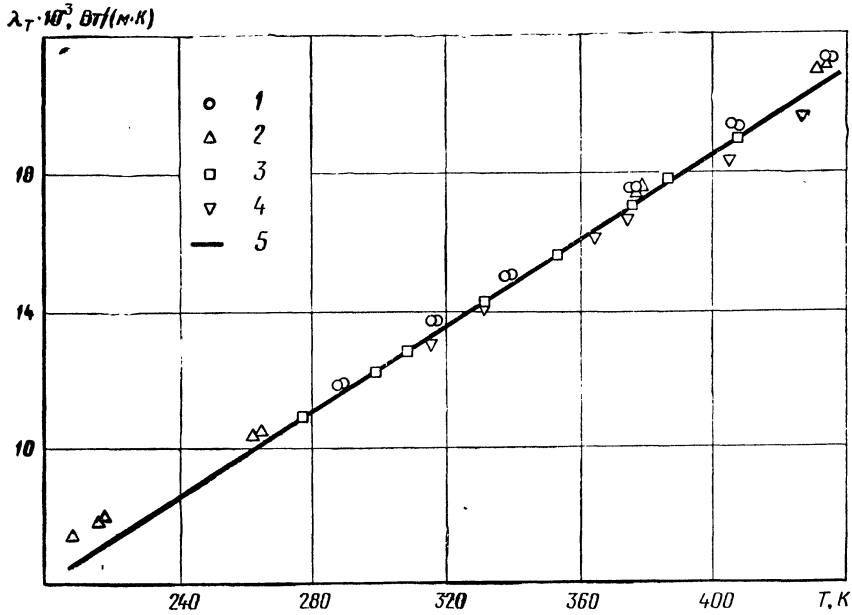


Рис. 46. Теплопроводность газообразного фреона-13 при низких давлениях: опытные данные: *1* — Геллера, Передрия [4.4]; *2* — Садыкова и др. [4.21]; *3* — Масиа и др. [3.61]; *4* — Груздева, Шестовой [4.35]; *5* — расчетные данные по уравнениям (0.32*а*) и (0.31)

Для описания теплопроводности сжатого пара и жидкости фреона-13 применяли уравнения (0.34), (0.44) и (0.45). Но если уравнение (0.45) с коэффициентами, приведенными в статье [0.35], построено по опытным данным [4.4], то уравнение (0.44) приведено в [0.32] без ссылок на какие-либо измерения λ газообразного фреона-13, хотя здесь же даны таблицы для $T=273$—423 К и $p=0{,}1$—20 МПа.

В этом справочнике рекомендуется система уравнений, разработанная В. З. Геллером, Г. В. Запорожаном [0.12, 1.15]. Она включает уравнения (0.31), (0.34), (0.46) с индивидуальными для каждого фреона коэффициентами и обобщенное уравнение (0.45) с коэффициентами, приведенными в табл. 5. Ниже для фреона-13 приведены параметры уравнений (0.31), (0.34) и (0.46):

$a_{\lambda,0} = -6{,}488 \cdot 10^{-3}$; $a_{\lambda,1} = 6{,}250 \cdot 10^{-5}$;
$b_{\lambda,1} = 1{,}5671 \cdot 10^{-2}$; $b_{\lambda,3} = -6{,}0538 \cdot 10^{-2}$;
$b_{\lambda,2} = 5{,}1618 \cdot 10^{-2}$; $b_{\lambda,4} = 2{,}9522 \cdot 10^{-2}$;
$c_{\lambda,1} = 9{,}7532 \cdot 10^{-2}$; $c_{\lambda,4} = -1{,}2850 \cdot 10^{0}$;

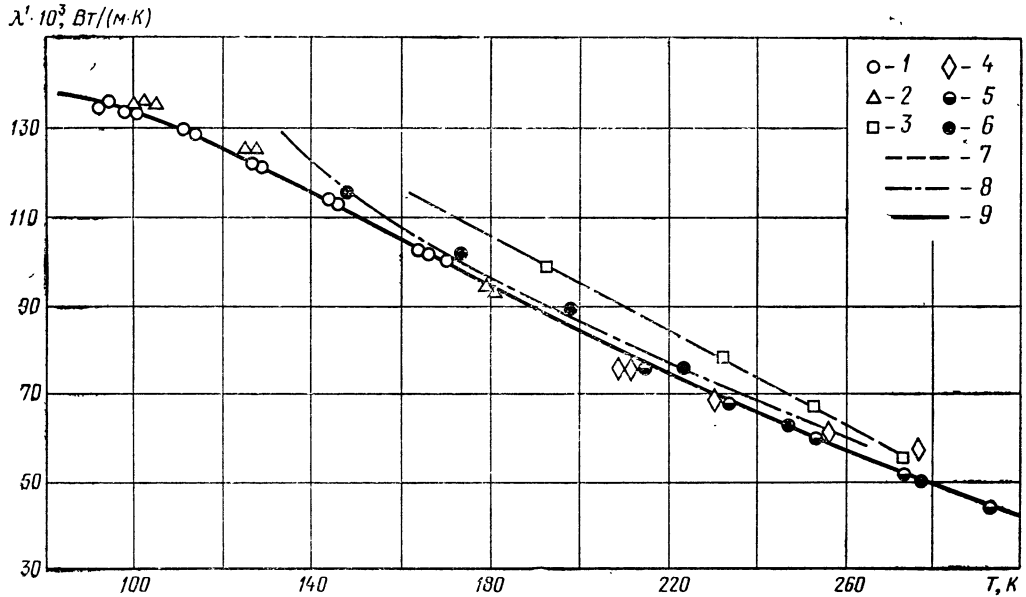


Рис. 47. Теплопроводность жидкого фреона-13 на линии насыщения:

опытные данные: *1* — Геллера, Запорожана [4.10]; *2* — Садыкова и др. [4.21]; *3* — Цветкова [3.25]; *4* — Джалаляна [2.42]; *5* — Таушера [1.95]; *6* — Геллера, Передрия [4.4]; расчетные данные: *7* — [0.30, 2.1]; *8* — по уравнению (0.32б); *9* — по уравнению (0.46)

$c_{\lambda,2} = -5{,}6965 \cdot 10^{-1}$; $c_{\lambda,5} = 1{,}2092 \cdot 10^{0}$;
$c_{\lambda,3} = 1{,}8539 \cdot 10^{0}$; $c_{\lambda,6} = -5{,}7078 \cdot 10^{-1}$;
$\lambda_{кр} = 294 \cdot 10^{-4}$ Вт/(м·К).

Эти коэффициенты определяли по массиву согласующихся экспериментальных значений λ из работ, перечисленных в табл. 42. Уравнения (0.31) и (0.34) применимы в интервале $T=$ 200—500 К и $\omega=0$—1,9, а уравнения (0.45) и (0.46) при $T=$ 93—287 К и $p=p_s$ — 60 МПа. Таким образом, рекомендуемая система уравнений охватывает практически всю область измерений в газовой и жидкой фазах фреона-13.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических теплопроводностей (λ' и λ'') фреона-13, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для λ'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{н.т.к.}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Самодиффузия. Данные о самодиффузии фреона-13 в справочной литературе отсутствуют. Недавно Харрис [4.41] выполнил подробные измерения D_{11} в газовой фазе фреона-13 при $T=$ $=303$—348 К и $p=3{,}7$—188 МПа. В этой работе особое внимание уделялось изучению плотностной зависимости D_{11} в критической области, но так называемой критической аномалии не обнаружено. Для каждой из трех изотерм составлены уравнения типа (0.50) при $n=0$ и $m=3$. Отмечается также, что функция $D_{11}/\sqrt{T}$ линейно зависит от мольного объема до $\omega=2$.

В работе [0.36] приведены таблицы D_{11} при $T=313$—403 К, $p\leqslant 15$ МПа, рассчитанные по соотношению (0.47) из опытных данных о D_{12} системы R13 — N_2 [5.17].

В работе [3.23] таблицы самодиффузии жидкого фреона-13 рассчитаны по обобщенному уравнению (0.52), причем значение $D_{\tau=0,7}=3{,}34 \cdot 10^{-9}$ м²/с оценено по инкрементам атомарных вкладов.

4.4. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Термодинамические таблицы для газообразного и жидкого фреона-13 рассчитаны по уравнениям, представленным в разд. 4.2, охватывают область $T=203$—473 К и $p=0{,}01$—20 МПа и включают восемь величин (табл. 43, 44).

Начало отсчета калорических функций — идеально газовое состояние при 0 К, но при вычислении h по формуле (0.24) вместо неизвестной величины Δh_s° принята константа $\Delta h_s^\circ/(RT_0)T_0=10$.

Рекомендуемые таблицы переносных свойств (табл. 45, 46) охватывают ту же область состояний, что и термодинамические таблицы.

При необходимости, отдельные теплофизические свойства жидкого и газообразного фреона-13 могут быть рассчитаны по уравнениям, приведенным в разд. 4.1—4.3, в более широкой области p, T-переменных.

Таблица 43

Термодинамические свойства фрсона-13 на линиях кипения и конденсации

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''	c_p'	c_p''	$\sigma \cdot 10^4$
203,15	0,1917	1476,5	12,70	335,1	470,5	135,3	3,735	4,401	0,711	0,568	12,24
205,15	0,2093	1468,5	13,80	336,6	471,2	134,7	3,742	4,398	0,720	0,575	11,93
207,15	0,2282	1460,4	14,97	338,0	472,0	134,0	3,749	4,396	0,730	0,582	11,62
209,15	0,2485	1452,2	16,21	339,5	472,8	133,3	3,756	4,393	0,740	0,589	11,31
211,15	0,2701	1444,0	17,54	341,0	473,5	132,5	3,763	4,391	0,751	0,596	11,01
213,15	0,2931	1435,7	18,95	342,5	474,3	131,7	3,770	4,388	0,762	0,603	10,70
215,15	0,3176	1427,3	20,46	344,1	475,0	130,9	3,777	4,386	0,774	0,611	10,40
217,15	0,3436	1418,8	22,05	345,6	475,7	130,1	3,784	4,383	0,786	0,619	10,10
219,15	0,3713	1410,2	23,74	347,2	476,5	129,2	3,792	4,381	0,798	0,627	9,80
221,15	0,4006	1401,5	25,54	348,8	477,2	128,3	3,799	4,379	0,810	0,635	9,50
223,15	0,4317	1392,8	27,44	350,5	477,9	127,4	3,806	4,377	0,823	0,643	9,21
225,15	0,4645	1383,4	29,46	352,1	478,6	126,4	3,813	4,375	0,836	0,652	8,92
227,15	0,4993	1374,9	31,59	353,8	479,2	125,4	3,821	4,373	0,849	0,661	8,62
229,15	0,5360	1365,8	33,85	355,6	479,9	124,3	3,828	4,371	0,862	0,670	8,33
231,15	0,5747	1356,6	36,24	357,3	480,6	123,3	3,836	4,369	0,875	0,680	8,05
233,15	0,6154	1347,3	38,77	359,1	481,2	122,1	3,843	4,367	0,889	0,690	7,76
235,15	0,6583	1337,8	41,44	360,9	481,8	121,0	3,851	4,365	0,902	0,700	7,48
237,15	0,7035	1328,2	44,26	362,7	482,4	119,8	3,858	4,363	0,916	0,711	7,19
239,15	0,7509	1318,4	47,24	364,5	483,0	118,5	3,866	4,361	0,930	0,722	6,91
241,15	0,8006	1308,5	50,39	366,4	483,6	117,2	3,873	4,360	0,945	0,734	6,64
243,15	0,8528	1298,4	53,71	368,3	484,2	115,9	3,881	4,358	0,959	0,746	6,36
245,15	0,9074	1288,1	57,23	370,2	484,7	114,5	3,889	4,356	0,974	0,759	6,09
247,15	0,9647	1277,7	60,93	372,2	485,3	113,1	3,897	4,354	0,989	0,772	5,82
249,15	1,0245	1267,1	64,85	374,2	485,8	111,6	3,905	4,352	1,005	0,787	5,55
251,15	1,0871	1256,2	68,99	376,2	486,3	110,0	3,912	4,351	1,021	0,802	5,29
253,15	1,152	1245,1	73,36	378,3	486,7	108,4	3,920	4,349	1,038	0,818	5,02
255,15	1,221	1233,8	77,98	380,3	487,2	106,8	3,928	4,347	1,056	0,836	4,76
257,15	1,292	1222,3	82,87	382,5	487,6	105,1	3,936	4,345	1,074	0,853	4,51
259,15	1,366	1210,4	88,05	384,6	488,0	103,3	3,944	4,343	1,093	0,872	4,25

Продолжение табл. 43

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''	c_p'	c_p''	$\sigma \cdot 10^3$
261,15	1,443	1198,3	93,53	386,8	488,3	101,5	3,953	4,341	1,113	0,893	4,00
263,15	1,524	1185,8	99,34	389,0	488,6	99,63	3,961	4,339	1,135	0,916	3,75
265,15	1,608	1173,0	105,51	391,2	488,9	97,66	3,969	4,337	1,158	0,941	3,51
267,15	1,695	1159,8	112,07	393,5	489,2	95,61	3,977	4,335	1,183	0,968	3,27
269,15	1,785	1146,2	119,05	395,9	489,4	93,48	3,986	4,333	1,210	0,998	3,03
271,15	1,879	1132,1	126,50	398,2	489,5	91,26	3,994	4,331	1,239	1,032	2,80
273,15	1,977	1117,5	134,5	400,7	489,6	88,94	4,003	4,328	1,272	1,070	2,57
275,15	2,078	1102,4	143,0	403,1	489,6	86,52	4,011	4,326	1,308	1,113	2,35
277,15	2,184	1086,6	152,2	405,7	489,6	83,97	4,020	4,323	1,349	1,162	2,12
279,15	2,293	1070,1	162,1	408,2	489,5	81,28	4,029	4,320	1,396	1,220	1,91
281,15	2,406	1052,7	172,8	410,9	489,3	78,45	4,038	4,317	1,451	1,288	1,70
283,15	2,524	1034,5	184,5	413,6	489,1	75,44	4,047	4,314	1,515	1,369	1,49
285,15	2,646	1015,1	197,3	416,4	488,7	72,23	4,057	4,310	1,594	1,469	1,29
287,15	2,772	994,3	211,5	419,3	488,1	68,77	4,067	4,306	1,692	1,596	1,10
289,15	2,903	972,0	227,4	422,4	487,4	65,03	4,077	4,302	1,817	1,761	0,915
291,15	3,039	947,6	245,4	425,6	486,5	60,92	4,087	4,296	1,986	1,984	0,739
293,15	3,180	920,5	266,2	429,0	485,3	56,33	4,098	4,290	2,225	2,306	0,563
295,15	3,327	889,7	290,9	432,6	483,7	51,10	4,110	4,283	2,593	2,807	0,414
297,15	3,480	853,5	321,6	436,6	481,6	44,92	4,123	4,274	3,237	3,689	0,265
299,15	3,639	808,1	362,4	441,3	478,4	37,12	4,138	4,262	4,645	5,622	0,117
301,15	3,807	742,2	426,4	447,5	473,3	25,80	4,158	4,244	9,940	12,686	—

Термодинамические свойства фреона-13 в однофазной области

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=203{,}15$ K				
0,01	0,62	0,9967	474,0	4,649	0,518	138,0	35,26	4,978
0,02	1,25	0,9934	473,8	4,593	0,520	137,7	35,35	5,035
0,03	1,87	0,9901	473,7	4,560	0,523	137,3	35,44	5,093
0,04	2,51	0,9868	473,5	4,536	0,525	137,0	35,53	5,153
0,05	3,14	0,9834	473,3	4,518	0,528	136,7	35,62	5,213
0,1	6,4	0,9662	472,3	4,460	0,541	135,1	36,10	5,537
0,2	1476,5	0,0084	335,2	3,735	0,711	749,3	—0,42	2,727
0,3	1476,9	0,0126	335,2	3,735	0,711	750,2	—0,43	2,722
0,4	1477,3	0,0167	335,2	3,735	0,711	751,1	—0,43	2,717
0,5	1477,7	0,0209	335,2	3,734	0,710	752,0	—0,43	2,712
1,0	1479,6	0,0418	335,4	3,733	0,708	756,4	—0,43	2,687
2,0	1483,2	0,0834	335,7	3,732	0,705	764,9	—0,44	2,640
3,0	1487,1	0,1248	336,0	3,730	0,702	773,2	—0,45	2,595
4,0	1490,6	0,1660	336,3	3,728	0,698	781,2	—0,46	2,553
5,0	1494,1	0,2070	336,7	3,727	0,696	788,9	—0,47	2,513
6,0	1497,5	0,2478	337,0	3,725	0,693	796,4	—0,48	2,475
7,0	1500,9	0,2884	337,3	3,723	0,690	803,7	—0,49	2,439
8,0	1504,1	0,3289	337,7	3,722	0,688	810,7	—0,49	2,404
9,0	1507,3	0,3693	338,0	3,720	0,685	817,6	—0,50	2,371
10,0	1510,5	0,4094	338,4	3,718	0,683	824,2	—0,51	2,340
12,0	1516,6	0,4894	339,1	3,715	0,679	837,0	—0,52	2,281
14,0	1522,4	0,5687	339,8	3,712	0,675	849,1	—0,53	2,226
16,0	1528,1	0,6476	340,5	3,710	0,671	860,6	—0,54	2,175
18,0	1533,6	0,7259	341,2	3,707	0,668	871,5	—0,55	2,128
20,0	1538,9	0,8038	342,0	3,704	0,665	881,9	—0,56	2,084
				$T=213{,}15$ K				
0,01	0,59	0,9972	479,3	4,674	0,533	141,0	30,25	4,736
0,02	1,19	0,9944	479,1	4,618	0,535	140,7	30,32	4,782
0,03	1,78	0,9916	479,0	4,585	0,537	140,5	30,38	4,828
0,04	2,38	0,9888	478,8	4,562	0,539	140,2	30,45	4,875
0,05	2,99	0,9860	478,6	4,544	0,541	139,9	30,52	4,923
0,1	6,07	0,9715	477,8	4,486	0,552	138,5	30,86	5,176
0,2	12,5	0,9413	476,0	4,425	0,576	135,5	31,63	5,763
0,3	1435,7	0,0123	342,5	3,770	0,762	674,3	—0,34	2,949
0,4	1436,2	0,0164	342,6	3,770	0,762	675,3	—0,34	2,942
0,5	1436,6	0,0205	342,6	3,770	0,761	676,2	—0,34	2,935
1,0	1438,9	0,0410	342,7	3,769	0,759	681,1	—0,35	2,902
2,0	1443,4	0,0817	343,0	3,767	0,754	690,6	—0,36	2,840
3,0	1447,7	0,1221	343,3	3,765	0,750	699,6	—0,38	2,782
4,0	1451,8	0,1624	343,6	3,763	0,746	708,4	—0,39	2,727
5,0	1455,9	0,2024	343,8	3,761	0,742	716,8	—0,40	2,676
6,0	1459,9	0,2423	344,1	3,759	0,738	725,0	—0,41	2,628
7,0	1463,7	0,2819	344,4	3,757	0,735	732,9	—0,42	2,582
8,0	1467,4	0,3213	344,8	3,756	0,732	740,6	—0,43	2,540
9,0	1471,1	0,3606	345,1	3,754	0,729	748,0	—0,44	2,499
10,0	1474,7	0,3997	345,4	3,752	0,726	755,2	—0,44	2,460

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^5$
12,0	1481,6	0,4774	346,0	3,749	0,721	768,9	—0,46	2,388
14,0	1488,2	0,5545	346,7	3,746	0,716	782,0	—0,47	2,323
16,0	1494,6	0,6310	347,4	3,743	0,712	794,4	—0,49	2,263
18,0	1500,7	0,7070	348,1	3,740	0,708	806,1	—0,50	2,207
20,0	1506,6	0,7825	348,8	3,737	0,704	817,4	—0,51	2,156
				$T=223{,}15$ K				
0,01	0,56	0,9976	484,7	4,699	0,548	144,0	26,14	4,518
0,02	1,13	0,9952	484,5	4,643	0,549	143,7	26,19	4,554
0,03	1,70	0,9928	484,4	4,610	0,551	143,5	26,24	4,592
0,04	2,27	0,9904	484,3	4,587	0,553	143,2	26,29	4,629
0,05	2,85	0,9880	484,1	4,569	0,554	143,0	26,34	4,668
0,1	5,77	0,9757	483,4	4,511	0,563	141,7	26,60	4,869
0,2	11,85	0,9503	481,8	4,451	0,583	139,1	27,16	5,322
0,3	18,29	0,9235	480,2	4,414	0,606	136,4	27,79	5,862
0,4	25,16	0,8950	478,5	4,385	0,634	133,4	28,50	6,518
0,5	1393,1	0,0202	350,5	3,806	0,822	603,1	—0,24	3,224
1,0	1395,9	0,0403	350,6	3,805	0,819	608,6	—0,25	3,179
2,0	1401,2	0,0804	350,8	3,803	0,813	619,1	—0,27	3,093
3,0	1406,4	0,1201	351,0	3,800	0,807	629,2	—0,29	3,014
4,0	1411,3	0,1596	351,3	3,798	0,801	638,8	—0,31	2,942
5,0	1416,1	0,1988	351,5	3,796	0,796	648,1	—0,32	2,874
6,0	1420,7	0,2378	351,8	3,794	0,792	657,0	—0,33	2,812
7,0	1425,2	0,2765	352,1	3,792	0,787	655,6	—0,34	2,754
8,0	1429,5	0,3151	352,3	3,790	0,783	673,9	—0,35	2,700
9,0	1433,8	0,3534	352,6	3,788	0,780	682,0	—0,37	2,648
10,0	1437,9	0,3916	352,9	3,787	0,776	689,7	—0,38	2,600
12,0	1445,7	0,4673	353,5	3,783	0,770	704,6	—0,39	2,512
14,0	1453,3	0,5424	354,1	3,730	0,764	718,6	—0,41	2,433
16,0	1460,4	0,6168	354,8	3,776	0,759	731,9	—0,43	2,361
18,0	1467,3	0,6907	355,4	3,773	0,754	744,5	—0,44	2,295
20,0	1473,9	0,7640	356,1	3,770	0,750	756,5	—0,45	2,235
				$T=233{,}15$ K				
0,01	0,54	0,9980	490,2	4,723	0,562	146,9	22,76	4,319
0,02	1,08	0,9959	490,1	4,668	0,563	146,6	22,80	4,349
0,03	1,63	0,9938	490,0	4,635	0,565	146,4	22,84	4,379
0,04	2,17	0,9918	489,9	4,612	0,566	146,2	22,87	4,410
0,05	2,72	0,9897	489,7	4,593	0,568	146,0	22,91	4,441
0,1	5,50	0,9792	489,1	4,536	0,575	144,9	23,11	4,603
0,2	11,26	0,9575	487,7	4,477	0,591	142,6	23,52	4,961
0,3	17,29	0,9349	486,3	4,440	0,610	140,2	23,98	5,374
0,4	23,66	0,9112	484,8	4,413	0,631	137,6	24,49	5,857
0,5	30,40	0,8862	483,2	4,390	0,656	134,9	25,05	6,431
0,6	37,61	0,8596	481,5	4,370	0,685	132,0	25,70	7,129
0,7	1347,8	0,0280	359,1	3,843	0,888	536,7	—0,14	3,587
0,8	1348,5	0,0320	359,1	3,843	0,887	538,0	—0,14	3,573
0,9	1349,2	0,0359	359,1	3,842	0,886	539,2	—0,14	3,560
1,0	1349,9	0,0399	359,1	3,842	0,885	540,4	—0,14	3,546
2,0	1356,4	0,0795	359,3	3,840	0,876	552,4	—0,17	3,422
3,0	1362,7	0,1186	359,4	3,837	0,868	563,7	—0,19	3,312
4,0	1363,6	0,1575	359,6	3,835	0,860	574,4	—0,21	3,213

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
5,0	1374,3	0,1960	359,8	3,832	0,854	584,7	—0,23	3,122
6,0	1379,8	0,2343	360,0	3,830	0,848	594,6	—0,25	3,039
7,0	1385,0	0,2723	360,2	3,828	0,842	604,0	—0,27	2,962
8,0	1390,1	0,3101	360,4	3,826	0,837	613,1	—0,28	2,892
9,0	1395,0	0,3476	360,7	3,824	0,832	621,8	—0,29	2,827
10,0	1399,8	0,3850	360,9	3,822	0,828	630,3	—0,31	2,766
12,0	1408,8	0,4590	361,4	3,818	0,820	646,3	—0,33	2,656
14,0	1417,4	0,5322	362,0	3,814	0,813	661,4	—0,35	2,558
16,0	1425,5	0,6048	362,6	3,811	0,806	675,6	—0,37	2,472
18,0	1433,2	0,6767	363,2	3,807	0,801	689,1	—0,38	2,394
20,0	1440,6	0,7481	363,8	3,804	0,796	701,9	—0,40	2,323
				$T=243{,}15$ K				
0,01	0,52	0,9982	495,9	4,747	0,576	149,7	19,96	4,137
0,02	1,04	0,9964	495,8	4,691	0,577	149,5	19,99	4,162
0,03	1,56	0,9946	495,7	4,659	0,578	149,3	20,02	4,187
0,04	2,08	0,9928	495,6	4,636	0,579	149,1	20,05	4,212
0,05	2,61	0,9910	495,5	4,618	0,581	148,9	20,08	4,238
0,1	5,26	0,9819	494,9	4,561	0,587	147,9	20,22	4,370
0,2	10,73	0,9633	493,7	4,502	0,601	145,9	20,54	4,657
0,3	16,42	0,9440	492,4	4,466	0,616	143,8	20,88	4,981
0,4	22,37	0,9239	491,1	4,439	0,633	141,6	21,25	5,349
0,5	28,61	0,9030	489,7	4,417	0,652	139,3	21,65	5,773
0,6	35,18	0,8812	488,3	4,398	0,673	136,8	22,10	6,266
0,7	42,15	0,8582	486,7	4,381	0,698	134,2	22,60	6,848
0,8	49,58	0,8338	485,1	4,366	0,728	131,5	23,16	7,551
0,9	1298,8	0,0358	368,3	3,881	0,958	473,9	—0,01	4,085
1,0	1299,7	0,0398	368,3	3,881	0,957	475,4	—0,01	4,064
2,0	1308,0	0,0790	368,3	3,878	0,943	489,2	—0,05	3,874
3,0	1315,8	0,1178	368,4	3,875	0,931	502,2	—0,08	3,709
4,0	1323,1	0,1562	368,5	3,872	0,921	514,4	—0,11	3,565
5,0	1330,1	0,1942	368,6	3,869	0,912	525,9	—0,14	3,437
6,0	1336,7	0,2319	368,7	3,867	0,903	536,9	—0,16	3,323
7,0	1343,0	0,2693	368,9	3,864	0,896	547,4	—0,18	3,221
8,0	1349,0	0,3064	369,1	3,862	0,889	557,4	—0,20	3,127
9,0	1354,8	0,3433	369,2	3,860	0,883	567,0	—0,22	3,042
10,0	1360,3	0,3798	369,4	3,858	0,877	576,2	—0,23	2,963
12,0	1370,8	0,4523	369,9	3,853	0,867	593,6	—0,26	2,824
14,0	1380,7	0,5239	370,4	3,849	0,859	609,8	—0,29	2,703
16,0	1389,9	0,5948	370,9	3,846	0,851	625,1	—0,31	2,598
18,0	1398,6	0,6650	371,4	3,842	0,845	639,5	—0,33	2,504
20,0	1406,9	0,7345	372,0	3,838	0,839	653,1	—0,35	2,420
				$T=253{,}15$ K				
0,01	0,50	0,9984	501,8	4,770	0,589	152,5	17,63	3,971
0,02	1,00	0,9969	501,6	4,715	0,590	152,3	17,65	3,991
0,03	1,47	0,9953	501,5	4,682	0,591	152,1	17,67	4,012
0,04	2,00	0,9937	501,4	4,659	0,592	152,0	17,69	4,033
0,05	2,50	0,9922	501,3	4,641	0,593	151,8	17,72	4,054
0,1	5,04	0,9842	500,8	4,585	0,599	150,9	17,83	4,163
0,2	10,25	0,9681	499,7	4,526	0,610	149,1	18,07	4,397
0,3	15,66	0,9514	498,6	4,491	0,623	147,2	18,33	4,656
0,4	21,25	0,9342	497,4	4,465	0,636	145,3	18,60	4,944

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,5	27,08	0,9165	496,2	4,444	0,651	143,3	18,90	5,267
0,6	33,16	0,8981	495,0	4,425	0,668	141,2	19,22	5,633
0,7	39,52	0,8790	493,7	4,409	0,687	139,0	19,57	6,050
0,8	46,22	0,8590	492,3	4,395	0,709	136,7	19,95	6,532
0,9	53,30	0,8381	490,8	4,381	0,733	134,3	20,38	7,096
1,0	60,82	0,8160	489,3	4,368	0,762	131,7	20,85	7,768
2,0	1254,5	0,0791	378,2	3,917	1,019	427,7	0,11	4,531
3,0	1264,6	0,1177	378,1	3,914	1,001	443,0	0,06	4,265
4,0	1273,9	0,1558	378,0	3,910	0,985	457,2	0,02	4,044
5,0	1282,6	0,1935	378,0	3,907	0,971	470,4	−0,02	3,855
6,0	1290,7	0,2307	378,1	3,904	0,960	482,8	−0,05	3,691
7,0	1298,4	0,2676	378,1	3,902	0,950	494,5	−0,08	3,547
8,0	1305,6	0,3041	378,2	3,899	0,940	505,6	−0,11	3,420
9,0	1312,5	0,3403	378,3	3,896	0,932	516,2	−0,13	3,305
10,0	1319,1	0,3762	378,5	3,894	0,925	526,3	−0,16	3,202
12,0	1331,4	0,4473	378,8	3,889	0,912	545,3	−0,19	3,023
14,0	1342,7	0,5175	379,2	3,885	0,901	562,8	−0,23	2,871
16,0	1353,3	0,5868	379,6	3,881	0,892	579,2	−0,25	2,741
18,0	1363,2	0,6553	380,1	3,877	0,884	594,6	−0,28	2,627
20,0	1372,6	0,7232	380,6	3,873	0,877	609,1	−0,30	2,527
				T=263,15 K				
0,01	0,48	0,9986	507,7	4,794	0,602	155,2	15,67	3,817
0,02	0,96	0,9973	507,6	4,738	0,603	155,1	15,69	3,835
0,03	1,44	0,9959	507,5	4,706	0,604	154,9	15,71	3,852
0,04	1,92	0,9945	507,4	4,682	0,605	154,7	15,73	3,870
0,05	2,40	0,9931	507,3	4,664	0,606	154,6	15,74	3,887
0,1	4,84	0,9862	506,8	4,608	0,611	153,8	15,83	3,978
0,2	9,82	0,9720	505,9	4,550	0,620	152,2	16,02	4,171
0,3	14,96	0,9575	504,9	4,515	0,631	150,5	16,22	4,381
0,4	20,26	0,9427	503,8	4,490	0,642	148,8	16,42	4,612
0,5	25,74	0,9274	502,8	4,469	0,654	147,0	16,64	4,865
0,6	31,42	0,9117	501,6	4,451	0,667	145,2	16,88	5,145
0,7	37,32	0,8955	500,5	4,436	0,682	143,3	17,13	5,458
0,8	43,46	0,8788	499,3	4,422	0,698	141,4	17,40	5,808
0,9	49,88	0,8615	498,1	4,409	0,717	139,3	17,70	6,204
1,0	56,61	0,8434	496,8	4,397	0,737	137,2	18,02	6,657
1,5	97,00	0,7383	489,1	4,342	0,903	124,4	20,21	10,53
2,0	1193,1	0,0800	388,8	3,958	1,116	365,4	0,35	5,593
3,0	1207,1	0,1187	388,5	3,954	1,083	384,2	0,26	5,108
4,0	1219,5	0,1566	388,2	3,950	1,057	401,2	0,19	4,733
5,0	1230,8	0,1940	388,1	3,946	1,036	416,7	0,13	4,432
6,0	1241,1	0,2308	387,9	3,943	1,019	431,0	0,08	4,183
7,0	1250,6	0,2672	387,9	3,939	1,004	444,3	0,04	3,972
8,0	1259,5	0,3033	387,9	3,936	0,991	456,8	−0,00	3,791
9,0	1267,9	0,3389	387,9	3,933	0,980	468,6	−0,04	3,634
10,0	1275,7	0,3742	387,9	3,931	0,971	479,8	−0,06	3,495
12,0	1290,3	0,4440	388,1	3,925	0,954	500,5	−0,12	3,259
14,0	1303,5	0,5128	388,4	3,920	0,940	519,5	−0,16	3,066
16,0	1315,7	0,5806	388,7	3,916	0,929	537,1	−0,19	2,904
18,0	1327,0	0,6476	389,1	3,912	0,920	553,5	−0,22	2,766
20,0	1337,5	0,7139	389,5	3,908	0,911	568,9	−0,25	2,646

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=273{,}15$ K				
0,01	0,46	0,9988	513,8	4,816	0,615	157,9	14,03	3,676
0,02	0,92	0,9976	513,7	4,761	0,616	157,8	14,04	3,690
0,03	1,39	0,9964	513,6	4,728	0,617	157,6	14,06	3,705
0,04	1,85	0,9951	513,5	4,705	0,618	157,5	14,07	3,720
0,05	2,31	0,9939	513,5	4,687	0,618	157,3	14,09	3,735
0,1	4,66	0,9878	513,0	4,631	0,622	156,6	14,16	3,811
0,2	9,43	0,9753	512,1	4,574	0,630	155,2	14,30	3,972
0,3	14,33	0,9626	511,2	4,539	0,639	153,7	14,45	4,146
0,4	19,37	0,9497	510,3	4,514	0,648	152,1	14,61	4,333
0,5	24,56	0,9364	509,3	4,493	0,659	150,6	14,78	4,536
0,6	29,90	0,9229	508,3	4,476	0,669	149,0	14,95	4,757
0,7	35,42	0,9090	507,3	4,461	0,681	147,3	15,14	4,998
0,8	41,13	0,8947	506,3	4,448	0,694	145,6	15,34	5,264
0,9	47,04	0,8800	505,2	4,436	0,708	143,9	15,55	5,557
1,0	53,18	0,8649	504,1	4,424	0,723	142,1	15,78	5,882
1,5	88,39	0,7806	497,7	4,374	0,832	131,8	17,20	8,293
2,0	1118,1	0,0823	400,6	4,003	1,269	298,3	0,77	7,687
3,0	1139,5	0,1211	399,8	3,996	1,197	323,4	0,58	6,559
4,0	1157,4	0,1590	399,2	3,991	1,148	344,7	0,44	5,817
5,0	1172,8	0,1961	398,8	3,986	1,112	363,5	0,34	5,282
6,0	1186,4	0,2326	398,5	3,982	1,085	380,4	0,26	4,872
7,0	1198,6	0,2686	398,2	3,978	1,063	395,9	0,19	4,545
8,0	1209,8	0,3041	398,0	3,974	1,044	410,1	0,13	4,277
9,0	1220,2	0,3393	397,9	3,971	1,029	423,4	0,08	4,051
10,0	1229,8	0,3740	397,9	3,968	1,016	435,8	0,04	3,858
12,0	1247,2	0,4426	397,9	3,962	0,994	458,6	−0,03	3,543
14,0	1262,7	0,5100	398,0	3,956	0,977	479,2	−0,08	3,295
16,0	1276,8	0,5764	398,2	3,951	0,963	498,2	−0,13	3,092
18,0	1289,8	0,6419	398,4	3,947	0,951	515,7	−0,16	2,923
20,0	1301,8	0,7067	398,8	3,942	0,941	532,0	−0,20	2,778
				$T=283{,}15$ K				
0,01	0,44	0,9989	520,0	4,839	0,628	160,5	12,64	3,544
0,02	0,89	0,9978	519,9	4,783	0,628	160,4	12,65	3,557
0,03	1,34	0,9968	519,9	4,751	0,629	160,3	12,66	3,569
0,04	1,78	0,9957	519,8	4,728	0,630	160,2	12,67	3,582
0,05	2,23	0,9946	519,7	4,710	0,630	160,0	12,68	3,595
0,1	4,49	0,9891	519,3	4,654	0,634	159,4	12,74	3,660
0,2	9,07	0,9781	518,5	4,596	0,641	158,1	12,85	3,796
0,3	13,77	0,9669	517,6	4,562	0,648	156,7	12,97	3,940
0,4	18,57	0,9555	516,8	4,537	0,656	155,4	13,09	4,095
0,5	23,50	0,9439	515,9	4,517	0,664	154,0	13,22	4,261
0,6	28,56	0,9321	515,0	4,500	0,673	152,5	13,35	4,439
0,7	33,76	0,9201	514,1	4,486	0,683	151,1	13,49	4,630
0,8	39,10	0,9077	513,2	4,473	0,693	149,6	13,64	4,837
0,9	44,61	0,8952	512,2	4,461	0,704	148,1	13,80	5,062
1,0	50,29	0,8823	511,3	4,450	0,716	146,5	13,96	5,307
1,5	81,94	0,8123	505,8	4,403	0,794	137,9	14,94	6,966
2,0	121,83	0,7284	499,1	4,362	0,936	127,4	16,32	10,10
3,0	1052,7	0,1264	412,7	4,043	1,412	255,7	1,20	9,841
4,0	1082,4	0,1640	411,3	4,034	1,287	285,3	0,87	7,815
5,0	1105,5	0,2007	410,4	4,028	1,215	309,4	0,66	6,666

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
6,0	1124,6	0,2367	409,7	4,022	1,163	330,1	0,51	5,905
7,0	1141,0	0,2722	409,2	4,017	1,130	348,4	0,40	5,353
8,0	1155,6	0,3072	408,8	4,013	1,102	364,9	0,31	4,931
9,0	1168,7	0,3417	408,5	4,009	1,080	380,0	0,24	4,594
10,0	1180,6	0,3758	408,3	4,005	1,062	393,9	0,18	4,318
12,0	1201,8	0,4431	408,0	3,998	1,033	419,1	0,08	3,886
14,0	1220,2	0,5091	407,9	3,992	1,011	441,6	0,01	3,562
16,0	1236,7	0,5741	407,9	3,986	0,993	461,9	—0,05	3,306
18,0	1251,6	0,6381	408,1	3,981	0,979	480,6	—0,10	3,098
20,0	1265,2	0,7014	408,3	3,976	0,968	497,9	—0,14	2,924
				$T=293{,}15$ K				
0,01	0,43	0,9990	526,4	4,861	0,640	163,1	11,46	3,422
0,02	0,86	0,9981	526,3	4,805	0,640	163,0	11,47	3,433
0,03	1,29	0,9971	526,2	4,773	0,641	162,9	11,48	3,444
0,04	1,72	0,9961	526,1	4,750	0,641	162,8	11,48	3,455
0,05	2,15	0,9952	526,1	4,732	0,642	162,7	11,49	3,465
0,1	4,33	0,9903	525,7	4,676	0,645	162,1	11,54	3,521
0,2	8,74	0,9805	524,9	4,619	0,651	160,9	11,62	3,637
0,3	13,25	0,9706	524,2	4,585	0,657	159,7	11,72	3,759
0,4	17,85	0,9605	523,4	4,560	0,664	158,5	11,81	3,889
0,5	22,55	0,9503	522,6	4,540	0,671	157,2	11,91	4,026
0,6	27,36	0,9399	521,8	4,524	0,678	155,9	12,01	4,172
0,7	32,28	0,9293	521,0	4,509	0,686	154,6	12,12	4,327
0,8	37,32	0,9186	520,1	4,497	0,695	153,3	12,23	4,493
0,9	42,50	0,9077	519,3	4,485	0,704	152,0	12,35	4,671
1,0	47,80	0,8966	518,4	4,475	0,713	150,6	12,47	4,861
1,5	76,78	0,8372	513,7	4,431	0,773	143,3	13,17	6,075
2,0	111,38	0,7696	508,1	4,393	0,865	134,8	14,07	8,035
2,5	155,75	0,6879	501,2	4,357	1,039	124,5	15,30	11,85
3,0	223,66	0,5749	491,2	4,313	1,562	110,7	17,12	23,81
3,5	949,21	0,1580	427,3	4,091	1,856	194,2	2,35	17,53
4,0	980,28	0,1749	425,5	4,084	1,603	217,5	1,80	13,07
5,0	1022,1	0,2096	423,3	4,073	1,386	252,1	1,23	9,360
6,0	1051,9	0,2445	421,9	4,065	1,281	278,9	0,92	7,619
7,0	1075,5	0,2789	420,9	4,058	1,216	301,2	0,71	6,568
8,0	1095,3	0,3130	420,1	4,052	1,171	320,7	0,56	5,849
9,0	1112,4	0,3468	419,6	4,047	1,137	338,1	0,44	5,318
10,0	1127,5	0,3801	419,1	4,043	1,111	353,8	0,35	4,907
12,0	1153,6	0,4458	418,5	4,035	1,071	381,8	0,21	4,303
14,0	1175,7	0,5103	418,2	4,028	1,043	406,2	0,11	3,874
16,0	1195,0	0,5738	418,0	4,021	1,022	428,1	0,03	3,550
18,0	1212,2	0,6364	418,0	4,016	1,005	447,9	—0,03	3,294
20,0	1227,8	0,6981	418,1	4,010	0,991	466,2	—0,08	3,084
				$T=303{,}15$ K				
0,01	0,42	0,9991	532,8	4,882	0,651	165,7	10,45	3,303
0,02	0,83	0,9983	532,7	4,827	0,652	165,6	10,46	3,317
0,03	1,25	0,9974	532,7	4,794	0,652	165,5	10,46	3,327
0,04	1,66	0,9965	532,6	4,771	0,653	165,4	10,47	3,336
0,05	2,08	0,9957	532,5	4,754	0,653	165,3	10,48	3,345

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,1	4,18	0,9913	532,2	4,698	0,656	164,7	10,51	3,394
0,2	8,44	0,9826	531,5	4,641	0,661	163,7	10,58	3,493
0,3	12,77	0,9737	530,8	4,607	0,667	162,6	10,65	3,598
0,4	17,18	0,9647	530,1	4,582	0,672	161,4	10,72	3,707
0,5	21,68	0,9557	529,3	4,563	0,678	160,3	10,80	3,823
0,6	26,27	0,9465	528,6	4,547	0,684	159,2	10,88	3,944
0,7	30,96	0,9372	527,9	4,533	0,691	158,0	10,96	4,072
0,8	35,74	0,9278	527,1	4,520	0,698	156,9	11,05	4,208
0,9	40,62	0,9182	526,3	4,509	0,705	155,7	11,13	4,351
1,0	45,62	0,9085	525,5	4,499	0,713	154,5	11,23	4,503
1,5	72,50	0,8574	521,3	4,456	0,760	148,1	11,73	5,431
2,0	103,47	0,8011	516,5	4,421	0,826	141,0	12,35	6,782
2,5	140,60	0,7369	511,0	4,389	0,930	133,0	13,12	8,959
3,0	188,35	0,6601	504,1	4,356	1,124	123,6	14,07	13,12
3,5	260,21	0,5574	494,3	4,317	1,658	111,9	15,13	24,83
4,0	673,56	0,2461	454,1	4,179	19,480	107,1	8,73	
4,5	852,81	0,2187	442,0	4,137	2,350	160,2	3,62	27,23
5,0	902,93	0,2295	438,9	4,125	1,817	187,4	2,56	17,14
5,5	935,66	0,2436	437,0	4,117	1,601	208,2	2,00	13,19
6,0	960,53	0,2589	435,6	4,111	1,478	225,5	1,64	10,99
6,5	980,81	0,2747	434,5	4,105	1,397	240,5	1,39	9,570
7,0	998,05	0,2907	433,6	4,101	1,338	254,0	1,19	8,559
7,5	1013,1	0,3068	432,9	4,097	1,293	266,2	1,04	7,798
8,0	1026,6	0,3230	432,3	4,093	1,258	277,4	0,92	7,199
8,5	1038,7	0,3391	431,7	4,090	1,229	287,8	0,81	6,714
9,0	1049,8	0,3553	431,3	4,086	1,204	297,6	0,72	6,310
9,5	1060,1	0,3714	430,8	4,084	1,183	306,8	0,65	5,968
10,0	1069,6	0,3875	430,5	4,081	1,165	315,5	0,58	5,673
11,0	1086,9	0,4194	429,9	4,076	1,135	331,7	0,46	5,190
12,0	1102,3	0,4512	429,4	4,071	1,111	346,6	0,37	4,809
13,0	1116,3	0,4826	429,1	4,067	1,091	360,3	0,30	4,497
14,0	1129,1	0,5139	428,8	4,063	1,075	373,1	0,23	4,237
15,0	1140,8	0,5449	428,5	4,060	1,061	385,2	0,18	4,016
16,0	1151,8	0,5757	428,4	4,056	1,048	396,5	0,13	3,824
17,0	1162,1	0,6063	428,3	4,053	1,038	407,3	0,09	3,657
18,0	1171,7	0,6367	428,2	4,050	1,028	417,6	0,05	3,509
19,0	1180,8	0,6669	428,2	4,047	1,019	427,5	0,02	3,377
20,0	1189,4	0,6969	428,1	4,044	1,012	436,9	−0,01	3,257
				$T=313{,}15$ K				
0,01	0,40	0,9992	539,4	4,904	0,663	168,2	9,58	3,201
0,02	0,80	0,9984	539,3	4,848	0,663	168,1	9,59	3,210
0,03	1,21	0,9977	539,3	4,816	0,664	168,0	9,59	3,218
0,04	1,61	0,9969	539,2	4,793	0,664	167,9	9,60	3,226
0,05	2,01	0,9961	539,1	4,775	0,664	167,8	9,60	3,235
0,1	4,04	0,9922	538,8	4,719	0,667	167,3	9,63	3,276
0,2	8,15	0,9844	538,2	4,662	0,671	166,4	9,68	3,362
0,3	12,33	0,9764	537,5	4,629	0,676	165,4	9,74	3,452
0,4	16,57	0,9684	536,8	4,604	0,681	164,4	9,80	3,546
0,5	20,89	0,9603	536,2	4,585	0,686	163,3	9,86	3,644
0,6	25,28	0,9522	535,5	4,569	0,691	162,3	9,92	3,747
0,7	29,75	0,9439	534,8	4,555	0,697	161,3	9,98	3,854
0,8	34,31	0,9356	534,1	4,543	0,703	160,2	10,04	3,966
0,9	38,95	0,9271	533,4	4,532	0,709	159,2	10,11	4,085

p	ρ	z	h	s	c_p	w	$\mu_.$	$\alpha \cdot 10^3$
1,0	43,68	0,9186	532,7	4,522	0,715	158,1	10,18	4,209
1,5	68,85	0,8741	528,9	4,481	0,753	152,5	10,56	4,940
2,0	97,12	0,8262	524,7	4,448	0,803	146,5	11,00	5,932
2,5	129,67	0,7735	520,0	4,419	0,874	139,9	11,51	7,358
3,0	168,51	0,7143	514,5	4,390	0,983	132,6	12,09	9,588
3,5	217,68	0,6451	507,9	4,361	1,175	124,6	12,69	13,56
4,0	286,96	0,5592	499,1	4,326	1,597	115,8	13,09	22,35
4,5	408,80	0,4416	485,5	4,278	2,939	108,2	12,15	
5,0	633,77	0,3165	465,9	4,212	4,063	117,1	7,68	
5,5	766,92	0,2877	456,4	4,180	2,475	145,5	4,57	30,89
6,0	830,27	0,2899	452,2	4,165	1,924	169,9	3,23	19,68
6,5	871,09	0,2994	449,7	4,155	1,676	189,9	2,50	14,87
7,0	901,43	0,3116	447,9	4,147	1,535	206,9	2,04	12,20
7,5	925,73	0,3250	446,5	4,141	1,442	221,9	1,71	10,48
8,0	946,09	0,3392	445,4	4,136	1,376	235,4	1,47	9,283
8,5	963,68	0,3539	444,5	4,131	1,325	247,6	1,27	8,389
9,0	979,21	0,3687	443,7	4,127	1,286	258,9	1,12	7,694
9,5	993,14	0,3833	443,0	4,123	1,254	269,4	0,99	7,135
10,0	1005,8	0,3989	442,4	4,120	1,227	279,3	0,88	6,674
11,0	1028,1	0,4292	441,5	4,113	1,184	297,3	0,71	5,956
12,0	1047,5	0,4596	440,7	4,108	1,152	313,6	0,58	5,417
13,0	1064,6	0,4899	440,1	4,103	1,126	328,6	0,47	4,994
14,0	1080,0	0,5201	439,7	4,099	1,105	342,4	0,38	4,652
15,0	1094,0	0,5501	439,3	4,094	1,088	355,2	0,31	4,369
16,0	1106,9	0,5799	439,0	4,091	1,073	367,3	0,25	4,129
17,0	1118,9	0,6096	438,8	4,087	1,060	378,8	0,19	3,922
18,0	1130,0	0,6391	438,6	4,084	1,049	389,6	0,14	3,742
19,0	1140,4	0,6684	438,4	4,080	1,039	399,9	0,10	3,583
20,0	1150,3	0,6976	438,4	4,077	1,030	409,8	0,07	3,442
				$T=333{,}15$ K				
0,01	0,38	0,9994	552,9	4,945	0,684	173,1	8,18	3,008
0,02	0,76	0,9987	552,8	4,890	0,685	173,1	8,19	3,014
0,03	1,13	0,9981	552,7	4,858	0,685	173,0	8,19	3,021
0,04	1,51	0,9975	552,7	4,835	0,685	172,9	8,19	3,027
0,05	1,89	0,9968	552,6	4,817	0,686	172,8	8,20	3,033
0,1	3,80	0,9937	552,3	4,761	0,687	172,4	8,21	3,066
0,2	7,64	0,9873	551,8	4,705	0,691	171,6	8,24	3,132
0,3	11,53	0,9809	551,2	4,671	0,694	170,8	8,28	3,201
0,4	15,48	0,9744	550,6	4,647	0,698	169,9	8,31	3,271
0,5	19,48	0,9679	550,0	4,628	0,702	169,1	8,35	3,344
0,6	23,54	0,9614	549,5	4,612	0,706	168,3	8,38	3,420
0,7	27,65	0,9548	548,9	4,599	0,710	167,4	8,42	3,498
0,8	31,82	0,9482	548,3	4,587	0,714	166,6	8,46	3,579
0,9	36,05	0,9415	547,7	4,576	0,719	165,7	8,49	3,662
1,0	40,35	0,9347	547,0	4,566	0,723	164,9	8,53	3,749
1,5	62,84	0,9002	543,9	4,527	0,749	160,5	8,74	4,237
2,0	87,29	0,8641	540,5	4,497	0,781	155,9	8,98	4,838
2,5	114,14	0,8260	536,8	4,471	0,821	151,1	9,23	5,596
3,0	144,02	0,7855	532,9	4,447	0,872	146,2	9,49	6,580
3,5	177,81	0,7423	528,5	4,425	0,942	141,1	9,74	7,895
4,0	216,78	0,6958	523,7	4,403	1,037	136,1	9,93	9,706
4,5	262,80	0,6458	518,2	4,380	1,174	131,3	9,99	12,25
5,0	318,37	0,5923	511,9	4,356	1,368	127,3	9,80	15,81

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
5,5	386,00	0,5373	504,8	4,330	1,622	125,1	9,17	20,24
6,0	465,25	0,4863	497,2	4,304	1,872	126,2	8,08	24,12
6,5	548,61	0,4468	490,0	4,279	1,991	131,4	6,72	25,04
7,0	624,55	0,4227	484,0	4,259	1,943	141,0	5,41	22,72
7,5	686,75	0,4119	479,5	4,243	1,812	153,4	4,34	19,22
8,0	735,87	0,4100	476,0	4,230	1,680	166,8	3,53	16,08
8,5	775,06	0,4136	473,4	4,221	1,571	180,2	2,92	13,67
9,0	807,11	0,4205	471,4	4,213	1,485	193,1	2,46	11,87
9,5	834,04	0,4296	469,7	4,206	1,419	205,2	2,11	10,51
10,0	857,17	0,4400	468,4	4,200	1,366	216,6	1,84	9,460
11,0	895,42	0,4633	466,2	4,190	1,289	237,5	1,43	7,951
12,0	926,36	0,4885	464,6	4,182	1,234	256,1	1,14	6,925
13,0	952,38	0,5148	463,4	4,175	1,194	273,1	0,93	6,180
14,0	974,86	0,5416	462,4	4,169	1,162	288,6	0,77	5,613
15,0	994,70	0,5687	461,5	4,163	1,137	302,9	0,64	5,165
16,0	1012,5	0,5960	460,9	4,158	1,116	316,2	0,53	4,801
17,0	1028,6	0,6233	460,4	4,154	1,099	328,7	0,44	4,498
18,0	1043,3	0,6506	459,9	4,150	1,084	340,5	0,37	4,242
19,0	1057,0	0,6779	459,6	4,146	1,071	351,7	0,30	4,021
20,0	1069,6	0,7051	459,3	4,142	1,060	362,3	0,24	3,829
				$T=353{,}15$ K				
0,01	0,36	0,9995	566,7	4,986	0,705	177,9	7,12	2,837
0,02	0,71	0,9990	566,7	4,930	0,705	177,9	7,12	2,842
0,03	1,07	0,9984	566,6	4,898	0,705	177,8	7,12	2,847
0,04	1,43	0,9979	566,6	4,975	0,706	177,7	7,13	2,852
0,05	1,78	0,9974	566,5	4,857	0,706	177,7	7,13	2,857
0,1	3,58	0,9948	566,3	4,802	0,707	177,3	7,14	2,883
0,2	7,19	0,9896	565,8	4,745	0,710	176,7	7,15	2,935
0,3	10,84	0,9843	565,3	4,712	0,713	176,0	7,17	2,989
0,4	14,53	0,9791	564,8	4,688	0,715	175,3	7,19	3,043
0,5	18,27	0,9738	564,2	4,669	0,718	174,6	7,21	3,100
0,6	22,04	0,9685	563,7	4,654	0,721	173,9	7,23	3,157
0,7	25,86	0,9632	563,2	4,640	0,724	173,2	7,25	3,216
0,8	29,71	0,9578	562,7	4,629	0,728	172,5	7,27	3,277
0,9	33,62	0,9524	562,1	4,618	0,731	171,8	7,29	3,339
1,0	37,57	0,9470	561,6	4,609	0,734	171,1	7,32	3,403
1,5	58,03	0,9196	558,9	4,571	0,753	167,6	7,43	3,751
2,0	79,82	0,8914	556,0	4,542	0,775	164,0	7,55	4,154
2,5	103,13	0,8624	553,0	4,518	0,800	160,4	7,68	4,627
3,0	128,22	0,8324	549,9	4,497	0,831	156,8	7,80	5,187
3,5	155,36	0,8015	546,5	4,477	0,869	153,2	7,91	5,856
4,0	184,91	0,7696	543,0	4,459	0,914	149,7	8,00	6,659
4,5	217,27	0,7368	539,2	4,441	0,969	146,4	8,03	7,622
5,0	252,87	0,7034	535,2	4,424	1,035	143,5	7,99	8,763
5,5	292,09	0,6699	530,9	4,406	1,116	141,3	7,85	10,07
6,0	335,09	0,6370	526,4	4,389	1,205	139,9	7,57	11,48
6,5	381,63	0,6059	521,8	4,372	1,298	139,7	7,14	12,85
7,0	430,81	0,5781	517,2	4,356	1,384	141,0	6,59	13,96
7,5	481,04	0,5547	512,8	4,340	1,449	143,9	5,96	14,60
8,0	530,36	0,5366	508,6	4,325	1,485	148,5	5,30	14,66
8,5	576,96	0,5241	504,9	4,312	1,493	154,5	4,66	14,20
9,0	619,66	0,5167	501,7	4,301	1,478	161,9	4,07	13,40
9,5	657,97	0,5137	498,9	4,291	1,449	170,1	3,56	12,43

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
10,0	691,99	0,5141	496,5	4,282	1,415	178,9	3,11	11,45
11,0	748,88	0,5226	492,7	4,267	1,345	197,0	2,41	9,705
12,0	794,28	0,5375	489,9	4,256	1,286	214,7	1,91	8,353
13,0	831,52	0,5562	487,7	4,246	1,238	231,5	1,54	7,333
14,0	862,88	0,5772	486,0	4,238	1,201	247,3	1,27	6,553
15,0	889,90	0,5997	484,7	4,231	1,170	262,0	1,05	5,943
16,0	913,61	0,6230	483,5	4,224	1,145	275,8	0,88	5,454
17,0	934,73	0,6470	482,6	4,219	1,125	288,8	0,75	5,054
18,0	953,77	0,6714	481,8	4,213	1,107	301,0	0,63	4,720
19,0	971,12	0,6960	481,2	4,209	1,092	312,6	0,53	4,437
20,0	987,06	0,7208	480,7	4,204	1,079	323,6	0,45	4,195
				$T=373{,}15$ K				
0,01	0,34	0,9996	581,0	5,025	0,724	182,6	6,30	2,684
0,02	0,67	0,9991	581,0	4,970	0,724	182,6	6,30	2,688
0,03	1,01	0,9987	580,9	4,938	0,724	182,5	6,30	2,692
0,04	1,35	0,9983	580,9	4,915	0,725	182,5	6,30	2,697
0,05	1,69	0,9979	580,9	4,897	0,725	182,4	6,30	2,701
0,1	3,38	0,9957	580,6	4,841	0,726	182,1	6,31	2,721
0,2	6,79	0,9914	580,2	4,785	0,728	181,5	6,31	2,763
0,3	10,23	0,9871	579,7	4,752	0,730	181,0	6,32	2,806
0,4	13,70	0,9828	579,2	4,728	0,732	180,4	6,33	2,850
0,5	17,21	0,9785	578,8	4,709	0,735	179,9	6,34	2,895
0,6	20,74	0,9742	578,3	4,694	0,737	179,3	6,35	2,940
0,7	24,30	0,9698	577,8	4,681	0,739	178,7	6,36	2,986
0,8	27,90	0,9654	577,4	4,669	0,742	178,2	6,37	3,033
0,9	31,53	0,9611	576,9	4,659	0,744	177,6	6,38	3,081
1,0	35,19	0,9567	576,4	4,650	0,747	177,0	6,39	3,130
1,5	54,04	0,9346	574,0	4,613	0,761	174,2	6,45	3,390
2,0	73,83	0,9121	571,5	4,585	0,777	171,3	6,51	3,679
2,5	94,65	0,8893	568,9	4,562	0,795	168,5	6,56	4,003
3,0	116,61	0,8662	566,3	4,542	0,815	165,7	6,62	4,366
3,5	139,82	0,8428	563,6	4,524	0,839	163,0	6,66	4,774
4,0	164,41	0,8191	560,7	4,508	0,866	160,5	6,69	5,232
4,5	190,50	0,7953	557,8	4,492	0,897	158,1	6,69	5,743
5,0	218,19	0,7716	554,7	4,477	0,932	156,0	6,66	6,308
5,5	247,55	0,7480	551,6	4,463	0,971	154,2	6,58	6,920
6,0	278,62	0,7251	548,3	4,450	1,014	153,0	6,45	7,566
6,5	311,31	0,7030	545,0	4,436	1,059	152,3	6,27	8,220
7,0	345,44	0,6823	541,7	4,423	1,106	152,3	6,02	8,847
7,5	380,70	0,6633	538,4	4,411	1,151	153,0	5,72	9,402
8,0	416,62	0,6465	535,1	4,398	1,192	154,6	5,38	9,843
8,5	452,66	0,6322	532,0	4,387	1,226	157,0	5,01	10,14
9,0	488,23	0,6206	529,0	4,376	1,253	160,3	4,63	10,26
9,5	522,78	0,6118	526,2	4,366	1,270	164,3	4,24	10,22
10,0	555,85	0,6057	523,6	4,357	1,278	169,1	3,87	10,04
11,0	616,40	0,6008	519,1	4,340	1,274	180,5	3,19	9,390
12,0	668,89	0,6040	515,5	4,326	1,254	193,4	2,62	8,563
13,0	713,87	0,6131	512,5	4,314	1,227	207,0	2,16	7,746
14,0	752,49	0,6264	510,1	4,304	1,199	220,7	1,79	7,018
15,0	785,96	0,6426	508,2	4,295	1,174	234,1	1,50	6,397
16,0	815,29	0,6608	506,6	4,288	1,151	247,1	1,27	5,874
17,0	841,30	0,6803	505,2	4,281	1,132	259,6	1,08	5,434
18,0	864,62	0,7009	504,1	4,275	1,114	271,6	0,92	5,061

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
19,0	885,71	0,7223	503,1	4,239	1,099	283,0	0,79	4,742
20,0	904,96	0,7441	502,3	4,234	1,036	293,9	0,68	4,467
				$T=393{,}15$ K				
0,01	0,32	0,9996	595,7	5,063	0,742	187,2	5,65	2,547
0,02	0,64	0,9993	595,7	5,008	0,742	187,1	5,65	2,550
0,03	0,96	0,9989	595,6	4,976	0,742	187,1	5,65	2,553
0,04	1,28	0,9986	595,6	4,953	0,743	187,0	5,65	2,557
0,05	1,60	0,9982	595,5	4,935	0,743	187,0	5,65	2,561
0,1	3,21	0,9965	595,3	4,879	0,744	186,8	5,65	2,578
0,2	6,44	0,9929	594,9	4,823	0,745	186,3	5,65	2,612
0,3	9,69	0,9894	594,5	4,790	0,747	185,8	5,65	2,648
0,4	12,97	0,9859	594,1	4,767	0,749	185,4	5,66	2,683
0,5	16,27	0,9823	593,6	4,748	0,751	184,9	5,66	2,719
0,6	19,59	0,9787	593,2	4,733	0,752	184,4	5,66	2,756
0,7	22,94	0,9752	592,8	4,720	0,754	184,0	5,67	2,793
0,8	26,31	0,9716	592,4	4,708	0,756	183,5	5,67	2,830
0,9	29,71	0,9680	591,9	4,698	0,758	183,1	5,67	2,869
1,0	33,13	0,9645	591,5	4,689	0,760	182,6	5,68	2,907
1,5	50,64	0,9465	589,3	4,653	0,771	180,3	5,69	3,109
2,0	68,84	0,9284	587,1	4,625	0,783	178,0	5,71	3,327
2,5	87,77	0,9102	584,8	4,603	0,796	175,8	5,73	3,562
3,0	107,48	0,8920	582,5	4,584	0,811	173,6	5,74	3,817
3,5	128,02	0,8737	580,2	4,568	0,827	171,6	5,75	4,092
4,0	149,43	0,8554	577,8	4,552	0,845	169,6	5,75	4,389
4,5	171,75	0,8373	575,3	4,538	0,865	167,9	5,73	4,707
5,0	195,00	0,8194	572,8	4,525	0,887	166,3	5,69	5,045
5,5	219,19	0,8019	570,3	4,512	0,910	165,0	5,63	5,399
6,0	244,31	0,7848	567,7	4,500	0,936	164,0	5,54	5,765
6,5	270,30	0,7685	565,1	4,489	0,962	163,4	5,43	6,133
7,0	297,09	0,7529	562,5	4,477	0,990	163,2	5,28	6,493
7,5	324,55	0,7385	559,9	4,467	1,017	163,4	5,11	6,834
8,0	352,52	0,7252	557,3	4,456	1,044	164,2	4,91	7,142
8,5	380,79	0,7133	554,8	4,446	1,070	165,4	4,69	7,405
9,0	409,14	0,7030	552,3	4,437	1,093	167,1	4,46	7,611
9,5	437,34	0,6942	549,9	4,428	1,113	169,4	4,21	7,755
10,0	465,15	0,6870	547,6	4,419	1,131	172,1	3,95	7,833
11,0	518,77	0,6776	543,4	4,403	1,154	179,0	3,45	7,799
12,0	568,66	0,6743	539,7	4,389	1,164	187,5	2,98	7,556
13,0	614,11	0,6765	536,4	4,377	1,163	197,2	2,55	7,181
14,0	654,99	0,6830	533,7	4,366	1,155	207,8	2,18	6,747
15,0	691,57	0,6931	531,4	4,356	1,143	218,7	1,87	6,305
16,0	724,31	0,7059	529,4	4,347	1,130	229,8	1,61	5,886
17,0	753,72	0,7208	527,7	4,340	1,117	240,8	1,38	5,503
18,0	780,26	0,7372	526,3	4,333	1,104	251,7	1,19	5,160
19,0	804,38	0,7548	525,1	4,326	1,092	262,3	1,03	4,854
20,0	826,41	0,7734	524,0	4,321	1,081	272,6	0,90	4,583
				$T=413{,}15$ K				
0,01	0,30	0,9997	610,7	5,101	0,759	191,6	5,12	2,423
0,02	0,61	0,9994	610,7	5,045	0,759	191,6	5,12	2,426

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,03	0,91	0,9991	610,6	5,013	0,759	191,6	5,12	2,429
0,04	1,22	0,9988	610,6	4,990	0,759	191,5	5,12	2,432
0,05	1,52	0,9985	610,6	4,972	0,760	191,5	5,12	2,435
0,1	3,05	0,9971	610,4	4,917	0,760	191,3	5,12	2,449
0,2	6,12	0,9942	610,0	4,861	0,762	190,9	5,12	2,478
0,3	9,20	0,9913	609,6	4,828	0,763	190,5	5,12	2,507
0,4	12,31	0,9884	609,2	4,804	0,764	190,2	5,12	2,537
0,5	15,43	0,9855	608,8	4,786	0,766	189,8	5,11	2,567
0,6	18,57	0,9825	608,4	4,771	0,767	189,4	5,11	2,597
0,7	21,73	0,9796	608,0	4,758	0,769	189,0	5,11	2,627
0,8	24,91	0,9767	607,6	4,746	0,771	188,7	5,11	2,658
0,9	28,11	0,9738	607,2	4,736	0,772	188,2	5,11	2,689
1,0	31,32	0,9709	606,8	4,727	0,774	187,9	5,11	2,720
1,5	47,70	0,9562	604,8	4,691	0,782	186,1	5,10	2,881
2,0	64,59	0,9416	602,8	4,664	0,791	184,3	5,10	3,051
2,5	82,02	0,9269	600,8	4,643	0,802	182,5	5,09	3,230
3,0	100,00	0,9123	598,8	4,625	0,812	180,8	5,08	3,419
3,5	118,55	0,8978	596,7	4,609	0,824	179,2	5,06	3,618
4,0	137,69	0,8834	594,6	4,594	0,837	177,8	5,04	3,826
4,5	157,42	0,8693	592,5	4,581	0,851	176,4	5,00	4,044
5,0	177,75	0,8554	590,3	4,568	0,866	175,3	4,96	4,269
5,5	198,67	0,8419	588,2	4,557	0,882	174,3	4,90	4,500
6,0	220,14	0,8288	586,0	4,546	0,899	173,6	4,83	4,734
6,5	242,14	0,8163	583,8	4,535	0,916	173,1	4,74	4,967
7,0	264,61	0,8044	581,7	4,525	0,934	173,0	4,64	5,196
7,5	287,49	0,7933	579,5	4,515	0,952	173,1	4,52	5,415
8,0	310,69	0,7830	577,4	4,506	0,970	173,6	4,39	5,621
8,5	334,11	0,7736	575,3	4,497	0,988	174,4	4,24	5,807
9,0	357,65	0,7652	573,2	4,489	1,005	175,5	4,08	5,970
9,5	381,20	0,7578	571,2	4,481	1,020	177,0	3,91	6,106
10,0	404,63	0,7515	569,2	4,473	1,035	178,8	3,74	6,212
11,0	450,71	0,7422	565,5	4,458	1,060	183,4	3,38	6,330
12,0	495,05	0,7371	562,0	4,445	1,078	189,3	3,02	6,326
13,0	537,02	0,7361	558,9	4,432	1,089	196,3	2,68	6,217
14,0	576,22	0,7388	556,2	4,421	1,094	204,1	2,37	6,030
15,0	612,49	0,7447	553,8	4,412	1,094	212,6	2,08	5,793
16,0	645,87	0,7533	551,6	4,403	1,091	221,5	1,82	5,531
17,0	676,50	0,7642	549,8	4,394	1,085	230,7	1,60	5,263
18,0	704,61	0,7768	548,2	4,387	1,079	240,0	1,40	5,002
19,0	730,45	0,7910	546,7	4,380	1,072	249,4	1,23	4,754
20,0	754,27	0,8063	545,5	4,374	1,064	258,6	1,08	4,523
				T=433,15 K				
0,01	0,29	0,9998	626,1	5,137	0,775	196,0	4,69	2,311
0,02	0,58	0,9995	626,0	5,082	0,775	196,0	4,69	2,313
0,03	0,87	0,9993	626,0	5,049	0,775	195,9	4,69	2,315
0,04	1,16	0,9991	625,9	5,026	0,775	195,9	4,69	2,318
0,05	1,45	0,9988	625,9	5,009	0,775	195,9	4,69	2,321
0,1	2,91	0,9976	625,7	4,953	0,776	195,7	4,69	2,333
0,2	5,83	0,9952	625,4	4,897	0,777	195,4	4,69	2,358
0,3	8,76	0,9929	625,0	4,864	0,778	195,1	4,68	2,382
0,4	11,71	0,9905	624,6	4,841	0,779	194,8	4,68	2,407
0,5	14,68	0,9881	624,3	4,822	0,781	194,5	4,67	2,432
0,6	17,66	0,9857	623,9	4,807	0,782	194,2	4,67	2,457

Продолжение табл. 44

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,7	20,65	0,9833	623,5	4,794	0,783	193,9	4,66	2,483
0,8	23,65	0,9810	623,2	4,783	0,784	193,6	4,66	2,508
0,9	26,68	0,9786	622,8	4,773	0,786	193,3	4,65	2,534
1,0	29,71	0,9762	622,4	4,764	0,787	193,1	4,65	2,560
1,5	45,12	0,9643	620,6	4,728	0,794	191,6	4,63	2,691
2,0	60,91	0,9524	618,8	4,702	0,801	190,2	4,60	2,827
2,5	77,10	0,9406	616,9	4,681	0,809	188,8	4,58	2,968
3,0	93,69	0,9288	615,1	4,663	0,818	187,5	4,56	3,114
3,5	110,68	0,9172	613,2	4,648	0,827	186,3	4,53	3,265
4,0	128,09	0,9058	611,3	4,634	0,836	185,1	4,49	3,419
4,5	145,91	0,8946	609,4	4,621	0,847	184,2	4,45	3,578
5,0	164,12	0,8836	607,6	4,609	0,857	183,3	4,40	3,739
5,5	182,72	0,8731	605,7	4,598	0,869	182,6	4,34	3,901
6,0	201,69	0,8629	603,8	4,588	0,881	182,1	4,28	4,063
6,5	220,98	0,8532	601,9	4,578	0,893	181,8	4,21	4,224
7,0	240,58	0,8440	600,0	4,568	0,905	181,7	4,12	4,381
7,5	260,43	0,8353	598,2	4,560	0,918	181,9	4,03	4,531
8,0	280,48	0,8273	596,3	4,551	0,931	182,3	3,93	4,674
8,5	300,68	0,8200	594,5	4,543	0,943	182,9	3,81	4,806
9,0	320,96	0,8133	592,7	4,535	0,956	183,8	3,70	4,926
9,5	341,27	0,8074	591,0	4,527	0,967	184,9	3,57	5,032
10,0	361,53	0,8023	589,3	4,520	0,979	186,3	3,44	5,123
11,0	401,65	0,7944	586,0	4,507	0,999	189,8	3,18	5,254
12,0	440,84	0,7895	582,9	4,494	1,016	194,2	2,91	5,316
13,0	478,66	0,7878	580,1	4,483	1,030	199,4	2,64	5,314
14,0	514,79	0,7888	577,5	4,472	1,039	205,4	2,38	5,253
15,0	549,01	0,7925	575,1	4,462	1,045	212,0	2,14	5,146
16,0	581,20	0,7985	573,0	4,453	1,048	219,2	1,92	5,006
17,0	611,36	0,8066	571,1	4,445	1,049	226,7	1,71	4,845
18,0	639,52	0,8164	569,4	4,437	1,048	234,5	1,53	4,671
19,0	665,80	0,8277	567,9	4,430	1,045	242,5	1,36	4,494
20,0	690,32	0,8403	566,6	4,424	1,042	250,6	1,21	4,319
				$T=453{,}15$ K				
0,01	0,28	0,9998	641,7	5,172	0,790	200,3	4,34	2,209
0,02	0,56	0,9996	641,7	5,117	0,790	200,2	4,34	2,211
0,03	0,83	0,9994	641,6	5,085	0,790	200,2	4,34	2,213
0,04	1,11	0,9992	641,6	5,062	0,790	200,2	4,33	2,215
0,05	1,39	0,9990	641,6	5,044	0,790	200,2	4,33	2,217
0,1	2,78	0,9981	641,4	4,988	0,791	200,0	4,33	2,228
0,2	5,57	0,9962	641,1	4,933	0,792	199,8	4,32	2,249
0,3	8,37	0,9942	640,7	4,900	0,793	199,6	4,32	2,270
0,4	11,18	0,9923	640,4	4,876	0,794	199,4	4,31	2,291
0,5	14,00	0,9904	640,0	4,858	0,795	199,1	4,30	2,312
0,6	16,83	0,9884	639,7	4,843	0,796	198,9	4,30	2,334
0,7	19,67	0,9865	639,3	4,830	0,797	198,7	4,29	2,355
0,8	22,53	0,9846	639,0	4,819	0,798	198,4	4,28	2,377
0,9	25,39	0,9827	638,7	4,809	0,799	198,2	4,28	2,398
1,0	28,27	0,9807	638,3	4,800	0,800	198,0	4,27	2,420
1,5	42,83	0,9711	636,6	4,764	0,806	196,9	4,24	2,530
2,0	57,67	0,9615	634,9	4,739	0,812	195,8	4,21	2,641
2,5	72,81	0,9519	633,2	4,718	0,818	194,7	4,17	2,755
3,0	88,25	0,9425	631,5	4,700	0,825	193,7	4,14	2,871
3,5	103,98	0,9332	629,8	4,685	0,832	192,8	4,10	2,989

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
4,0	120,01	0,9241	628,1	4,671	0,840	192,0	4,06	3,109
4,5	136,33	0,9152	626,4	4,659	0,847	191,3	4,01	3,229
5,0	152,92	0,9065	624,7	4,648	0,856	190,7	3,96	3,350
5,5	169,77	0,8982	623,0	4,637	0,864	190,2	3,90	3,471
6,0	186,87	0,8902	621,3	4,627	0,873	189,9	3,84	3,590
6,5	204,19	0,8826	619,6	4,618	0,882	189,7	3,78	3,707
7,0	221,71	0,8754	618,0	4,609	0,891	189,7	3,70	3,821
7,5	239,38	0,8686	616,3	4,601	0,900	189,9	3,62	3,930
8,0	257,19	0,8624	614,7	4,593	0,910	190,3	3,54	4,034
8,5	275,08	0,8567	613,1	4,585	0,919	190,9	3,45	4,130
9,0	293,03	0,8515	611,5	4,577	0,928	191,6	3,35	4,220
9,5	310,03	0,8469	610,0	4,570	0,937	192,6	3,26	4,300
10,0	328,92	0,8429	608,5	4,564	0,946	193,7	3,15	4,372
11,0	364,53	0,8366	605,6	4,551	0,962	196,6	2,94	4,485
12,0	399,54	0,8327	602,8	4,539	0,977	200,1	2,73	4,558
13,0	433,67	0,8311	600,3	4,528	0,989	204,3	2,52	4,589
14,0	466,67	0,8317	597,9	4,518	0,999	209,2	2,31	4,583
15,0	498,38	0,8344	595,6	4,508	1,007	214,5	2,11	4,542
16,0	528,67	0,8391	593,6	4,500	1,012	220,3	1,92	4,473
17,0	557,48	0,8455	591,8	4,491	1,016	226,6	1,74	4,382
18,0	584,77	0,8534	590,1	4,484	1,018	233,1	1,57	4,276
19,0	610,57	0,8628	588,5	4,477	1,019	239,9	1,42	4,159
20,0	634,93	0,8733	587,2	4,470	1,018	246,8	1,28	4,036
				$T=473{,}15$ K				
0,01	0,27	0,9998	657,6	5,207	0,804	204,4	4,03	2,115
0,02	0,53	0,9997	657,6	5,151	0,804	204,4	4,03	2,117
0,03	0,80	0,9995	657,6	5,119	0,804	204,4	4,03	2,119
0,04	1,06	0,9994	657,5	5,096	0,804	204,4	4,03	2,121
0,05	1,33	0,9992	657,5	5,078	0,804	204,4	4,03	2,123
0,1	2,66	0,9985	657,3	5,023	0,804	204,3	4,03	2,132
0,2	5,33	0,9969	657,0	4,967	0,805	204,1	4,02	2,150
0,3	8,00	0,9954	656,7	4,934	0,806	204,0	4,01	2,168
0,4	10,69	0,9939	656,4	4,911	0,807	203,8	4,00	2,186
0,5	13,38	0,9923	656,1	4,892	0,808	203,6	3,99	2,205
0,6	16,08	0,9908	655,7	4,877	0,809	203,4	3,99	2,223
0,7	18,79	0,9892	655,4	4,865	0,810	203,3	3,98	2,241

Продолжение табл. 44

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,8	21,51	0,9877	655,1	4,853	0,811	203,1	3,97	2,260
0,9	24,23	0,9861	654,8	4,843	0,812	202,9	3,96	2,278
1,0	26,97	0,9846	654,4	4,835	0,813	202,8	3,95	2,297
1,5	40,77	0,9769	652,8	4,799	0,817	201,9	3,92	2,389
2,0	54,79	0,9692	651,2	4,774	0,822	201,1	3,88	2,483
2,5	69,04	0,9616	649,7	4,753	0,828	200,4	3,84	2,577
3,0	83,50	0,9541	648,1	4,736	0,833	199,6	3,79	2,671
3,5	98,17	0,9466	646,5	4,721	0,839	199,0	3,75	2,767
4,0	113,07	0,9394	644,9	4,708	0,845	198,4	3,71	2,862
4,5	128,16	0,9323	643,4	4,696	0,851	197,9	3,66	2,957
5,0	143,45	0,9255	641,8	4,685	0,858	197,5	3,61	3,051
5,5	158,93	0,9189	640,3	4,674	0,864	197,2	3,55	3,144
6,0	174,57	0,9126	638,7	4,665	0,871	197,1	3,49	3,236
6,5	190,36	0,9067	637,2	4,656	0,878	197,0	3,43	3,325
7,0	206,28	0,9011	635,7	4,647	0,885	197,1	3,36	3,411
7,5	222,30	0,8958	634,3	4,639	0,892	197,4	3,29	3,493
8,0	238,41	0,8910	632,8	4,632	0,899	197,8	3,22	3,571
8,5	254,57	0,8866	631,4	4,624	0,906	198,3	3,14	3,645
9,0	270,76	0,8826	629,9	4,617	0,913	199,0	3,06	3,713
9,5	286,94	0,8791	628,6	4,611	0,920	199,9	2,98	3,775
10,0	303,10	0,8760	627,2	4,604	0,927	200,9	2,89	3,831
11,0	335,22	0,8713	624,6	4,592	0,940	203,4	2,72	3,925
12,0	366,90	0,8685	622,1	4,581	0,952	206,4	2,54	3,991
13,0	397,95	0,8674	619,7	4,570	0,962	210,0	2,37	4,030
14,0	428,20	0,8682	617,5	4,560	0,971	214,0	2,20	4,043
15,0	457,51	0,8706	615,5	4,551	0,979	218,5	2,03	4,033
16,0	485,78	0,8746	613,6	4,543	0,985	223,4	1,87	4,001
17,0	512,94	0,8800	611,8	4,535	0,990	228,7	1,71	3,952
18,0	538,95	0,8868	610,2	4,527	0,994	234,2	1,57	3,888
19,0	563,80	0,8948	608,7	4,520	0,996	240,0	1,43	3,813
20,0	587,49	0,9040	607,3	4,514	0,997	246,0	1,31	3,730

Таблица 45

Переносные свойства фреона-13 на линиях кипения и конденсации

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
203,15	0,1802	273,5	9,92	0,1841	0,7809	81,8	6,47	0,0779	0,8959	2,3686	0,8716
205,15	0,1978	262,6	10,03	0,1788	0,7269	80,7	6,61	0,0763	0,8329	2,3429	0,8726
207,15	0,2165	253,0	10,14	0,1732	0,6774	79,6	6,75	0,0747	0,7748	2,3202	0,8743
209,15	0,2366	243,7	10,24	0,1678	0,6315	78,6	6,89	0,0731	0,7215	2,2944	0,8752
211,15	0,2581	234,8	10,35	0,1626	0,5900	77,6	7,03	0,0716	0,6725	2,2724	0,8775
213,15	0,2810	226,3	10,46	0,1576	0,5518	76,6	7,18	0,0700	0,6278	2,2512	0,8792
215,15	0,3054	218,2	10,57	0,1529	0,5167	75,7	7,33	0,0685	0,5865	2,2310	0,8811
217,15	0,3314	210,5	10,69	0,1484	0,4848	74,8	7,48	0,0671	0,5483	2,2119	0,8842
219,15	0,3590	203,2	10,81	0,1441	0,4553	73,9	7,63	0,0657	0,5128	2,1942	0,8879
221,15	0,3883	196,3	10,93	0,1401	0,4280	73,0	7,78	0,0643	0,4798	2,1781	0,8920
223,15	0,4193	189,7	11,06	0,1362	0,4030	72,0	7,94	0,0628	0,4498	2,1684	0,8961
225,15	0,4521	183,4	11,18	0,1325	0,3795	71,1	8,11	0,0615	0,4222	2,1554	0,8988
227,15	0,4868	177,4	11,30	0,1290	0,3577	70,2	8,28	0,0602	0,3965	2,1445	0,9021
229,15	0,5234	171,7	11,41	0,1257	0,3370	69,3	8,45	0,0589	0,3726	2,1352	0,9047
231,15	0,5621	166,3	11,52	0,1226	0,3179	68,4	8,63	0,0576	0,3502	2,1276	0,9076
233,15	0,6028	161,4	11,64	0,1198	0,3002	67,5	8,81	0,0564	0,3294	2,1247	0,9116
235,15	0,6456	156,9	11,76	0,1173	0,2838	66,6	8,99	0,0552	0,3099	2,1257	0,9157
237,15	0,6907	153,0	11,89	0,1152	0,2686	65,8	9,17	0,0541	0,2914	2,0981	0,9219
239,15	0,7380	149,5	12,02	0,1134	0,2544	64,9	9,35	0,0529	0,2741	2,1428	0,9282
241,15	0,7877	146,3	12,15	0,1118	0,2411	64,1	9,54	0,0519	0,2579	2,1559	0,9348

Продолжение табл. 45

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^5$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
243,15	0,8398	143,1	12,29	0,1102	0,2288	63,3	9,73	0,0508	0,2428	2,1684	0,9423
245,15	0,8944	139,7	12,43	0,1084	0,2173	62,5	9,92	0,0498	0,2284	2,1773	0,9510
247,15	0,9515	136,0	12,58	0,1064	0,2065	61,7	10,12	0,0488	0,2151	2,1808	0,9597
249,15	1,011	131,8	12,73	0,1040	0,1963	60,9	10,32	0,0478	0,2022	2,1755	0,9708
251,15	1,074	127,1	12,88	0,1012	0,1867	60,1	10,52	0,0468	0,1901	2,1601	0,9819
253,15	1,139	122,2	13,04	0,0981	0,1778	59,3	10,74	0,0459	0,1791	2,1394	0,9927
255,15	1,207	117,6	13,20	0,0953	0,1693	58,6	10,97	0,0450	0,1683	2,1186	1,0059
257,15	1,278	114,3	13,36	0,0935	0,1612	57,9	11,22	0,0441	0,1588	2,1202	1,0153
259,15	1,353	113,1	13,53	0,0934	0,1537	57,2	11,48	0,0432	0,1495	2,1236	1,0277
261,15	1,430	—	13,70	—	0,1465	56,7	11,75	0,0425	0,1407	—	1,0412
263,15	1,511	—	13,88	—	0,1397	56,3	12,03	0,0418	0,1322	—	1,0570
265,15	1,595	—	14,07	—	0,1333	55,9	12,32	0,0412	0,1241	—	1,0747
267,15	1,682	—	14,27	—	0,1273	55,3	12,63	0,0403	0,1164	—	1,0940
269,15	1,773	—	14,47	—	0,1215	54,3	12,93	0,0392	0,1088	—	1,1174
271,15	1,867	—	14,66	—	0,1159	52,0	13,21	0,0371	0,1012	—	1,1455
273,15	1,966	—	14,86	—	0,1105	47,31	13,42	0,0333	0,0933	—	1,1848

Переносные свойства фреона-13 в однофазной области

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=203{,}15$ K		
0,1	9,81	6,38	1,842	0,832
0,5	273,2	82,0	0,0782	2,366
1,0	275,8	82,4	0,0787	2,370
2,0	280,9	82,9	0,0793	2,389
3,0	285,5	83,4	0,0799	2,403
4,0	289,1	83,9	0,0806	2,405
5,0	292,3	84,4	0,0812	2,410
6,0	295,3	84,8	0,0817	2,413
7,0	297,8	85,2	0,0823	2,412
8,0	299,5	85,7	0,0828	2,404
9,0	300,5	86,1	0,0834	2,391
10,0	301,5	86,6	0,0839	2,378
12,0	310,1	87,6	0,0851	2,404
14,0	318,7	88,5	0,0861	2,431
16,0	327,5	90,4	0,0882	2,434
18,0	336,2	91,3	0,0891	2,460
20,0	344,9	92,8	0,0907	2,472
		$T=213{,}15$ K		
0,1	10,31	6,982	2,084	0,815
0,5	222,8	77,0	0,0704	2,202
1,0	226,0	77,2	0,0707	2,222
2,0	230,2	77,4	0,0711	2,243
3,0	234,8	77,7	0,0716	2,266
4,0	239,3	78,1	0,0720	2,289
5,0	243,7	78,4	0,0726	2,306
6,0	248,0	78,9	0,0732	2,320
7,0	252,2	79,7	0,0741	2,326
8,0	256,5	80,7	0,0751	2,327
9,0	260,8	81,7	0,0762	2,327
10,0	264,6	82,6	0,0772	2,326
12,0	270,7	83,1	0,0778	2,349
14,0	277,0	83,5	0,0784	2,375
16,0	283,2	83,9	0,0788	2,403
18,0	289,5	84,3	0,0793	2,431
20,0	295,7	84,7	0,0799	2,458
		$T=223{,}15$ K		
0,1	10,81	7,59	2,336	0,802
0,5	124,5	72,7	0,0635	1,408
1,0	193,7	72,8	0,0637	2,179
2,0	196,4	73,0	0,0641	2,187
3,0	200,2	73,6	0,0648	2,195
4,0	203,8	74,2	0,0656	2,200
5,0	207,4	74,8	0,0664	2,207
6,0	210,9	75,4	0,0670	2,215
7,0	214,4	76,0	0,0678	2,220
8,0	218,0	76,6	0,0684	2,228
9,0	221,3	77,2	0,0690	2,236
10,0	224,4	77,8	0,0697	2,238
12,0	231,1	78,8	0,0708	2,258
14,0	237,8	79,8	0,0719	2,277
16,0	244,6	80,9	0,0730	2,295
18,0	251,3	81,9	0,0740	2,314
20,0	258,0	82,9	0,0750	2,334
		$T=233{,}15$ K		
0,1	11,30	8,1	2,588	0,793
0,5	11,62	8,59	0,4307	0,887
1,0	155,2	62,1	0,0520	2,212
2,0	172,3	68,5	0,0576	2,203
3,0	175,3	69,2	0,0585	2,199
4,0	178,4	69,9	0,0594	2,195
5,0	181,4	70,5	0,0601	2,197
6,0	184,4	71,1	0,0608	2,199
7,0	187,4	71,7	0,0615	2,201
8,0	190,4	72,4	0,0622	2,202
9,0	193,4	73,0	0,0629	2,204
10,0	196,2	73,6	0,0635	2,207
12,0	202,3	74,8	0,0647	2,218
14,0	208,4	76,0	0,0659	2,229
16,0	214,6	77,0	0,0670	2,246
18,0	220,7	78,2	0,0681	2,261
20,0	226,8	79,2	0,0691	2,279
		$T=243{,}15$ K		
0,1	11,80	8,79	2,846	0,788
0,5	12,10	9,19	0,4927	0,858
1,0	132,1	60,6	0,0487	2,086
2,0	154,0	64,3	0,0521	2,259
3,0	156,8	65,1	0,0531	2,242
4,0	159,5	65,9	0,0541	2,229
5,0	161,7	66,6	0,0549	2,214
6,0	164,7	67,3	0,0558	2,210
7,0	167,3	67,9	0,0564	2,208
8,0	169,9	68,7	0,0573	2,199
9,0	172,6	69,4	0,0580	2,196
10,0	175,3	70,0	0,0587	2,196
12,0	180,6	71,3	0,0600	2,196
14,0	185,9	72,6	0,0612	2,200
16,0	191,2	73,7	0,0623	2,208
18,0	196,5	74,9	0,0634	2,217
20,0	201,8	76,1	0,0645	2,225
		$T=253{,}15$ K		
0,1	12,30	9,39	3,109	0,785
0,5	12,58	9,79	0,5554	0,837
1,0	13,00	10,39	0,2241	0,953

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
2,0	136,3	60,6	0,0474	2,292
3,0	139,6	61,3	0,0484	2,280
4,0	142,8	62,2	0,0496	2,261
5,0	145,2	63,0	0,0506	2,238
6,0	148,4	63,8	0,0515	2,233
7,0	151,0	64,6	0,0524	2,221
8,0	153,7	65,4	0,0533	2,209
9,0	156,1	66,1	0,0540	2,201
10,0	158,5	66,8	0,05475	2,195
12,0	163,3	68,1	0,0561	2,187
14,0	168,1	69,5	0,05745	2,179
16,0	172,9	70,8	0,05865	2,178
18,0	177,7	72,0	0,05975	2,182
20,0	182,5	73,2	0,0608	2,187
		$T=263{,}15$ K		
0,1	12,79	10,02	3,388	0,780
0,5	13,06	10,39	0,6172	0,822
1,0	13,44	10,99	0,2634	0,901
2,0	122,5	54,0	0,0406	2,532
3,0	123,8	57,6	0,0441	2,328
4,0	125,0	58,7	0,0455	2,251
5,0	129,0	59,7	0,0468	2,239
6,0	132,3	60,5	0,0478	2,228
7,0	135,5	61,4	0,0489	2,216
8,0	138,0	62,2	0,0498	2,199
9,0	140,8	63,0	0,0507	2,190
10,0	143,5	63,8	0,0515	2,184
12,0	148,1	65,4	0,0531	2,160
14,0	152,7	66,8	0,0545	2,149
16,0	157,4	68,2	0,0558	2,144
18,0	162,0	69,4	0,0568	2,147
20,0	166,6	70,3	0,0577	2,159
		$T=273{,}15$ K		
0,1	13,28	10,69	3,691	0,773
0,5	13,54	10,99	0,6790	0,812
1,0	13,89	11,56	0,3007	0,792
2,0	76,8	50,4	0,0355	1,934
3,0	101,2	54,3	0,0398	2,231
4,0	105,6	55,3	0,0416	2,192
5,0	110,5	56,3	0,0432	2,182
6,0	115,1	57,3	0,0445	2,179
7,0	119,1	58,3	0,0458	2,172
8,0	122,5	59,2	0,0469	2,160
9,0	125,7	60,1	0,0479	2,152
10,0	128,8	61,0	0,0488	2,145
12,0	133,6	62,6	0,0505	2,121
14,0	138,5	64,1	0,0520	2,111
16,0	143,2	65,5	0,0533	2,105
18,0	148,3	67,0	0,0546	2,105
20,0	153,0	67,6	0,0552	2,130

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=283{,}15$ K		
0,1	13,77	11,29	3,970	0,773
0,5	14,07	11,59	0,7427	0,806
1,0	14,35	12,09	0,3358	0,850
2,0	15,50	13,73	0,1204	1,057
3,0	79,4	49,21	0,0331	2,278
4,0	84,1	51,6	0,0370	2,098
5,0	93,1	52,7	0,0392	2,146
6,0	97,8	53,6	0,0409	2,127
7,0	105,3	54,7	0,0424	2,175
8,0	108,5	55,8	0,0438	2,143
9,0	112,9	56,7	0,0449	2,150
10,0	118,1	57,6	0,0459	2,177
12,0	120,8	59,5	0,0479	2,097
14,0	125,3	61,2	0,0496	2,152
16,0	130,3	62,7	0,0511	2,064
18,0	135,5	64,1	0,0523	2,069
20,0	140,4	65,2	0,0532	2,084
		$T=293{,}15$ K		
0,1	14,26	11,89	4,259	0,774
0,5	14,50	12,19	0,8056	0,798
1,0	14,81	12,69	0,3723	0,832
2,0	15,83	14,13	0,1467	0,969
3,0	40,52	42,20	0,1208	1,500
4,0	59,8	46,77	0,0298	2,050
5,0	72,7	48,54	0,0343	2,076
6,0	81,7	49,9	0,0370	2,097
7,0	88,2	51,2	0,0391	2,094
8,0	92,8	52,5	0,0410	2,070
9,0	97,1	53,7	0,0425	2,056
10,0	100,9	54,8	0,0437	2,046
12,0	106,1	56,8	0,0460	2,001
14,0	111,5	58,6	0,0478	1,984
16,0	116,7	60,3	0,0494	1,978
18,0	122,4	61,7	0,0506	1,994
20,0	127,9	62,9	0,0517	2,054
		$T=303{,}15$ K		
0,1	14,76	12,52	4,565	0,773
0,5	14,98	12,79	0,8700	0,794
1,0	15,27	13,29	0,4086	0,819
2,0	16,19	14,56	0,1704	0,918
3,0	18,09	16,82	0,0795	1,209
4,0	31,43	29,81	0,0023	20,539
5,0	48,46	39,73	0,0242	2,216
6,0	64,1	45,09	0,0318	2,101
7,0	76,0	47,5	0,0356	2,141
8,0	84,0	49,11	0,0380	2,152
9,0	89,1	50,4	0,0399	2,128
10,0	90,6	51,6	0,0414	2,045

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
12,0	95,2	54,1	0,0442	1,955
14,0	99,8	56,1	0,0462	1,912
16,0	104,3	58,0	0,0480	1,884
18,0	109,1	59,5	0,0494	1,885
20,0	113,9	113,9	0,0946	1,012
	$T=313{,}15$ K			
0,1	15,23	13,19	4,890	0,770
0,5	14,45	13,42	0,9365	0,790
1,0	15,72	13,89	0,4448	0,809
2,0	15,57	15,06	0,1931	0,830
3,0	18,14	16,96	0,1024	1,051
4,0	21,74	20,53	0,0448	1,691
5,0	35,19	34,61	0,0134	4,131
6,0	52,19	40,72	0,0255	2,466
7,0	61,3	43,3	0,0313	2,173
8,0	66,3	45,98	0,0353	1,984
9,0	71,5	47,4	0,0376	1,939
10,0	75,6	48,93	0,0399	1,885
12,0	81,6	51,6	0,0420	1,822
14,0	87,2	53,9	0,0452	1,788
16,0	92,8	55,8	0,0470	1,784
18,0	99,8	57,5	0,0485	1,821
20,0	105,5	58,9	0,0497	1,845
	$T=333{,}15$ K			
0,1	16,19	14,39	5,519	0,773
0,5	16,39	14,69	1,074	0,783
1,0	16,64	15,09	0,5173	0,797
2,0	17,36	16,06	0,2356	0,844
3,0	18,55	17,53	0,1396	0,923
4,0	20,58	19,70	0,0876	1,083
5,0	25,04	23,73	0,0545	1,444
6,0	33,64	30,01	0,0345	2,098
7,0	42,16	34,88	0,0287	2,349
8,0	48,84	39,56	0,0320	2,074
9,0	54,6	41,87	0,0350	1,936
10,0	59,7	44,21	0,0378	1,845
12,0	65,9	47,3	0,0414	1,719
14,0	71,0	49,72	0,0439	1,659
16,0	78,0	51,9	0,0453	1,677
18,0	84,1	53,7	0,0475	1,698
20,0	90,6	55,4	0,0489	1,733
	$T=353{,}15$ K			
0,1	17,13	15,62	6,178	0,775
0,5	17,31	15,89	1,212	0,782
1,0	17,55	16,29	0,5908	0,791
2,0	18,18	17,16	0,2774	0,821
3,0	19,14	18,36	0,1723	0,866
4,0	20,19	20,18	0,1194	0,914
5,0	23,03	22,40	0,0855	1,065
6,0	26,96	25,61	0,0634	1,269
7,0	32,37	29,59	0,0496	1,514
8,0	38,02	33,57	0,0426	1,778
9,0	42,96	36,54	0,0399	1,738
10,0	47,62	39,58	0,0404	1,702
12,0	53,6	43,43	0,0425	1,587
14,0	60,0	46,3	0,0447	1,556
16,0	66,1	48,6	0,0465	1,557
18,0	72,5	50,6	0,0479	1,586
20,0	79,0	52,4	0,0492	1,627
	$T=373{,}15$ K			
0,1	18,15	16,89	6,881	0,776
0,5	18,23	17,09	1,351	0,784
1,0	18,45	17,49	0,6653	0,788
2,0	19,01	18,26	0,3183	0,809
3,0	19,80	19,36	0,2037	0,834
4,0	20,97	20,77	0,1459	0,874
5,0	22,70	22,44	0,1104	0,943
6,0	25,13	24,53	0,0868	1,039
7,0	28,39	27,22	0,0712	1,154
8,0	32,38	30,09	0,0606	1,283
9,0	36,47	32,80	0,0536	1,393
10,0	40,20	35,78	0,0504	1,436
12,0	45,13	40,15	0,0479	1,410
14,0	50,4	43,36	0,0481	1,394
16,0	55,5	45,96	0,0489	1,392
18,0	60,8	48,01	0,0498	1,411
20,0	66,3	50,0	0,0509	1,440
	$T=393{,}15$ K			
0,1	18,97	18,12	7,594	0,779
0,5	19,13	18,39	1,505	0,781
1,0	19,33	18,69	0,7422	0,786
2,0	19,87	19,30	0,3581	0,806
3,0	20,53	20,36	0,2336	0,818
4,0	21,56	21,54	0,1706	0,846
5,0	22,85	22,98	0,1329	0,882
6,0	24,47	24,53	0,1073	0,934
7,0	26,82	26,62	0,0905	0,997
8,0	29,67	28,77	0,0782	1,077
9,0	32,80	30,95	0,0692	1,158
10,0	35,80	33,21	0,0631	1,219
12,0	41,09	37,56	0,0567	1,273
14,0	46,37	40,93	0,0541	1,309
16,0	58,0	43,63	0,0533	1,502
18,0	57,3	45,82	0,0532	1,381
20,0	63,0	47,80	0,0535	1,425

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr	p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
	$T=413{,}15$ K					$T=453{,}15$ K			
0,1	19,84	19,39	8,365	0,778	0,1	21,54	21,83	9,934	0,780
0,5	20,01	19,58	1,657	0,783	0,5	21,79	22,09	1,985	0,784
1,0	20,14	19,80	0,8167	0,787	1,0	21,96	22,34	0,9878	0,786
2,0	20,63	20,54	0,4020	0,794	2,0	22,26	22,88	0,4886	0,790
3,0	21,21	21,33	0,2634	0,805	3,0	22,71	23,50	0,3288	0,797
4,0	22,10	22,32	0,1937	0,829	4,0	23,50	24,40	0,2420	0,809
5,0	23,16	23,67	0,1767	0,833	5,0	24,56	25,43	0,1943	0,827
6,0	24,61	25,01	0,1264	0,885	6,0	25,77	26,48	0,1623	0,850
7,0	26,33	26,60	0,1076	0,925	7,0	26,72	27,52	0,1393	0,865
8,0	28,35	28,34	0,0940	0,970	8,0	27,56	28,80	0,1231	0,871
9,0	30,69	30,06	0,0836	1,026	9,0	29,18	30,11	0,1107	0,899
10,0	33,20	32,09	0,0766	1,071	10,0	30,97	31,45	0,1011	0,914
12,0	37,88	35,68	0,0669	1,144	12,0	34,13	34,26	0,0878	0,973
14,0	42,47	39,02	0,0619	1,191	14,0	39,04	36,86	0,0791	1,058
16,0	47,33	41,87	0,0594	1,233	16,0	41,58	39,54	0,0739	1,064
18,0	52,0	44,15	0,0581	1,271	18,0	45,31	41,90	0,0704	1,101
20,0	57,1	46,13	0,0575	1,317	20,0	49,07	43,92	0,0679	1,137
	$T=433{,}15$ K					$T=473{,}15$ K			
0,1	10,77	20,62	9,141	0,782	0,1	21,71	23,18	10,84	0,788
0,5	20,82	20,79	1,814	0,782	0,5	22,84	23,38	2,163	0,789
1,0	20,99	21,06	0,9006	0,784	1,0	23,01	23,67	1,080	0,790
2,0	21,43	21,69	0,4446	0,791	2,0	23,39	24,15	0,5362	0,796
3,0	22,01	22,45	0,2929	0,802	3,0	23,70	24,76	0,3560	0,801
4,0	22,71	23,33	0,2179	0,814	4,0	24,48	25,48	0,2667	0,812
5,0	23,70	24,40	0,1735	0,832	5,0	25,24	26,42	0,2147	0,820
6,0	24,89	25,61	0,1441	0,856	6,0	25,96	27,31	0,1796	0,828
7,0	27,01	26,22	0,1204	0,932	7,0	26,79	28,31	0,1551	0,838
8,0	27,86	28,44	0,1089	0,912	8,0	27,89	29,36	0,1370	0,854
9,0	29,68	29,81	0,0962	0,961	9,0	29,01	30,58	0,1237	0,866
10,0	31,73	31,57	0,0892	0,984	10,0	30,61	31,65	0,1126	0,897
12,0	35,61	34,65	0,0774	1,044	12,0	33,50	34,14	0,0977	0,934
14,0	39,78	37,69	0,0705	1,097	14,0	36,48	36,44	0,0876	0,972
16,0	44,01	40,40	0,0663	1,142	16,0	39,48	38,87	0,0812	1,000
18,0	48,11	42,82	0,0639	1,177	18 0	42,36	39,80	0,0743	1,058
20,0	52,4	44,84	0,0623	1,218	20,0	45,35	41,13	0,0702	1,099

ГЛАВА 5

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-14

5.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Опытные данные в однофазной области. Из табл. 47 и рис. 48 видно, что измерения плотности (или коэффициента сжимаемости) охватывают существенно бо́льшую (по сравнению с други-

Таблица 47

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-14 в однофазной области

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1936	Кавуд, Петерсон	B_1	294	0,1	г	2 3	[5.47] [3.45]
1936	Эйкен, Бертрам	c_p	113—199	0,1	г		
1951	Маккормак, Шнейдер	ϱ	273—673	0,1—5,0	г	Уравнение	[5.72]
1954	Хамман, Ламберт	B_1	313—398	0,1	г	6	[5.53]
1961	Дуслин, Харрисон, Мур, Маккалью	ϱ	273—623	1,5—40	г	306	[5.45]
1964	Хванг, Мартин	c_p	303—473	1—1,6	г	64	[5.58]
1967	Калфоглу, Миллер	ϱ	303—773	0,0—5,0	г	Уравнение	[5.61]
1970	Благой, Сорокин	ϱ	120—150	0,2—50	ж	33	[5.6]
1970	Ланге, Штейн	ϱ	203—368	0,7—8,0	г	49	[5.69]
1970	Оберт и др.	w	273,294	0,1—7,0	г	График	[3.65]
1971	Мартин, Бхада	ϱ	209—295	1,6—10,5	г	27	[5.75]
1972	Бозе, Соханский, Коул	B_1	280—373	до 1,0	г	3	[5.37]
1972	Зигмунд, Силберберг, Маккетта	B_1, B_2	272—423	до 3,0	г	13	[5.84]
1976	Утенков, Рассказов	δ_T	173—323	0,3—7,5	г	116	[4.24, 5.24]
1978	Светличный, Поричанский	ϱ	94—316	0,5—57	ж	111	[5.25]
1979	Геллер, Светличный, Поричанский	ϱ	207—373	1,9—51	г	122	[5.27]

ми фреонами метанового ряда) область приведенных температур и давлений: $\tau=0{,}4—3{,}4$; $\pi=0{,}0—15{,}2$; ($\omega_{max}=2{,}98$). Это означает, что уравнение состояния фреона-14 должно быть сложнее рассмотренных в предыдущих главах этой книги и в справочнике [0.2]. Из табл. 47 следует, что плотность распределения опытных точек в изученной области состояний неравномерна и подавляющая их часть относится к газовой фазе.

В работах [5.61, 5.69, 5.72, 5.84] сжимаемость газообразного фреона-14 определяли методом Барнетта, но результаты измерений сообщаются, как правило, в форме уравнений изотерм или табличных значений вириальных коэффициентов. Исключением является работа Ланге, Штейна [5.69], в которой кроме B_1 и B_2 приведены экспериментальные значения z в интервале $T=203—368$ К и $p\leqslant 8$ МПа.

Мартин и Бхада [5.75] определяли плотность газообразного

фреона-14 в интервале $T=209$—295 К и $p<10{,}5$ МПа методом пьезометра переменного объема с сильфонным разделителем, причем об изменении объема исследуемого вещества судили по изменению объема гидравлической жидкости. По оценке авторов, предельные погрешности измерения температуры, давления и объема равны соответственно 0,05 К; 0,06—0,2 % и 0,24—1,3 %. Со своей стороны заметим, что часть опытных данных [5.75] от-

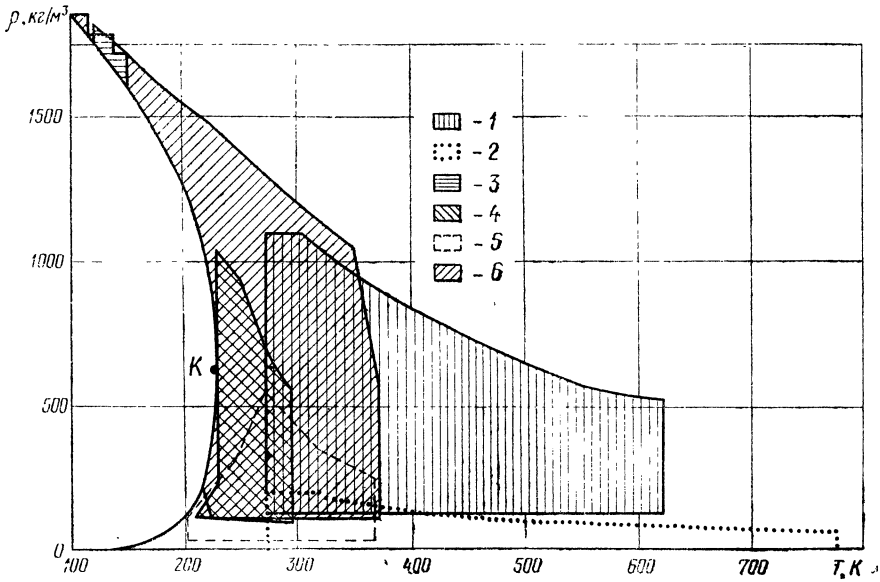


Рис. 48. Области экспериментального исследования термических свойств фреона-14:

1 — Дуслин и др. [5.45]; *2* — Калфоглу, Миллер [5.61]; *3* — Благой, Сорокин [5.6]; *4* — Мартин, Бхада [5.75]; *5* — Ланге, Штейн [5.69]; *6* — Светличный и др. [5.25, 5.26]

носится к надкритической области состояний, где отклонения заметнее больше, а при $T\leqslant 250$ К расхождения данных [5.69] и [5.75] достигают 2 %.

Наиболее обстоятельные исследования сжимаемости фреона-14 при высоком давлении выполнены в двух лабораториях (см. табл. 47). В 1960 г. в Бартлесвильской лаборатории (США) получены опытные данные о сжимаемости газообразного фреона-14 в интервале $T=273$—623 К при $p\leqslant 40$ МПа [5.45]. Измерения выполнены по методике Битти на образце фреона высокой чистоты (содержание основного вещества не менее 99,96 %). Максимальная ошибка измеренных значений ρ по оценке авторов [5.45] находится в пределах 0,03—0,3 %. Большее значение, естественно, относится к максимальным значениям $T_{оп}$ и $p_{оп}$.

В 1978 г. в теплофизической лаборатории ОТИПП получены опытные данные о p, v, T-зависимости газообразного и жидкого фреона-14 в интервале $T=94$—373 К при $p\leqslant 57$ МПа [5.25, 5.26].

Плотность исследована на установке, реализующей метод пьезометра постоянного объема с вынесенными в зону умеренных температур мембранным блоком и запорным вентилем. Балластный объем пьезометра небольшой (всего 0,23 % от $V_п \approx 100$ см^3), кроме того, вводились необходимые поправки. Давление измеряли грузопоршневыми манометрами МП-60 и МП-600 класса

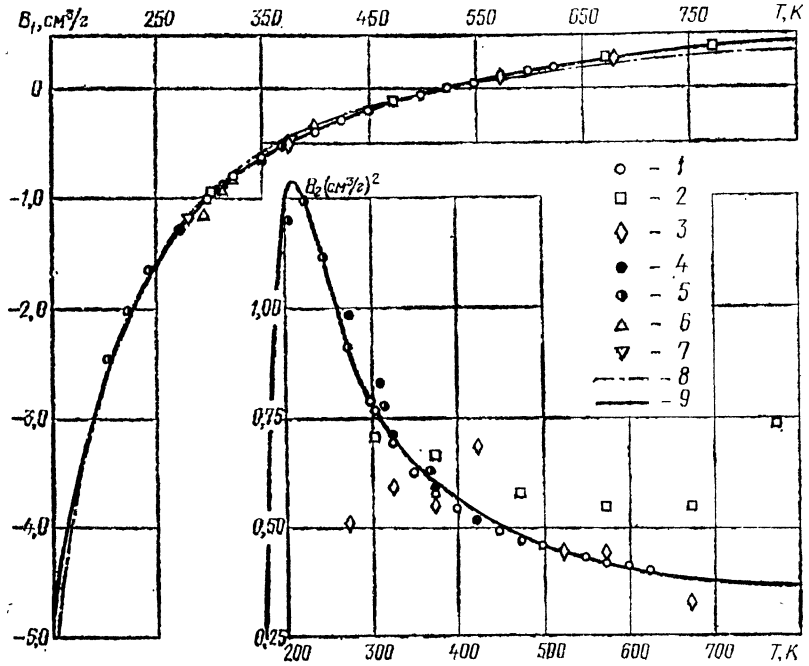


Рис. 49. Второй и третий вириальные коэффициенты фреона-14:
опытные данные: *1* — Дуслина и др. [5.45]; *2* — Калфоглу, Миллера [5.61]; *3* — Маккормака, Шнейдера [5.72]; *4* — Маккеты и др. [5.84]; *5* — Ланге, Штейна [5.69]; *6* — Хаммана, Ламберта [5.53]; *7* — Коула и др. [5.37]; расчетные данные: *8* — по уравнению (1.2); *9* — по уравнениям (1.1), (5.1) и (5.2)

0,05, а температуру — образцовым платиновым термометром сопротивления типа ТСПН-2А в комплекте с потенциометром Р-363 класса 0,001 с погрешностью 0,02 К. По сообщению авторов [5.25], исследуемый фреон содержал 99,98 % основного вещества, а погрешность экспериментальных данных для жидкой фазы составляла 0,07 %. Предельные ошибки измерений в газовой фазе не указаны, но ясно, что они существенно выше (в особенности в надкритической области состояний) и могут достигать 0,3 % и более.

В работе В. В. Алтунина [5.4] произведена совместная обработка всех указанных в табл. 47 опытных p, v, T-данных для газовой фазы фреона-14 и установлено, что бóльшая часть опубликованных данных согласуется в пределах авторских оценок погрешностей. Сильно выпадающие точки имеются в данных [5.26] и [5.75].

Авторы многих экспериментальных работ сообщают полученные ими данные о вириальных коэффициентах термического уравнения состояния B_1 [5.24, 5.37, 5.45, 5.46, 5.47, 5.53, 5.61, 5.69, 5.72, 5.84], B_2 — [5.45, 5.46, 5.61, 5.72, 5.84]; B_3 — [5.45, 5.46]. На рис. 49 представлены данные о втором и третьем вириальных коэффициентах, найденные по измерениям сжимаемости при низких давлениях. Там же приведены результаты наших расчетов по различным обобщенным и эмпирическим уравнениям. Расчет B_1 сделан по обобщенным уравнениям (1.1), (1.2) и эмпирическому уравнению

$$B_1 = \sum_{j=0}^{4} b_j (100/T)^j, \qquad (5.1)$$

где для фреона-14 [5.28] *:
$b_0 = 0{,}84479 \cdot 10^2$; $b_1 = -0{,}316307 \cdot 10^3$; $b_2 = -0{,}793406 \cdot 10^3$; $b_3 = 0{,}1179594 \cdot 10^4$; $b_4 = -0{,}1736536 \cdot 10^4$, причем B_1 выражено в см³/моль.

Значение температуры Бойля $T_Б = (518 \pm 0{,}5)$ К, что соответствует $\tau_Б = 2{,}280$ [5.57]. Это значение $\tau_Б$ и указанные в табл. 2 числовые значения других характерных параметров были использованы нами в расчетах B_1 по обобщенным уравнениям (1.1) и (1.2). Оказалось, что уравнения (1.1) и (5.1) дают практически одинаковые результаты в рассматриваемом интервале температур, а уравнение (1.2) — более низкие значения B_1 при низкой и высокой температуре (см. рис. 48).

Третий вириальный коэффициент фреона-14 рассчитан по обобщенному уравнению, предложенному недавно в работе [5.83]:

$$B_2 = [C_0(\tau) + d \cdot C_1(\tau) + d_2 \cdot C_2(\tau)] \cdot v^2_{кр}, \qquad (5.2)$$

где $C_0 = 0{,}1961\,\tau^{-1/4} + 0{,}3972/\tau^5 + (0{,}06884\,\tau^4 - 0{,}5428/\tau^6)\exp(-\tau^2)$; $C_1 = 64{,}5\,[1 - 2{,}085\,\exp(-\tau^2)]\tau^9$; $C_2 = 801{,}7/\tau^7$.

По данным [5.83] в нашем случае $d = 0{,}003628$. Согласование экспериментальных и расчетных значений B_2 следует признать хорошим (см. рис. 49).

Поскольку формулы (5.1) и (5.2) хорошо передают температурные зависимости второго и третьего вириальных коэффициентов, то можно говорить об экспериментально обоснованном термическом уравнении состояния

$$z = 1 + B_1(\tau) \cdot \omega + B_2(\tau) \cdot \omega^2, \qquad (5.3)$$

которое применимо в широком интервале температуры при $\omega = 0 - \omega_{пред}$. Предельное значение плотности $\omega_{пред}$, по оценке А. А. Вассермана, может быть найдено по формуле

$$\omega_{пред} = 0{,}18 + 0{,}008\tau. \qquad (5.4)$$

* Во второй работе В. Н. Тарана [5.29] даны другие коэффициенты b_j, но вычисленные по уравнению (5.1) значения B_1 отличаются несущественно: на 1,8 см³/моль при 150 К и на 0,5 см³/моль при 1000 К.

Пользуясь (5.4) и рекомендуемыми в разд. 5.4 таблицами ϱ, несложно установить, что уравнение состояния (5.3) применимо до давления 1,5 МПа при 203 К и до 7,5 МПа при 623 К.

Авторы [5.10, 5.25] полагали, что полученные ими экспериментальные данные о плотности жидкого фреона-14 при $p>p_s$ являются единственными и не обсуждают результаты более раннего исследования [5.6]. Ю. П. Благой, В. А. Сорокин [5.6] сообщают «экспериментальные» значения ϱ в интервале $T=120—150$ К при $p=p_s-50$ МПа, но фактически они определяли относительное изменение объема жидкости, заполняющей сильфонный пьезометр, при изменении внешнего гидростатического давления от p_s до p, т. е. $\Delta v_{\text{отн}}=(v_s-v)/v_s=(1-\varrho_s/\varrho)$. И хотя точность измерения $\Delta v_{\text{отн}}$ жидкостей методом сильфонного пьезометра может быть высокой (сотые доли процента), к приведенным в работе [5.6] значениям ϱ приходится относиться критически, так как они вычислены с использованием данных о ϱ_s [5.34, 5.67], которые оказались систематически завышенными на 0,3—0,5 % по сравнению с полученными позднее [5.10, 5.71].

Экспериментальные данные о калорических и акустических свойствах фреона-14 немногочисленны (табл. 47) *. Результаты прямых измерений изохорной теплоемкости при низком давлении [3.45, 5.58] сравнены с вычисленными по спектроскопическим данным и по измерениям скорости звука (рис. 50).

Термодинамические функции в идеально газовом состоянии c_p^0, $(H_T^0-H_0^0)$, s_T^0, табулированные в [0.28, 0.29, 0.45, 0.50, 1.88, 2.55], отличаются незначительно (табл. 48). Но в расчетах Баро [0.42] учтена поправка на ангармоничность колебаний и вычисленные им значения c_p^0 фреона-14 на 0,6—1,2 % больше.

Хванг, Мартин [5.58] измеряли теплоемкость c_v фреона-14 чистотой 99,7 % в интервале 303—473 К при $\omega=0{,}06—0{,}15$ и оценили максимальную погрешность опытных данных в 1 %. Их результаты для c_v^0 несколько выше рассчитанных в приближении к модели жесткий ротатор — гармонический осциллятор (см. рис. 50).

В настоящей работе для определения температурной зависимости $c_p^0=f(\tau)$ рекомендуется интерполяционное уравнение (0.23),

где $\alpha_0=0{,}393879867\cdot10^1$; $\beta_1=-0{,}808631829\cdot10^1$;
$\alpha_1=0{,}236720580\cdot10^1$; $\beta_2=0{,}939836215\cdot10^1$;
$\alpha_2=-0{,}228381967\cdot10^0$; $\beta_3=-0{,}322414015\cdot10^1$,
$\alpha_3=0{,}798491855\cdot10^{-2}$; а $\tau=T/100$.

Указанное уравнение применимо в интервале $T=90—1000$ К и построено нами с учетом данных [0.42].

* В табл. 47 не включены сведения о работах Юриса, Венцеля [5.60] и Г. И. Фирсова [5.20]. В первой работе измерен интегральный эффект Джоуля-Томсона системы CF_4-CHF_3, но статья опубликована в труднодоступном журнале, а во второй получены данные о скорости звука при $T=202—600$ К, $p=0{,}005—2$ МПа, но они относятся к дисперсионной области.

Таблица 48

Значения термодинамических функций фреона-14 в идеально газовом состоянии по данным разных авторов

T, К	c_p, Дж/(моль·К)				$H_T^0-H_0^0$, Дж/моль				s_T^0, Дж/(моль·К)			
	[0.42]	[0.45]	[1.88]	[0.29]	[0.28]	[0.45]	[1.88]	[0.29]	[0.28]	[0.45]	[1.88]	[0.29]
100	—	34,74	34,74	34,745	—	3351	3347	3348	—	212,25	212,27	212,290
150	—	—	40,12	—	—	—	5205	—	—	—	227,26	—
200	47,68	47,37	47,36	47,365	—	7393	7389	7391	—	239,77	239,78	239,807
250	55,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
273,15	—	—	57,78	—	—	—	11242	—	—	—	256,11	—
298,15	—	61,05	61,04	61,050	12736	12732	12728	12730	261,38	261,31	261,30	261,342
300	61,78	61,29	61,27	61,284	—	12845	12841	12843	—	261,68	261,70	261,721
400	73,03	72,40	72,39	72,399	19569	19556	19552	19552	281,02	280,91	280,90	280,945
500	81,45	80,71	80,70	80,713	27263	27229	27225	27229	298,15	298,00	298,00	298,041
600	87,60	86,78	86,78	86,783	35669	35623	35615	35620	313,46	313,28	313,30	313,322
700	92,12	91,21	91,20	91,212	44593	44530	44525	44531	327,20	327,01	327,00	327,050
800	95,47	94,47	94,47	94,479	53894	53823	53820	53824	339,62	339,41	339,40	339,454
900	98,02	96,93	96,92	96,929	63488	63400	63395	63400	350,91	350,69	350,70	350,730
1000	100,00	98,80	98,79	98,799	73287	73191	73180	73190	361,23	361,00	361,00	361,044
1300	—	102,31	102,31	102,314	103541	103403	103410	103471	387,67	387,42	387,40	387,459
1500	—	103,67	103,67	103,670	124152	124022	124020	124025	402,42	402,50	402,15	402,201

В. Ф. Утенков, Д. С. Рассказов [4.24, 5.24] измеряли изотермический дроссель-эффект фреона-14 чистотой 99,2 % в интервале 173—323 К при p=0,3—7,5 МПа. Они оценили максимальную погрешность опытных данных в 0,45—1,5 %. Большее значение относится к области пиков δ_T. Поскольку имеется достаточно надежная методика расчета термодинамических свойств

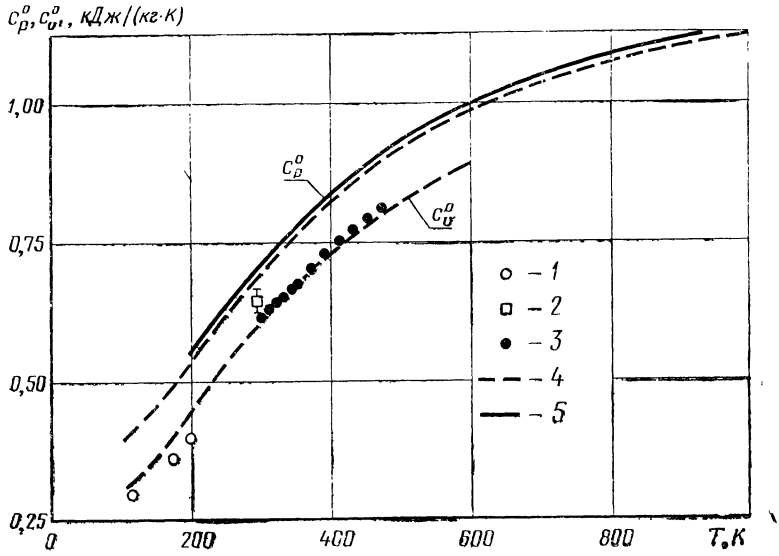


Рис. 50. Изобарная и изохорная теплоемкости газообразного фреона-14 при низких давлениях:
опытные данные: *1* — Эйкена, Бертрама [3.45]; *2* — Бейрса [5.39]; *3* — Хванга, Мартина [5.58]; расчетные данные: *4* — [0.29, 0.45, 1.88]; *5* — [0.42]

умеренно-плотных газовых смесей по известным свойствам компонентов [5.2], а количество примесей невелико ($\sim$0,8 %), авторы рассматриваемой экспериментальной работы вычислили поправки и привели таблицу сглаженных значений δ_T для чистого фреона-14.

Опытные данные на линиях равновесия фаз. Основные экспериментальные исследования термодинамических свойств на линиях равновесия жидкость — пар перечислены в табл. 49. Измеряли p_s, ρ'', c_s' (или c_p), w', но данные о теплоте испарения r и поверхностном натяжении σ являются единичными, а ортобарическую плотность пара ρ'' экспериментально не определяли.

Из табл. 49 видно, что преобладающая часть опытных данных о давлении насыщенного пара (126 точек из 133) относится к области $T \leqslant T_{\text{н.т.к.}}$. Экспериментальные данные о p_s, T_s-зависимости фреона-14 при давлениях выше 760 мм рт. ст. опубликованы в самое последнее время [5.27, 5.70], а существующие таблицы основаны либо на неопубликованных данных Чэри (1960 г.) [0.39, 5.77], либо восстановлены с помощью обобщенных корреляций [5.15, 5.29].

Таблица 49

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-14 на линиях равновесия жидкость — пар

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1930,31	Руфф, Кайм	p_s	92—143	ж—г	24	[5.81]
		ϱ	93- 75	ж	2	[5.81]
1932	Клемм, Хенкель	ϱ	90	ж	2	[5.66]
1933	Менцель, Морей	p_s	92—146	ж—г	19	[5.76]
1938	Эйкен, Шредер	c_s	90—145	ж	41	[5.49]
1958	Кролл, Скотт	p_s	106,7	ж	2	[5.43]
1958	Кострюков, Саморуков, Стрелков	c_s	89,5—95	ж	График	[5.13]
1965	Кноблер, Пингс	ϱ	94—150	ж	16	[5.67]
1967	Симон, Кноблер, Дункан	p_s	89,6—146	ж—г	50	[5.85]
1967	Азиз, Лим, Бойман	w	90—144	ж	20	[5.35]
1968	Благой, Бутко, Михайленко	w	95—220	ж	23	[5.5]
1969	Терри, Стэвели	ϱ	91—185	ж	32	[5.89]
1969	Енокидо, Шинода, Машико	c_p	90—92	ж	2	[5.48]
		p_s	90—101	ж—г	9	[5.48]
1969	Смит, Паке	c_p	90—145	ж	21	[5.86]
		p_s	115—146	ж—г	11	[5.86]
		r	145,5	ж—г	4	[5.86]
1970	Пашков	σ	—	ж—г	—	[5.21]
1970	Жено, Дюваль	p_s	89,5—91	ж—г	7	[5.51]
1972	Коуп, Ример, Пингс	c_p	122—141	ж	6	[5.42]
1979	Светличный, Поричанский	ϱ	90—210	ж	13	[5.10, 5.26]
1979	Светличный	p_s	180—226	ж—г	11	[5.26]
1979	Лобо, Стэвели	p_s	89,5—173	ж—г	8	[5.70]

В качестве базы для сравнения опытных и табличных данных о давлении насыщенного пара нами использовано уравнение, полученное в работе [5.70]:

$$\ln p_s = \ln p_{кр} + (A_1 \cdot \varepsilon + A_2 \cdot \varepsilon^{1,5} + A_3 \cdot \varepsilon^3 + A_4 \cdot \varepsilon^6)/\tau, \quad (5.5)$$

где $\varepsilon = (1-\tau)$; $p_{кр} = 3{,}742$ МПа; $A_1 = -0{,}67651056 \cdot 10^1$; $A_2 = 0{,}10777437 \cdot 10^1$; $A_3 = -0{,}17490971 \cdot 10^1$; $A_4 = -0{,}25845119 \cdot 10^1$.

Уравнение (5.5) рекомендуется для расчетов по МПТШ-68. В этой температурной шкале представлены только опытные данные [5.27, 5.70].

Результаты сравнения литературных (некорректированных) данных о p_s фреона-14 приведены на рис. 51 и указывают на весьма существенные расхождения таблиц [5.15, 5.16] и [5.77]. Обобщенное уравнение (0.19) с параметрами, указанными в табл. 2, также дает заниженные значения p_s при низкой температуре. Расхождения между опытными данными разных авторов при $T < T_{н.т.к.}$ велики. Но если учесть различие температур-

ных шкал и внести соответствующие поправки*, то расхождение между данными Лобо, Стэвели [5.70] и Симона с соавторами [5.85] заметно уменьшится и в пересчете на T_s составит в среднем ±0,05 К.

Согласование экспериментальных и табличных данных о плотности жидкости на кривой насыщения также не очень хорошее. Так, табличные значения ρ' [0.39, 5.77], основанные на

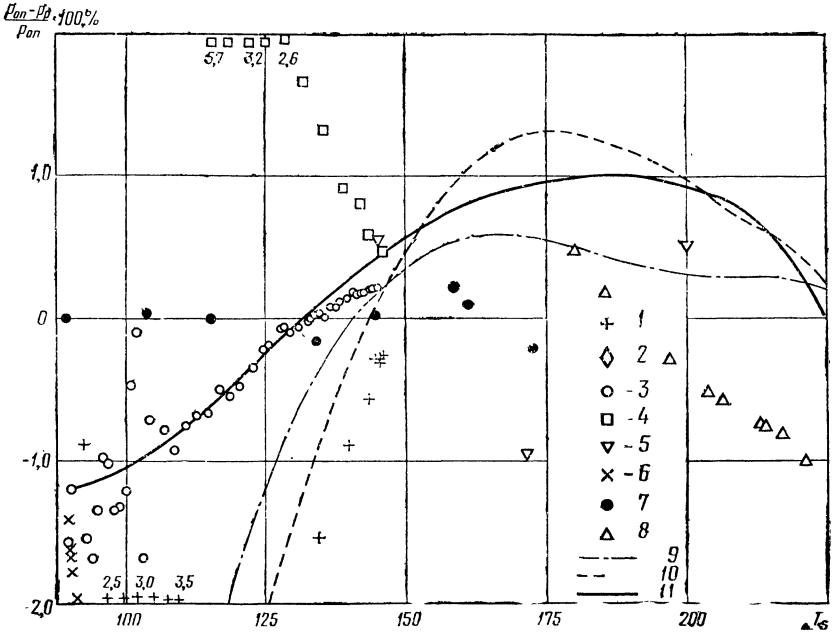


Рис. 51. Отклонения значений давления насыщенного пара фреона-14 от принятых в настоящей работе:

опытные данные: *1* — Менцеля, Морея [5.76]; *2* — Кролла, Скотта [5.43]; *3* — Симона и др. [5.85]; *4* — Смита, Пике [5.86]; *5* — Енокидо и др. [5.48]; *6* — Жено, Дюваля [5.51]; *7* — Лобо, Стевели [5.70]; *8* — Светличного [5.27]; расчетные данные: *9* — по уравнению (0.19); *10* — [5.77]; *11* — [5.15]

экспериментальных данных Чэри, на 1—2 % выше рекомендуемых в [5.3, 5.15]. Расхождение опытных данных [5.67] и [5.89] меньше (до 0,5 %), но является систематическим (рис. 52). Для расчета температурной зависимости ортобарической плотности жидкости рекомендуется уравнение типа (0.22), полученное в [5.15]:

$$\rho' = \rho_{кр} + A(T_{кр} - T) + B(T_{кр} - T)^{1/3} + C(T_{кр} - T)^2 + D(T_{кр} - T)^{1/2}, \qquad (5.6)$$

* В интервале температур 90—150 К отличие МПТШ-68 и МПТШ-48 составляет ±0,013 К, причем при $T<109$ К $T_{68}>T_{48}$, а при более высокой температуре, наоборот $T_{48}>T_{68}$.

где $\rho_{кр}=622{,}029$ кг/м^3; $T_{кр}=227{,}50$ К; $A=0{,}1538614\cdot10^1$; $B=0{,}1665800\cdot10^3$; $C=0{,}5775711\cdot10^{-3}$; $D=0{,}1391574\cdot10^2$.

Погрешность вычисленных по уравнению (5.6) значений ρ', по нашей оценке, не превышает 0,3 %.

В табл. 50 приведены как экспериментально найденные параметры узловых точек на линии равновесия жидкость — пар,

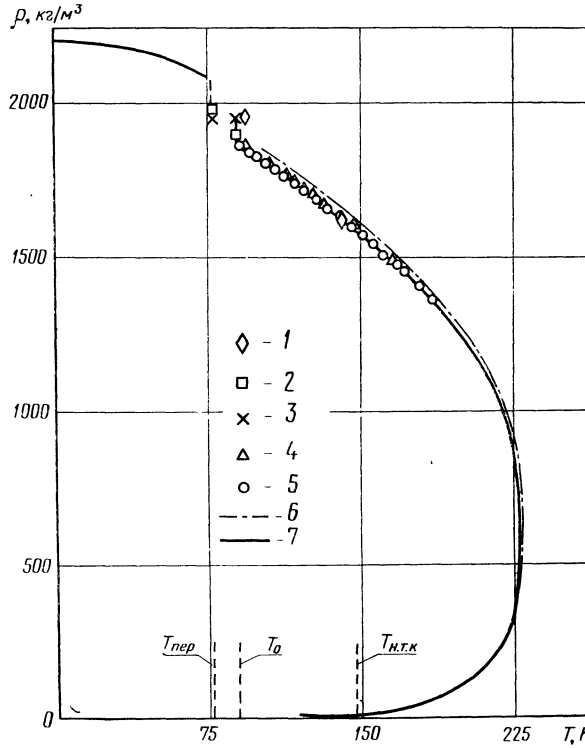


Рис. 52. Ортобарические плотности фреона-14:

опытные данные: *1* — Руффа, Кайма [5.81]; *2* — Клемма, Хенкеля [5.66]; *3* — Стюарта [5.88]; *4* — Кноблера, Пингса [5.67]; *5* — Терри, Стэвели [5.89]; расчетные данные: *6* — [5.77]; *7* — настоящей работы

так и рекомендуемые в обобщающих исследованиях. Значения $T_{н.т.к.}$ и T_0 определяли неоднократно, поэтому они известны с достаточно высокой степенью надежности. Однако критические параметры фреона-14 $T_{кр}$, $\rho_{кр}$ и $p_{кр}$, начиная с работы [5.75], принимают по данным диссертации Чэри, выполненной в 1960 г. в Мичиганском университете (США). Несколько отличающиеся значения $\rho_{кр}$ сообщаются в работах [0.23, 0.24] и [5.89], но в обоих случаях это расчетные величины.

Теплоемкость жидкого фреона-14 измеряли при $T<T_{н.т.к.}$ (см. табл. 49). Полученные опытные данные [5.42, 5.48, 5.49, 5.86] достаточно хорошо согласуются между собой (расхождение не превышает 1 %).

Приведенные в работе [5.3] таблицы c_p жидкого фреона-14 при температуре до 218 К получены расчетом по неаналитической методике Л. П. Филиппова [1.30]. Аналитические корреля-

Таблица 50

Параметры узловых точек на линии равновесия жидкость — пар фреона-14

Год	Авторы	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\rho_{кр}$, кг/м³	$T_{н.т.к.}$, К	T_0, К	Источник
1930	Руфф, Кайм	—	—	—	143±1,0	86,8±1,0	[5.81]
1932	Клемм, Хенкель	—	—	—	—	86,3±0,5	[5.66]
1933	Менцель, Морей	—	—	—	145,1±0,1	89,5±0,2	[5.76]
1938	Эйкен, Шредер	—	—	—	—	89,47	[5.49]
1949	Фишке	227,65	3,740	635	—	—	[0.54, 1.73]
1951	Маккармак, Шнейдер	227,6	—	599,9	—	—	[5.72]
1958	Кострюков, Саморуков, Стрелков	—	—	—	—	89,44±0,02	[5.13]
1960	Мартин, Бхада	227,48	3,745	625,7	—	—	[5.75]
1967	Симон, Кноблер, Дункан	—	—	—	145,12	89,547±0,003	[5.85]
1968	Морси, Штрауб	227,50	3,745	625,7	145,15	—	[5.77]
1969	Терри, Стэвели	228	—	618,0	—	89,569	[5.89]
1969	Енокида, Шинода, Машико	—	—	—	—	89,529	[5.48]
1969	Смит, Паке	—	—	—	145,12	89,56	[5.86]
1970	Жено, Дюваль	—	—	—	—	89,547	[5.51]
1974	Лагуткин, Куропаткин, Соколова	227,50	3,745	625,0	—	89,515	[5.15, 5.16]
1979	Лобо, Стэвели	227,50	3,742	—	145,16	89,56	[5.70]
1980	Перельштейн, Парушин	227,50	3,745	629,7	145,13	89,15	[0.23, 0,24]
1981	Стэвели, Лобо, Каладо	—	—	—	—	89,56	[4.56]

Примечание. Принятые в этой книге значения параметров указаны в табл. 3.

ции для конфигурационной теплоемкости жидкостей, рекомендуемые в [5.33], применимы при $T > T_{н.т.к.}$, но при низкой температуре дают более глубокий минимум, чем это следует из экспериментальных данных (рис. 53) и существенно более высокие значения c_p при T_0.

Скорость звука в жидком фреоне-14 измерена в интервале

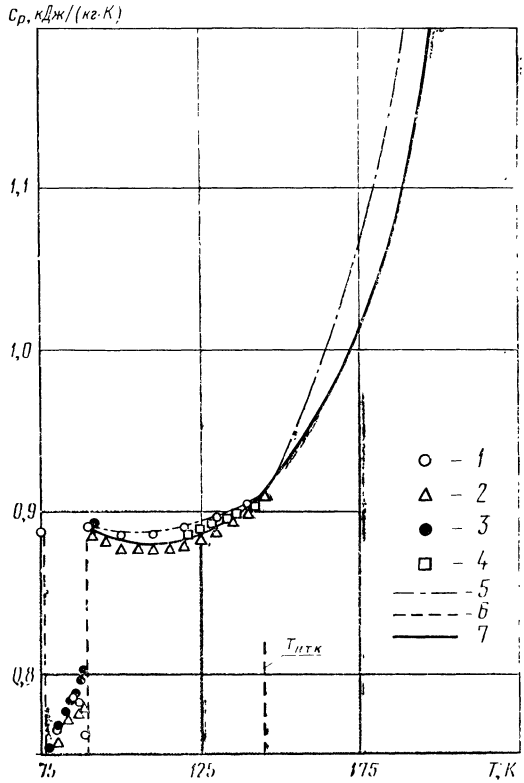


Рис. 53. Теплоемкость конденсированной фазы на линии насыщения: опытные данные: *1* — Эйкена, Шредера [5.49]; *2* — Смита, Пике [5.86]; *3* — Енокидо и др. [5.48]; *4* — Коупа и др. [5.42]; расчетные данные: *5* — [0.39, 0.40]; *6* — [5.3]; *7* — по рекомендуемому уравнению состояния

от тройной точки до 220 К (см. табл. 49). Экспериментальные данные [5.35] аппроксимированы со средней квадратической погрешностью 0,31 м/с уравнением

$$w' = 1662{,}62 - 0{,}618412 \cdot 10^{-1}T - 0{,}178196 \cdot 10^{-2}T^2. \quad (5.7)$$

Из рис. 54 видно, что уравнение (5.7) хорошо описывает также опытные данные более поздней работы [5.5] вплоть до температуры 210 К.

Для описания температурной зависимости поверхностного натяжения нами применено обобщенное уравнение (0.56), преобразованное к виду (1.12). Значение индивидуальной констан-

ты $10^3 \cdot \sigma_{0,6} = 13{,}88$ Па·м принято по данным [0.25, 5.21]. Вычисленные по уравнениям (1.13) и (1.14) значения σ примерно на 2 % ниже, если использовать константу $10^6 \cdot a_0^2 = 1{,}0856$ м² [1.11] и данные о ϱ_s [5.3, 5.15].

Термодинамические свойства твердого CF_4 изучали многие авторы. Это объясняется тем, что тетрафторметан в твердом

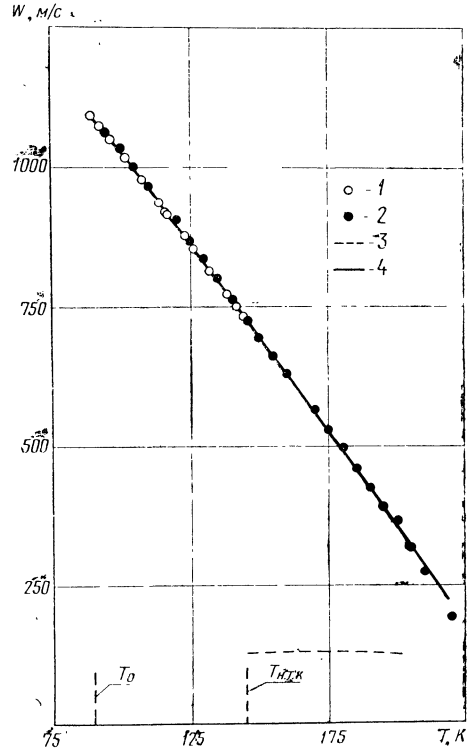


Рис. 54. Скорость звука в жидком фреоне-14 на линии насыщения: опытные данные: *1* — Азиза и др. [5.35]; *2* — Благого и др. [5.5]; расчетные данные: *3* — по уравнению (5.7); *4* — по рекомендуемому уравнению состояния

состоянии имеет две модификации. Низкотемпературная фаза (α—CF_4), существующая ниже 76,2 К, имеет моноклинную решетку симметрии $P2_1C$, структура высокотемпературной фазы до сих пор не установлена [5.8].

Первые калориметрические исследования твердого CF_4 провели Эйкен, Шредер [5.49] и В. Н. Кострюков с соавторами [5.13]. В этих работах теплоемкость измерена в интервале 12 К до температуры плавления. В 1969—1970 гг. опубликованы новые результаты измерения теплоемкости твердого CF_4: в интервале 2—20 К [5.36], в интервале 4—89,5 К [5.48] и в интервале 12—89,5 К [5.86]. Опытные данные [5.35, 5.48, 5.86] получены на

поликристаллических образцах высокой чистоты (содержание основного вещества 99,985—99,90 мол. %) и согласуются в пределах оговоренной авторами погрешности измерений. Найденные по калориметрическим данным значения температуры T_λ α—β-перехода, температуры в тройной точке T_0, а также теплоты фазового перехода ΔH_λ и теплоты плавления $\Delta H_{пл}$ близки к значениям $T_\lambda = (76{,}2 \pm 0{,}1)$ К; $T_0 = (89{,}50 \pm 0{,}05)$ К; $\Delta H_\lambda = (360 \pm 20)$ кал/моль; $\Delta H_{пл} = (169 \pm 1)$ кал/моль.

Предельное значение температуры Дебая $\Theta_D^0 = (88{,}8 \pm 1{,}0)$ К [5.36], а найденное по данным [5.49] значение теплоты сублимации кристалла $\Delta H_{s_0}^0 = 17380$ Дж/моль [0.50].

Тепловое расширение и плотность твердого тетрафторметана также измеряли в нескольких работах. Данные ранних работ [5.66, 5.81, 5.88] показаны на рис. 52. В 70-е годы во ФТИНТ выполнены две серии измерений теплового расширения поликристаллических образцов α — CF_4 [5.30, 5.8]. В первой по времени работе [5.30] коэффициент линейного расширения α измерен кварцевым дилатометром в интервале 10—60 К и при 78 К в высокотемпературной фазе. Скачок объема при фазовом превращении в твердом CF_4 оказался равным 5,1 % относительно объема при 77 К, что практически совпадает со значением 4,9 %, полученным Стюартом и Ля Роком [5.87]. Таким образом, принимая мольный объем твердой фазы при 77 К $v_{тв} = 45{,}3$ см³/моль [5.88], для скачка объема при α—β-переходе получим $\Delta v_\lambda = (2{,}25 \pm 0{,}05)$ см³/моль.

В [5.8] приведены результаты рентгеновского исследования температурной зависимости параметров решетки и коэффициентов расширения α — CF_4 в интервале 10—75 К.

Давление насыщенного пара над твердым CF_4 измеряли в [5.48, 5.51, 5.76]. Паас, Шнейдер [5.79] сообщают экспериментальные данные о температуре плавления твердого CF_4 при высоком давлении: получено десять точек в интервале 95,5—117,3 К до давления 160 МПа.

Уравнения состояния и таблицы. В существующих справочных изданиях табличная информация о термодинамических свойствах фреона-14 при повышенных давлениях либо отсутствует совсем [0.5, 0.6, 0.7, 2.1], либо ограничена данными в состоянии насыщения [0.38, 0.39, 0.54]. К сожалению, и таблицы p_s, ϱ', ϱ'', h', h'', s', s'', опубликованные в [0.39, 5.77], получены на основании обработки недостаточно точных p, v, t-данных.

О. Д. Лагуткин с соавторами [5.15, 5.16] использовали другие опытные данные, но при температуре выше 146—180 К были вынуждены оценивать температурные зависимости p_s и ϱ_s априорно. Таблицы p_s, ϱ_s, r [5.15] приведены также в статье [5.3], где дополнительно рассчитаны c_p, σ, η, λ, a, Pr для интервала T_0 — $T_{кр}$.

Новые таблицы p_s, ϱ_s, r опубликованы в работе Лобо, Стэвели [5.71]. Здесь p_s рассчитано по уравнению (5.5), а v'' — по уравнению (5.3) с близкими к опытным данным значениями

$B_1(T)$ и $B_2(T)$. Поскольку измеренные в [5.89] значения оказались систематически заниженными (на ~0,4 %), авторы [5.71] произвели их корректировку, а при $T>180$ К оценили ϱ' по правилу прямолинейного диаметра. Кроме того, в [5.71] для сосуществующих фаз табулированы конфигурационная внутренняя энергия U^*, для жидкой фазы β_s, (dp_s/dT), $[(1/v')\ (dv'/dT)]$ и при $T\leqslant T_{\text{н.т.к.}}$ величины α_p, β_T, γ_v, c_p, c_v.

Полные таблицы термодинамических свойств фреона-14 в однофазной области, по-видимому, не опубликованы. Известны таблицы $(H-H^0)$, $(S-S^0)$, $(\Phi-\Phi^0)$ для интервала $T=273$—623 К и $\varrho=0{,}75$—11,0 моль/л, рассчитанные в работе [5.54] графоаналитическим способом по p, v, T-данным [5.45]. В статье [5.12] табулированы значения ϱ жидкого фреона-14 ($\omega=1{,}8$—3,1) в интервале температур от 93,15 до 283,15 К с шагом 10 К и давлений от 2 до 30 МПа с шагом 2 МПа. Расчет выполнен с помощью полуэмпирического уравнения

$$(z-1)/\omega^2 = -1{,}744\cdot\frac{\varepsilon}{T}\cdot\bar{b}_0^2[1-0{,}4654\bar{b}_0^2\omega^2], \qquad (5.8)$$

где ε и $\bar{b}_0$ — некоторые обобщенные (для фреонов-11, 12, 13, 14) функции температуры.

Авторы [5.12] сообщают, что уравнение (5.8) передает опытные данные [5.5] при $T=120$—150 К со средней квадратической погрешностью 0,33 %. Выполненный нами сравнительный анализ показал, что приведенные в [5.12] значения ϱ могут отличаться от экспериментальных данных [5.25] и таблиц настоящей работы на 0,8—1,25 % при $\omega<2{,}0$.

П. И. Светличный, Е. Г. Поричанский [5.25] аппроксимировали свои опытные данные уравнением (4.8) с девятнадцатью коэффициентами и сообщили, что в области измерений $T=94$—316 К, $p=0{,}5$—57 МПа погрешность расчетных значений ϱ меньше 0,1 %. Заметим, однако, что в другой работе тех же авторов [5.10] даны отличающиеся значения коэффициентов a_{13}, a_{34} и отсутствует a_{73}.

Ю. П. Благой, В. А. Сорокин [5.6] определили по своим опытным данным для жидкого фреона-14 константы модифицированного уравнения Тэйта и рассчитали некоторые термодинамические свойства (β_T, α_p, β_s, c_v).

Уравнения состояния газовой фазы фреона-14 составляли неоднократно [0.23, 0.51, 5.4, 5.29, 5.45, 5.69, 5.75]. Так, в [5.45] получены константы уравнений (0.1) и (0.3). Позднее Морси [0.51] по тем же опытным данным [5.45] определил константы уравнения (0.4) и установил, что оно обеспечивает значительно более высокую точность по сравнению с уравнением (0.3) при расчете термических и калорических свойств. Примерно такие же результаты получены по уравнению типа (0.7), составленному в [5.29]. Уравнения (0.4) и (0.7) построены и проверены на p, v, T-данных при $T=273$—623 К и $p\leqslant 40$ МПа [5.45]. Авторы других работ располагали опытными p, v, T-данными при низ-

кой температуре и исследовали другие формы уравнения состояния газообразного фреона-14. Так, в [5.69, 5.75] получены уравнения типа (0.2) с 16—18 константами, причем одно из них [5.75] применяли для расчета h, $\lg p$-диаграмм, опубликованных в [0.38, 5.77]. Это уравнение передает p, v, T-данные [5.45, 5.75] со средней квадратической погрешностью 0,24—0,41 % (максимальное отклонение 3,4 %) и, как установлено в [5.24], недостаточно точно отражает калорические свойства.

В справочнике [0.23] приведены коэффициенты уравнения (0.8), но состав исходных опытных данных и область применимости уравнения состояния не указаны. Более сложное уравнение этого типа составлено в работе В. В. Алтунина [5.4]. Оно построено по экспериментальным p, v, T-данным [5.26, 5.45, 5.69, 5.75] (около 490 точек) в области $T=203$—623 К, $\omega=0$—$1{,}9$ ($p_{max}=51$ МПа), воспроизводит их с погрешностью 0,05—0,30 % и допускает экстраполяцию в интервале $T=170$—1000 К, $\omega=0$—$0{,}5$. В. Н. Анисимов [4.3] исследовал новую модификацию уравнения БВРС и привел 14 коэффициентов этого уравнения для R14. Состав исходных данных не указан, но сообщается, что уравнение состояния применимо в области $T=145$—500 К, $p\leqslant 30$ МПа и аппроксимирует ~ 270 опорных значений $\{p, v, T\}$ со средней квадратической погрешностью $\delta\varrho=0{,}20$ %. Предложенное в работе [4.3] уравнение состояния, вероятно, относится к типу ЕУС.

Выше речь шла о таблицах и уравнениях для жидкой и газообразной фаз фреона-14. Для твердой фазы имеются таблицы c_p, H, S в интервале 20—122 К [0.50]. А в статье [5.8] по данным этой и предыдущих работ ФТИНТ [5.7, 5.13, 5.36] составлена таблица значений v, ϱ, α, β_T, c_v и коэффициента Грюнайзена $\gamma=\alpha v/\beta_T c_v$ для низкотемпературной твердой фазы $T=10$—75 К.

5.2. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

При получении уравнения состояния фреона-14 использована машинная методика совместной обработки опытных данных о термических свойствах жидкой и газообразной фаз в ортонормированном базисе разложения (метод ортогональных разложений) [0.1, 4.2]. В качестве исходных p, v, T-данных приняты экспериментальные результаты [5.25, 5.26, 5.45, 5.69, 5.75], охватывающие область $T=94$—623 К, $p=0{,}5$—57 МПа в газовой и жидкой фазах и свыше 600 измеренных значений $\varrho(p, T)$. В состав исходных данных были включены также сглаженные опытные данные о давлении насыщенного пара p_s и плотности ϱ' при $T\geqslant T_{н.т.к.}$ и, кроме того, массив $z(\varrho, T)$-значений при низкой плотности ($\omega\leqslant\omega_{пред}$), вычисленных по уравнению (5.3), которое, как показано выше, достаточно хорошо представляет имеющиеся экспериментальные данные о температурных зависимостях $B_1(T)$ и $B_2(T)$.

Температурную зависимость давления насыщенного пара

оценивали по уравнению (5.5), а теплоемкость в идеально газовом состоянии считали по уравнению (0.23) с коэффициентами, указанными в разд. 5.1. Коэффициенты рекомендуемого уравнения состояния (0.9) приведены в табл. 51, причем $\omega=\varrho/625{,}0$ и $\tau=T/227{,}50$.

Средняя квадратическая погрешность аппроксимации исходных экспериментальных $z(\varrho, T)$-данных равна 0,33 %, гистограмма отклонений показана на рис. 55.

Термодинамические свойства рассчитывали на линии кипения и конденсации по схеме ЕУС в результате решения системы уравнений (0.12) и (0.13), а независимое уравнение кривой упругости используется только для нахождения начального приближения.

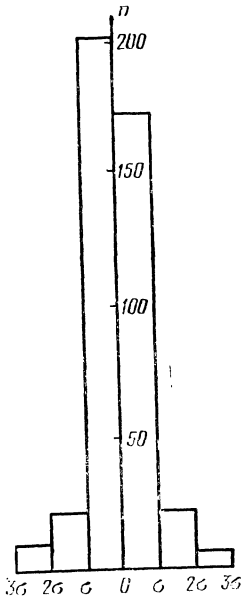


Рис. 55. Гистограмма отклонений рассчитанных по рекомендуемому уравнению состояния значений сжимаемости фреона-14 от опытных данных [5.6, 5.26, 5.45, 5.61, 5.69, 5.75]

Рассчитанные по уравнению состояния значения ϱ' и ϱ'' достаточно хорошо согласуются с табличными данными [5.3, 5.15]. Вычисленные в настоящей работе значения c'_p при $T>T_{\text{н.т.к.}}$ оказались выше приведенных в таблицах [5.3], а значение скорости звука w', наоборот, ниже экспериментальных данных [5.5].

Согласование с данными В. Ф. Утенкова, Д. С. Рассказова [4.24] о δ_T чистого фреона-14, в целом, можно признать хорошим, однако при низкой температуре (ниже $T_{\text{кр}}$) отклонения увеличиваются и становятся систематическими (расчетные значения изотермического дроссель-эффекта выше). Аналогичные по характеру, но несколько меньшие по значению отклонения получены при сравнительных расчетах по локальному (газовому) уравнению состояния в работе [5.4].

Расхождение с экспериментальными данными о теплоемкости c_v [5.58] в интервале 303—473 К при $P<1{,}6$ МПа не превышает 1,8 %, но является систематическим (расчетные данные выше). Знак расхождения объясняется тем, что экстраполированные на нулевую плотность опытные данные [5.58] дают примерно на 0,5 % меньше значения c_v^0 по сравнению с принятыми в настоящей работе (см. рис. 50).

Из сказанного выше следует, что рекомендуемое уравнение состояния достаточно хорошо согласует имеющуюся экспериментальную информацию о термодинамических свойствах газообразного и жидкого фреона-14 в широкой области температуры и давления.

Таблица 51

Коэффициенты уравнения состояния (0.9) для фреона-14

i	Значения b_{ij} при j, равном				
	0	1	2	3	4
1	$0{,}465412376 \cdot 10^{0}$	$-0{,}460830210 \cdot 10^{-1}$	$-0{,}279065609 \cdot 10^{1}$	$0{,}191861073 \cdot 10^{1}$	$-0{,}695307991 \cdot 10^{0}$
2	$-0{,}683861484 \cdot 10^{1}$	$0{,}424438192 \cdot 10^{2}$	$-0{,}101485246 \cdot 10^{3}$	$0{,}101860686 \cdot 10^{3}$	$-0{,}362080449 \cdot 10^{2}$
3	$0{,}403130439 \cdot 10^{2}$	$-0{,}243712705 \cdot 10^{3}$	$0{,}585324920 \cdot 10^{3}$	$-0{,}585470766 \cdot 10^{3}$	$0{,}206929314 \cdot 10^{3}$
4	$-0{,}832210407 \cdot 10^{2}$	$0{,}485824947 \cdot 10^{3}$	$-0{,}120295695 \cdot 10^{4}$	$0{,}122909822 \cdot 10^{4}$	$-0{,}437477850 \cdot 10^{3}$
5	$0{,}884003700 \cdot 10^{2}$	$-0{,}455461859 \cdot 10^{3}$	$0{,}118356341 \cdot 10^{4}$	$-0{,}125926799 \cdot 10^{4}$	$0{,}456436501 \cdot 10^{3}$
6	$-0{,}602127680 \cdot 10^{2}$	$0{,}222584375 \cdot 10^{3}$	$-0{,}610970536 \cdot 10^{3}$	$0{,}693662147 \cdot 10^{3}$	$-0{,}258255436 \cdot 10^{3}$
7	$0{,}315203148 \cdot 10^{2}$	$-0{,}616670331 \cdot 10^{2}$	$0{,}167200162 \cdot 10^{3}$	$-0{,}210325216 \cdot 10^{3}$	$0{,}810086172 \cdot 10^{2}$
8	$-0{,}124208458 \cdot 10^{2}$	$0{,}119804952 \cdot 10^{2}$	$-0{,}219631820 \cdot 10^{2}$	$0{,}330114834 \cdot 10^{2}$	$-0{,}132765311 \cdot 10^{2}$
9	$0{,}300137179 \cdot 10^{1}$	$-0{,}226476800 \cdot 10^{1}$	$0{,}953533444 \cdot 10^{0}$	$-0{,}208045601 \cdot 10^{1}$	$0{,}887624065 \cdot 10^{0}$
10	$-0{,}311203418 \cdot 10^{0}$	$0{,}272703261 \cdot 10^{0}$	—	—	—

5.3. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВАХ

Вязкость. Табличные данные о вязкости фреона-14 приведены в работах [0.39, 0.40, 0.58, 5.3], но они относятся к газовой фазе при атмосферном давлении (η_T) и к жидкости на линии насыщения (η'), причем за исключением [5.3] не учитывают экспериментальных данных, опубликованных после 1969 г.

Из табл. 52 видно, что в настоящее время температурная зависимость вязкости газообразного фреона-14 при p=0,1 МПа изучена в весьма широком интервале температур (120—1020 К). Результаты большинства исследований хорошо согласуются между собой (рис. 56).

Таблица 52

Экспериментальные исследования вязкости фреона-14

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1955	Ламберт, Коттон	339	0,1	г	1	КД	[5.68]
1957	Маккабри, Синк	315—456	0,1	г	10	Ка	[5.73]
1959	Амме, Легвольд	300—572	0,1	г	4	ПР	[3.36]
1959	Кэмин, Витцель	303—363	0,1—2,0	г	24	Ка	[3.51]
1959	Тсюи	363—423	0,1	г	3	Ка	[2.66]
1961	Вилберс	235—289	0,1	г	4	КШ	[2.66]
1966	Витт, Тодос	323—474	3,4—41	г	48	Ка	[5.90]
1970	Деви, Мейтланд, Смит	293—873	0,1	г	20	Ка	[5.44]
1970	Жено	246—343	0,1	г	9	Ка	[5.50]
1971	Кестин, Ро, Вакехам	297—303	0,1	г	2	КД	[5.62]
1973	Хеллеманз, Кестин, Ро	298—873	0,1	г	9	КД	[5.55]
1974	Геллер, Иванченко	303—443	0,1—40	г	75	Ка	[0.9, 4.11, 5.11]
1974	Мейтланд, Смит	295—1022	0,1	г	7	Ка	[5.74]
1975	Рассказов, Бабиков, Филатов	203—523	0,1—30	г, ж	101	Ка	[5.22, 5.23, 5.31]
1976	Гоух, Метьюз, Смит	120—320	0,1	г	6	Ка	[5.52]
1977	Кестин, Халифа, Ро, Вакехам	298—673	0,1	г	16	КД	[5.63]
1978	Кочубей, Моин	273—673	0,1	г	—	Ка	[5.14]

* См. примечание к табл. 10.

Вязкость фреона-14 при повышенных давлениях изучали в нескольких работах. Наиболее подробные и надежные измерения проведены в работах ОТИХП [0.9, 4.11, 5.11] и МЭИ [5.22, 5.23, 5.31]. Опытные данные ОТИХП для газовой фазы фреона-14 получены с помощью капиллярного вискозиметра конструкции И. Ф. Голубева и достаточно хорошо согласуются с результатами измерений МЭИ на модифицированном вискозиметре Ренкина. В [5.22, 5.23] впервые получены опытные данные о вязкости жидкого фреона-14 в однофазной области.

За последние годы опубликовано несколько уравнений, предназначенных для расчета η в широкой области состояний. Так, С. И. Иванченко [5.11] аппроксимировал свои опытные данные уравнением (0.33). Н. Я. Филатов [5.31] проделал численный эксперимент по методике [5.1] с уравнениями разной структуры и по более представительному массиву экспериментальных дан-

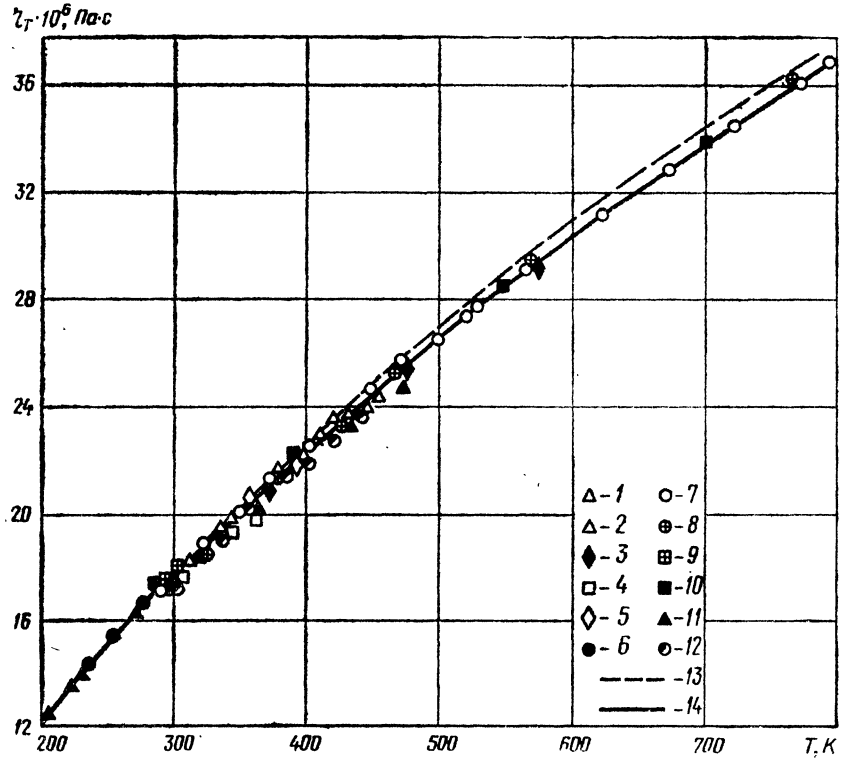


Рис. 56. Вязкость газообразного фреона-14 при низких давлениях:

опытные данные: *1* — Ламберта и др. [5.68]; *2* — Мак-Кабри, Синка [5.73]; *3* — Амме, Легвольда [3.36]; *4* — Кэмина, Витцеля [3.51]; *5* — Тсюи [2.66]; *6* — Вилберса [2.66]; *7* — Дэви и др. [5.44]; *8* — Хеллеманса и др. [5.55]; *9* — Кестина и др. [5.62]; *10* — Мейтланда, Смита [5.74]; *11* — Рассказова и др. [5.31]; *12* — Геллера, Иванченко [5.11]; расчетные данные: *13* — по уравнению (0.32*а*); *14* — по уравнению (1.26)

ных и нашел, в частности, коэффициенты уравнений (0.33) и (0.38) [5.23, 5.31].

В этом справочнике рекомендуется система обобщенных уравнений, разработанная В. З. Геллером, А. В. Кронбергом [0.12, 1.18] на основании обработки опытных данных для фреонов-10, 11, 12, 13 и 14. Указанная система включает уравнения (0.35), (0.36) и (1.26). Общие для рассматриваемой группы фреонов коэффициенты уравнений (0.35)—(0.36) и (1.26) приведены соответственно в табл. 4 и гл. 1. Индивидуальные константы фреона-14: $\eta_{0,7}=237$ мкПа·с и $\eta_{T_{кр}}=13{,}6$ мкПа·с.

Экспериментальная информация о вязкости фреона-14, использованная при получении рекомендуемой системы уравнений, представлена опытными данными [2.66, 3.36, 3.51, 5.11, 5.31, 5.44, 5.55, 5.62, 5.68, 5.73, 5.74], которые охватывают область $T=203$—800 К и $p=0{,}1$—40 МПа.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических вязкостей (η' и η'') фреона-14, рекомендуются предложенные И. И. Перельштейном и Е. В. Парушиным уравнения (0.32б), причем для η'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{\text{н.т.к.}}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Теплопроводность. Таблицы теплопроводности, которые в той или иной мере учитывают опубликованные после 1969 г. экспериментальные данные, приведены в [0.8, 0.33, 5.3]. Таблицы справочника [0.8] относятся к газовой фазе фреона-14, охватывают интервал $T=190$—430 К, $p=0{,}1$—60 МПа и при повышенных давлениях получены в результате графической обработки опытных данных [5.9]. В статьях О. Б. Цветкова с соавторами [0.33, 2.28, 5.32] сообщаются два отличающихся на 1,5—3 % варианта таблиц λ_T для $T=150$—300 К, полученные по обобщенным уравнениям вида $\lambda^*/c_v^*=f(\tau)$. В [5.3] приведены таблицы λ, a и Pr на кривой насыщения фреона-14, но они отчасти опираются на обобщенные корреляции [1.30, 5.59].

Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные охватывают как газовую, так и жидкую фазу в широком интервале p, T-параметров (табл. 53).

Таблица 53

Экспериментальные исследования теплопроводности фреона-14

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод *	Источник
1955	Ламберт, Коттон	339	0,1	г	1	КЦ	[5.68]
1964	Масиа, Брасеро, Риенда	278—408	0,005—0,12	г	8	Н	[3.61]
1966	Шоу, Рау	335—700	0,1	г	9	КЦ	[5.40]
1967	Ошен, Розенбаум, Тодос	280—315	0,1—67,0	г	30	КЦ	[5.78]
1967	Розенбаум, Тодос	336—434	0,1—69,0	г	56	КЦ	[5.80]
1967	Таушер	148—203	p_s	ж	6	НН	[1.95]
1970	Германс с соавторами	300	0,1	г	12	КЦ	[5.56]
1974	Геллер, Передрий	193—434	0,1—60	г, ж	148	Н	[5.9]
1976	Клиффорд, Дикинсон, Грей	303	0,1	г	1	Н	[5.41]
1977	Геллер, Запорожан	91—207	0,1—60	ж	55	Н	[1.15, 4.10]

* См. примечание к табл. 11.

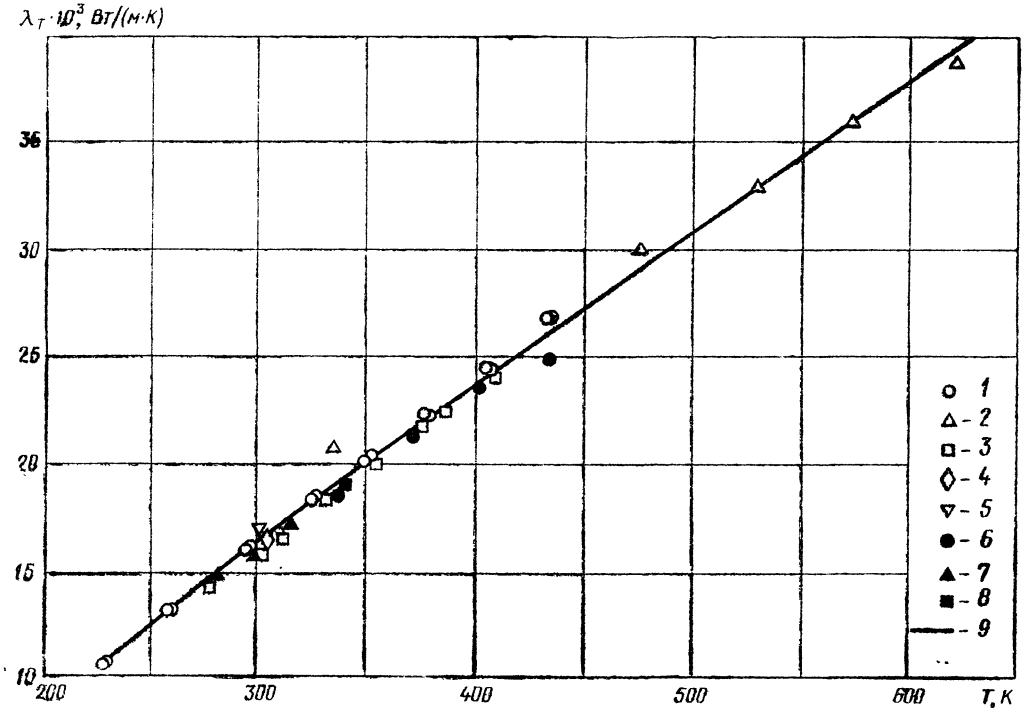


Рис. 57. Теплопроводность газообразного фреона-14 при низких давлениях:

опытные данные: *1* — Геллера, Передрия [5.9]; *2* — Шоу, Рау [5.40]; *3* — Масиа и др. [3.61]; *4* — Германса и др. [5.56]; *5* — Клиффорда и др. [5.41]; *6* — Ошена и др. [5.78]; *7* — Розенбаума, Тодоса [5.80]; *8* — Ламберта и др. [5.68]; *9* — расчетные данные по уравнениям (0.32*а*) и (0.31)

Измеренные разными авторами значения теплопроводности газообразного фреона-14 при атмосферном давлении обычно согласуются в пределах 2—3 % (рис. 57) и передаются уравнением [0.8]:

$$\lambda \cdot 10^3 = 0{,}1753 - 0{,}8028 \cdot 10^{-2} \cdot T + 0{,}3291 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - \\ - 0{,}5247 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 + 0{,}2778 \cdot 10^{-9} \cdot T^4. \qquad (5.9)$$

В связи с обсуждением данных о λ_T уместно обратить внимание на экспериментальную работу [5.38], в которой выполнены прямые измерения фактора Эйкена $f=\lambda M/(\eta \cdot c_v)$ при $T=$ $=287$—290 К. По данным этой работы для R14 $f=1{,}527\pm0{,}002$.

Теплопроводность фреона-14 в газовой фазе при повышенных давлениях измеряли в трех работах [5.9, 5.78, 5.80]. Сравнительный анализ указанных опытных данных показал, что они удовлетворительно согласуются при давлении до 20 МПа, но с ростом давления расхождения увеличиваются и достигают 10—15 %. Следует отметить аналогичный характер отклонений результатов [5.80] по теплопроводности метана от рекомендуемых в настоящее время данных [0.8]. Имеющаяся в работах [5.78, 5.80] информация не позволяет однозначно решить вопрос об источниках указанных расхождений. По нашему мнению, одной из возможных причин являются торцевые потери тепла, которые увеличиваются с ростом давления.

Теплопроводность жидкого фреона-14 на линии насыщения определяли Таушер [1.95] и В. З. Геллер с сотрудниками [5.9, 4.10, 1.15]. По рис. 58 можно судить о согласовании опытных данных. Отметим лишь, что две опытные точки, полученные в [5.9] в пределах 3—4 % согласуются с результатами низкотемпературных измерений [1.15, 4.10]. Несколько больше (до 6—8 %) от них отличаются данные [1.95]. Для жидкой фазы фреона-14 в однофазной области данные В. З. Геллера и Г. В. Запорожана [1.15, 4.10] являются единственными.

Составленные ранее уравнения теплопроводности сжатого фреона-14 обобщают часть имеющихся экспериментальных данных. Так, в статье [0.32] для расчета таблиц λ в области $T=$ $=163$—343 К, $p=0{,}1$—7 МПа применено уравнение (0.44), но в списке литературы упоминается только работа [5.80]. В статье [0.35] приведены коэффициенты уравнения (0.45), составленного по данным [5.9]. В этом справочнике рекомендуется система уравнений, разработанная В. З. Геллером, Г. В. Запорожаном [0.12, 1.15]. Она включает уравнения (0.31), (0.34), (0.46) с индивидуальными для каждого фреона коэффициентами и обобщенное уравнение (0.45) с коэффициентами, приведенными в табл. 5. Ниже для фреона-14 приведены параметры уравнений (0.31), (0.34) и (0.46):

$a_{\lambda,0} = -6{,}305 \cdot 10^{-3}$; $\quad a_{\lambda,1} = 7{,}405 \cdot 10^{-5}$;
$b_{\lambda,1} = 1{,}5596 \cdot 10^{-2}$; $\quad b_{\lambda,2} = 2{,}6310 \cdot 10^{-2}$;

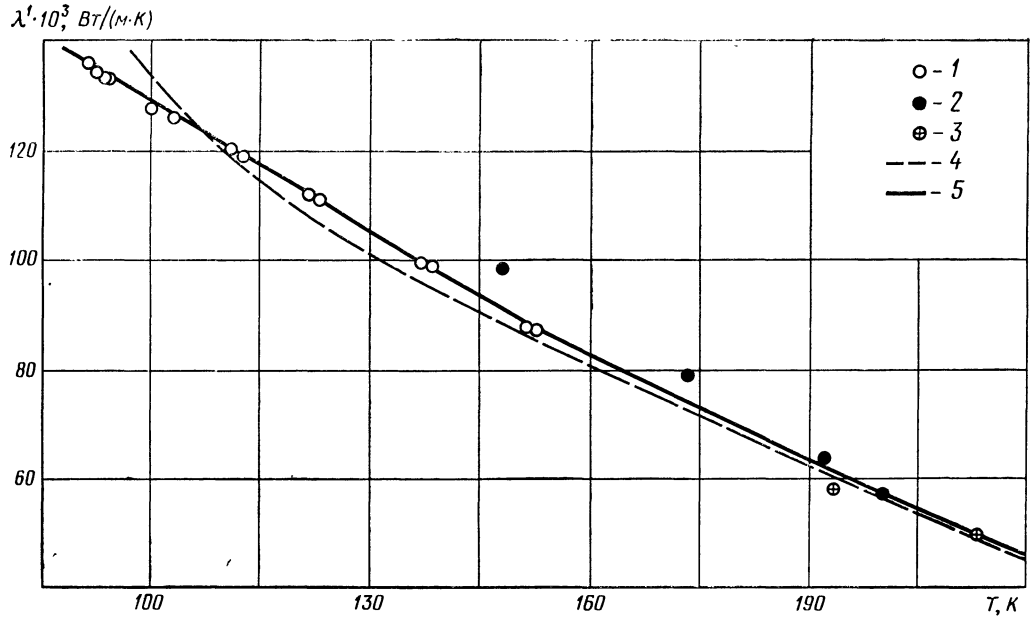


Рис. 58. Теплопроводность жидкого фреона-14 на линии насыщения:
опытные данные: *1* — Геллера, Запорожана [4.10]; *2* — Таушера [1.95]; *3* — Геллера, Передрия [5.9]; расчетные данные: *4* — по уравнению (0.32*б*); *5* — по уравнению (0.46)

$c_{\lambda,1} = 7{,}1835 \cdot 10^{-2}$;
$c_{\lambda,2} = -2{,}3861 \cdot 10^{-1}$;
$c_{\lambda,3} = 7{,}1330 \cdot 10^{-1}$;
$\lambda_{кр} = 288 \cdot 10^{-4}$ Вт/(м·К).

$b_{\lambda,3} = -1{,}4339 \cdot 10^{-2}$;
$b_{\lambda,4} = 1{,}0854 \cdot 10^{-2}$;
$c_{\lambda,4} = -1{,}1648 \cdot 10^{0}$;
$c_{\lambda,5} = 1{,}0198 \cdot 10^{0}$;
$c_{\lambda,6} = -3{,}2292 \cdot 10^{-1}$.

Эти коэффициенты определяли по массиву согласующихся экспериментальных значений λ из работ, перечисленных в табл. 53. Уравнения (0.31) и (0.34) применимы в интервале $T =$

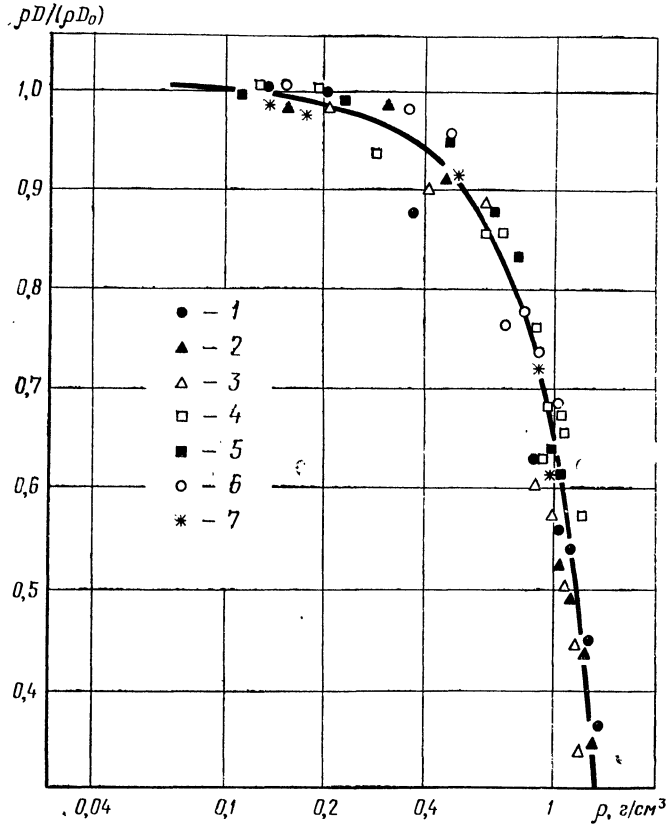


Рис. 59. Самодиффузия сжатого фреона-14 по данным Коури и Кобаяши [5.64] при температуре, К:
1 — 243; *2* — 253; *3* — 263; *4* — 273; *5* — 298; *6* —323; *7* — 348

$= 150$—500 К и $\omega = 0$—$1{,}9$, а уравнения (0.45) и (0.46) — при $T = 91$—206 К и $p = p_s$ — 60 МПа. Таким образом, рекомендуемая система уравнений охватывает практически всю область измерений в газовой и жидкой фазах фреона-14.

В тех случаях, когда необходимо располагать явно выраженной температурной зависимостью ортобарических теплопроводностей (λ' и λ'') фреона-14, рекомендуются предложенные

И. И. Перельштейном и Е. Б. Парушиным уравнения (0.32б), причем для λ'' при температурах ниже нормальной ($T<T_{н.т.к.}$) следует использовать уравнение (0.32а).

Самодиффузия. Подробные измерения самодиффузии в газовой фазе фреона-14 при $T=243$—348 К и $p=2{,}5$—45 МПа проведены методом ЯМР в работе Коури и Кобаяши [5.64]. Результаты измерений представлены на рис. 59 и указывают на существование однопараметрической зависимости комплекса $\varrho D/(\varrho D)_0$ от плотности. Авторами работы [5.64] установлено, что качество аппроксимации опытных данных уравнениями (0.49) и (0.50) практически одинаковое (средняя квадратическая погрешность 5,4—6,0 %). Коэффициенты уравнения (0.49): $d_1=-0{,}26263$; $d_2=-0{,}105323$; $d_3=-0{,}013549$.

Для расчета $(\varrho D)_0$ использован потенциал Леннарда-Джонса (12:6) с параметрами $\varepsilon/k=152{,}1$ К, $\sigma=4{,}706$ А.

В [0.36] приведены таблицы D_{11} при $T=393$—433 К и $p\leqslant 15$ МПа, рассчитанные по соотношению (0.47) из опытных данных о D_{12} системы CF_4-N_2 [5.17]. В [5.65] аналогичные таблицы рассчитаны при $T=273$—348 К и $p\leqslant 50$ МПа, но использованы другие соотношения связи D_{12} с D_{11} и опытные данные для системы CF_4-CH_4.

Измерения самодиффузии в жидком фреоне-14 выполнены в интервале $T=88$—143 К [5.82]. Эти опытные данные считаются надежными [5.19] и хорошо передаются уравнением (0.51) с коэффициентами: $A=4{,}218$; $B=-483{,}0$ при $D\cdot 10^9$ в м²/с.

В [3.23] таблицы D_{11} жидкого фреона-14 рассчитаны по обобщенному уравнению (0.52), причем значение $D_{0,7}=2{,}9\times\times 10^{-9}$ м²/с оценено по инкрементам атомарных вкладов. Из уравнения (0.51) следует, что $D_{0,7}=3{,}27\cdot 10^{-9}$ м²/с.

Представленная выше система уравнений позволяет рассчитать D_{11} в широкой области состояний.

5.4. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Термодинамические таблицы для газообразного и жидкого фреона-14 рассчитаны по уравнениям, представленным в разд. 5.2, охватывают область $T=173$—473 К и $p=0{,}01$—20 МПа и включают восемь величин (табл. 54 и 55).

Начало отсчета калориметрических функций — идеально газовое состояние при 0 К, но при расчетах по формуле (0.24) принято, что константа $\Delta h^0_{s_0}/RT_0=10$.

Рекомендуемые таблицы переносных свойств (табл. 56 и 57) охватывают ту же область состояний, что и термодинамические таблицы.

При необходимости, отдельные теплофизические свойства жидкого и газообразного фреона-14 могут быть рассчитаны по уравнениям, приведенным в разд. 5.1—5.3, в более широкой области p, T-переменных.

Таблица 54

Термодинамические свойства фреона-14 на линиях кипения и конденсации

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''	c_p'	c_p''	$\sigma \cdot 10^3$
143,15	0,0722	1617,6	5,51	504,0	658,2	154,3	5,986	7,063	0,9120	0,479	12,65
145,15	0,0849	1606,9	6,42	506,9	658,9	152,0	6,006	7,053	0,9161	0,486	12,28
147,15	0,0992	1596,0	7,44	509,9	659,6	149,7	6,026	7,044	0,9203	0,493	11,92
149,15	0,1153	1585,0	8,57	512,8	660,3	147,4	6,046	7,035	0,9245	0,501	11,56
151,15	0,1334	1573,9	9,83	515,7	660,9	145,2	6,065	7,026	0,9296	0,509	11,20
153,15	0,1534	1562,7	11,22	518,6	661,5	143,0	6,084	7,017	0,9340	0,517	10,84
155,15	0,1756	1551,3	12,75	521,4	662,2	140,8	6,102	7,002	0,9398	0,526	10,48
157,15	0,2001	1539,8	14,44	524,2	662,8	138,6	6,120	7,002	0,9455	0,536	10,13
159,15	0,2270	1528,1	16,29	526,9	663,3	136,4	6,137	6,994	0,9518	0,545	9,78
161,15	0,2566	1516,3	18,30	529,7	663,9	134,2	6,154	6,987	0,9585	0,556	9,43
163,15	0,2888	1504,3	20,50	532,4	664,4	132,1	6,171	6,980	0,9660	0,567	9,08
165,15	0,3240	1492,2	22,90	535,0	665,0	129,9	6,187	6,974	0,9735	0,578	8,74
167,15	0,3620	1479,9	25,49	537,7	665,5	127,8	6,203	6,967	0,9810	0,590	8,40
169,15	0,4033	1467,5	28,31	540,3	666,0	125,6	6,218	6,961	0,9900	0,603	8,06
171,15	0,4479	1454,9	31,35	542,9	666,4	123,5	6,233	6,955	0,9983	0,616	7,73
173,15	0,4958	1442,1	34,63	545,5	666,9	121,3	6,248	6,949	1,008	0,630	7,39
175,15	0,5474	1429,0	38,18	548,1	667,3	119,2	6,263	6,943	1,017	0,645	7,06
177,15	0,6026	1415,8	41,99	550,7	667,7	117,0	6,277	6,938	1,027	0,661	6,73
179,15	0,6618	1402,3	46,10	553,2	668,0	114,8	6,291	6,932	1,038	0,677	6,40
181,15	0,7249	1388,6	50,52	555,7	668,4	112,6	6,305	6,927	1,050	0,695	6,08
183,15	0,7922	1374,6	55,27	558,3	668,7	110,4	6,319	6,921	1,063	0,713	5,75

Продолжение табл. 54

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''	c_p'	c_p''	$\sigma \cdot 10^3$
185,15	0,8639	1360,3	60,37	560,8	669,0	108,2	6,332	6,916	1,077	0,733	5,44
187,15	0,9399	1345,7	65,86	563,3	669,2	105,9	6,345	6,911	1,091	0,755	5,12
189,15	1,0206	1330,7	71,75	565,9	669,5	103,6	6,358	6,906	1,107	0,778	4,80
191,15	1,1061	1315,4	78,10	568,4	669,6	101,2	6,371	6,901	1,127	0,803	4,49
193,15	1,197	1299,6	84,92	571,0	669,8	98,82	6,384	6,896	1,152	0,830	4,18
195,15	1,292	1283,3	92,27	573,6	669,9	96,35	6,397	6,891	1,180	0,860	3,88
197,15	1,393	1266,5	100,21	576,1	669,9	93,80	6,410	6,886	1,208	0,893	3,58
199,15	1,499	1249,1	108,78	578,8	669,9	91,18	6,423	6,881	1,240	0,931	3,29
201,15	1,611	1231,1	118,08	581,4	669,9	88,47	6,436	6,875	1,269	0,973	2,99
203,15	1,729	1212,3	128,19	584,1	669,7	85,64	6,448	6,870	1,303	1,022	2,71
205,15	1,853	1192,7	139,21	586,8	669,5	82,70	6,461	6,864	1,337	1,079	2,44
207,15	1,983	1172,2	151,30	589,6	669,2	79,60	6,474	6,859	—	1,146	2,17
209,15	2,120	1150,5	164,62	592,5	668,8	76,33	6,487	6,852	—	1,228	1,90
211,15	2,264	1127,5	179,42	595,4	668,2	72,86	6,501	6,846	—	1,329	1,65
213,15	2,415	1103,0	195,99	598,4	667,5	69,14	6,514	6,839	1,640	1,458	1,40
215,15	2,573	1076,5	214,79	601,5	666,5	65,10	6,528	6,831	—	1,629	1,17
217,15	2,740	1047,7	236,47	604,8	665,5	60,67	6,543	6,822	—	1,866	0,94
219,15	2,915	1015,5	262,07	608,3	663,9	55,70	6,558	6,812	—	2,218	0,73
221,15	3,099	978,7	293,46	612,0	662,0	49,95	6,574	6,800	—	2,800	0,54
223,15	3,294	934,4	334,50	616,2	659,2	42,96	6,592	6,784	—	3,948	0,34
225,15	3,501	875,5	396,02	621,3	654,7	33,46	6,614	6,762	—	7,238	0,18

Термодинамические свойства фреона-14 в однофазной области

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=173{,}15$ K				
0,01	0,613	0,9977	673,7	7,343	0,497	142,0	24,42	5,818
0,02	1,228	0,9955	673,6	7,280	0,498	141,8	24,47	5,862
0,03	1,846	0,9932	673,5	7,242	0,500	141,6	24,51	5,906
0,04	2,468	0,9909	673,3	7,214	0,502	141,4	24,55	5,951
0,05	3,092	0,9896	673,2	7,192	0,503	141,2	24,59	5,97
0,1	6,256	0,9771	672,6	7,124	0,513	140,1	24,71	6,235
0,2	12,826	0,9532	671,3	7,053	0,534	138,0	25,23	6,774
0,3	19,756	0,9283	669,9	7,009	0,560	135,7	25,65	7,416
0,4	27,111	0,9019	668,4	6,976	0,592	133,3	26,08	8,195
0,5	34,974	0,8739	666,8	6,948	0,632	130,7	26,52	9,161
0,6	1442,8	0,0254	545,5	6,248	1,286	479,6	—0,11	4,586
0,7	1443,5	0,0296	545,6	6,248	1,285	480,8	—0,11	4,569
0,8	1444,2	0,0339	545,6	6,247	1,284	481,9	—0,11	4,553
0,9	1444,9	0,0381	545,6	6,247	1,282	483,1	—0,12	4,537
1,0	1445,7	0,0423	544,6	6,247	1,281	484,2	—0,12	4,521
2,0	1452,5	0,0842	545,8	6,243	1,272	495,2	—0,13	4,372
3,0	1459,0	0,1257	545,9	6,241	1,263	505,6	—0,14	4,238
4,0	1465,3	0,1669	546,1	6,238	1,256	515,6	—0,16	4,117
5,0	1471,2	0,2078	546,3	6,235	1,248	525,1	—0,17	4,006
6,0	1477,0	0,2483	546,5	6,232	1,242	534,2	—0,18	3,904
7,0	1482,5	0,2886	546,8	6,230	1,236	543,0	—0,19	3,810
8,0	1487,8	0,3287	547,0	6,227	1,231	551,4	—0,19	3,724
9,0	1493,0	0,3685	547,2	6,225	1,225	559,6	—0,20	3,643
10,0	1498,0	0,4081	547,5	6,222	1,221	567,4	—0,21	3,568
12,0	1507,5	0,4866	548,0	6,218	1,212	582,4	—0,22	3,431
14,0	1516,5	0,5643	548,6	6,213	1,204	596,5	—0,23	3,310
16,0	1525,1	0,6413	549,1	6,209	1,198	609,8	—0,24	3,202
18,0	1533,2	0,7177	549,7	6,205	1,192	622,5	—0,25	3,104
20,0	1541,0	0,7934	550,4	6,201	1,186	634,6	—0,26	3,015
				$T=183{,}15$ K				
0,01	0,579	0,9981	678,8	7,375	0,513	145,5	20,76	5,494
0,02	1,160	0,9962	678,7	7,309	0,515	145,3	20,78	5,528
0,03	1,744	0,9944	678,5	7,270	0,516	145,1	20,80	5,562
0,04	2,329	0,9925	678,4	7,243	0,517	145,0	20,82	5,597
0,05	2,917	0,9905	678,3	7,221	0,519	144,8	20,84	5,632
0,1	5,981	0,9810	677,8	7,153	0,526	143,9	20,94	5,814
0,2	12,021	0,9615	676,7	7,034	0,542	142,1	21,15	6,212
0,3	18,417	0,9414	675,5	7,041	0,560	140,2	21,37	6,664
0,4	25,112	0,9205	674,3	7,009	0,582	138,2	21,61	7,184
0,5	32,149	0,8988	673,0	6,983	0,607	136,1	21,86	7,790
0,6	39,583	0,8760	671,6	6,960	0,637	133,9	22,13	8,508
0,7	47,484	0,8520	670,2	6,939	0,673	131,6	22,43	9,374
0,8	55,951	0,8263	668,6	6,920	0,717	129,1	22,76	10,446
0,9	1375,7	0,0378	558,3	6,318	1,263	427,6	—0,01	5,358
1,0	1376,6	0,0420	558,3	6,318	1,261	428,9	—0,01	5,331
2,0	1385,8	0,0834	558,3	6,314	1,245	442,3	—0,04	5,076
3,0	1394,4	0,1243	558,4	6,310	1,231	454,8	—0,06	4,856
4,0	1402,6	0,1648	558,5	6,307	1,219	466,5	—0,09	4,664

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
5,0	1410,2	0,2049	558,6	6,304	1,208	477,7	—0,10	4,495
6,0	1417,5	0,2446	558,7	6,301	1,199	488,2	—0,12	4,344
7,0	1424,4	0,2840	558,9	6,298	1,190	498,3	—0,14	4,208
8,0	1431,0	0,3231	559,0	6,295	1,182	508,0	—0,15	4,085
9,0	1437,3	0,3619	559,2	6,292	1,175	517,3	—0,16	3,972
10,0	1443,4	0,4004	559,4	6,289	1,169	526,2	—0,17	3,869
12,0	1454,9	0,4767	559,9	6,284	1,157	543,0	—0,19	3,686
14,0	1465,6	0,5521	560,3	6,279	1,147	558,8	—0,21	3,528
16,0	1475,6	0,6266	560,8	6,274	1,139	573,6	—0,23	3,390
18,0	1485,2	0,7004	561,3	6,270	1,132	587,6	—0,24	3,268
20,0	1494,2	0,7736	561,9	6,266	1,125	601,0	—0,25	3,159
				$T=193{,}15$ K				
0,01	0,549	0,9984	684,0	7,402	0,530	148,9	17,87	5,204
0,02	1,099	0,9968	683,9	7,337	0,531	148,7	17,88	5,231
0,03	1,652	0,9953	683,8	7,298	0,532	148,6	17,89	5,259
0,04	2,206	0,9937	683,7	7,270	0,534	148,4	17,89	5,287
0,05	2,762	0,9921	683,6	7,249	0,535	148,3	17,90	5,314
0,1	5,568	0,9841	683,1	7,182	0,540	147,5	17,94	5,457
0,2	11,323	0,9679	682,1	7,113	0,553	146,0	18,03	5,761
0,3	17,281	0,9514	681,1	7,071	0,566	144,4	18,13	6,096
0,4	23,460	0,9344	680,1	7,040	0,582	142,7	18,24	6,466
0,5	29,883	0,9169	679,0	7,015	0,599	141,0	18,37	6,881
0,6	36,580	0,8988	677,9	6,993	0,619	139,2	18,52	7,350
0,7	43,585	0,8801	676,7	6,974	0,642	137,3	18,69	7,884
0,8	50,940	0,8606	675,5	6,957	0,668	135,4	18,88	8,504
0,9	58,700	0,8402	674,2	6,941	0,699	133,3	19,09	9,232
1,0	66,938	0,8187	672,8	6,925	0,735	131,1	19,34	10,102
1,5	1303,7	0,0631	570,9	6,383	1,281	375,8	0,15	6,499
2,0	1310,3	0,0836	570,8	6,380	1,266	384,1	0,13	6,254
3,0	1322,4	0,1243	570,7	6,376	1,240	399,6	0,08	5,839
4,0	1333,5	0,1644	570,6	6,372	1,218	414,0	0,04	5,499
5,0	1343,7	0,2039	570,6	6,368	1,200	427,3	—0,00	5,214
6,0	1353,2	0,2430	570,6	6,364	1,185	439,8	—0,02	4,970
7,0	1362,1	0,2816	570,7	6,360	1,171	451,5	—0,05	4,758
8,0	1370,5	0,3199	570,7	6,357	1,159	462,7	—0,07	4,573
9,0	1378,5	0,3578	570,8	6,354	1,149	473,2	—0,09	4,407
10,0	1386,0	0,3954	570,9	6,350	1,140	483,3	—0,11	4,260
12,0	1400,1	0,4697	571,2	6,345	1,124	502,3	—0,14	4,005
14,0	1413,0	0,5430	571,6	6,339	1,110	519,9	—0,17	3,792
16,0	1424,9	0,6153	572,0	6,334	1,099	536,3	—0,19	3,612
18,0	1436,1	0,6869	572,4	6,329	1,090	551,7	—0,21	3,456
20,0	1446,6	0,7576	572,9	6,324	1,082	566,4	—0,23	3,319
				$T=203{,}15$ K				
0,01	0,522	0,9987	689,4	7,430	0,547	152,2	15,55	4,944
0,02	1,045	0,9973	689,3	7,364	0,548	152,1	15,55	4,879
0,03	1,569	0,9960	689,2	7,325	0,549	151,9	15,55	4,988
0,04	2,095	0,9947	689,1	7,298	0,550	151,8	15,55	5,011
0,05	2,623	0,9933	689,0	7,276	0,551	151,7	15,55	5,033
0,1	5,281	0,9866	688,6	7,209	0,556	151,0	15,56	6,147
0,2	10,710	0,9730	687,7	7,141	0,565	149,7	15,57	5,387
0,3	16,297	0,9591	686,8	7,100	0,576	148,3	15,60	5,644

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,4	22,053	0,9450	685,9	7,069	0,588	146,9	15,65	5,921
0,5	27,993	0,9306	685,0	7,045	0,601	145,4	15,71	6,222
0,6	34,132	0,9159	684,0	7,024	0,615	144,0	15,78	6,552
0,7	40,488	0,9008	683,1	7,006	0,630	142,4	15,87	6,916
0,8	47,085	0,8853	682,0	6,990	0,648	140,8	15,97	7,320
0,9	53,947	0,8692	681,0	6,975	0,667	139,1	16,09	7,773
1,0	61,108	0,8526	679,9	6,961	0,689	137,4	16,23	8,286
1,5	103,166	0,7576	673,5	6,898	0,862	127,2	17,25	12,478
2,0	1218,2	0,0855	583,9	6,447	1,374	317,2	0,45	8,660
3,0	1237,5	0,1263	583,4	6,440	1,312	338,1	0,34	7,645
4,0	1254,1	0,1662	583,0	6,434	1,267	356,6	0,26	6,919
5,0	1268,7	0,2053	582,7	6,429	1,233	373,2	0,19	6,368
6,0	1281,9	0,2439	582,5	6,424	1,206	388,3	0,13	5,930
7,0	1293,9	0,2819	582,4	6,420	1,183	402,3	0,09	5,572
8,0	1305,0	0,3194	582,3	6,415	1,165	415,4	0,05	5,271
9,0	1315,3	0,3565	582,3	6,411	1,148	427,6	0,01	5,015
10,0	1324,9	0,3933	582,3	6,408	1,134	439,1	−0,02	4,792
12,0	1342,4	0,4657	582,4	6,401	1,111	460,5	−0,07	4,424
14,0	1358,2	0,5371	582,6	6,395	1,093	480,0	−0,11	4,130
16,0	1372,6	0,6074	582,9	6,389	1,078	498,1	−0,14	3,888
18,0	1385,8	0,6768	583,2	6,383	1,065	514,9	−0,17	3,684
20,0	1398,1	0,7454	583,6	6,378	1,055	530,8	−0,19	3,510
				T=213,15 K				
0,01	0,497	0,9989	694,9	7,456	0,564	155,4	13,65	4,709
0,02	0,995	0,9977	694,9	7,391	0,565	155,3	13,65	4,728
0,03	1,495	0,9966	694,8	7,352	0,566	155,2	13,65	4,745
0,04	1,995	0,9955	694,7	7,325	0,567	155,1	13,64	4,620
0,05	2,497	0,9943	694,6	7,303	0,567	155,0	13,64	4,782
0,1	5,023	0,9886	694,2	7,237	0,571	154,4	13,63	4,875
0,2	10,165	0,9771	693,4	7,168	0,579	153,2	13,61	5,067
0,3	15,432	0,9654	692,7	7,127	0,588	152,1	13,60	5,270
0,4	20,832	0,9535	691,8	7,098	0,597	150,8	13,60	5,485
0,5	26,374	0,9414	691,0	7,074	0,607	149,6	13,62	5,714
0,6	32,066	0,9292	690,2	7,054	0,617	148,3	13,65	5,959
0,7	37,920	0,9167	689,3	7,036	0,629	147,0	13,69	6,223
0,8	43,949	0,9039	688,5	7,021	0,641	145,7	13,74	6,508
0,9	50,166	0,8909	687,6	7,007	0,655	144,3	13,80	6,818
1,0	56,589	0,8775	686,7	6,993	0,669	142,9	13,88	7,158
1,5	92,577	0,8046	681,6	6,937	0,771	135,0	14,45	9,529
2,0	138,90	0,7150	675,2	6,887	0,973	125,2	15,37	14,443
2,5	1106,6	0,1122	598,2	6,513	1,656	248,0	1,10	14,138
3,0	1125,7	0,1323	597,4	6,507	1,544	264,4	0,92	12,152
4,0	1155,7	0,1719	596,3	6,498	1,410	291,5	0,67	9,820
5,0	1179,5	0,2105	595,5	6,490	1,329	313,9	0,51	8,446
6,0	1199,4	0,2484	594,9	6,483	1,274	333,4	0,39	7,515
7,0	1216,7	0,2857	594,4	6,477	1,233	350,6	0,30	6,833
8,0	1232,0	0,3224	594,1	6,472	1,201	366,3	0,23	6,305
9,0	1245,9	0,3587	593,9	6,467	1,175	380,7	0,17	5,880
10,0	1258,5	0,3946	593,7	6,463	1,153	394,0	0,12	5,530
12,0	1280,9	0,4652	593,5	6,454	1,119	418,2	0,04	4,980
14,0	1300,5	0,5346	593,5	6,447	1,093	439,9	−0,02	4,564
16,0	1318,0	0,6028	593,6	6,440	1,073	459,7	−0,07	4,235

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
18,0	1333,8	0,6701	593,8	6,434	1,056	478,0	−0,11	3,967
20,0	1348,3	0,7366	594,1	6,428	1,042	495,1	−0,14	3,742
			$T=223{,}15$ K					
0,01	0,475	0,9990	700,7	7,483	0,581	158,6	12,07	4,496
0,02	0,951	0,9981	700,6	7,417	0,582	158,5	12,07	4,511
0,03	1,427	0,9971	700,5	7,378	0,583	158,4	12,06	4,526
0,04	1,905	0,9961	700,4	7,351	0,583	158,3	12,06	4,541
0,05	2,383	0,9951	700,4	7,330	0,584	158,2	12,05	4,557
0,1	4,790	0,9902	700,0	7,263	0,587	157,7	12,03	4,633
0,2	9,676	0,9804	699,3	7,195	0,594	156,7	12,00	4,790
0,3	14,664	0,9704	698,6	7,155	0,601	155,6	11,97	4,954
0,4	19,757	0,9603	697,9	7,125	0,608	154,6	11,95	5,125
0,5	24,962	0,9501	697,1	7,102	0,616	153,5	11,95	5,305
0,6	30,284	0,9398	696,4	7,082	0,624	152,4	11,95	5,494
0,7	35,731	0,9293	695,7	7,065	0,633	151,3	11,96	5,694
0,8	41,310	0,9186	694,9	7,050	0,643	150,1	11,98	5,906
0,9	47,029	0,9077	694,1	7,037	0,652	149,0	12,01	6,133
1,0	52,897	0,8967	693,3	7,024	0,663	147,8	12,05	6,375
1,5	84,900	0,8380	689,1	6,972	0,730	141,4	12,37	7,918
2,0	122,99	0,7713	684,2	6,928	0,839	134,1	12,88	10,434
2,5	171,65	0,6908	678,0	6,885	1,046	125,6	13,54	15,381
3,0	245,16	0,5804	669,1	6,834	1,653	114,6	14,23	30,325
3,5	964,31	0,1722	614,6	6,584	2,536	181,5	2,49	31,762
4,0	1009,1	0,1880	612,3	6,571	1,945	208,6	1,80	20,305
5,0	1062,3	0,2232	609,8	6,556	1,575	245,7	1,18	13,341
6,0	1098,0	0,2592	608,3	6,545	1,421	273,3	0,87	10,536
7,0	1125,5	0,2950	607,2	6,536	1,332	296,0	0,66	8,944
8,0	1148,3	0,3305	606,5	6,529	1,272	315,5	0,52	7,890
9,0	1167,9	0,3655	605,9	6,522	1,228	332,9	0,41	7,129
10,0	1185,1	0,4003	605,4	6,516	1,194	348,6	0,33	6,546
12,0	1214,5	0,4687	604,8	6,506	1,144	376,3	0,20	5,700
14,0	1239,3	0,5358	604,5	6,497	1,108	400,4	0,10	5,105
16,0	1260,9	0,6019	604,4	6,490	1,081	422,1	0,03	4,658
18,0	1279,9	0,6671	604,4	6,483	1,059	441,8	−0,03	4,306
20,0	1297,0	0,7314	604,5	6,476	1,042	460,0	−0,08	4,020
			$T=233{,}15$ K					
0,01	0,454	0,9992	706,6	7,508	0,598	161,7	10,74	4,301
0,02	0,909	0,9983	706,5	7,443	0,599	161,6	10,74	4,313
0,03	1,365	0,9975	706,4	7,404	0,599	161,5	10,73	4,327
0,04	1,822	0,9967	706,4	7,377	0,600	161,4	10,73	4,339
0,05	2,279	0,9958	706,3	7,356	0,600	161,3	10,72	4,352
0,1	4,578	0,9916	706,0	7,289	0,603	160,9	10,70	4,416
0,2	9,235	0,9832	705,3	7,222	0,609	160,0	10,66	4,546
0,3	13,974	0,9746	704,7	7,181	0,615	159,1	10,62	4,681
0,4	18,799	0,9660	704,0	7,152	0,621	158,2	10,60	4,820
0,5	23,713	0,9572	703,4	7,129	0,627	157,2	10,58	4,964
0,6	28,721	0,9484	702,7	7,110	0,634	156,3	10,57	5,115
0,7	33,827	0,9395	702,0	7,093	0,641	155,3	10,57	5,272
0,8	39,035	0,9304	701,3	7,078	0,648	154,3	10,57	5,436
0,9	44,352	0,9212	700,6	7,065	0,656	153,3	10,58	5,609
1,0	49,782	0,9119	700,0	7,053	0,664	152,3	10,59	5,791

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
1,5	78,871	0,8634	696,3	7,003	0,712	147,0	10,76	6,882
2,0	112,02	0,8105	692,2	6,963	0,781	141,2	11,05	8,435
2,5	151,05	0,7514	687,6	6,927	0,888	135,0	11,41	10,851
3,0	199,48	0,6827	681,9	6,890	1,073	128,2	11,79	15,113
3,5	266,04	0,5973	674,5	6,849	1,477	120,3	2,00	24,510
4,0	383,39	0,4736	662,7	6,791	2,919	111,5	11,30	—
4,5	675,26	0,3025	640,4	6,691	6,149	120,0	16,61	—
5,0	850,16	0,2670	629,8	6,643	2,916	157,3	3,56	42,125
5,5	915,93	0,2726	626,2	6,625	2,119	184,3	2,49	25,025
6,0	956,67	0,2847	624,0	6,614	1,807	205,2	1,93	18,619
6,5	986,74	0,2991	622,5	6,605	1,637	222,5	1,58	15,222
7,0	1010,8	0,3144	621,4	6,598	1,528	237,6	1,33	13,089
7,5	1031,1	0,3302	620,5	6,592	1,451	251,0	1,14	11,608
8,0	1048,6	0,3463	619,7	6,587	1,394	263,2	0,99	10,511
8,5	1064,2	0,3626	619,1	6,582	1,349	274,3	0,87	9,660
9,0	1078,2	0,3790	618,5	6,578	1,312	284,7	0,77	8,977
9,5	1090,9	0,3953	618,1	6,574	1,282	294,4	0,69	8,415
10,0	1102,7	0,4117	617,7	6,570	1,256	303,5	0,61	7,941
11,0	1123,7	0,4444	617,0	6,563	1,214	320,3	0,49	7,184
12,0	1142,2	0,4769	616,4	6,557	1,181	335,5	0,40	6,600
13,0	1158,8	0,5093	616,0	6,552	1,155	349,5	0,32	6,133
14,0	1173,9	0,5414	615,7	6,546	1,133	362,5	0,26	5,748
15,0	1187,7	0,5733	615,4	6,542	1,114	374,6	0,20	5,424
16,0	1200,5	0,6050	615,2	6,537	1,098	386,1	0,15	5,146
17,0	1212,4	0,6365	615,1	6,533	1,084	397,0	0,11	4,904
18,0	1223,6	0,6678	615,0	6,529	1,071	407,3	0,07	4,691
19,0	1234,1	0,6989	615,0	6,525	1,060	417,2	0,04	4,501
20,0	1244,0	0,7299	614,9	6,522	1,050	426,6	0,01	4,332
			$T = 253{,}15$ K					
0,01	0,418	0,9994	718,8	7,559	0,631	167,7	8,63	3,959
0,02	0,837	0,9988	718,8	7,493	0,631	167,6	8,63	3,968
0,03	1,257	0,9981	718,7	7,455	0,632	167,5	8,62	3,977
0,04	1,677	0,9975	718,7	7,428	0,632	167,5	8,62	3,986
0,05	2,097	0,9969	718,6	7,406	0,632	167,4	8,62	3,995
0,1	4,207	0,9938	718,4	7,340	0,435	167,1	8,60	4,041
0,2	8,469	0,9874	717,8	7,273	0,639	166,4	8,56	4,133
0,3	12,786	0,9811	717,3	7,233	0,643	165,7	8,53	4,228
0,4	17,160	0,9746	716,7	7,204	0,648	165,0	8,50	4,324
0,5	21,594	0,9681	716,2	7,182	0,653	164,3	8,48	4,422
0,6	26,090	0,9616	715,6	7,163	0,657	163,5	8,46	4,5238
0,7	30,650	0,9549	715,0	7,147	0,662	162,8	8,45	4,628
0,8	35,275	0,9482	714,5	7,133	0,667	162,0	8,44	4,735
0,9	39,969	0,9415	713,9	7,120	0,672	161,3	8,43	4,845
1,0	44,733	0,9347	713,3	7,108	0,677	160,5	8,43	4,959
1,5	69,704	0,8998	710,4	7,061	0,707	156,6	8,44	5,593
2,0	96,860	0,8633	707,4	7,025	0,742	152,6	8,51	6,369
2,5	126,66	0,8253	704,1	6,995	0,788	148,6	8,62	7,349
3,0	159,72	0,7854	700,6	6,967	0,849	144,7	8,72	8,621
3,5	196,93	0,7431	696,7	6,940	0,930	140,9	8,81	10,324
4,0	239,64	0,6979	692,3	6,914	1,044	137,2	8,82	12,672
4,5	289,81	0,6492	687,4	6,887	1,205	133,7	8,71	15,963
5,0	350,05	0,5972	681,8	6,859	1,430	131,0	8,34	20,450
5,5	422,24	0,5446	675,5	6,829	1,696	130,4	7,60	25,454

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
6,0	503,20	0,4985	669,2	6,799	1,900	133,4	6,52	28,561
6,5	583,89	0,4655	663,4	6,773	1,970	139,9	5,40	28,481
7,0	656,91	0,4455	658,6	6,751	1,947	149,1	4,45	26,436
7,5	719,35	0,4359	654,7	6,732	1,868	160,2	3,69	23,509
8,0	771,08	0,4338	651,6	6,718	1,763	172,4	3,07	20,425
8,5	813,52	0,4369	649,2	6,706	1,659	185,1	2,58	17,683
9,0	848,64	0,4434	647,3	6,696	1,567	197,6	2,19	15,450
9,5	878,20	0,4523	645,7	6,687	1,492	209,7	1,88	13,688
10,0	903,55	0,4627	644,5	6,680	1,430	221,2	1,64	12,299
11,0	945,29	0,4865	642,5	6,668	1,339	242,4	1,27	10,296
12,0	978,87	0,5126	641,0	6,658	1,275	261,4	1,01	8,943
13,0	1007,0	0,5398	639,8	6,650	1,227	278,5	0,82	7,971
14,0	1031,3	0,5676	638,9	6,642	1,191	294,2	0,68	7,238
15,0	1052,6	0,5958	638,2	6,635	1,163	308,6	0,56	6,665
16,0	1071,8	0,6242	637,6	6,629	1,139	321,9	0,47	6,201
17,0	1089,1	0,6526	637,1	6,624	1,120	334,3	0,39	5,816
18,0	1105,1	0,6811	636,8	6,619	1,103	346,0	0,32	5,491
19,0	1119,8	0,7094	636,4	6,614	1,088	357,0	0,26	5,212
20,0	1133,5	0,7378	636,2	6,609	1,075	367,4	0,21	4,968
				$T=273{,}15$ K				
0,01	0,388	0,9995	731,8	7,608	0,662	173,5	7,05	3,668
0,02	0,776	0,9991	731,7	7,543	0,662	173,4	7,04	3,674
0,03	1,164	0,9986	731,7	7,504	0,663	173,4	7,04	3,681
0,04	1,553	0,9981	731,6	7,477	0,663	173,3	7,04	3,687
0,05	1,942	0,9977	731,6	7,456	0,664	173,3	7,04	3,694
0,1	3,893	0,9953	731,4	7,389	0,665	173,0	7,02	3,728
0,2	7,824	0,9905	730,9	7,323	0,669	172,5	7,00	3,795
0,3	11,793	0,9857	730,4	7,283	0,672	171,9	6,98	3,863
0,4	15,802	0,9809	729,9	7,255	0,676	171,4	6,96	3,933
0,5	19,852	0,9760	729,5	7,232	0,679	170,8	6,94	4,004
0,6	23,945	0,9710	729,0	7,214	0,683	170,3	6,93	4,076
0,7	28,080	0,9660	728,5	7,198	0,687	169,7	6,92	4,149
0,8	32,260	0,9609	728,1	7,184	0,690	169,1	6,90	4,224
0,9	36,486	0,9559	727,6	7,172	0,694	168,5	6,89	4,300
1,0	40,758	0,9507	727,1	7,160	0,698	167,9	6,89	4,378
1,5	62,861	0,9247	724,7	7,116	0,718	164,9	6,86	4,781
2,0	86,302	0,8980	722,2	7,082	0,741	162,0	6,85	5,264
2,5	111,23	0,8710	719,6	7,054	0,767	159,2	6,85	5,801
3,0	137,80	0,8436	716,9	7,029	0,798	156,6	6,85	6,421
3,5	166,19	0,8161	714,1	7,007	0,835	154,1	6,85	7,141
4,0	196,64	0,7883	711,2	6,986	0,880	151,9	6,82	7,983
4,5	229,40	0,7601	708,1	6,966	0,933	149,9	6,77	8,969
5,0	264,79	0,7317	704,9	6,947	0,996	148,2	6,68	10,115
5,5	303,07	0,7032	701,4	6,928	1,070	146,9	6,53	11,410
6,0	344,38	0,6751	697,9	6,909	1,151	146,2	6,29	12,790
6,5	388,49	0,6483	694,2	6,891	1,234	146,6	5,95	14,103
7,0	434,59	0,6242	690,6	6,873	1,309	148,2	5,51	15,135
7,5	481,35	0,6038	687,1	6,856	1,366	151,2	5,01	15,722
8,0	527,33	0,5879	683,8	6,840	1,402	155,4	4,50	15,845
8,5	571,39	0,5765	680,8	6,826	1,420	160,6	4,02	15,608
9,0	612,82	0,5691	678,1	6,813	1,424	166,5	3,59	15,134
9,5	651,31	0,5652	675,6	6,801	1,419	173,0	3,21	14,514
10,0	686,77	0,5642	673,5	6,790	1,406	180,0	2,87	13,805

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
11,0	748,81	0,5692	669,9	6,772	1,366	195,1	2,30	12,286
12,0	800,27	0,5811	667,1	6,757	1,318	211,0	1,86	10,842
13,0	843,13	0,5975	665,0	6,745	1,272	227,0	1,51	9,606
14,0	879,31	0,6170	663,2	6,734	1,231	242,5	1,25	8,598
15,0	910,38	0,6385	661,9	6,725	1,197	257,4	1,03	7,788
16,0	937,52	0,6613	660,7	6,717	1,169	271,4	0,87	7,135
17,0	961,57	0,6851	959,8	6,710	1,145	284,6	0,73	6,603
18,0	983,17	0,7094	659,1	6,703	1,126	297,1	0,62	6,161
19,0	1002,8	0,7342	658,4	6,697	1,109	308,9	0,52	5,791
20,0	1020,8	0,7592	657,9	6,692	1,094	320,1	0,44	5,474
			$T = 293{,}15$ K					
0,01	0,361	0,9996	745,3	7,656	0,692	179,1	5,82	3,416
0,02	0,723	0,9993	745,3	7,590	0,693	179,0	5,82	3,421
0,03	1,084	0,9989	745,2	7,552	0,693	179,0	5,82	3,426
0,04	1,446	0,9986	745,2	7,525	0,693	178,9	5,82	3,431
0,05	1,809	0,9982	745,2	7,504	0,693	178,9	5,82	3,436
0,1	3,624	0,9965	745,0	7,438	0,695	178,7	5,81	3,461
0,2	7,273	0,9929	744,6	7,371	0,698	178,3	5,80	3,512
0,3	10,950	0,9892	744,1	7,332	0,701	177,9	5,79	3,563
0,4	14,655	0,9855	743,7	7,303	0,703	177,5	5,78	3,615
0,5	18,389	0,9818	743,3	7,281	0,706	177,1	5,77	3,667
0,6	22,152	0,9780	742,9	7,263	0,709	176,6	5,76	3,720
0,7	25,945	0,9742	742,5	7,247	0,712	176,2	5,75	3,774
0,8	29,769	0,9703	742,1	7,234	0,715	175,7	5,74	3,828
0,9	33,624	0,9664	741,7	7,222	0,718	175,3	5,74	3,884
1,0	37,512	0,9625	741,3	7,211	0,721	174,8	5,73	3,940
1,5	57,451	0,9427	739,2	7,167	0,736	172,5	5,69	4,233
2,0	78,270	0,9226	737,1	7,134	0,753	170,3	5,66	4,549
2,5	100,02	0,9025	734,9	7,108	0,770	168,2	5,63	4,890
3,0	122,73	0,8826	732,8	7,085	0,790	166,3	5,59	5,259
3,5	146,44	0,8630	730,5	7,065	0,812	164,7	5,54	5,659
4,0	171,19	0,8437	728,3	7,046	0,837	163,2	5,49	6,093
4,5	197,01	0,8247	725,9	7,029	0,864	162,0	5,43	6,564
5,0	223,94	0,8061	723,6	7,013	0,894	160,9	5,36	7,073
5,5	252,04	0,7879	721,1	6,997	0,928	160,1	5,27	7,619
6,0	281,31	0,7701	718,7	6,982	0,964	159,5	5,17	8,194
6,5	311,71	0,7529	716,2	6,968	1,003	159,3	5,03	8,779
7,0	343,17	0,7365	713,6	6,954	1,043	159,6	4,86	9,348
7,5	375,46	0,7213	711,1	6,941	1,081	160,5	4,66	9,862
8,0	408,26	0,7075	708,6	6,928	1,117	162,0	4,42	10,282
8,5	441,18	0,6956	706,2	6,916	1,148	164,2	4,15	10,580
9,0	473,80	0,6859	703,8	6,904	1,174	167,0	3,87	10,745
9,5	505,75	0,6782	701,6	6,893	1,193	170,5	3,58	10,787
10,0	536,72	0,6727	699,6	6,883	1,207	174,4	3,31	10,727
11,0	595,03	0,6675	695,9	6,864	1,221	183,4	2,82	10,393
12,0	647,96	0,6687	692,7	6,848	1,222	193,4	2,40	9,887
13,0	695,45	0,6749	690,0	6,833	1,215	204,2	2,04	9,295
14,0	737,76	0,6852	687,7	6,821	1,201	215,6	1,74	8,672
15,0	775,36	0,6985	685,8	6,810	1,185	227,3	1,48	8,059
16,0	808,80	0,7143	684,2	6,800	1,166	239,2	1,27	7,486
17,0	838,67	0,7319	682,8	6,791	1,148	251,1	1,08	6,969
18,0	865,50	0,7509	681,7	6,783	1,132	262,7	0,93	6,519
19,0	889,76	0,7710	680,7	6,776	1,116	274,0	0,80	6,111
20,0	911,87	0,7919	679,9	6,770	1,102	285,0	0,69	5,762

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=313{,}15$ K				
0,01	0,338	0,9997	759,5	7,703	0,721	184,5	4,86	3,197
0,02	0,676	0,9995	759,4	7,637	0,721	184,5	4,86	3,201
0,03	1,015	0,9992	759,4	7,599	0,721	184,4	4,86	3,205
0,04	1,353	0,9989	759,3	7,571	0,722	184,4	4,86	3,208
0,05	1,692	0,9987	759,3	7,550	0,722	184,4	4,86	3,212
0,1	3,389	0,9973	759,1	7,484	0,723	184,2	4,86	3,231
0,2	6,797	0,9946	758,8	7,418	0,726	183,9	4,85	3,270
0,3	10,224	0,9918	758,4	7,379	0,728	183,6	4,85	3,309
0,4	13,670	0,9890	758,1	7,351	0,730	183,3	4,85	3,348
0,5	17,137	0,9862	757,7	7,329	0,733	183,0	4,84	3,388
0,6	20,625	0,9833	757,4	7,311	0,735	182,6	4,84	3,428
0,7	24,135	0,9804	757,0	7,295	0,738	182,3	4,84	3,468
0,8	27,666	0,9774	756,7	7,282	0,740	181,9	4,83	3,510
0,9	31,219	0,9744	756,3	7,270	0,742	181,6	4,83	3,551
1,0	34,795	0,9714	755,9	7,259	0,745	181,2	4,83	3,593
1,5	53,022	0,9562	754,1	7,216	0,757	179,5	4,80	3,808
2,0	71,850	0,9409	752,3	7,185	0,770	177,8	4,76	4,035
2,5	91,292	0,9256	750,5	7,159	0,783	176,2	4,72	4,271
3,0	111,35	0,9107	748,6	7,137	0,797	174,8	4,67	4,517
3,5	132,02	0,8961	746,7	7,118	0,812	173,7	4,61	4,772
4,0	153,28	0,8820	744,9	7,101	0,828	172,7	4,55	5,037
4,5	175,14	0,8685	743,0	7,085	0,845	171,9	4,48	5,312
5,0	197,57	0,8554	741,1	7,071	0,864	171,3	4,41	5,598
5,5	220,58	0,8428	739,2	7,057	0,883	170,8	4,34	5,893
6,0	244,14	0,8307	737,2	7,044	0,904	170,6	4,26	6,196
6,5	268,24	0,8190	735,3	7,031	0,926	170,5	4,17	6,504
7,0	292,84	0,8080	733,4	7,019	0,948	170,6	4,08	6,809
7,5	317,88	0,7975	731,5	7,008	0,971	171,0	3,97	7,104
8,0	343,26	0,7878	729,5	6,997	0,994	171,8	3,84	7,378
8,5	368,86	0,7789	727,6	6,987	1,016	172,9	3,70	7,619
9,0	394,54	0,7710	725,8	6,976	1,036	174,5	3,54	7,819
9,5	420,13	0,7643	724,0	6,967	1,055	176,4	3,38	7,970
10,0	445,48	0,7587	722,2	6,958	1,071	178,8	3,20	8,071
11,0	494,84	0,7514	718,9	6,940	1,097	184,5	2,85	8,128
12,0	541,73	0,7487	716,0	6,925	1,113	191,4	2,51	8,035
13,0	585,67	0,7503	713,3	6,911	1,123	199,0	2,21	7,843
14,0	626,51	0,7553	711,0	6,898	1,128	207,2	1,95	7,388
15,0	664,27	0,7633	708,9	6,886	1,128	215,7	1,71	7,296
16,0	699,07	0,7736	707,1	6,876	1,126	224,7	1,51	6,981
17,0	731,07	0,7860	705,5	6,866	1,120	233,9	1,32	6,657
18,0	760,47	0,8000	704,2	6,858	1,113	243,4	1,16	6,335
19,0	787,49	0,8155	702,9	6,850	1,105	252,9	1,02	6,024
20,0	812,38	0,8321	701,9	6,842	1,097	262,4	0,89	5,731
				$T=333{,}15$ K				
0,01	0,318	0,9998	774,1	7,748	0,748	189,8	4,09	3,005
0,02	0,636	0,9996	774,1	7,683	0,748	189,8	4,09	3,007
0,03	0,954	0,9994	774,1	7,644	0,749	189,7	4,09	3,010
0,04	1,272	0,9992	774,1	7,617	0,749	189,7	4,09	3,013
0,05	1,590	0,9990	774,0	7,596	0,749	189,7	4,09	3,016
0,1	3,184	0,9980	773,9	7,530	0,750	189,6	4,09	3,031
0,2	6,380	0,9959	773,6	7,464	0,752	189,4	4,09	3,060
0,3	9,590	0,9938	773,3	7,425	0,754	189,1	4,10	3,090

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,4	12,815	0,9917	772,9	7,397	0,756	188,9	4,10	3,121
0,5	16,054	0,9895	772,6	7,375	0,758	188,7	4,10	3,151
0,6	19,307	0,9873	772,3	7,357	0,760	188,4	4,10	3,182
0,7	22,576	0,9851	772,0	7,342	0,762	188,1	4,10	3,214
0,8	25,861	0,9828	771,7	7,328	0,764	187,9	4,10	3,245
0,9	29,161	0,9806	771,4	7,316	0,766	187,6	4,10	3,277
1,0	32,477	0,9783	771,1	7,306	0,768	187,3	4,10	3,309
1,5	49,304	0,9666	769,5	7,264	0,779	186,0	4,09	3,473
2,0	66,552	0,9548	767,9	7,233	0,789	184,7	4,06	3,641
2,5	84,220	0,9431	766,3	7,208	0,800	183,5	4,02	3,814
3,0	102,30	0,9317	764,7	7,187	0,811	182,5	3,97	3,989
3,5	120,77	0,9207	763,1	7,169	0,822	181,7	3,91	4,166
4,0	139,62	0,9102	761,5	7,152	0,834	181,1	3,85	4,345
4,5	158,81	0,9002	759,9	7,137	0,846	180,6	3,78	4,525
5,0	178,34	0,8907	758,3	7,124	0,858	180,3	3,71	4,707
5,5	198,18	0,8817	756,7	7,111	0,872	180,1	3,64	4,891
6,0	218,32	0,8732	755,1	7,099	0,885	180,0	3,57	5,075
6,5	238,72	0,8651	753,5	7,088	0,899	180,1	3,50	5,260
7,0	259,38	0,8574	751,9	7,077	0,914	180,3	3,43	5,443
7,5	280,26	0,8502	750,4	7,067	0,929	180,7	3,35	5,622
8,0	301,32	0,8435	748,8	7,057	0,944	181,3	3,27	5,793
8,5	322,52	0,8373	747,3	7,047	0,958	182,1	3,18	5,953
9,0	343,78	0,8318	745,8	7,038	0,973	183,1	3,08	6,098
9,5	365,05	0,8268	744,3	7,030	0,987	184,4	2,98	6,224
10,0	386,24	0,8226	742,8	7,021	1,000	186,0	2,87	6,328
11,0	428,09	0,8164	740,1	7,006	1,023	189,9	2,64	6,465
12,0	468,74	0,8134	737,5	6,991	1,041	194,9	2,40	6,510
13,0	507,77	0,8134	735,1	6,978	1,055	200,5	2,16	6,479
14,0	544,91	0,8163	732,9	6,966	1,066	206,8	1,95	6,392
15,0	580,06	0,8216	730,9	6,954	1,073	213,5	1,75	6,266
16,0	613,18	0,8290	729,1	6,944	1,078	220,5	1,57	6,115
17,0	644,33	0,8383	727,5	6,934	1,080	227,8	1,41	5,945
18,0	673,56	0,8490	726,1	6,925	1,081	235,2	1,26	5,762
19,0	700,97	0,8612	724,8	6,917	1,080	242,9	1,13	5,573
20,0	726,65	0,8745	723,7	6,910	1,078	250,7	1,01	5,379
			T=353,15 K					
0,01	0,300	0,9999	789,4	7,792	0,774	194,9	3,46	2,834
0,02	0,600	0,9997	789,3	7,727	0,774	194,9	3,46	2,836
0,03	0,900	0,9996	789,3	7,689	0,775	194,9	3,46	2,838
0,04	1,200	0,9994	789,3	7,661	0,775	194,9	3,46	2,841
0,05	1,500	0,9993	789,3	7,640	0,775	194,9	3,46	2,843
0,1	3,002	0,9985	789,1	7,574	0,776	194,8	3,46	2,855
0,2	6,013	0,9970	788,9	7,508	0,778	194,6	3,47	2,878
0,3	9,033	0,9954	788,6	7,469	0,779	194,5	3,48	2,901
0,4	12,064	0,9938	788,3	7,442	0,781	194,3	3,49	2,925
0,5	15,104	0,9922	788,0	7,420	0,783	194,1	3,49	2,949
0,6	18,156	0,9905	787,8	7,402	0,785	193,9	3,50	2,973
0,7	21,218	0,9888	787,5	7,387	0,786	193,7	3,50	2,997
0,8	24,291	0,9871	787,2	7,374	0,788	193,5	3,50	3,022
0,9	27,376	0,9854	786,9	7,362	0,790	193,3	3,51	3,046
1,0	30,472	0,9836	786,7	7,351	0,791	193,1	3,51	3,071
1,5	46,127	0,9747	785,3	7,310	0,800	192,1	3,50	3,198
2,0	62,079	0,9656	783,9	7,279	0,809	191,2	3,48	3,327

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
2,5	78,324	0,9567	782,5	7,255	0,818	190,3	3,45	3,457
3,0	94,850	0,9480	781,0	7,235	0,827	189,6	3,41	3,588
3,5	111,64	0,9397	779,6	7,217	0,836	189,0	3,35	3,718
4,0	128,67	0,9318	778,2	7,201	0,845	188,6	3,30	3,847
4,5	145,92	0,9243	776,9	7,187	0,854	188,4	3,24	3,974
5,0	163,36	0,9173	775,5	7,174	0,864	188,3	3,17	4,099
5,5	180,99	0,9108	774,1	7,162	0,874	188,3	3,11	4,224
6,0	198,77	0,9047	772,8	7,151	0,883	188,4	3,05	4,347
6,5	216,70	0,8990	771,4	7,140	0,894	188,6	2,99	4,469
7,0	234,76	0,8937	770,1	7,130	0,904	189,0	2,92	4,589
7,5	252,93	0,8888	768,8	7,120	0,914	189,4	2,86	4,706
8,0	271,18	0,8842	767,5	7,111	0,925	190,0	2,80	4,818
8,5	289,49	0,8800	766,2	7,103	0,936	190,7	2,73	4,926
9,0	307,83	0,8763	764,9	7,094	0,946	191,5	2,66	5,026
9,5	326,16	0,8730	763,7	7,086	0,956	192,6	2,59	5,117
10,0	344,46	0,8701	762,5	7,079	0,966	193,8	2,51	5,198
11,0	380,75	0,8659	760,1	7,064	0,984	196,7	2,35	5,325
12,0	416,37	0,8638	757,8	7,051	1,000	200,5	2,18	5,401
13,0	451,01	0,8639	755,7	7,038	1,014	204,9	2,00	5,427
14,0	484,45	0,8662	753,8	7,026	1,025	209,9	1,83	5,411
15,0	516,53	0,8704	752,0	7,016	1,034	215,4	1,67	5,363
16,0	547,20	0,8764	750,3	7,006	1,041	221,1	1,52	5,291
17,0	576,43	0,8839	748,8	6,996	1,047	227,1	1,39	5,202
18,0	604,24	0,8928	747,4	6,988	1,051	233,3	1,26	5,101
19,0	630,68	0,9030	746,1	6,979	1,054	239,7	1,15	4,991
20,0	655,79	0,9141	745,0	6,972	1,056	246,2	1,04	4,874
			$T=373{,}15$ K					
0,01	0,284	0,9999	805,1	7,836	0,799	200,0	2,94	2,682
0,02	0,567	0,9998	805,1	7,770	0,799	199,9	2,94	2,683
0,03	0,851	0,9997	805,1	7,732	0,799	199,9	2,94	2,685
0,04	1,135	0,9996	805,0	7,705	0,799	199,9	2,94	2,687
0,05	1,419	0,9995	805,0	7,684	0,799	199,9	2,94	2,689
0,1	2,840	0,9989	804,9	7,618	0,800	199,9	2,95	2,698
0,2	5,686	0,9978	804,7	7,552	0,802	199,8	2,96	2,716
0,3	8,538	0,9966	804,4	7,513	0,803	199,6	2,97	2,735
0,4	11,398	0,9954	804,2	7,485	0,805	199,5	2,98	2,753
0,5	14,265	0,9942	803,9	7,464	0,806	199,4	2,99	2,772
0,6	17,140	0,9930	803,7	7,446	0,808	199,3	2,99	2,791
0,7	20,022	0,9917	803,5	7,431	0,809	199,1	3,00	2,810
0,8	22,912	0,9904	803,2	7,418	0,811	199,0	3,01	2,829
0,9	25,810	0,9891	803,0	7,406	0,812	198,8	3,01	2,849
1,0	28,716	0,9878	802,7	7,395	0,814	198,7	3,01	2,869
1,5	43,371	0,9810	801,5	7,354	0,821	198,0	3,02	2,968
2,0	58,237	0,9741	800,2	7,324	0,829	197,3	3,01	3,069
2,5	73,308	0,9673	799,0	7,301	0,836	196,7	2,98	3,170
3,0	88,573	0,9608	797,8	7,281	0,844	196,2	2,95	3,270
3,5	104,01	0,9545	796,5	7,263	0,851	195,8	2,90	3,369
4,0	119,61	0,9486	795,3	7,248	0,859	195,6	2,85	3,465
4,5	135,35	0,9431	794,1	7,234	0,867	195,6	2,80	3,559
5,0	151,21	0,9380	792,9	7,222	0,874	195,6	2,74	3,652
5,5	167,17	0,9332	791,7	7,210	0,882	195,8	2,69	3,741
6,0	183,22	0,9289	790,5	7,199	0,890	196,0	2,63	3,829
6,5	199,34	0,9250	789,3	7,189	0,897	196,4	2,58	3,915

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
7,0	215,51	0,9213	788,2	7,180	0,905	196,8	2,52	3,998
7,5	231,74	0,9180	787,0	7,171	0,913	197,3	2,47	4,079
8,0	247,99	0,9151	785,9	7,162	0,921	197,9	2,41	4,158
8,5	264,26	0,9124	784,8	7,154	0,929	198,6	2,36	4,232
9,0	280,53	0,9100	783,7	7,146	0,937	199,4	2,31	4,303
9,5	296,78	0,9080	782,7	7,139	0,945	200,3	2,25	4,369
10,0	312,98	0,9063	781,6	7,131	0,952	201,4	2,19	4,430
11,0	345,17	0,9040	779,6	7,118	0,967	203,9	2,07	4,531
12,0	376,89	0,9031	777,6	7,105	0,980	206,9	1,94	4,602
13,0	407,96	0,9039	775,8	7,093	0,992	210,5	1,81	4,643
14,0	438,20	0,9062	774,0	7,082	1,002	214,6	1,68	4,656
15,0	467,49	0,9102	772,4	7,072	1,011	219,2	1,55	4,643
16,0	495,73	0,9155	770,9	7,062	1,018	224,0	1,43	4,611
17,0	522,90	0,9222	769,5	7,053	1,025	229,2	1,31	4,564
18,0	548,98	0,9301	768,2	7,045	1,030	234,5	1,20	4,506
19,0	573,98	0,9390	767,0	7,037	1,034	240,0	1,11	4,439
20,0	597,94	0,9488	765,9	7,029	1,038	245,6	1,01	4,367
			$T = 393{,}15$ K					
0,01	0,269	0,9999	821,3	7,878	0,822	204,9	2,51	2,545
0,02	0,539	0,9998	821,3	7,813	0,822	204,9	2,51	2,546
0,03	0,808	0,9998	821,3	7,774	0,822	204,8	2,51	2,549
0,04	1,077	0,9997	821,3	7,747	0,822	204,8	2,51	2,549
0,05	1,347	0,9996	821,2	7,726	0,823	204,8	2,51	2,551
0,1	2,694	0,9992	821,1	7,660	0,823	204,8	2,52	2,558
0,2	5,393	0,9984	820,9	7,594	0,824	204,7	2,53	2,572
0,3	8,096	0,9976	820,7	7,555	0,826	204,7	2,54	2,587
0,4	10,804	0,9967	820,5	7,528	0,827	204,6	2,56	2,602
0,5	13,517	0,9959	820,3	7,506	0,828	204,5	2,57	2,617
0,6	16,236	0,9950	820,1	7,489	0,830	204,4	2,57	2,632
0,7	18,959	0,9940	819,9	7,474	0,831	204,3	2,58	2,647
0,8	21,688	0,9931	819,6	7,460	0,832	204,2	2,59	2,662
0,9	24,423	0,9921	819,4	7,449	0,834	204,1	2,59	2,678
1,0	27,163	0,9911	819,2	7,438	0,835	204,0	2,60	2,694
1,5	40,954	0,9861	818,1	7,398	0,842	203,5	2,61	2,773
2,0	54,892	0,9809	817,0	7,368	0,848	203,1	2,61	2,853
2,5	68,973	0,9758	815,9	7,345	0,855	202,7	2,59	2,932
3,0	83,187	0,9709	814,8	7,325	0,861	202,4	2,56	3,011
3,5	97,520	0,9663	813,7	7,308	0,868	202,2	2,53	3,087
4,0	111,96	0,9619	812,6	7,293	0,874	202,2	2,48	3,162
4,5	126,48	0,9579	811,5	7,280	0,881	202,2	2,44	3,234
5,0	141,07	0,9542	810,5	7,268	0,887	202,4	2,39	3,304
5,5	155,72	0,9509	809,4	7,256	0,893	202,7	2,34	3,371
6,0	170,41	0,9479	808,4	7,246	0,900	203,1	2,29	3,437
6,5	185,12	0,9453	807,4	7,236	0,906	203,5	2,24	3,450
7,0	199,86	0,9429	806,3	7,227	0,912	204,0	2,19	3,561
7,5	214,61	0,9409	805,4	7,218	0,919	204,6	2,15	3,620
8,0	229,36	0,9391	804,4	7,210	0,925	205,2	2,10	3,677
8,5	244,09	0,9375	803,4	7,202	0,931	206,0	2,05	3,731
9,0	258,81	0,9362	802,5	7,195	0,937	206,8	2,01	3,783
9,5	273,48	0,9352	801,5	7,188	0,943	207,6	1,96	3,831
10,0	288,11	0,9344	800,6	7,181	0,949	208,6	1,92	3,827
11,0	317,18	0,9337	798,8	7,168	0,961	210,8	1,82	3,955
12,0	345,87	0,9341	797,1	7,156	0,972	213,5	1,72	4,015

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^4$
13,0	374,07	0,9356	795,5	7,145	0,982	216,5	1,62	4,056
14,0	401,66	0,9384	793,9	7,134	0,991	220,0	1,51	4,077
15,0	428,53	0,9424	792,5	7,124	0,999	223,9	1,41	4,080
16,0	454,62	0,9475	791,1	7,115	1,006	228,2	1,31	4,068
17,0	479,87	0,9538	789,8	7,106	1,012	232,7	1,21	4,043
18,0	504,26	0,9610	788,7	7,098	1,018	237,3	1,12	4,008
19,0	527,78	0,9692	787,6	7,091	1,023	242,2	1,04	3,966
20,0	550,46	0,9782	786,5	7,083	1,027	247,2	0,96	3,919
			$T=413{,}15$ K					
0,01	0,256	1,0000	838,0	7,919	0,844	209,7	2,15	2,422
0,02	0,512	0,9999	838,0	7,854	0,844	209,7	2,15	2,423
0,03	0,769	0,9998	837,9	7,816	0,844	209,6	2,15	2,424
0,04	1,025	0,9998	837,9	7,788	0,844	209,6	2,15	2,425
0,05	1,281	0,9997	837,9	7,767	0,844	209,6	2,15	2,426
0,1	2,563	0,9995	837,8	7,702	0,845	209,6	2,16	2,432
0,2	5,129	0,9989	837,6	7,636	0,846	209,6	2,17	2,443
0,3	7,698	0,9984	837,4	7,597	0,847	209,6	2,19	2,455
0,4	10,271	0,9978	837,3	7,569	0,848	209,5	2,20	2,467
0,5	12,846	0,9972	837,1	7,548	0,850	209,5	2,21	2,479
0,6	15,425	0,9965	836,9	7,530	0,851	209,4	2,22	2,491
0,7	18,008	0,9959	836,7	7,515	0,852	209,4	2,23	2,503
0,8	20,594	0,9952	836,5	7,502	0,853	209,3	2,23	3,516
0,9	23,185	0,9945	836,3	7,491	0,854	209,3	2,24	2,528
1,0	25,779	0,9938	836,1	7,480	0,855	209,2	2,25	2,541
1,5	38,811	0,9901	835,2	7,440	0,861	208,9	2,27	2,604
2,0	51,946	0,9864	834,2	7,411	0,867	208,6	2,27	2,668
2,5	65,179	0,9827	833,2	7,388	0,873	208,4	2,26	2,731
3,0	78,501	0,9791	832,2	7,368	0,879	208,3	2,24	2,794
3,5	91,901	0,9757	831,2	7,352	0,884	208,2	2,21	2,855
4,0	105,36	0,9726	830,3	7,337	0,890	208,3	2,17	2,913
4,5	118,88	0,9698	829,3	7,324	0,895	208,5	2,13	2,970
5,0	132,43	0,9673	828,3	7,312	0,901	208,8	2,09	3,024
5,5	146,01	0,9651	827,4	7,301	0,906	209,2	2,05	3,076
6,0	159,60	0,9631	826,5	7,291	0,912	209,6	2,01	3,126
6,5	173,19	0,9615	825,6	7,281	0,917	210,1	1,96	3,175
7,0	186,78	0,9601	824,7	7,273	0,922	210,7	1,92	3,221
7,5	200,36	0,9590	823,8	7,264	0,927	211,4	1,88	3,266
8,0	213,02	0,9581	822,9	7,256	0,933	212,1	1,84	3,308
8,5	227,44	0,9574	822,1	7,249	0,938	212,8	1,80	3,349
9,0	240,94	0,9570	821,3	7,242	0,943	213,6	1,76	3,388
9,5	254,39	0,9567	820,4	7,235	0,948	214,5	1,72	3,425
10,0	267,78	0,9567	819,6	7,228	0,953	215,4	1,68	3,495
11,0	294,39	0,9573	818,1	7,216	0,962	217,5	1,60	3,520
12,0	320,67	0,9587	816,5	7,204	0,972	219,9	1,52	3,569
13,0	346,55	0,9610	815,1	7,193	0,980	222,7	1,44	3,605
14,0	371,94	0,9643	813,7	7,183	0,988	225,7	1,36	3,627
15,0	396,78	0,9685	812,4	7,174	0,995	229,2	1,27	3,636
16,0	420,99	0,9737	811,2	7,165	1,002	232,9	1,19	3,633
17,0	444,53	0,9798	810,0	7,157	1,007	236,9	1,11	3,621
18,0	467,38	0,9867	809,0	7,149	1,012	241,1	1,03	3,600
19,0	489,52	0,9944	807,9	7,141	1,017	245,4	0,96	3,573
20,0	510,95	1,0028	807,0	7,134	1,021	249,9	0,89	3,540

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
				$T=433{,}15$ K				
0,01	0,244	1,0000	855,1	7,960	0,865	214,3	1,84	2,310
0,02	0,489	0,9999	855,0	7,894	0,865	214,3	1,84	2,311
0,03	0,733	0,9999	855,0	7,856	0,865	214,3	1,85	2,311
0,04	0,978	0,9999	855,0	7,829	0,865	214,3	1,85	2,312
0,05	1,222	0,9998	855,0	7,808	0,865	214,4	1,85	2,313
0,1	2,444	0,9997	854,9	7,742	0,866	214,4	1,86	2,318
0,2	4,890	0,9994	854,8	7,676	0,867	214,4	1,87	2,327
0,3	7,338	0,9990	854,6	7,638	0,868	214,4	1,88	2,336
0,4	9,788	0,9986	854,4	7,610	0,869	214,3	1,89	2,346
0,5	12,240	0,9982	854,3	7,589	0,870	214,3	1,91	2,356
0,6	14,694	0,9978	854,1	7,571	0,871	214,3	1,92	2,365
0,7	17,151	0,9973	853,9	7,556	0,872	214,3	1,92	2,375
0,8	19,610	0,9969	853,8	7,543	0,873	214,3	1,93	2,385
0,9	22,072	0,9964	853,6	7,532	0,874	214,2	1,94	2,395
1,0	24,536	0,9959	853,4	7,521	0,875	214,2	1,95	2,405
1,5	36,898	0,9934	852,6	7,481	0,880	214,1	1,97	2,456
2,0	49,328	0,9908	851,7	7,452	0,885	213,9	1,98	2,508
2,5	61,823	0,9882	850,8	7,429	0,890	213,9	1,97	2,559
3,0	74,375	0,9857	849,9	7,410	0,895	213,9	1,96	2,609
3,5	86,976	0,9833	849,1	7,394	0,900	214,0	1,93	2,658
4,0	99,614	0,9812	848,2	7,380	0,905	214,2	1,90	2,705
4,5	112,28	0,9794	847,3	7,367	0,910	214,4	1,87	2,750
5,0	124,96	0,9778	846,5	7,355	0,915	214,8	1,84	2,793
5,5	137,64	0,9765	845,7	7,344	0,920	215,3	1,80	2,835
6,0	150,32	0,9754	844,8	7,334	0,924	215,8	1,76	2,874
6,5	162,98	0,9746	844,0	7,325	0,929	216,4	1,73	2,912
7,0	175,63	0,9740	843,2	7,316	0,933	217,0	1,69	2,948
7,5	188,24	0,9736	842,5	7,308	0,938	217,7	1,65	2,982
8,0	200,83	0,9734	841,7	7,301	0,942	218,5	1,62	3,015
8,5	213,38	0,9734	840,9	7,293	0,947	219,2	1,58	3,047
9,0	225,88	0,9737	840,2	7,286	0,951	220,1	1,55	3,077
9,5	238,33	0,9740	839,5	7,280	0,955	220,9	1,52	3,105
10,0	250,73	0,9746	838,7	7,273	0,960	221,9	1,48	3,132
11,0	275,35	0,9762	837,3	7,261	0,968	223,9	1,42	3,179
12,0	299,67	0,9785	836,0	7,250	0,975	226,1	1,35	3,219
13,0	323,64	0,9816	834,7	7,240	0,983	228,7	1,28	3,249
14,0	347,20	0,9853	833,5	7,230	0,990	231,5	2,21	3,270
15,0	370,30	0,9899	832,3	7,221	0,996	234,6	1,14	3,281
16,0	392,90	0,9951	831,2	7,212	1,002	237,9	1,07	3,284
17,0	414,94	1,0011	830,2	7,204	1,007	241,5	1,00	3,278
18,0	436,41	1,0079	829,2	7,196	1,012	245,3	0,94	3,265
19,0	457,30	1,0153	828,3	7,189	1,016	249,3	0,87	3,246
20,0	477,58	1,0233	827,4	7,182	1,020	253,4	0,81	3,223
				$T=453{,}15$ K				
0,01	0,234	1,0000	872,6	7,999	0,884	218,9	1,58	2,207
0,02	0,467	1,0000	872,5	7,934	0,884	218,9	1,58	2,208
0,03	0,701	1,0000	872,5	7,895	0,884	219,0	1,59	2,209
0,04	0,934	0,9999	872,5	7,868	0,884	219,0	1,59	2,210
0,05	1,168	0,9999	872,5	7,847	0,885	219,0	1,59	2,210

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,1	2,336	0,9999	872,4	7,782	0,885	219,0	1,60	2,214
0,2	4,673	0,9997	872,3	7,716	0,886	219,0	1,61	2,222
0,3	7,011	0,9995	872,1	7,677	0,887	219,0	1,62	2,229
0,4	9,350	0,9993	872,0	7,650	0,888	219,0	1,63	2,237
0,5	11,690	0,9991	871,9	7,628	0,889	219,1	1,65	2,245
0,6	14,032	0,9988	871,7	7,611	0,890	219,1	1,66	2,252
0,7	16,374	0,9985	871,6	7,596	0,890	219,1	1,67	2,260
0,8	18,719	0,9983	871,4	7,583	0,891	219,1	1,67	2,268
0,9	21,065	0,9980	871,3	7,571	0,892	219,1	1,68	2,277
1,0	23,412	0,9977	871,1	7,561	0,893	219,1	1,69	2,285
1,5	35,175	0,9961	870,3	7,521	0,898	219,1	1,71	2,326
2,0	46,981	0,9943	869,6	7,493	0,902	219,1	1,72	2,368
2,5	58,828	0,9926	868,8	7,470	0,907	219,1	1,72	2,410
3,0	70,708	0,9910	868,0	7,451	0,912	219,2	1,71	2,450
3,5	82,615	0,9896	867,2	7,435	0,916	219,4	1,70	2,490
4,0	94,540	0,9883	866,5	7,421	0,920	219,7	1,67	2,528
4,5	106,47	0,9872	865,7	7,408	0,925	220,1	1,65	2,564
5,0	118,40	0,9864	864,9	7,397	0,929	220,5	1,62	2,599
5,5	130,32	0,9858	864,2	7,386	0,933	221,1	1,58	2,632
6,0	142,23	0,9854	863,5	7,376	0,937	221,6	1,55	2,664
6,5	154,11	0,9852	862,7	7,367	0,941	222,3	1,52	2,694
7,0	165,96	0,9852	862,0	7,359	0,945	223,0	1,49	2,722
7,5	177,77	0,9855	861,3	7,351	0,949	223,7	1,46	2,749
8,0	189,54	0,9869	860,6	7,343	0,953	224,5	1,43	2,775
8,5	201,27	0,9864	860,0	7,336	0,957	225,3	1,40	2,800
9,0	212,95	0,9872	859,3	7,329	0,961	226,2	1,37	2,824
9,5	224,58	0,9881	858,7	7,323	0,964	227,1	1,34	2,846
10,0	236,16	0,9891	858,0	7,317	0,968	228,0	1,31	2,867
11,0	259,12	0,9916	856,8	7,305	0,975	230,0	1,25	2,905
12,0	281,80	0,9947	855,6	7,294	0,982	232,2	1,20	2,937
13,0	304,17	0,9983	854,4	7,284	0,988	234,5	1,14	2,962
14,0	326,19	1,0025	853,3	7,275	0,994	237,2	1,08	2,981
15,0	347,82	1,0073	852,3	7,266	1,000	240,0	1,02	2,992
16,0	369,01	1,0128	851,3	7,258	1,005	243,1	0,96	2,996
17,0	389,75	1,0188	850,3	7,250	1,010	246,4	0,91	2,994
18,0	410,00	1,0255	849,4	7,242	1,014	249,9	0,85	2,986
19,0	429,75	1,0327	848,6	7,235	1,018	253,5	0,79	2,974
20,0	448,99	1,0405	847,8	7,228	1,022	257,3	0,74	2,957
				$T=473{,}15$ K				
0,01	0,224	1,0000	890,4	8,038	0,903	223,5	1,36	2,114
0,02	0,447	1,0000	890,4	7,972	0,903	223,5	1,36	2,115
0,03	0,671	1,0000	890,4	7,934	0,903	223,5	1,36	2,115
0,04	0,895	1,0000	890,4	7,907	0,903	223,5	1,36	2,116
0,05	1,119	1,0000	890,4	7,886	0,903	223,5	1,37	2,116
0,1	2,237	1,0000	890,3	7,820	0,903	223,5	1,37	2,119
0,2	4,474	0,9999	890,2	7,754	0,904	223,6	1,39	2,125
0,3	6,712	0,9999	890,1	7,716	0,905	223,6	1,40	2,131
0,4	8,950	0,9998	889,9	7,688	0,906	223,6	1,41	2,138
0,5	11,188	0,9997	889,8	7,667	0,907	223,7	1,42	2,144
0,6	13,427	0,9996	889,7	7,650	0,907	223,7	1,43	2,150
0,7	15,667	0,9995	889,5	7,635	0,908	223,7	1,44	2,157
0,8	17,908	0,9994	889,4	7,622	0,909	223,8	1,45	2,163
0,9	20,149	0,9992	889,3	7,610	0,910	223,8	1,46	2,170

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
1,0	22,391	0,9991	889,1	7,600	0,911	223,8	1,46	2,177
1,5	33,616	0,9982	888,5	7,560	0,915	223,9	1,49	2,211
2,0	44,865	0,9972	887,8	7,532	0,919	224,0	1,51	2,245
2,5	56,135	0,9963	887,1	7,509	0,923	224,2	1,51	2,279
3,0	67,422	0,9954	886,4	7,491	0,927	224,4	1,50	2,312
3,5	78,719	0,9946	885,7	7,475	0,931	224,7	1,49	2,344
4,0	90,019	0,9940	885,0	7,461	0,935	225,1	1,47	2,375
4,5	101,31	0,9936	884,3	7,448	0,939	225,5	1,45	2,405
5,0	112,60	0,9934	883,7	7,437	0,943	226,0	1,42	2,433
5,5	123,86	0,9934	883,0	7,427	0,946	226,6	1,40	2,459
6,0	135,10	0,9935	882,3	7,417	0,950	227,2	1,37	2,485
6,5	146,30	0,9939	881,7	7,408	0,954	227,9	1,34	2,509
7,0	157,47	0,9944	881,1	7,400	0,957	228,6	1,31	2,532
7,5	168,60	0,9952	880,4	7,392	0,961	229,4	1,29	2,554
8,0	179,68	0,9960	879,8	7,385	0,964	230,2	1,26	2,575
8,5	190,71	0,9970	879,2	7,378	0,968	231,1	1,23	2,595
9,0	201,70	0,9982	878,6	7,371	0,971	232,0	1,21	2,613
9,5	212,63	0,9995	878,0	7,365	0,974	232,9	1,18	2,631
10,0	223,50	1,0009	877,5	7,359	0,977	233,8	1,16	2,648
11,0	245,06	1,0041	876,4	7,347	0,984	235,8	1,11	2,678
12,0	266,36	1,0078	875,3	7,337	0,990	237,9	1,06	2,704
13,0	287,38	1,0120	874,3	7,327	0,995	240,2	1,01	2,725
14,0	308,07	1,0166	872,3	7,309	1,006	245,4	0,91	2,752
15,0	328,43	1,0217	872,3	7,309	1,006	245,4	0,91	2,752
16,0	348,41	1,0273	871,4	7,301	1,011	248,2	0,86	2,757
17,0	367,99	1,0334	870,6	7,293	1,015	251,3	0,82	2,757
18,0	387,16	1,0401	869,8	7,286	1,019	254,5	0,77	2,752
19,0	405,90	1,0472	869,0	7,279	1,023	257,9	0,72	2,744
20,0	424,19	1,0547	868,3	7,273	1,026	261,4	0,67	2,732

Таблица 56

Переносные свойства фреона-14 на линиях кипения и конденсации

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
143,15	0,0722	334,0	8,65	0,2065	1,5690	95,3	4,423	0,0646	1,6753	3,1963	1,083
145,15	0,0849	319,3	8,78	0,1987	1,3674	93,7	4,583	0,0637	1,4692	3,1218	0,9307
147,15	0,0992	304,9	8,91	0,1910	1,1981	92,2	4,746	0,0628	1,2942	3,0434	0,9257
149,15	0,1153	290,7	9,05	0,1834	1,0560	90,7	4,912	0,0619	1,1447	2,9631	0,9225
151,15	0,1334	276,7	9,18	0,1758	0,9341	89,1	5,080	0,0609	1,0159	2,8869	0,9194
153,15	0,1534	263,0	9,31	0,1683	0,8298	87,6	5,250	0,0600	0,9045	2,8041	0,9173
155,15	0,1756	249,8	9,44	0,1610	0,7420	86,1	5,423	0,0591	0,8081	2,7266	0,9160
157,15	0,2001	237,2	9,58	0,1540	0,6635	84,6	5,600	0,0581	0,7241	2,6510	0,9163
159,15	0,2270	225,4	9,72	0,1475	0,5968	83,1	5,780	0,0571	0,6507	2,5817	0,9172
161,15	0,2566	214,4	9,86	0,1414	0,5386	81,6	5,964	0,0561	0,5862	2,5184	0,9189
163,15	0,2888	204,6	10,00	0,1360	0,4877	80,1	6,152	0,0551	0,5294	2,4675	0,9212
165,15	0,3240	196,3	10,14	0,1315	0,4429	78,6	6,344	0,0541	0,4793	2,4313	0,9240
167,15	0,3620	188,6	10,28	0,1274	0,4032	77,2	6,54	0,0532	0,4347	2,3966	0,9276
169,15	0,4033	181,2	10,42	0,1235	0,3681	75,8	6,74	0,0522	0,3950	2,3666	0,9319
171,15	0,4479	174,0	10,56	0,1196	0,3368	74,4	6,94	0,0512	0,3593	2,3347	0,9375
173,15	0,4958	167,2	10,71	0,1159	0,3092	73,1	7,14	0,0503	0,3271	2,3056	0,9453
175,15	0,5471	160,7	10,86	0,1124	0,2845	71,8	7,36	0,0494	0,2989	2,2762	0,9517
177,15	0,6026	154,5	11,01	0,1091	0,2622	70,5	7,58	0,0485	0,2732	2,2507	0,9595
179,15	0,6618	148,6	11,16	0,1059	0,2421	69,2	7,80	0,0475	0,2498	2,2290	0,9689
181,15	0,7249	142,9	11,32	0,1029	0,2241	67,9	8,03	0,0466	0,2288	2,2098	0,9795
183,15	0,7922	137,4	11,48	0,0999	0,2077	66,6	8,26	0,0456	0,2095	2,1941	0,9915

Продолжение табл. 56

T	p_s	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^3$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
185,15	0,8639	132,1	11,64	0,0971	0,1928	65,3	8,50	0,0446	0,1920	2,1787	1,0043
187,15	0,9399	127,1	11,81	0,0944	0,1793	64,1	8,75	0,0437	0,1760	2,1633	1,0188
189,15	1,0206	122,2	11,98	0,0918	0,1670	62,9	9,01	0,0427	0,1614	2,1516	1,0342
191,15	1,1061	117,6	12,16	0,0893	0,1557	61,7	9,29	0,0416	0,1482	2,1472	1,0508
193,15	1,197	112,9	12,34	0,0869	0,1453	60,5	9,58	0,0404	0,1358	2,1507	1,0692
195,15	1,292	108,4	12,52	0,0845	0,1357	59,3	9,88	0,0392	0,1245	2,1570	1,0899
197,15	1,393	104,0	12,71	0,0821	0,1268	58,1	10,19	0,0380	0,1138	2,1632	1,1143
199,15	1,499	99,7	12,91	0,0798	0,1187	56,9	10,52	0,0368	0,1039	2,1710	1,1423
201,15	1,611	95,5	13,12	0,0776	0,1111	55,8	10,87	0,0357	0,0946	2,1719	1,1745
203,15	1,729	91,3	13,35	0,0754	0,1041	54,7	11,26	0,0346	0,0860	2,1757	0,9075
205,15	1,853	87,4	13,60	0,0733	0,0977	53,6	11,67	0,0336	0,0777	2,180	1,2571
207,15	1,983	83,5	13,88	0,0712	0,0917	52,5	12,10	—	0,0698	—	1,3146
209,15	2,120	79,6	14,20	0,0692	0,0863	51,4	12,55	—	0,0621	—	1,3895
211,15	2,264	75,7	14,55	0,0671	0,0811	50,3	13,02	—	0,0546	—	1,4852
213,15	2,415	71,9	14,95	0,0652	0,0763	49,21	13,53	0,0272	0,0473	2,3962	1,6111
215,15	2,573	68,0	15,42	0,0632	0,0718	48,23	14,07	—	0,0402	—	1,7852
217,15	2,740	64,1	15,90	0,0612	0,0676	47,13	14,64	—	0,0332	—	2,037
219,15	2,915	60,1	16,65	0,0592	0,0635	46,03	15,24	—	0,0262	—	2,423
221,15	3,099	56,1	17,45	0,0573	0,0595	45,03	15,92	—	0,0194	—	3,069
223,15	3,294	52,1	18,20	0,0558	0,0527	44,04	16,65	—	0,0126	—	4,315
225,15	3,501	47,95	18,95	0,0548	0,0478	43,04	17,43	—	0,0061	—	7,869
227,15	3,703	43,01	20,01	—	—	42,02	19,25	—	—	—	—

Таблица 57

Переносные свойства фреона-14 в однофазной области

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=173{,}15$ K		
0,1	10,43	6,63	2,066	0,807
0,5	168,6	73,1	—	—
1,0	169,2	73,5	0,0397	2,949
2,0	172,1	74,3	0,0402	2,946
3,0	174,9	75,0	0,0407	2,945
4,0	177,7	75,8	0,0411	2,944
5,0	180,5	76,5	0,0416	2,945
6,0	183,3	77,2	0,0420	2,949
7,0	186,1	77,9	0,0425	2,953
8,0	188,8	78,6	0,0429	2,957
9,0	191,5	79,2	0,0433	2,962
10,0	194,2	79,8	0,0436	2,971
12,0	199,9	81,0	0,0443	2,991
14,0	205,5	82,2	0,0450	3,010
16,0	211,2	83,4	0,0456	3,034
18,0	216,8	84,6	0,0463	3,055
20,0	222,5	85,7	0,0469	3,079
		$T=183{,}15$ K		
0,1	11,03	7,32	2,362	0,792
0,5	11,29	7,81	0,4002	0,877
1,0	143,0	66,6	0,0384	2,708
2,0	146,5	67,6	0,0392	2,698
3,0	149,3	68,4	0,0398	2,687
4,0	151,9	69,2	0,0405	2,676
5,0	154,3	70,1	0,0411	2,659
6,0	156,7	70,9	0,0417	2,650
7,0	159,1	71,7	0,0423	2,641
8,0	161,5	72,4	0,0428	2,637
9,0	163,9	73,1	0,0433	2,635
10,0	166,3	73,8	0,0437	2,634
12,0	171,1	75,2	0,0447	2,632
14,0	175,8	76,5	0,0455	2,636
16,0	180,6	77,8	0,0463	2,644
18,0	185,3	79,1	0,0470	2,652
20,0	190,1	80,3	0,0478	2,663
		$T=193{,}15$ K		
0,1	11,62	8,13	2,704	0,772
0,5	11,87	8,54	0,4779	0,831
1,0	12,20	9,15	0,1860	0,980
2,0	120,4	61,3	0,0370	2,487
3,0	124,3	62,3	0,0380	2,474
4,0	128,0	63,3	0,0390	2,463
5,0	131,5	64,2	0,0398	2,458
6,0	134,0	65,1	0,0406	2,454
7,0	137,8	66,0	0,0414	2,445
8,0	140,4	66,8	0,0420	2,436
9,0	142,8	67,6	0,0426	2,427
10,0	145,1	68,4	0,0433	2,418
12,0	149,3	70,0	0,0448	2,404
14,0	153,6	71,4	0,0455	2,388
16,0	157,8	72,7	0,0464	2,389
18,0	162,1	74,0	0,0473	2,388
20,0	166,3	75,3	0,0481	2,390
		$T=203{,}15$ K		
0,1	12,19	8,83	3,007	0,768
0,5	12,42	9,22	0,5480	0,810
1,0	12,71	9,83	0,2335	0,891
2,0	88,0	55,3	0,0330	2,186
3,0	95,1	56,5	0,0348	2,208
4,0	101,6	57,6	0,0362	2,235
5,0	106,9	58,7	0,0375	2,245
6,0	111,5	59,7	0,0386	2,252
7,0	115,7	60,6	0,0396	2,259
8,0	119,1	61,5	0,0405	2,256
9,0	122,3	62,4	0,0413	2,250
10,0	125,3	63,3	0,0421	2,245
12,0	130,1	65,0	0,0436	2,223
14,0	134,6	66,6	0,0449	2,209
16,0	139,0	68,0	0,0460	2,204
18,0	143,3	69,4	0,0470	2,199
20,0	147,4	70,8	0,0480	2,196
		$T=213{,}15$ K		
0,1	12,76	9,50	3,312	0,767
0,5	12,98	9,94	0,6209	0,793
1,0	13,26	10,44	0,2758	0,849
2,0	14,23	12,12	0,0897	1,142
3,0	73,9	50,9	0,0293	2,242
4,0	78,8	52,2	0,0320	2,129
5,0	83,4	53,5	0,0341	2,072
6,0	87,8	54,5	0,0357	2,052
7,0	92,0	55,5	0,0370	2,044
8,0	96,0	56,6	0,0383	2,037
9,0	99,8	57,6	0,0393	2,036
10,0	103,4	58,6	0,0404	2,034
12,0	109,9	60,4	0,0421	2,036
14,0	115,8	62,1	0,0437	2,038
16,0	121,1	63,6	0,0450	2,043
18,0	126,1	65,1	0,0465	2,045
20,0	130,7	66,5	0,0473	2,048
		$T=223{,}15$ K		
0,1	13,33	10,35	3,681	0,756
0,5	13,53	10,66	0,6933	0,782
1,0	13,80	11,15	0,3179	0,821

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
2,0	14,60	12,60	0,1221	0,972
3,0	16,29	15,41	0,0380	1,747
4,0	53,2	42,02	0,0214	2,462
5,0	59,7	48,30	0,0289	1,947
6,0	65,2	49,73	0,0319	1,863
7,0	70,2	51,1	0,0341	1,830
8,0	74,9	52,2	0,0357	1,825
9,0	79,3	53,2	0,0371	1,830
10,0	83,5	54,2	0,0383	1,839
12,0	90,9	56,2	0,0405	1,850
14,0	97,4	57,9	0,0422	1,864
16,0	103,4	59,5	0,0437	1,879
18,0	109,0	61,1	0,0451	1,889
20,0	114,7	62,6	0,0463	1,909
	$T=233{,}15$ K			
0,1	13,88	11,03	3,996	0,759
0,5	14,08	11,32	0,7614	0,780
1,0	14,32	11,85	0,3585	0,802
2,0	15,06	13,05	0,1492	0,901
3,0	16,32	15,11	0,0706	1,159
4,0	19,39	24,93	0,0223	2,270
5,0	39,12	39,34	0,0159	2,900
6,0	48,75	44,49	0,0257	1,980
7,0	55,7	46,50	0,0301	1,830
8,0	61,0	47,82	0,0327	1,778
9,0	65,6	49,07	0,0347	1,754
10,0	69,3	50,3	0,0363	1,730
12,0	75,5	52,6	0,0390	1,695
14,0	81,7	54,4	0,0409	1,702
16,0	87,9	56,0	0,0425	1,723
18,0	94,1	57,6	0,0440	1,750
20,0	100,1	59,1	0,0452	1,778
	$T=253{,}15$ K			
0,1	14,97	12,53	4,690	0,759
0,5	15,15	12,82	0,9092	0,7717
1,0	15,36	13,24	0,4372	0,785
2,0	15,95	14,20	0,1976	0,833
3,0	16,87	15,63	0,1153	0,916
4,0	18,39	17,80	0,1221	1,079
5,0	21,10	21,54	0,0430	1,401
6,0	27,00	27,91	0,0292	1,838
7,0	34,21	33,44	0,0261	1,992
8,0	40,68	38,77	0,0285	1,850
9,0	46,18	41,52	0,0312	1,743
10,0	51,0	43,02	0,0333	1,695
12,0	56,9	45,70	0,0366	1,587
14,0	62,8	47,91	0,0390	1,561
16,0	68,7	49,93	0,0409	1,567
18,0	74,6	51,6	0,0423	1,595
20,0	80,5	53,1	0,0436	1,630

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
	$T=273{,}15$ K			
0,1	16,03	14,01	5,412	0,761
0,5	16,19	14,21	1,054	0,774
1,0	16,39	14,61	0,5135	0,783
2,0	16,89	15,50	0,2424	0,807
3,0	17,62	16,62	0,1511	0,846
4,0	18,67	18,15	0,1049	0,905
5,0	20,20	20,15	0,0764	0,998
6,0	22,50	22,73	0,573	1,139
7,0	25,84	26,74	0,0470	1,265
8,0	29,87	30,06	0,0407	1,393
9,0	34,16	33,27	0,0381	1,462
10,0	38,09	36,08	0,0374	1,484
12,0	43,81	39,98	0,0379	1,444
14,0	49,52	42,99	0,0397	1,418
16,0	55,2	45,21	0,0413	1,427
18,0	60,9	47,02	0,0425	1,458
20,0	66,6	48,83	0,0437	1,492
	$T=293{,}15$ K			
0,1	17,06	15,40	6,114	0,770
0,5	17,21	15,73	1,212	0,772
1,0	17,39	16,05	0,5934	0,781
2,0	17,84	16,83	0,2856	0,798
3,0	18,42	17,85	0,1841	0,815
4,0	19,24	18,90	0,1319	0,852
5,0	20,20	20,32	0,1015	0,889
6,0	21,80	22,23	0,0819	0,945
7,0	23,74	24,25	0,0678	1,021
8,0	26,11	26,57	0,0590	1,098
9,0	28,81	29,14	0,0524	1,161
10,0	31,74	31,61	0,0488	1,212
12,0	36,77	36,01	0,0455	1,248
14,0	41,80	39,20	0,0442	1,281
16,0	46,82	41,51	0,0440	1,315
18,0	51,8	43,56	0,0445	1,346
20,0	56,7	45,44	0,0452	1,375
	$T=313{,}15$ K			
0,1	18,07	16,97	6,926	0,770
0,5	18,19	17,12	1,363	0,779
1,0	18,37	17,47	0,6739	0,783
2,0	18,74	18,25	0,3299	0,791
3,0	19,27	19,02	0,2143	0,807
4,0	19,90	19,90	0,1568	0,828
5,0	20,75	21,00	0,1230	0,854
6,0	21,80	22,41	0,1015	0,879
7,0	23,2	24,03	0,0866	0,915
8,0	24,80	25,68	0,0750	0,963
9,0	26,61	27,51	0,0673	1,002
10,0	28,77	29,42	0,0617	1,047

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
12,0	32,99	33,33	0,0472	1,156
14,0	37,21	36,30	0,0467	1,272
16,0	41,44	38,60	0,0490	1,209
18,0	45,66	40,74	0,0481	1,247
20,0	49,88	42,83	0,0481	1,278
	$T=333{,}15$ K			
0,1	19,02	18,40	7,705	0,775
0,5	19,15	18,61	1,529	0,780
1,0	19,30	18,92	0,7585	0,783
2,0	19,66	19,53	0,3719	0,794
3,0	20,12	20,24	0,2440	0,806
4,0	20,63	21,05	0,1808	0,811
5,0	21,24	22,03	0,1440	0,827
6,0	22,21	23,10	0,1196	0,851
7,0	23,28	24,25	0,1023	0,877
8,0	24,55	25,50	0,0896	0,909
9,0	25,84	26,90	0,0804	0,935
10,0	27,37	28,56	0,0739	0,958
12,0	30,79	31,83	0,0652	1,007
14,0	34,20	34,79	0,0597	1,051
16,0	37,62	37,17	0,0562	1,091
18,0	41,03	39,24	0,0539	1,130
20,0	44,45	41,21	0,0526	1,163
	$T=353{,}15$ K			
0,1	19,98	19,93	8,555	0,778
0,5	20,09	20,15	1,704	0,781
1,0	20,14	20,37	0,8451	0,782
2,0	20,54	20,90	0,4162	0,795
3,0	20,94	21,60	0,2754	0,802
4,0	21,44	22,32	0,2053	0,812
5,0	22,04	23,22	0,1645	0,820
6,0	22,70	24,18	0,1378	0,829
7,0	23,56	25,18	0,1186	0,846
8,0	24,53	26,22	0,1045	0,865
9,0	25,60	27,32	0,0938	0,886
10,0	26,80	28,54	0,0858	0,907
12,0	29,66	31,22	0,0750	0,950
14,0	32,52	33,81	0,0680	0,986
16,0	35,37	36,11	0,0634	1,020
18,0	38,22	38,33	0,0604	1,048
20,0	41,08	40,45	0,0584	1,072
	$T=373{,}15$ K			
0,1	20,85	21,35	9,397	0,781
0,5	20,95	21,57	1,876	0,783
1,0	21,15	21,84	0,9343	0,788
2,0	21,33	22,30	0,4619	0,793
3,0	21,72	22,93	0,3067	0,799
4,0	22,23	23,60	0,2297	0,809
5,0	22,72	24,32	0,1840	0,816
6,0	23,30	25,12	0,1541	0,825
7,0	24,05	26,00	0,1333	0,837
8,0	24,85	26,94	0,1180	0,850
9,0	25,72	27,91	0,1062	0,863
10,0	26,70	28,97	0,0972	0,877
12,0	29,12	31,21	0,0845	0,914
14,0	31,54	33,41	0,0761	0,946
16,0	33,97	35,62	0,0706	0,971
18,0	36,39	37,77	0,0668	0,992
20,0	38,81	39,84	0,0642	1,011
	$T=393{,}15$ K			
0,1	21,75	22,83	10,297	0,784
0,5	21,83	23,00	2,055	0,768
1,0	21,95	33,28	1,026	0,787
2,0	22,25	23,73	0,5098	0,795
3,0	22,63	24,31	0,3394	0,801
4,0	23,05	24,91	0,2546	0,809
5,0	23,50	25,60	0,2046	0,814
6,0	24,00	26,33	0,1717	0,820
7,0	24,59	27,09	0,1486	0,828
8,0	25,24	27,89	0,1315	0,837
9,0	25,95	28,75	0,1186	0,846
10,0	26,86	29,68	0,1086	0,859
12,0	28,93	31,65	0,0941	0,888
14,0	31,00	33,62	0,0845	0,914
16,0	33,07	35,57	0,0778	0,935
18,0	35,14	37,49	0,0730	0,954
20,0	37,21	39,41	0,0697	0,970
	$T=413{,}15$ K			
0,1	22,63	24,30	11,220	0,787
0,5	22,72	24,50	2,244	0,788
1,0	22,83	24,72	1,121	0,790
2,0	23,12	25,21	0,5598	0,795
3,0	23,42	25,77	0,3735	0,799
4,0	23,79	26,34	0,2809	0,804
5,0	24,19	26,92	0,2256	0,810
6,0	24,62	27,52	0,1891	0,816
7,0	25,16	28,18	0,1636	0,823
8,0	25,79	28,91	0,1449	0,832
9,0	26,46	29,66	0,1305	0,841
10,0	27,16	30,43	0,1194	0,851
12,0	28,96	32,18	0,1066	0,875
14,0	30,76	33,81	0,0920	0,899
16,0	32,57	35,54	0,0843	0,918
18,0	34,37	37,25	0,0788	0,934
20,0	36,17	38,95	0,0747	0,949

p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	Pr
		$T=433{,}15$ K		
0,1	23,52	25,83	12,204	0,789
0,5	23,63	25,90	2,432	0,794
1,0	23,72	26,13	1,217	0,791
2,0	23,93	26,55	0,6082	0,798
3,0	24,22	27,05	0,4064	0,801
4,0	24,53	27,63	0,3065	0,803
5,0	24,92	28,24	0,2470	0,807
6,0	25,33	28,87	0,2079	0,811
7,0	25,79	29,51	0,1801	0,815
8,0	26,36	30,16	0,1594	0,823
9,0	26,86	30,84	0,1436	0,828
10,0	27,56	31,56	0,1311	0,838
12,0	29,16	33,10	0,1133	0,859
14,0	30,75	34,60	0,1007	0,880
16,0	32,35	36,08	0,0916	0,898
18,0	33,94	37,54	0,0850	0,915
20,0	35,54	38,98	0,0800	0,930
		$T=453{,}15$ K		
0,1	24,32	27,32	13,215	0,788
0,5	24,43	27,51	2,647	0,789
1,0	24,53	27,63	1,322	0,793
2,0	24,74	28,02	0,6612	0,796
3,0	25,01	28,45	0,4412	0,801
4,0	25,32	28,93	0,3326	0,805
5,0	25,66	29,43	0,2676	0,810
6,0	26,04	29,95	0,2247	0,815
7,0	26,46	30,59	0,1951	0,818
8,0	26,92	31,15	0,1725	0,824
9,0	27,42	31,75	0,1551	0,830
10,0	28,00	32,45	0,1420	0,835
12,0	29,43	33,86	0,1224	0,854
14,0	30,87	35,24	0,1087	0,871
16,0	32,30	36,61	0,0987	0,887
18,0	33,74	37,97	0,0913	0,901
20,0	35,17	39,31	0,0857	0,914
		$T=473{,}15$ K		
0,1	25,12	28,75	14,230	0,789
0,5	25,23	28,90	2,848	0,792
1,0	25,32	29,13	1,428	0,792
2,0	25,53	29,54	0,7165	0,794
3,0	25,82	29,97	0,4795	0,799
4,0	26,12	30,42	0,3614	0,803
5,0	26,44	30,89	0,2909	0,807
6,0	26,78	31,38	0,2445	0,811
7,0	27,14	31,89	0,2116	0,814
8,0	27,52	32,42	0,1872	0,818
9,0	27,96	32,96	0,1683	0,824
10,0	28,46	33,53	0,1536	0,829
12,0	29,75	34,76	0,1318	0,847
14,0	31,06	36,04	0,1169	0,863
16,0	32,38	37,38	0,1061	0,876
18,0	33,69	38,76	0,0982	0,886
20,0	35,00	40,18	0,0923	0,894

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К введению

0.1. Алтунин В. В. Применение ЭЦВМ для построения точных уравнений состояния чистых веществ по данным массовых измерений термодинамических свойств. — В кн.: Уравнения состояния газов и жидкостей. М.: Наука, 1975, с. 117—134.

0.2. Теплофизические свойства фреонов. Т. 1. Фреоны метанового ряда (фреоны 20, 21, 22, 23)/В. В. Алтунин, В. З. Геллер, Е. К. Петров, Д. С. Рассказов, Г. А. Спиридонов. М.: Изд-во стандартов, 1980. — 232 с.

0.3. Алтунин В. В. Смеси фреонов. Термодинамические и переносные свойства. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт, ГСССД, 1981, вып. 17, с. 85—103.

0.4. Анисимов М. А. Уравнение состояния и методы расчета теплофизических свойств в окрестности критической точки. — Обзоры по теплофизическим свойствам веществ/ИВТАН СССР, 1980, вып. 5 (25), с. 44—76.

0.5. Богданов С. Н., Иванов О. П., Куприянова А. В. Холодильная техника. Свойства веществ. 2-е изд. Л.: Машиностроение, 1976. — 166 с.

0.6. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Физматиздат, 1963. — 708 с.

0.7. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 2-е изд. М.: Наука, 1972. — 720 с.

0.8. Теплопроводность жидкостей и газов/Н. Б. Варгафтик, Л. П. Филиппов, А. А. Тарзиманов, Е. Е. Тоцкий. М.: Изд-во стандартов, 1978. — 470 с.

0.9. Геллер В. З., Иванченко С. И., Кронберг А. В. Исследование коэффициента динамической вязкости фреонов метанового ряда. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 148—161.

0.10. Геллер В. З. Обобщение экспериментальных данных по теплопроводности фреонов-21, 22 и 23. — ИФЖ, 1977, т. 33, № 1, с. 75—83.

0.11. Геллер В. З., Горыкин С. Ф., Ленский Л. Р. Исследование коэффициентов взаимной диффузии фреонов в азоте. — Изв. вузов СССР. — Энергетика, 1977, № 7, с. 74—79.

0.12. Геллер В. З. Коэффициенты теплопроводности и динамической вязкости фреонов-10, 11, 12, 12В1, 13, 13В1, 14, 20, 21, 22, 23, 113, 113В2, 114, 114В2, 115, 218 и С318 в широком интервале температур и давлений/Таблицы рекомендуемых справочных данных. — Депонент ВНИЦ ГСССД, № Р2 — 79.

0.13. Груздев В. А., Шестова А. И. Некоторые закономерности в теплопроводности паров фреонов метанового ряда. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Тр. ин-та теплофизики СО АН СССР, Новосибирск, 1979, с. 55—65.

0.14. Исследование и обобщение термодинамических свойств рабочих веществ: Сб. трудов/ВНИХИ, М., 1977.

0.15. Классификатор фреонов и их свойств. М.: Изд-во стандартов, 1974.

0.16. Клецкий А. В. Таблицы термодинамических свойств газов и жидкостей. Вып. 2 (фреон-22). М.: Изд-во стандартов, 1978. — 59 с.

0.17. Клименко А. Н., Красноокий С. И., Колесник В. М. Применение обобщенных уравнений для расчета на ЭВМ термодинамических свойств фреонов. — Холодильная техника и технология, 1977, вып. 24, с. 75—79.

0.18. Кременевская Е. А., Ривкин С. Л. Термодинамические свойства фреона-11. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 46—64.

0.19. Осипов О. А., Минкин В. И., Гарновский А. Д. Справочник по дипольным моментам. 3-е изд. М.: Высшая школа, 1971. — 414 с.

0.20. Перельштейн И. И. Таблицы и диаграммы термодинамических свойств фреонов-12, 13, 22. ВНИХИ, М., 1971, 90 с.

0.21. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Методика определения термодинамических свойств основных хладагентов по экспериментальным данным. — Холодильная техника, 1976, № 1, с. 27—30.

0.22. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Термодинамические и теплофизические свойства хладонов. — В кн.: Негорючие теплоносители и гидравлические жидкости. Л.: Химия, 1979, с. 127—139.

0.23. Перельштейн И. И. Рабочие вещества компрессионных холодильных машин. — В кн.: Теплофизические основы получения искусственного холода. Справочник. М.: Пищевая промышленность, 1980, с. 69—85.

0.24. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Система уравнений для расчета термодинамических свойств рабочих веществ. — Холодильная техника, 1981, № 3, с. 40—42.

0.25. Скрипов В. П., Муратов Г. П. Данные по поверхностному натяжению жидкостей и обработка их методом термодинамического подобия. — ЖФХ, 1977, т. 51, № 6, с. 1369—1372.

0.26. Термодинамические свойства жидкостей в метастабильном состоянии/В. П. Скрипов, Е. Н. Синицын, П. А. Павлов и др. М.: Атомиздат, 1980. — 208 с.

0.27. Термодинамические свойства метана/В. В. Сычев, А. А. Вассерман, В. А. Загорученко и др. М.: Изд-во стандартов, 1979. — 348 с.

0.28. Термодинамические свойства индивидуальных веществ/Под ред. В. П. Глушко. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 1, 2.

0.29. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочные данные. В 4-х т./Л. В. Гурвич, И. В. Вейц, В. А. Медведев и др. 3-е изд., перераб. и расшир. Т. II, кн. 1, 2. М.: Наука, 1979.

0.30. Томановская В. Ф., Колотова Б. Е. Фреоны. Свойства и применение. Л.: Химия, 1970. — 182 с.

0.31. Фундаментальные физические константы/Госстандарт; ГСССД, 1976. — 7 с.

0.32. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Полякова Н. А. Теплопроводность фреонов в широком интервале температур и давлений. — Холодильная техника, 1974, № 11, с. 39—43.

0.33. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Полякова Н. А. Измерение и анализ теплопроводности газообразных фреонов. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1980, вып. 15, с. 58—65.

0.34. Циклис Д. С. Плотные газы. М.: Химия, 1977. — 164 с.

0.35. Комплексное исследование теплофизических свойств наиболее важных и перспективных фреонов в жидкой и газовой фазах/В. Ф. Чайковский, В. З. Геллер, С. Ф. Горыкин и др. — В кн.: Теплофизические свойства жидкостей. М.: Наука, 1976, с. 108—117.

0.36. Исследование коэффициентов взаимо- и самодиффузии некоторых хладагентов/В. Ф. Чайковский, В. З. Геллер, Л. Р. Ленский и др. — Холодильная техника и технология, 1977, вып. 26, с. 36—40.

0.37. Черепова В. Н., Томановская В. Ф., Колотова Б. Е. Фреоны метанового ряда. Получение, свойства, применение: Обзорная информация/ НИИТЭХИМ, М., 1978. — 47 с.

0.38. ASHRAE Guide and Data Book. Fundamentals and Equipment. — NY; ASHRAE, 1963—1967.

0.39. ASHRAE Handbook of fundamentals. — NY, 1975.

0.40. ASHRAE Thermophysical properties of refrigerants/Ed. by Liley P.E. — NY, 1973.

0.41. Atomic Weights of the elements. — Pure Appl. Chem., 1974, v. 37, p. 591—603.

0.42. Barho W. Die Molwärme der Fluor-Chlorderivate des Methans im Zustand idealer Gase. — Kältetechnik, 1965, Bd. 17, s. 219—222.

0.43. Chen S. S., Wilhoit R. C., Zwolinski B. J. Ideal gas thermodynamic properties of six chlorofluoromethanes. — J. Phys. Chem. Ref. Data, 1976, v. 5, p. 571—580.

0.44. Ekroth I. A. Termodinamiska egenskaper för Köldmedier (Thermodynamic properties of refrigerants). — Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm, 1979.

0.45. JANAF Thermochemical Tables. — 2-nd ed. — USA Nat. Bur. Standards, 1971.

0.46. Kondo H., Watanabe K, Tanishita I. Equations of state for several fluorocarbon refrigerants. — Bull. JSME, 1974, v. 17, p. 776—790.
0.47. Kraus W. E., Vollmer D. Die Anwendung der Redlich-Kwong Zustandsgleichung auf Halogenkältemittel und deren Gemische. — Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden, 1978, v. 27, N 5, s. 999—1006.
0.48. Densities of liquid halomethanes/Kudchadker A. P., Kudchadker S. A., Patnaik P. R., Misra P. P. — J. Phys. Chem. Ref. Data, 1978, v. 7, p. 425—439.
0.49. Vapor pressures and boiling points of selected halomethanes/Kudchadker A. P., Kudchadker S. A., Stukla R. P., Patnaik P. R. — J. Phys. Chem. Ref. Data, 1979, N 8, p. 499—517.
0.50. Landolt-Börnstein. 6 Auflage. Bd. 2, Teil 2, Bandteil «a», 1960; Bd. 2, Teil 3, 1956; Bd. 2, Teil 5, Bandteil «a», «b», 1968—1969.
0.51. Morsy T. E. Extended BWR-equation of state. — J. Chem. Eng. Data, 1970, v. 15, p. 256—265.
0.52. Niçhiumi H., Saito S. An improved generalized BWR equation of state applicable to low reduced temperatures. — J. Chem. Eng. Japan, 1975, v. 8, N 5, p. 356—360.
0.53. Nishiumi H. An improved generalized BWR equation of state with three parameters applicable to polar substances. — J. Chem. Eng. Japan, 1980, v. 13, N 3, p. 178—183.
0.54. Plank R. Handbuch der Kältetechnik. Bd. 4. Kältemittel. — Springer Verlag, Brl., 1956.
0.55. Rathjen W., Straub J. Surface tension and refractive index of six refrigerants from triple point up to critical point. — Proc. Seventh Sympos. Thermophys. Prop. — NY, 1977, p. 839—850.
0.56. Rombusch U. K. Grundlagen zur Aufstellung von Mollierdiagrammen für Kältemittel. — Kältetechnik, 1963, Bd. 15, s. 353—359.
0.57. Rombusch U. K., Giesen H. Neue Mollier i-lg P Diagramme für die Kältemittel R11, R12, R13 und R21. — Kältetechnik, 1966, Bd 18, s. 37—40.
0.58. Thermophysical properties of matter. v. 11 (Viscosity). — NY-Wash., IFI/Plenum, 1975.

К главе 1

1.1. Выбор хладагента и методы определения его теплофизических свойств, необходимых для расчета и проектирования холодильных установок/Алешин Ю. П., Перельштейн И. И., Арефьева Л. Н., и др. — В кн.: Исследование и обобщение термодинамических свойств рабочих веществ/ВНИХИ, М., 1977, с. 5—17.
1.2. Аниськин М. Е., Лаврентьев И. П., Пеньевский С. Д. Экспериментальная установка для исследования жидкостей с большим коэффициентом поглощения акустическим методом. — Ультразвук и физико-химические свойства веществ, 1978, вып. 12, с. 167—172.
1.3. Багацкий М. И., Манжелий В. Г. Теплоемкость твердого CCl_4. — ИФЖ, 1971, т. 16, № 7, с. 1088—1094.
1.4. Бондарев П. В., Сысоев И. В. Обзор экспериментальных данных по скорости распространения ультразвука в зависимости от давления. — Ультразвук и физико-химические свойства вещества, 1978, вып. 12, с. 22—46.
1.5. Варгафтик Н. Б., Зайцева Л. С., Якуш Л. В. Экспериментальное исследование теплопроводности паров толуола, дифенила и четыреххлористого углерода. — ИФЖ, 1968, т. 14, с. 882—889.
1.6. Теплопроводность газов и жидкостей/Н. Б. Варгафтик, Л. П. Филиппов, А. А. Тарзиманов, Р. П. Юрчак. М.: Изд-во стандартов, 1970. — 154 с.
1.7. Воляк Л. Д. Уравнения для расчета поверхностного натяжения жидкостей. — Теплоэнергетика, 1958, № 7, с. 33—37.
1.8. Герц Н. Г., Филлипов Л. П. Исследование теплопроводности вблизи критических точек жидких бинарных систем. — ИФЖ, 1956, т. 30, № 11, с. 2424—2427.
1.9. Голубев И. Ф. Вязкость газов и газовых смесей. М.: Физматгиз, 1959. — 375 с.

1.10. Голубев И. Ф., Гнездилов Н. Е. Вязкость газовых смесей. М.: Изд-во стандартов, 1971. — 327 с.
1.11. Железный В. П. Экспериментальное исследование поверхностного натяжения галоидопроизводных углеводородов. — Автореф. канд. дис./ГНИ, Грозный, 1979. — 21 с.
1.12. Жоховский М. К. О некоторых закономерностях в плавлении веществ и их значении для шкалы высоких давлений. — Измерительная техника, 1958, № 2, с. 16—21.
1.13. Жоховский М. К. Скачок объема при плавлении под давлением. — ЖФХ, 1963, т. 37, № 12, с. 2635—2639.
1.14. Жоховский М. К. Об уравнении p—T кривой плавления. — Измерительная техника, 1976, № 4, с. 49—52.
1.15. Запорожан Г. В. Исследование теплопроводности некоторых фреонов при низких температурах. — Автореф. канд. дис./ГНИ, Грозный, 1978. — 21 с.
1.16. Иванников П. С., Литвиненко И. В., Радченко И. В. Теплопроводность некоторых жидких тетрагалогенидов. — Физика жидкого состояния, 1973, вып. 1, с. 130—135.
1.17. Карцев В. Н., Иванов П. К., Теплов В. Г. Пикнометрический метод прецизионного измерения изотермической сжимаемости жидкостей в интервале 0—100° С. — ЖФХ, 1975, т. 49, № 10, с. 2708—2709.
1.18. Кронберг А. В. Экспериментальное и расчетно-теоретическое исследование вязкости фреонов метанового и этанового рядов. — Автореф. канд. дис./Аз. Нефтехим, Баку, 1979. — 23 с.
1.19. Лапидус И. И., Нисельсон Л. А., Сейфер А. Л. Основные термодинамические свойства и характеристики галоидозамещенных моносилана и метана. — Теплофизические характеристики веществ/Госстандарт; ГСССД, 1968, вып. 1, с. 103—135.
1.20. Маркузин Н. П. Вириальные коэффициенты органических соединений и их смесей. — Химия и термодинамика растворов, 1968, вып. 2, с. 212—238.
1.21. Маширов В. Е., Тарзиманов А. А. Экспериментальные данные по теплопроводности некоторых парообразных органических соединений. — Изв. вузов СССР. — Нефть и газ, 1974, № 1, с. 98, 112.
1.22. Мелвин-Хьюз Э. А. Физическая химия. Кн. 2. М.: ИИЛ, 1962.
1.23. Парамонов И. А. Исследование вклада лучистой составляющей в эффективный коэффициент теплопроводности полупрозрачных жидкостей. — Автореф. канд. дис./ГНИ, Грозный, 1979.
1.24. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Методы расчета термодинамических и теплофизических свойств веществ по ограниченному объему опытных данных. — Холодильная техника, 1978, № 3, с. 21—25.
1.25. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Обобщенные уравнения для расчета вязкости и теплопроводности хладагентов. — Холодильная техника, 1980, № 6, с. 34—37, 61—62.
1.26. Простов В. Н., Костровский И. Л. Экспериментальное исследование теплопроводности паров углеводородов ароматического ряда. — Депонир. РЖ «Химия», 24Н-257; 25.12.1974.
1.27. Расторгуев Ю. Л., Геллер В. З. Новый вариант измерительной ячейки для определения теплопроводности жидкостей и газов по методу нагретой нити. — ИФЖ, 1967, т. 13, № 1.
1.28. Сысоев И. В., Отпущенников Н. Ф. Скорость звука в девяти молекулярных жидкостях в интервале давлений 1—8000 ат и температур 20—200 °С. — Ультразвук и физико-химические свойства вещества, 1979, вып. 13, с. 119—129.
1.29. Тимофеев Н. Е., Отпущенников Н. Ф. Акустические и некоторые термодинамические свойства четыреххлористого углерода на линии насыщения. — Ультразвук и физико-химические свойства вещества, 1975, вып. 9, с. 175—182.
1.30. Филиппов Л. П. Подобие свойств веществ. М.: Изд-во МГУ, 1978. — 255 с.
1.31. Экспериментальное исследование скорости звука в парах и жид-

костях/Е. П. Шелудяков, С. Г. Комаров, Я. Л. Колотов, А. Н. Соловьев. — В кн.: Исследование теплофизических свойств веществ. Новосибирск: Наука, 1967, с. 159—180.

1.32. Шелудяков Е. П., Колотов Я. Л., Шиляков А. А. Расчет дифференциального показателя адиабаты в насыщенных и перегретых парах жидкостей по скорости звука и плотности. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск: Наука, 1969, с. 130—141.

1.33. Шойтов Ю. С., Каримов Ж. Ф., Мелихов Ю. Ф. Упругие свойства четыреххлористого углерода. — Ультразвук и физико-химические свойства вещества, 1970, вып. 4, с. 161—166.

1.34. Шрайбер Л. С., Печенюк Н. Г. Температурная зависимость плотности некоторых органических жидкостей. — ЖФХ, 1965, т. 39, с. 429—430.

1.35. Agarwal D. K., Gopal R., Agarwal S. Surface tension of binary liquid mixtures. — J. Chem. Eng. Data, 1979, v. 24, N 3, p. 181—183.

1.36. Atake T., Chihara H. Heat capacity of solid carbon tetrachloride from 3 to 50 K. — J. Chem. Thermod., 1971, v. 3, p. 51—60.

1.37. Aziz R. A. Relative intermolecular energy parameters for the freons from sound velocity data. — AIChE Journal, 1974, v. 20, p. 817—818.

1.38. Babb S. E. Parameters in the Simon equation relating pressure and melting temperature. — Rev. Modern. Phys., 1963, v. 35, p. 400—413.

1.39. Barber E. J., Cady G. H. Vapor pressures of perfluoropentanes. — J. Phys. Chem., 1956, v. 60, p. 504—505.

1.40. Bean V. E., Wood S. D. The dual melting curves and metastability of CCl_4. — J. Chem. Phys., 1980, v. 72, N 11, p. 5838—5841.

1.41. Becker G., Kohler F. Ultraschalluntersuchungen über die Dimerisation von Essigsäure in Mischungen mit CCl_4. — Monatshefte Chem., 1972, v. 103, p. 556—570.

1.42. Benson M. S., Winnick J. Liquid phase PVTx properties of carbon tetrachloride-octamethylcyclotetrasiloxane binary mixtures. — J. Chem. Eng. Data, 1976, v. 21, N 4, p. 432—443.

1.43. Bobik M., Niepman R., Mariuns W. Thermodynamic quantities for liquid carbon tetrachloride. I. Sound velocities between 265 and 435 K and up to 62 MPa. — J. Chem. Thermod., 1979, v. 11., p. 351—357.

1.44. Braune H., Linke R. Über die innere Reibung einiger Gase und Dampfe III. Einfluss des Dipolmoments auf die Grösse Sutherlandschen Konstanten. — Z. phys. Chem. 1930, A, Bd. 148, N 3, p. 195—215.

1.45. Brostow W., Maynadier P. Temperature dependence of the isothermal compressibility of liquids. — High temperature science, 1979, v. 11, p. 7—21.

1.46. Burkat R. K., Richard A. J. Low-pressure studies of the isothermal compressibilities and specific volumes of organic liquids. — J. Chem. Thermod., 1975, v. 7, p. 271—277.

1.47. Campbell A. N., Chatterjee R. M. Critical constants and ortobaric densities of acetone, chloroform, benzene and carbon tetrachloride. — Canad. J. Chem. 1969, v. 47, p. 3890—3899. (erratum: 1970, v. 48, p. 503).

1.48. Collings A. F., Mills R. Temperature dependence of selfdiffusion for benzene and carbon tetrachloride. — Trans. Farad. Soc., 1970, v. 66, p. 2761—2766.

1.49. Collings A. F., McLaughlin E. Torsional crystal technique for the measurement of viscosities of liquid at high pressure. — Trans. Farad. Soc., 1971, v. 67, p. 340—352.

1.50. Light Scattering in carbon tetrachloride: liquid and plastic crystal phases/Djabourov M., Levy-Mannheim C., Leblond J., Papon R. — J. Chem. Phys., 1977, v. 66., p. 5748—5756.

1.51. Denny V. E., Smith R. L. Density and compressibility of CCl_4. — J. Chem. Eng. Data, 1967, v. 12, p. 394—396.

1.52. Denny V. E., Ferenbaygh R. Viscosity of carbon tetrachloride. — J. Chem. Eng. Data, 1967, v. 12, p. 397—398.

1.53. Diaz Pena M., McGlashan M. L. The compressibility of mercury, carbon tetrachloride and water. — Trans. Farad. Soc., 1959, v. 55, p. 2018—2024.

1.54. Djalalian W. H. Messungen der Wärmeleitzahl von Flüssigkeiten mit

einer Stationären Hitzdrahtmethode. — Kältetechnik, 1966, Bd. 18, N 11, s. 410—414.

1.55. Eucken A., Sarstedt B. Zur Kenntnis der Molwärme organischer Dämpfe. I. Das Meßfahren und Vorläufige Ergebnisse. — Z. Phys. Chem., 1941, Bd. 50B, s. 143—170.

1.56. Fortier S. L., Benson G. C., Picker P. Heat capacity of some organic liquids determined with the Picker flow calorimeter. — J. Chem. Thermod., 1976, v. 8, N 3, p. 289—299.

1.57. Francis P. G., McGlashan M. L. Second virial coefficients of vapor mixtures. — Trans. Farad. Soc., 1955, v. 51, p. 593—599.

1.58. Gibson R. E., Loeffler O. H. PVT relations in solutions. V. The energy-volume coefficients of CCl_4, H_2O and ethylene glycol. — J. Amer. Chem. Soc., 1941, v. 63, p. 898—906.

1.59. Gomez-Nieto M., Thodos G. Generalized vapor pressure equation for nonpolar substances. — Ind. Eng. Chem. (fundam.) 1978, v. 17, p. 45—51.

1.60. Hanks R. W., Gupta A. C., Yee C. K. Liquid phase p, v, T data excess volume data, constant volume excess thermodynamic functions and thermal pressures for ten binary mixtures. — Thermochim. Acta, 1978, v. 23, p. 57—72.

1.61. Harrison D., Moelwyn-Hughes E. A. The heat capacities of certain liquids. — Proc. Roy. Soc., 1957, v. 239A, p. 230—246.

1.62. Hawley S., Allegra J., Holton G. Ultrasonic-absorption and sound-speed data for nine liquid at high pressures. — J. Acoust. Soc. Amer., 1970, v. 47, N 1, part 2, p. 137—143.

1.63. Hicks J. F., Hooley J. G., Stephenson C. C. The heat capacity of carbon tetrachloride from 15 to 300 K. — J. Amer. Chem. Soc., 1944, v. 66, p. 1064—1067.

1.64. Hildebrand D. L., McDonald R. A. The heat of vaporization and vapor pressure of carbon tetrachloride. — J. Phys. Chem., 1959, v. 63, p. 1521—1522.

1.65. Himpan J. Die definitive forme der neuen thermischen Zustandgleichung nebst ihrem Stoffkonstanten von über 100 verschiedenen Stoffen. — Monatsh. Chem., 1955, Bd. 86, s. 259—268.

1.66. Generalized equation of state for gases and liquids/Hirschfelder J. O., Buehler R. J., Mc Gee H. A., Sutton J. R. — Ind. Eng. Chem., 1958, v. 50, N 3, p. 375—390.

1.67. Holder G. A., Whalley E. Experimental method and compressibility of carbon tetrachloride, benzene and cyclohexane. — Trans. Farad, Soc., 1962, v. 58, p. 2095—2107.

1.68. Höpfner A. et. al. Zum Triepelpunkt des Neopentanes. — Berichte Bunsenges Phys. Chem., 1979, v. 83, p. 1031—1035.

1.69. Horvath A. L. Critical properties of halogenated hydrocarbons: a correlation. — ASHRAE Journal, 1972, v. 14, p. 46—48.

1.70. Jeschke P., Josefiack C. PVT for tetrachlormethane and dilute solutions of phenol in CCl_4 at 293 and 333 K up to 200 MPa. — J. Chem. Thermod., 1979, v. 11, p. 511—512.

1.71. Kobe K. A., Lynn R. E. The critical properties of elements and compounds. — Chem. Rev., 1953, v. 52, p. 117—236.

1.72. Körosi G., Kovats E. Density and surface tension of 83 organic liquids. — J. Chem. Eng. Data, 1981, v. 26, p. 323—332.

1.73. Kudchadker A. P., Alani G. H., Zwolinski B. J. The critical constants of organic substances. — Chem. Rev., 1968, v. 68, p. 659—735.

1.74. Lageman R. T., Mc Millan D. R., Woolf W. E. Temperature variation of ultrasonic velocity in liquids. — J. Chem. Phys., 1949, v. 17, p. 369—373.

1.75. Lambert L. D. et al. Virial coefficients of some organic vapours. — Proc. Roy. Soc., 1949, v. 196A, p. 113—135.

1.76. Lee B. I., Kesler M. G. A generalized thermodynamic correlation based on three-parameter corresponding state. — AIChE Journal, 1975, v. 21, p. 510—526.

1.77. Mason H. L. Thermal conductivity of some industrial liquids from 0 to 100° C. — Trans. ASME, 1954, v. 76, p. 817—822.

1.78. Mc Cool M. A., Woolf L. A. Pressure and temperature dependence of

the selfdiffusion of carbon tetrachloride. — J. Chem. Soc., Faraday Trans. I, 1972, v. 68, p. 1971—1981.

1.79. McGovern E. W. Chlorohydrocarbon solvents. — Ind. Eng. Chem., 1943, v. 35, N 12, p. 1230—1239.

1.80. Miller S. A., Chloroform and carbon tetrachloride. — Chem. Proc. Eng., 1967, v. 48, N 4, p. 80—84.

1.81. Mopsik F. I Dielectric properties of slightly polar organic liquids as a function of P, V, T. — J. Chem. Phys., 1969, v. 50, N 6, p. 2559—2569.

1.82. Muller C. R., Ignatowski A. J. Equilibrium and transport properties of carbon tetrachloride-methylene chloride system. — J. Chem. Phys., 1960, v. 32, N 5, p. 1430—1434.

1.83. Perez Masia A., Alvarez M. D. Conductividad Calorifica de vapores organicos. — An real. soc. espan., fis. guim. 1962, v. B58, p. 3—12.

1.84. Perez Masia A., Diaz Pena M., Burriel Lluna J. A. Ecuacion de estado del virial de substancias organicas en fase vapor. — An real. soc. espan., fis. quim, 1964, v. B60, p. 229—240.

1.85. Rathbun R. E., Babb A. L. Selfdiffusion in liquids. III. Temperature dependence in pure liquids. — J. Phys. Chem., 1961, v. 65, p. 1072—1074.

1.86. Riedel L. Neue Warmeleitfahigkeit messung organischen flüssigkeiten. — Chem. Ing. Techn., 1951, Bd. 23, s. 321—336.

1.87. Richardson E. G., Tait R. I. Ratios of specific heat and high-frequency viscosities in organic liquids under pressure, derived from ultrasonic propagation. — Phil. Mag., 1957, v. 2, p. 441—454.

1.88. Rodgers A. S., Chao J., Wilhoit R. C., Zwolinski B. J. Ideal gas thermodynamic properties of eight chloro and fluoromethanes. — J. Phys. Chem. Ref. Data, 1974, v. 3, p. 117—140.

1.89. Sackman H., Kloos G. Die Volumenänderung beim schmelzen for Tetrachlorides der IV Gruppe. — Z. phys. Chem., 1958, Bd. 209, N 5/6, s. 319—325.

1.90. Seshadri D. N., Wiswanath D. S., Kuloor N. R. Thermodynamic properties of carbon tetrachloride. — J. Indian Inst. Sci, 1966, v. 48, p. 65—80.

1.91. Schamp H. W., Hastinqs J. R., Weismann S. New method for measuring liquid compressibilities. — Phys. Fluids, 1965, v. 8, N 1, p. 8—11.

1.92. Schmidt E., Leidenfrost W. Der Wärmetransport in flüssigen elektrischen nichtleern unter der einfluss elektrischen felder. — Chem. Ing. Techn. — 1954, Bd. 26, s. 35—43.

1.93. Sperry J. H., Mack E. J. The collision area of gaseous carbon tetrachloride molecule. — J. Amer. Chem. Soc., 1932, v. 54, N 3, p. 904—907.

1.94. Stull D. R. Vapor pressure of pure substances organic compounds. — Ind. Eng. Chem., 1947, v. 39, p. 517—540.

1.95. Tauscher W. Messung der Wärmeleitfähigkeit flussiger Kältemittel mit einen instationären Hitzdrathverfahren. — Kältetechnik, 1967, Bd. 19, N 9, s. 288—293.

1.96. Titani T. The viscosity of vapours of organic compounds. — Bull. Chem. Soc. Japan, 1933, v. 8, p. 255, 256.

1.97. Thompson P. A., Sullivan D. A. A simple formula for saturated vapor volume. — Ind. Eng. Chem., (fundamentals), 1979, v. 18, N 1, p. 1—7.

1.98. Thorp T. E., Rodger J. W. On the relations between the viscosity internal friction of liquids and their chemical nature. — Phil. Trans. Roy., 1894, A, v. 125, part 2, p. 397—400.

1.99. Toczylkin L. S., Young C. L. Vapor pressures of some liquids of quasi-spherical molecules near their critical points. — Aust. J. Chem., 1977, v. 30, p. 1591—1593.

1.100. Tree D., Leidenfrost W. Thermal conductivity. — Proc. S. Conf. NY, 1969, p. 611—612.

1.101. Tufeu R., Le Neindre B., Johanin P. Conductive thermique de quelques liquids. — Compt. rend Acad. Sci., 1966, v. 262, p. 229—240.

1.102. Venart J. E. A simple radial heat flow apparatus for fluid thermal conductivity measurements. — J. Sci. Instrum., 1964, v. 41, p. 727—731.

1.103. Vines R. G., Bennett L. A. The thermal conductivity of organic vapours. — J. Chem. Phys., 1954, v. 22, p. 360—366.

1.104. Watts H. A., Alder B. J., Hildebrand J. H. — J. Chem. Phys., 1955, v. 23, p. 659—664.
1.105. Wijk van W. R. et al. The influence of the temperature and the specific volume on the viscosity liquids. — Physica, 1940, v. 7, p. 45—56.
1.106. Wilhelm E., Zetter M., Sackman H. Molwärmen binärer Systeme aus Cyclohexan, Kohlenstofftetrachlorid. — Ber. Bunsenges. Phys. Chem., 1974, v. 78, p. 795—804.

К главе 2

2.1. Богданов С. Н., Иванов О. П., Куприянова А. В. Свойства рабочих веществ, теплоносителей и материалов, используемых в холодильной технике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1972. — 168 с.
2.2. Бондарев В. Н. Диаграмма давление — концентрация для смеси фреон-11 + фреон-12 — Тр. Всесоюзного научно-исследовательского института холодильного машиностроения, 1971, вып. 2, с. 157—160.
2.3. Геллер В. З., Иванченко С. И. Исследование вязкости фреона-11. — Холодильная техника и технология, 1973, вып. 16, с. 77—80.
2.4. Геллер В. З., Иванченко С. И., Передрий В. Г. Исследование теплопроводности и вязкости фреона-11. — Теплофизические свойства углеводородов, их смесей, нефтей и нефтяных фракций/Госстандарт, ГСССД, 1973, вып. 1, с. 132—137.
2.5. Гришков А. Я. Экспериментальное исследование теплоемкости c_p энергетических теплоносителей. — Автореф. канд. дис. ЭНИН, М., 1969. — 22 с.
2.6. Гришков А. Я., Сирота А. М. Экспериментальное исследование изобарной теплоемкости фреона-11 при сверхкритических параметрах состояния. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт, ГСССД, 1971, вып. 4, с. 33—43.
2.7. Гришков А. Я., Сирота А. М., Шраго З. Х. Аналитическое представление теплоемкости c_p чистых веществ в надкритической области фреон-11). — Там же, с. 44—49.
2.8. Груздев В. А., Шестова А. И., Селин В. В. Теплопроводность фреонов. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. — Новосибирск: Наука, 1969, с. 62—69.
2.9. Груздев В. А., Шестова А. И. Экспериментальное исследование теплопроводности фреонов-11, 12, 13, 21, 22, 23. — В кн.: Использование фреонов в энергетических установках/СО АН СССР, Новосибирск, 1974, с. 145—180.
2.10. Груздев В. А., Шумская А. И. Изобарная теплоемкость паров фреонов-11, 12, 13, 21, 22, 23. — Там же, с. 181—212.
2.11. Данилова Г. А. Теплопроводность жидких фреонов. — Холодильная техника, 1951, № 2, с. 22—28.
2.12. Дорохов А. Р., Кирияненко А. А., Соловьев А. Н. Поверхностное натяжение фреонов. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск: Наука, 1969, с. 43—61.
2.13. Клецкий А. В. Термодинамические свойства фреона-11. — Холодильная техника, 1967, № 1, с. 18—21.
2.14. Клецкий А. В. h — lg p-диаграмма фреона-11. — Холодильная техника, 1967, № 2, с. 61—62.
2.15. Кобелев В. П., Шаймарданов А. М. Экспериментальное исследование показателя преломления фреона-11. — Депонир. в ВИНИТИ 14.08.80 № 3592—80. — 10 с.
2.16. Колотов Я. Л., Соловьев А. Н., Шелудяков Е. П. Измерение скорости звука и расчет энтропии во фреоне-11. — ПМТФ, 1968, № 2, с. 141—145.
2.17. Комаров С. Г., Соловьев А. Н., Шелудяков Е. П. Скорость звука во фреонах на линии насыщения. — ПМТФ, 1967, № 5, с. 116—119.
2.18. Кременевская Е. А. Исследование термодинамических свойств фреона-11. — Автореф. канд. дис./ОТИХП, Одесса, 1973. — 19 с.
2.19. Кременевская Е. А., Ривкин С. Л. Кривая упругости фреона-11. —

Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт, ГСССД, 1975, вып. 8, с. 40—45.

2.20. Лавочник А. И., Соловей Р. Л. Вязкость фреонов и их смесей в жидком состоянии при атмосферном давлении. — Холодильная техника, 1980, № 8, с. 32—34.

2.21. Павлова И. А. Экспериментальное исследование основных свойств фреона-11. — В кн.: Холодильная техника. М.: Госторгиздат, 1955, с. 42—58.

2.22. Ривкин С. Л., Кременевская Е. А. Исследование плотности фреона-11. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1971, вып. 4, с. 5—17.

2.23. Ривкин С. Л., Кременевская Е. А. Исследование термических свойств паров фреона-11. — Изв. АН БССР, сер. физ.-энергетич. наук, 1972, № 4, с 59—64.

2.24. Ривкин С. Л., Левин А. Я., Израилевский Л. Б. Исследование коэффициента динамической вязкости фреона-11. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1971, вып. 4, с. 18—32.

2.25. Экспериментальное исследование коэффициента теплопроводности некоторых фреонов метанового ряда/А. Х. Садыков, Р. Г. Габдрахманов, В. П. Брыков, Г. Х. Мухамедзянов. — Тр. Казанского хим.-технолог. ин-та, 1971, вып. 47, с. 35—41.

2.26. Синицын Е. Н., Муратов Г. Н., Скрипов В. П. Поверхностное натяжение фреонов-11, 21 и 113. — Холодильная техника, 1971, № 10, с. 34.

2.27. Цветков О. Б. Коэффициенты теплопроводности перегретых паров фреонов метанового ряда. — Холодильная техника, 1969, № 2, с. 21—24.

2.28. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Полякова Н. А. Теплопроводность газообразных холодильных агентов. — Машины и аппараты холодильной, криогенной техники и кондиционирования воздуха. Л., 1978, вып. 3, с. 129—131.

2.29. Чернеева Л. И. Исследование теплопроводности фреонов. — Холодильная техника, 1952, № 3, с. 35—41, 55—58.

2.30. Шелудяков Е. П., Колотов Я. Л., Соловьев А. Н. Исследование скорости звука во фреонах на низких частотах методом стоячих волн в резонаторе. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск: Наука, 1969, с. 96—119.

2.31. Albright L. F., Galegar W. C., Jnnes K. K. Thermodynamic functions of chlorofluoro-methanes. — J. Amer. Chem. Soc., 1954, v. 76, p. 6017—6019.

2.32. Aziz R. A. Comment on the paper «Second Virial coefficient and the force constants of six halogen — substituted methanes. — J. Chem. Phys., 1973, v. 58, N 10, p. 4711—4712.

2.33. Benning A. F., McHarness R. C. Thermodynamic properties of fluorochloromethanes and ethanes. — Ind. Eng. Chem., 1939, v. 31, N 7, p. 912—916.

2.34. Benning A. F., McHarness R. C. Thermodynamic properties of fluorochloromethanes and ethanes. — Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 4, p. 497—499.

2.35. Benning A. F., McHarness R. C. p, v, T-relations of three fluorochloromethanes and trifluorotrichloroethane. — Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 5, p. 698—701.

2.36. Benning A. F., McHarness R. C. Orthobaric densities and critical constants of three fluorochloromethanes and trifluorotrichloroethane. — Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 6, p. 814—816.

2.37. Benning A. F., McHarness R. C., Markwood W. H., Smith W. J. Capacity of the liquid and vapor of three fluorochloromethanes and trifluorotrichloroethane. — Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 7, p. 977—980.

2.38. Benning A. F., Markwood W. H. The viscosities of «Freon» refrigerants. — Journal ASRE (Refrig. Eng.), 1939, April, p. 243—247.

2.39. Benning A. F., Markwood W. H. The viscosity of «Freon» refrigerants. — Refrig. Eng., 1939, v. 37, N 4, p. 199—205.

2.40. Chavez M., Tsimura R., Rio del F. Speed of sound in saturated liquid trichlorofluoromethane. — J. Chem. Eng. Data, 1981, v. 26, N 1, p. 1—2.

2.41. Döring R. Thermophysical properties of ammonia and of fluorinated

refrigerants R11 and R113. — In: Proc. seventh sympos. thermophys. prop., N.Y., 1977, p. 574—588.

2.42. Djalalian W. H. Measurements of the thermal conductivity of liquid refrigerants of low temperatures. — Bull. Inst. Intern. du Froid, Paris, 1964, Annexe 2, p. 153—159.

2.43. Eiseman B. J. *p*, *v*, *T* properties of the freon compounds. — Refrig. Eng., 1952, v. 60, N 5, p. 496—503.

2.44. Gelles E., Pitrer K. S. Thermodynamic functions of the halogenated methanes. — J. Amer. Chem. Soc., 1953, v. 75, p. 5259—5267.

2.45. Gordon D. T., Hamilton J. F., Fontaine W. E. An empirical equation for predicting the viscosity of liquid refrigerants. — ASHRAE Trans., 1969, v. 75, part I, p. 40—52.

2.46. Heide R. Die Oberflächenspannung von Halogen-kältemitteln. — Luft und Kältetechnik, 1973, v. 9, N 3, s. 125—127.

2.47. Herzka A., Pikthall J. Pressure packaging (aerosols). Lond., 1961, p. 234—241.

2.48. Hirschfelder J. O., McClure F. T., Weens I. F. Second virial coefficients and forces between complex molecules. — J. Chem. Phys., 1942, v. 10, p. 201—211.

2.49. Kestin J., Wakeham W. A. The viscosity of three polar gases. — Ber. Bunsenges. Phys. Chem., 1979, v. 83, p. 573—576.

2.50. Kruse H., Holdack-Janssen H. Experimentalle Ermittelung der thermodynamischen Zustandsgröpen von nichtuzeotropen Zweistoff-Kältemitteln. — Ki Klima+Kälte — Ingenieur, 1977, v. 5, N 9, p. 307—312.

2.51. Kunz R. G., Kapner R. S. Second virial coefficients from tabulated *p*, *v*, *T* data. — J. Chem. Eng. Data, 1969, v. 14, N 2, p. 190—191.

2.52. Malxotra B. R. Thermal conductivity of liquid refrigerants. — Modern. Refr., 1957, v. 60, p. 497—503.

2.53. Markwood W. H., Benning A. F. Thermal conductivity and heat transmission coefficients of «Freon» refrigerants. — Refr. Eng., 1943, v. 45, p. 95—101.

2.54. Meyer K. J. Über den Zusammenhang zwischen der Schallgeschwindigkeit und der Wärmeleitfähigkeit bei flüssigen fluor-chlor-derivaten des Methans und Äthans. — Kältetechnik, 1969, Bd. 21, N 9, s. 270—275.

2.55. Nemoto E., Kitazawa, Nagashima A. Thermal conductivity of refrigerants under high pressure. — Reito (Refrigeration), 1977, v. 52, N 593, p. 293—300.

2.56. Osborne D. W., Garner C. S., Doescher R. N., Iost D. M. The heat capacity, entropy, heats of fusion and vaporization and vapor pressure of fluorotrichloromethane. — J. Amer. Chem. Soc., 1941, v. 63, p. 3496—3499.

2.57. Powell R. W. Need for revision of accepted thermal conductivity values of certain refrigerants. — Modern. Refr., 1956, v. 59, p. 434—440.

2.58. Powell R. W., Challoner A. R. New measurements of the thermal conductivity of several liquid refrigerants of the fluorochloro-derivative types. — Proc. X Internat. Congress Refrig. Kopenhagen. 1959, v. 1, p. 382—394.

2.59. Powell R. W., Jaliffe B. W., Tye R. P., Langton A. R. The thermal conductivity of some liquid refrigerants. — Bull. Inst. Internat. du Froid. Paris., 1966, Annexe 2, p. 79—85.

2.60. Riedel L. Dampfdruckmessungen on monofluorotrichlormethan. — Z. ges Kälte — Ind., 1939, Bd. 46, N 12, s. 197—198.

2.61. Riedel L. Messung der Wärmeleitfähigkeit von organischen Flüssigkeiten, ins besondere von Kältemitteln. — Forsch. — Ing. Wes., 1940, Bd. 11, N 6, s. 340—348.

2.62. Rombusch U. K., Giesen H. Dampftafel des Kältemittels R11. — Kältetechnik, 1967, Bd. 19, N 9, s. 305—306.

2.63. Seiichi T., Hiroshi M., Akira N. Measurement of the thermal conductivity of liquids by transient hot-wire method. I. Measurements of atmospheric pressure. — Bull. JSME, 1978, v. 21, N 152, p. 273—278.

2.64. Watanabe K., Okada M. Surface tension of several halogenated hydrocarbons. — In: Proc. Seventh Sympos. on Thermophys. Prop. N. Y., 1977, p. 851—863.

2.65. Widmer F. Messung der Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten, insbe-

sondere Kältemitteln, nach einen instationären Verfahren. — Kältetechnik, 1962, Bd. 14, N 2, s. 38—43.

2.66. Witzell O. W., Johnson J. W. The viscosities of liquid and vapor refrigerants. — ASHRAE Trans., 1965, v. 71, part I, p. 30—38.

2.67. Zwaan J., Jonas J. Experimental evidence for the rough hard sphere model of liquids by high pressure NMR. — J. Chem. Phys., 1975, v. 62, N 10, p. 4036—4040.

К главе 3

3.1. Алешин Ю. П., Арефьева Л. Н., Луговцов В. В. Скорость звука и показатель изоэнтропы фреонов-12, 13, 12В1, 13В1, 22 и аммиака. — В кн.: Термодинамические свойства важнейших рабочих веществ холодильных машин/Под ред. И. И. Перельштейна; ВНИХИ, М., 1976, с. 7—12.

3.2. Бадылькес И. С. Свойства холодильных агентов. М.: Пищевая промышленность, 1974. — 174 с.

3.3. Войтенко А. К. Исследование теплопроводности некоторых фреонов в широком диапазоне параметров, включая критическую область. — Автореф. канд. дис./ГИИ, Грозный, 1980. — 22 с.

3.4. Геллер В. З. Исследование теплопроводности некоторых фреонов метанового ряда. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 162—176.

3.5. Геллер В. З., Артамонов С. Д. и др. Экспериментальное исследование коэффициента теплопроводности фреона-12. — ИФЖ, 1974, т. 27, № 1, с. 72—77.

3.6. Исследование коэффициентов вязкости некоторых сжиженных газов вблизи кривой насыщения./Геллер В. З., Карбанов Е. М., Гунчук Б. В., Захаржевский В. Я., Лапардин Н. И. — Газовая промышленность, 1976, № 3, с. 32—33.

3.7. Груздев В. А., Шестова А. И., Шумская А. И. Экспериментальное исследование теплопроводности и теплоемкости фреонов-12 и 21. — Тепло- и массоперенос. Т. 7. Переносные свойства веществ./ИТМО АН БССР, Минск, 1972, с. 25—29.

3.8. Груздев В. А., Шумская А. И. Экспериментальное исследование изобарной теплоемкости паров фреонов. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1976, вып. 8, с. 108—129.

3.9. Исследование коэффициента вязкости некоторых фреонов на линии насыщения/Б. В. Гунчук, Е. М. Карбанов, Н. И. Лапардин, В. Я. Захаржевский. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1977, вып. 11, с. 39—46.

3.10. Дорохов А. Р., Кирияненко А. А., Соловьев А. Н. Поверхностное натяжение фреонов. — ПМТФ, 1969, № 1, с. 93—96.

3.11. Ершова Н. С., Клецкий А. В. Сравнение экспериментальных и расчетных значений теплоемкости жидкого фреона-12. — Машины и аппараты холодильной, криогенной техники и кондиционирования воздуха/ЛТИ им. Ленсовета, 1978, вып. 3, с. 125—129.

3.12. Железный В. П. Методика расчета капиллярной постоянной галоидопроизводных углеводородов. — Депонент ВИНИТИ № 1033—78. — 14 с.

3.13. Загорученко В. А., Нгуен Тхань. Термодинамические свойства и уравнение состояния фреона-12. — Холодильная техника, 1969, № 3, с. 34—39.

3.14. Загорученко В. А., Нгуен Тхань. Уравнение состояния для фреона-12 и фреона-13. — Тр. Всес. научн.-техн. конф. по термодинамике./Теплофизические свойства веществ. Л., Изд. ЛТИХП, 1969, с. 37—40.

3.15. Комаров С. Г., Соловьев А. Н., Шелудяков Е. П. Пересечение температурных зависимостей скорости звука в жидкой и паровой фазах фреона-12 по линии насыщения вблизи критической точки. — ПМТФ, 1968, № 4.

3.16. Кубков А. Т. Экспериментальное определение теплопроводности раствора ф-12 + ф-С318. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1977, вып. 11, с. 47—54.

3.17. Ляховицкий М. М., Новиков И. И., Рощупкин В. В. Эксперименталь-

ное исследование эффекта Джоуля — Томсона. — Обзоры по теплофизическим свойствам веществ./ИВТАН СССР, 1981, вып. 2 (28), с. 81.

3.18. Перельштейн И. И. Экспериментальное исследование сжимаемости фреона-12. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1970, вып. 2, с. 172—179.

3.19. Перельштейн И. И. Термодинамические свойства фреона-12 и фреона-13. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1971, вып. 4, с. 65—95.

3.20. Перельштейн И. И. Скорость звука и показатель изоэнтропы в перегретых парах фреонов-12, 22 и 13. — Холодильная техника, 1973, № 3, с. 21—28.

3.21. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 253 с.

3.22. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Прогнозирование свойств малоизученных соединений и поиск перспективных рабочих веществ. — Тезисы докладов Всес. научн.-техн. конф. по повышению эффективности процессов и оборудования холодильной и криогенной техники./ЛТИХП, Л., 1981, с. 81.

3.23. Пугач А. К. Исследование температурной зависимости коэффициентов самодиффузии фреонов в жидкой фазе. Автореф. канд. дисс./Каз. ГУ, Алма-Ата, 1982.

3.24. Томбасов Е. А., Черепанов В. Я. Термодинамические свойства фреона-12 в диапазоне температур от —70 до +70 °С. — Тр. метрологич. ин-тов СССР/СНИИМ, 1970, № 6, с. 166—170.

3.25. Цветков О. Б. Исследование теплопроводности жидких фреонов. — ИФЖ, 1965, т. 9, № 6, с. 810—815.

3.26. Цветков О. Б. Теплопроводность газообразного дифтордихлорметана. — ИФЖ, 1969, т. 16, № 3, с. 510—515.

3.27. Цветков О. Б. Теплопроводность дифтордихлорметана в широкой области температур и давлений. — Тепло- и массоперенос. Т. 7. Переносные свойства веществ, Минск, 1972, с. 105—108.

3.28. Цветков О. Б., Чилипенок Ю. С., Данилова Г. Н. Теплопроводность бинарных смесей жидких фреонов. — Холодильная техника, 1976, № 12, с. 17—19.

3.29. Цветков О. Б., Чилипенок Ю. С. Экспериментальное исследование теплопроводности смеси фреонов методом монотонного разогрева. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1980, вып. 15, с. 66—76.

3.30. Цойман Г. И. Исследование термодинамических свойств аммиака и технически важных фторпроизводных углеводородов. — Автореф. канд. дис./Аз. ин-тут нефти и химии, Баку, 1961. — 26 с.

3.31. Цойман Г. И. Уравнение состояния дифтордихлорметана. — ИФЖ, 1963, т. 7, с. 121—123.

3.32. Чайковский В. Ф., Лось В. И. Второй вириальный коэффициент фреона-12. — Вопросы теплообмена и термодинамики, 1971, № 1, с. 84—90.

3.33. Чайковский В. Ф., Геллер В. З., Иванченко С. И. Вязкость дихлордифторметана. — Изв. вузов СССР. Нефть и газ, 1973, № 7, с. 111—112.

3.34. Шелудяков Е. П., Комаров С. Г. Исследование дисперсии звука вблизи критической точки. — В кн.: Исследование теплофизических свойств веществ. СО АН СССР, Новосибирск, 1970, с. 157—164.

3.35. Шумская А. И., Груздев В. А. Изобарная теплоемкость паров фреонов. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск: Наука, 1969, с. 35—42.

3.36. Amme R., Legwold S. Temperature dependence of sound dispersion in halo-methane gases. — J. Chem. Phys., 1959, v. 30, N 1, p. 163—167.

3.37. Afshar R., Sazena S. C. Transport properties of dichlorodifluoromethane in temperature range of 280 to 450 K. — Chem. Eng. Commun., 1980, v. 4, N 2.

3.38. Awberry J. H., Griffits E. The viscosity of some liquid refrigerants. — Proc. Phys. Soc., 1936, v. 48, part 3, p. 372—380.

3.39. Babb S. E., Scott C. J. Rough viscosities to 10000 bars. — J. Chem. Phys., 1964, v. 40, N 12, p. 3666—3668.

3.40. Baehr H. D., Hicken E. Die thermodynamischen Eigenschaften von R 12 im Kältetechnisch wichtigen Zustandsbereich. — Kältetechnik, 1965, Bd. 17, N 5, s. 143—150.

3.41. Buffington R. M., Gilkey W. K. Thermodynamic properties of dichloro-difluoromethane, a new refrigerant. I — Ind. Eng. Chem., 1931, v. 23, N 3, p. 254—256.

3.42. Buffington R. M., Fleischer J., Gilkey W. K. Thermodynamic properties of dichloro-difluoromethane. IV—V. — Ind. Eng. Chem., 1931, v. 23, N 11. p. 1290—1295.

3.43. Donaldson A. B. On the estimation of thermal conductivity of organic vapors. Data for some freons. — Ind. Eng. Chem. (fundamentals), 1975, v. 14, N 4, p. 325—328.

3.44. Elchardus E., Maestre M. Fluides frigorigenes fluores. — Genie Chemique, 1965, v. 93, N 1, p. 6—24.

3.45. Eucken A., Bertram A. Die Ermittelung der Molwärme einiger Gase bei tiefen Temperaturen nach der Wärmeleitfähigkeitsmethode. — Z. Phys. Chem., 1936, Bd. 31, s. 361—381.

3.46. Gallant R. W. Physical properties of hydrocarbons. — Hydrocarbon processing, 1968, v. 47, N 1, p. 135—142.

3.47. Gilkey W. K., Gerard F. W., Bixler M. E., Bichowsky F. R. Thermodynamic properties of dichloro-difluoromethane. II—III. — Ind. Eng. Chem., 1931, v. 23, N 4, p. 364—367.

3.48. Griffits E., Awberry J. H., Powell R. W. Physical properties of refrigerants. — Rep. food investigation board for the year 1938, p. 271—277.

3.49. Hajjar R. F., Mac Wood G. E. Determination of the second virial coefficients of six fluorochloromethanes. — J. Chem. Eng. Data, 1970, v. 15, p. 3—6.

3.50. Hwang Yu-Tang. Die spezifische wärme von Tetrafluoromethan, Difluorochlormethan, Tetrafluordichloräthan und Pentafluormonochloräthan in der Gasphase. — Kältetechnik, 1966, Bd. 18, N 9, s. 373—374.

3.51. Kamien C. Z., Witzell A. W. Effect of pressure and temperature on the viscosity of refrigerants in vapor phase. — ASHRAE Trans., 1959, v. 65, N 1693, p. 663—674.

3.52. Kells, L. F., Orfeo S. R., Mears W. H. Thermodynamic properties of dichloro-difluoromethane. — Refrig. Eng., 1955, v. 63, N 10, p. 46—50.

3.53. Keyes A. F. Thermal conductivity of gases. — Trans. ASME, 1954, v. 76, p. 808—817.

3.54. Kokernak R. P., Feldman C. L. Velocity of sound two-phase flow of R 12. — ASHRAE Journal, 1971, N 7, p. 59, 1972, N 2, p. 35—38.

3.55. Kubota H., Tanaka Y., Makita T. Compressibility of fluorochlorocarbons by the Burnett method. — Proc. fourth Internat. Confer. of high pressure. Kyoto, 1974, p. 538—542.

3.56. Kumagai A., Iwasaki H. p, v, T relationships of several polar liquids. — J. Chem. Eng. Data, 1978, v. 23, N 3, p. 193—195.

3.57. Laine P. Prüfung von Kältemaschinenteilen auf Dichtheit. — Kältetechnik, 1953, Bd. 5, N 6, s. 173.

3.58. Latto B., Hesoun P., Asrani S. C. Absolute viscosity and molecular parameters for R13, R500, R12 and R22. — In: Proc. fifth symposium on Thermophys. Prop. N. Y., 1970, p. 177—185.

3.59. Makita T. The viscosity of freon under pressure. — Rev. Phys. Chem. (Japan), 1954, v. 24, p. 3213—3227.

3.60. Masi J. F. Thermodynamic properties of gaseous freon-12. — J. Amer. Chem. Soc., 1952, v. 74, p. 4738—4741.

3.61. Masia A. P., Bracero A., Rienda B. J. M. Variacion de la conductividad calorifica con la presion en ocho derivados halogenades del metano. I. — Anal. real. soc. espan. fis. y quim., 1964, A, v. 60, p. 89—101.

3.62. McHarness R. C., Eiseman B. J., Martin J. J. The new thermodynamic properties of freon-12. — Refrig. Eng., 1955, v. 63, N 9, p. 32—44.

3.63. Michels A., Wassenaar T., Wolkers G. T., Prins C., Klundert L. p, v, T data and thermodynamic properties of freon-12 and freon-13 at tempe-

ratures between 0—150° C, and a pressures up to 400 atm. — J. Chem. Eng. Data, 1966, v. 11, p. 449—452.

3.64. Neilson E. F., White D. The heat of vaporisation and solution of a binary mixture of fluorocarbons. — J. Phys. Chem., 1959, v. 63, p. 1363—1365.

3.65. Nierode D. E., Lewis J. L., Gaggioli R. A., Obert E. F. Acoustic isotherms for Ar, N_2, CH_4, CF_4, CCl_2F_2 and their mixtures. — AIChE Journal, 1970, v. 16, p. 472—477.

3.66. Oguchi K. Experimental study of p, v, T-relationships of dichlorodifluoromethane (R12) in liquid state. — Preprint XV Int. Congress of Refrigeration. Venezia, 1979, B 1,27 (4 p).

3.67. Phillips T. W., Murphy K. P. Liquid viscosity of halocarbons. — J. Chem. Eng. Data, 1970, v. 15, p. 304—308.

3.68. Poole G. R., Aziz R. A. Sound velocity in liquid CCl_2F_2 and the low of corresponding states. — AIChE Journal, 1972, v. 18, p. 430—432.

3.69. Prasad M. Low pressure compression factors for R12 gas. — J. Chem. Eng. Data, 1981, v. 26, N 4, p. 361—362.

3.70. Riedel L. Bestimmung der Spezifischen Wärme von flüssigen difluorodichloromethan. — Z. ges. Kälte. Ind. 1936, Bd. 46, s. 105—106.

3.71. Rombusch U. K., Giesen H. Dampftafel des Kältemittels R12. — Kältetechnik, 1968, Bd. 20, N 1, s. 29—30.

3.72. Sale P. Mesure du la conductivité thermique des fluides frigorigènles par la methode du fil chauffant en rigimes variable. — Bull. Inst. Internat. du Froid. Paris, 1964, Annexe 2, p. 145—150.

3.73. Sherrat G. G., Griffits E. A hot-wire method for thermal conductivities of gases. — Phil. Mag., 1939, v. 27, p. 68—73.

3.74. Srichand M., Tirunarayanan M., Ramachandran A. Studies of the viscosity of mixtures of R12 and R22 vapours. — ASHRAE Journal, 1970, p. 61—66.

3.75. Steinle H. Über Oberflachenspannung von Kältemitteln, Kältemaschinenölen und deren Gemischen. — Kältetechnik, 1960, Bd. 12, № 11, s. 334—339.

3.76. Thermophysical properties of refrigerants (R12, Dichlorodifluoromethane). Japanese Assoc. Refrig., Tokyo, 1979.

3.77. Tsvetkov O. B. Experimental determination of the thermal conductivity of fluids by coaxial-cylinder apparatus. — J. Test. Eral, Jteva, 1974, v. 2, N 4, p. 226—231.

3.78. Venart J. E., Mani N. The thermal conductivity of refrigerant-12. — Trans. CSME, 1975, v. 3, N 1, p. 1—9.

3.79. Watanabe K., Tanaka T., Oguchi K. Compressibility and virial coefficients R12 with Burnett. apparatus. — In: Proc. seventh Sympos. on Thermophys. Prop. N. Y., 1977, p. 470—479.

3.80. Watson J. T. Thermophysical properties of refrigerant R12. — Nat. Eng. Lab., Edinburg, 1975.

3.81. Woodburn J., Mettrey M. T., Hoa B. L. Velocity of sound measurement in refrigerant-12. — ASHRAE Journal, 1966, N 9, p. 74—77.

3.82. Žaloudik P. Prispévek k mereni viscosity pluna Höpplerovým viscosimetren. — Chem. Prusl., 1962, v. 12 (37), N 1, p. 81—83.

К главе 4

4.1. Алтунин В. В., Гадецкий О. Г. Уравнение состояния и термодинамические свойства жидкого и газообразного фреона-22. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1973, вып. 7, с. 115—134.

4.2. Алтунин В. В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. М.: Изд-во стандартов, 1975, 546 с.

4.3. Анисимов В. Н. Исследование термодинамической эффективности дроссельных криогенных систем на смесях веществ. — Автореф. канд. дис./ОТИХП, Одесса, 1980. — 24 с.

4.4. Геллер В. З., Передрий В. Г. Исследование теплопроводности фреонов-13 и 23. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1975, № 2, с. 113—116.

4.5. Геллер В. З. Теплопроводность некоторых жидких фреонов при низ-

ких температурах. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1976, вып. 9, с. 147—161.

4.6. Геллер В. З., Поричанский Е. Г., Светличный П. И., Элькин Ю. Г. Плотность и уравнения состояния жидких фреонов-13, 22, 23 и 152А. — Холодильная техника и технология, 1979, вып. 29, с. 43—48.

4.7. Геллер В. З. Исследование вязкости фреонов метанового, этанового и пропанового рядов. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1980, вып. 15, с. 89—114.

4.8. Данилова Г. Н. Таблицы теплофизических свойств фреона-13. — Холодильная техника, 1966, № 3, с. 61—62.

4.9. Егоров А. В., Лавренченко Г. К. Экспериментальное исследование изотермического дифференциального дроссель-эффекта сжатых криогенных газов. — Холодильная техника и технология, 1974, вып. 20, с. 84—89.

4.10. Запорожан Г. В., Геллер В. З. Экспериментальное исследование коэффициента теплопроводности фреонов-13, 14 и их смеси при низких температурах. — ЖФХ, 1977, т. 51, № 5, с. 1056—1059.

4.11. Иванченко С. И., Бондарь Г. Е., Геллер В. З. Экспериментальное исследование вязкости фреона-13 и 14. — Холодильная техника и технология, 1974, вып. 19, с. 98—102.

4.12. Муратов Г. Н., Скрипов В. П. Капиллярная постоянная и поверхностное натяжение фреона-13. — ЖФХ, 1975, т. 49, № 8, с. 2148 (Депонент ВИНИТИ № 1317 — Деп. от 15.05.75).

4.13. Нгуен Тхань. Исследование термодинамических свойств и составление диаграмм состояния Ф-12, 13, 22 и их смесей для расчета холодильного и энергетического оборудования. — Автореф. канд. дис./ОИИМФ, Одесса, 1969. — 23 с.

4.14. Перельштейн И. И. К методике составления уравнения состояния реального газа. — Холодильная техника, 1966, № 9, с. 34—39.

4.15. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. — В кн.: Термодинамические свойства важнейших рабочих веществ холодильных машин: Сб. тр. ВНИХИ. М., 1976, с. 13—40.

4.16. Петров Е. К., Клименко Н. А., Алтунин В. В. Уравнения состояния и термодинамические свойства трифторхлорметана и тетрафторметана. — Термодинамические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1981, вып. 17, с. 47—63.

4.17. Петров Е. К., Рассказов Д. С., Саньков В. И. и др. Исследование термических свойств смеси фреонов R13—R23 в интервале температур 273—423 К при давлениях до 20 МПа. — Депонир. ВИНИТИ, № 3301—80, 1980. — 16 с.

4.18. Рассказов Д. С., Петров Е. К., Ушмайкин Э. Р. Термические свойства фреона-13. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1978, вып. 13, с. 49—56.

4.19. Рассказов Д. С., Петров Е. К., Ушмайкин Э. Р. Термодинамические свойства фреона-13. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1979, вып. 14, с. 7—19.

4.20. Рассказов Д. С., Утенков В. Ф. Экспериментальное исследование изотермического дроссель-эффекта фреона-13. — Тр. МЭИ, 1979, вып. 424, с. 42—45.

4.21. Садыков А. Х., Брыков В. П., Мухамедзянов Г. Х. Теплопроводность низкотемпературных фреонов метанового ряда. — Тепло- и массообмен в химической технологии, 1975, вып. 3, с. 31—35.

4.22. Семенова А. И., Циммерман С. С., Циклис Д. С. Мольные объемы фреона-13 при высоких давлениях и температурах. — ЖФХ, 1973, т. 47, № 6, с. 1537—1538.

4.23. Соловьев Г. В., Шавандрин А. М., Столяров Н. Н. Экспериментальное исследование теплофизических свойств фреонов-13, 13В1 и С318. — Тезисы докладов VI Всес. конф. по теплофиз. свойствам веществ. Минск, 1978, с. 120—121.

4.24. Утенков В. Ф. Экспериментальное исследование изотермического дроссель-эффекта фреонов-13, 14. — Автореф. канд. дис./МЭИ, М., 1976. — 24 с.

4.25. Ушмайкин Э. Р. Экспериментальное исследование плотности фреонов-13 и 23. — Автореф. канд. дис./МЭИ, М., 1976. — 20 с.

4.26. Фирсов Г. И. Экспериментальное исследование акустических свойств фреонов метанового ряда. — Ультразвук и физико-химические свойства вещества, 1973, вып. 7, с. 148—155.

4.27. Ходеева С. М., Губочкина И. В. Пограничные кривые жидкость — газ вблизи критических точек фреона-13 и фреона-23. — ЖФХ, 1977, т. 51, № 7, с. 1708—1711.

4.28. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Полякова И. А. Теплопроводность газообразных фреонов при атмосферном давлении. — В кн.: Машины и аппараты холодильной, криогенной техники и кондиционирования воздуха. ЛТИХП, Л., 1976, с. 179—182.

4.29. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Васильков А. И. Результаты измерений теплопроводности газообразных фреонов методом нагретой нити. — Машины и аппараты холодильной, криогенной техники и кондиционирования воздуха./Лен. технолог. ин-т, 1977, вып. 2, с. 54—56.

4.30. Циклис Д. С., Прохоров В. М. Фазовые равновесия в системах, содержащих соединения фтора. — ЖФХ, 1967, т. 41, № 9, с. 2195—2199.

4.31. Цойман Г. И. Уравнение состояния фреона-13. — Холодильная техника, 1959, № 1, с. 37—39.

4.32. Чайковский В. Ф., Геллер В. З., Бондарь Г. Е. Вязкость фреона-13 при низких температурах. — Холодильная техника и технология, 1977, вып. 25, с. 66—72.

4.33. Шавандрин А. М., Ли С. А. Экспериментальное исследование параметров температура — плотность на линии насыщения фреона-13. — ИФЖ, 1979, т. 37, № 5, с. 830—834.

4.34. Шелудяков Е. П. Скорость звука и термодинамические свойства веществ. — В кн.: Исследования теплофизических свойств веществ. Новосибирск: Наука, 1967, с. 181—195.

4.35. Элькин Ю. Г. Экспериментальное исследование термических свойств некоторых фреонов метанового ряда при низких температурах. — Автореф. канд. дис./ГНИ, Грозный, 1980. — 24 с.

4.36. Albright L. F., Martin J. J. Thermodynamic properties of Chlorotrifluoromethane. — Ind. Eng. Chem., 1952, v. 44, p. 188—198.

4.37. Ambrose D. A comparison of three vapor-pressure equations. — J. Chem. Thermod., 1978, v. 10, p. 765—769.

4.38. Bishop P. J., Liley P. E. Planar correlations between Lennard-Jones m-6 Potential parameters and molecular structure. — In: Proc. sixth sympos. thermophys. prop. NY, 1973, p. 111—116.

4.39. Clifford A. A., Gray G., Scott A. C. Viscosities of $CFCl_3$, CF_3Cl, $CHFCl_2$, CHF_2Cl and CHF_3 from 373 to 570 K. — J. Chem. Soc., Faraday Trans I, 1979, v. 75, p. 1752—1756.

4.40. Grigull U., Straub J. Die Temperaturabhängigkeit der oberflächenspannung insbesondere im kritischen Gebiet. — Progress m Heat a Mass Transfer, 1969, v. 2, p. 151—162.

4.41. Harris K. R. The density dependence of the selfdiffusion coefficients of chlorotrifluoromethane near the critical temperature. — Physica, 1978, v. 93 A, N 3/4, p. 593—610.

4.42. Hawort W. S., Sutton L. E. The second density virial coefficients of some polar gases. — Trans. Farad. Soc., 1971, v. 67, p. 2907—2914.

4.43. Heide R. Ein Druckfestes Viscosimeter zur Messung der Viscosität von niederviskosen Flussigkeiten. — Exper. Techn. Physik, 1980, v. 28, N 5, p. 477—483.

4.44. Katz J. L. Condensation of a supersaturated vapor III. — J. Chem. Phys., 1976, v. 65, p. 382—392.

4.45. Latto B. Viscosity of R12, R13, R13B1, R22 and R500 in the vapor phase. — In: Proc. seventh sympos. on thermophys. prop. — NY, 1977, p. 705—711.

4.46. Mollerup J., Fredenslund A. Vapor-liquid equilibria in the freon-12 — freon-13 system. — J. Chem. Eng. Data, 1976, v. 21, p. 299—301.

4.47. Experimental study of p,v,T-properties of fluorocarbon refrigerants R13/Oguchi K., Tanishita J., Watanabe K., Yamaguchi T., Sasayma A. — Bull. Japan Soc. Mech. Eng., 1975, v. 18, N 126, p. 1448—1464.

4.48. Phillips T. W., Murphy K. P. Liquid viscosity of halogenated refrigerants. — ASHRAE Trans., 1970, v. 77, part II, N 2152, p. 146—156.

4.49. Proust P. C., Stein F. P. Vapor-liquid of carbon tetrafluoride-chlorotrifluoromethane system at 199,80 K. — J. Chem. Eng. Data, 1979, v. 24, p. 341—343.

4.50. Rathjen W., Straub J. Temperature dependence of surface tension, coexistence curve and vapor pressure CO_2, $CClF_3$ and SF_6. — In: Heat transfer in boiling. — Wash., 1977, p. 425—452.

4.51. Riedel L. Bestimmung der thermischen Eigenschaften von Trifluoromonochlormethan. — Z. ges. Kälte — Ind., 1941, Bd. 48, s. 9—13.

4.52. Riedel L. Berechnung der Dampftafel von trifluormonochlormetan. — Z. ges. Kälte-Ind., 1941, Bd. 48, s. 89—92.

4.53. Rombusch U. K., Giesen H. Dampftafel des Kältemittels R13,. — Kältetechnik, 1968, Bd. 20, N 2.

4.54. Ruff O., Keim R. Fluorierung von Verbindungen des Kohlenstoffs. — Z. anorg. allgem. Chem., 1931, Bd. 201, s. 249—258.

4.55. Sengers Levelt J. M., Straub J., Vicentini-Missoni M. Coexistence curves of CO_2, N_2O and $CClF_3$ in the critical region. — J.Chem. Phys., 1971, v. 54, p. 5034—5050.

4.56. Staveley L. A., Lobo L. Q., Calado J. C. Triplepoints of low melting substances and their use in cryogenic work. — Cryogenics, 1981, v. 21, N 3, p. 131—144.

4.57. Stein F. P., Proust P. C. Vapor-liquid equilibria of the trifluoromethane-trifluorochloromethane system. — J. Chem. Eng. Data, 1971, v. 16, p. 389—393.

4.58. Straub J. Dichtemessungen am kritischen Punkt mit einer optischen Methode bei reinen Stoffen und Gemischen. — Diss. Techn. Univ. München, 1965.

4.59. Straub D., Waibel R. Ein einfaches Verfahren zur genauer Bestimmung des zweiten Virialkoeffizienten binärer Gasgemische. — Chem. Eng. Sci., 1973, v. 28, p. 427—437.

4.60. Sutter H., Cole R. H. Dielectric and pressure virial coefficients of imperfect gases. I. — J. Chem. Phys. 1970, v. 25, p. 132—139.

4.61. Tanaka Y., Kubota H., Makita T., Okazaki H. Viscosity of binary gaseous mixtures at moderate pressures. — J. Chem. Eng. Japan, 1977, v. 10, p. 83—88.

4.62. Thornton N., Burg A., Schlesinger H. The behaviour of dichlorodifluoromethane and of chlorotrifluoromethane in the electric discharge. — J. Amer. Chem. Soc., 1933, v. 55, p. 3177—3182.

4.63. Vanderkooi W. N., Vries T. The heat capacity of gases at low pressure. — J. Phys. Chem., 1956, v. 60, p. 636—639.

4.64. Venart L. E., Mani N., Paul R. V. The thermal conductivity of the refrigerant-13. — Proc. 14-th Internat. Conference on thermal conductivity. — NY-Lond.: Plenum Press, 1976, p. 287—298.

К главе 5

5.1. Алтунин В. В. Применение новой методики обработки измерений для обобщения экспериментальных данных по вязкости фреона-22. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1974, вып. 8, с. 129—141.

5.2. Алтунин В. В., Бондаренко В. Ф., Кузнецов Д. О. Феноменологический метод расчета энтальпии сжатых газовых смесей. — Теплофизика высоких температур, 1974, т. 12, № 6, с. 1177—1183.

5.3. Алтунин В. В. Теплофизические свойства тетрафторметана на линиях равновесия жидкость — пар. — Тр. МЭИ, 1979, вып. 451, с. 3—7.

5.4. Алтунин В. В. Уравнение состояния тетрафторметана. — Тр. МЭИ, 1981, вып. 524, с. 3—7.

5.5. Благой Ю. П., Бутко А. Е., Михайленко С. А., Якуба В. В. Скорость звука в жидких пропилене, четырехфтористом углероде и аммиаке. — ЖФХ, 1968, т. 42, № 5, с. 1075—1078.

5.6. Благой Ю. П., Сорокин В. А. Изотермическая сжимаемость жидких четырехфтористого углерода и пропилена. — УФЖ, 1970, т. 15, № 11, с. 1860—1866.

5.7. Войтович Е. И., Толкачев А. И., Безуглый П. А., Ващенко Л. А. Скорость ультразвука в твердом тетрафторметане. — УФЖ, 1971, т. 16, № 6, с. 939—942.

5.8. Гасан В. М., Прохватилов А. И., Крупский И. Н. Тепловое расширение твердого тетрафторуглерода. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1976, вып. 9, с. 96—100.

5.9. Геллер В. З., Передрий В. Г. Исследование теплопроводности фреона-21 и фреона-14. — Холодильная техника и технология, 1974, вып. 19, с. 102—106.

5.10. Плотность некоторых жидких фреонов на линии насыщения/В. З. Геллер, Е. Г. Поричанский, П. И. Светличный и др. — Холодильная техника и технология, 1980, № 2, с. 42—44.

5.11. Иванченко С. И. Исследование динамической вязкости фреонов метанового и этанового рядов. — Автореф. канд. дис./ОТИХП, Одесса, 1974. — 31 с.

5.12. Кессельман П. М., Онуфриев И. В., Сигал Н. М. О критериях подобия термодинамических свойств жидкостей. Термические свойства жидких фреонов-11, 12, 13, 14. — Холодильная техника и технология, 1980, вып. 31, с. 59—66.

5.13. Кострюков В. Н., Саморуков О. П., Стрелков П. Г. Термодинамические исследования при низких температурах. — ЖФХ, 1958, т. 32, № 6, с. 1354—1361.

5.14. Кочубей В. Ф., Моин Ф. Б. Определение газокинетических диаметров молекул фторметанов. — ЖФХ, 1978, т. 52, № 1, с. 15—17.

5.15. Лагуткин О. Д., Куропаткин Е. И., Соколова Л. А. Термические данные фреона-14 в состоянии насыщения. — Холодильная техника и технология, 1974, вып. 19, с. 94—98.

5.16. Лагуткин О. Д., Куропаткин Е. И., Соколова Л. А. Уравнение состояния и калорические величины фреона-14 в области насыщения. — Холодильная техника и технология, 1974, вып. 20, с. 94—97.

5.17. Ленский Л. Р. Исследование коэффициентов взаимной диффузии фреонов метанового ряда в азот. — Автореф. канд. дис./КазГУ, Алма-Ата, 1978. — 19 с.

5.18. Михайленко С. А., Благой Ю. П. Скорость звука в сжиженных газах и закон соответственных состояний. — ЖФХ, 1968, т. 42, № 5, с. 1079—1084.

5.19. Михайленко С. А., Якуба В. В. Самодиффузия и ядерная магнитная релаксация в жидких смесях CH_4—CF_4. — УФЖ, 1981, т. 26, № 5, с. 784—790.

5.20. Ноздрев В. Ф., Фирсов Г. И. Исследование скорости распространения и коэффициента поглощения ультразвуковых волн в некоторых фреонах. — Ультразвук и физико-химические свойства вещества, 1972, вып. 6, с. 38—46.

5.21. Пашков В. В. Поверхностное натяжение и межмолекулярное взаимодействие в сжиженных газах и их растворах. — Автореф. канд. дис./ФТИНТ АН УССР, Харьков, 1970.

5.22. Рассказов Д. С., Бабиков Ю. М., Филатов Н. Я. Экспериментальное исследование вязкости некоторых фреонов метанового ряда. — Труды МЭИ, вып. 234, 1975, с. 90—95.

5.23. Рассказов Д. С., Бабиков Ю. М., Филатов Н. Я. Исследование вязкости фреонов-14, 21, 23 и 113. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1979, вып. 14, с. 24—32.

5.24. Рассказов Д. С., Утенков В. Ф. Экспериментальное исследование изотермического дроссель-эффекта и термодинамические свойства фреона-14. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт; ГСССД, 1978, вып. 13, с. 39—49.

5.25. Светличный П. И., Поричанский Е. Г. Исследование термодинамических свойств фреона-14. — Изв. вузов СССР, Энергетика, 1980, № 1, с. 118—121.

5.26. Светличный П. И. Исследование термодинамических свойств фреонов-14 и 152А. Автореф. канд. дис./ОТИХП, Одесса, 1982.

5.27. Светличный П. И. Исследование сжимаемости газообразного фреона-14 — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1982, № 6, с. 74—77.

5.28. Таран В. Н. О втором вириальном коэффициенте фреона-14. — Холодильная техника и технология, 1967, вып. 4, с. 35—40.

5.29. Таран В. Н. К расчету термодинамических свойств фреона-14. — Холодильная техника и технология, 1968, вып. 6, с. 44—47.

5.30. Толкачев А. М., Войтович Е. И., Манжелий В. Г., Гаврилко В. Г. Тепловое расширение твердых CF_4 и CO_2. — Физика конденсированного состояния: Сб. тр. ФТИНТ АН УССР, 1970, вып. 10, с. 107—119.

5.31. Филатов Н. Я. Экспериментальное исследование вязкости фреонов-14, 21, 23. — Автореф. канд. дис./МЭИ, М., 1975. — 32 с.

5.32. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А. Теплопроводность газообразных хладонов: 50, 10, 11, 12, 13, 14. — Машины и аппараты холодильной, криогенной техники и кондиционирования воздуха, 1981, вып. 5, с. 121—125.

5.33. Шеломенцев А. М. Обобщенный метод расчета теплоемкости жидкостей на линии насыщения. — Теоретические основы химической технологии, 1979, т. 13, № 1, с. 50—53.

5.34. Abbis C. P., Knobler C. M., Pings C. J. Refractive index and Lorentz-Lorenz function for saturated Ar, CH_4 and CF_4. — J. Chem. Phys., 1965, v. 42, p. 4145—4149.

5.35. Aziz R. A., Lim C. C., Bowman D. H. Velocity of sound in liquid CF_4. — Can. J. Chem., 1967, v. 45, p. 1037—1044.

5.36. Bagatskii M. I., Manzhelii V. G., Popov V. A. The heat capacity of solid CF_4. — Phys. Stat. Sol., 1970, v. 37, p. 65—72.

5.37. Bose T. K., Soshanski J. S., Cole R. H. Dielectric and pressure virial coefficients of imperfect gases. V. — J. Chem. Phys., 1972, v. 57, p. 3592—3595.

5.38. Brokaw R. S., O'Neal C. Relation between thermal conductivity and viscosity for nonpolar gases. — Phys. Fluids, 1963, v. 6, p. 1675—1682.

5.39. Byers W. H. Specific heats of carbontetrafluoride from supersonic measurements. — J. Chem. Phys., 1943, v. 11, p. 348—350.

5.40. Choy P., Raw C. J. Thermal conductivity of some polyatomic gases at moderately high temperatures. — J. Chem. Phys., 1966, v. 45, p. 1413—1417.

5.41. Clifford A. A., Dickinson E., Gray P. Thermal conductivities of gaseous alkane + perfluoroalkane mixtures. — J. Chem. Soc., Faraday Trans. I, 1976, v. 72, N 9, p. 1997—2006.

5.42. Cope A. F., Reamer H. H., Pings C. J. The heat capacity of the binary liquid mixture tetrafluoromethane-trifluoromethane near the upper consolute point. — Ber. Bunsenges. Phys. Chem., 1972, Bd. 76, N 3/4, s. 318—320.

5.43. Croll I. M., Scott R. L. Phase equilibria and volume changes in the CH_4-CF_4 system. — J. Phys. Chem., 1958, v. 62, p. 954—957.

5.44. Dawe R. A., Maitland G. C., Smith E. B. High temperature viscosities and intermolecular forces of quasi-spherical molecules. — Trans. Farad. Soc., 1970, v. 66, p. 1955—1965.

5.45. Douslin D. R., Harrison R. H., Moore R. T., McCullough I. P. Tetrafluoromethane: p, v, T and intermolecular potential energy relations. — J. Chem. Phys., 1961, v. 35, p. 1357—1366.

5.46. Douslin D. R. Pressure-volume-temperature relations and intermolecular potentials for methane and tetrafluoromethane. — In: Progress Intern. Res. Thermod. and Transp. Prop. NY, 1962, p. 135—146.

5.47. Dymond J. H., Smith E. B. The virial coefficients of gases. A critical compilation. — Oxford: Clarendon Press, 1969 — 231 p.

5.48. Enokido H., Shinoda T., Mashiko Y. Thermodynamic properties of carbon tetrafluoride from 4K to its melting point. — Bull. Chem. Soc. Japan, 1969, v. 42, p. 3415—3421.

5.49. Eucken A., Schröder E. Calorische Tieftemperaturmessungen an einigen Fluoriden. — Z. phys. Chem., B., 1938, Bd. 41, s. 307—318.

5.50. Genot B. Effusion thermique et viscosite du tetrafluoromethane gazeux. — J. Chim. Phys., 1970, v. 67. p. 1322—1331.
5.51. Genot B., Duval X. Pression de sublimation du tetrafluoromethane. — J. Chim. Physique, 1970, v. 67, p. 1332—1335.
5.52. Gough D. W., Matthews G. P., Smith E. B. Viscosity of nitrogen and certain gaseous mixtures at low temperatures. — J. Chem. Soc., Faraday Trans.
I, 1976, v. 72. N 3, p. 645—653.
5.53. Hamann S. D., Lambert J. A. The behaviour of fluids of quasi-spherical molecules. — Austral. J. Chem, 1954, v. 7, p. 1—17.
5.54. Harrison R. H., Douslin D. R. Tetrafluoromethane. Thermodynamic properties of the real gas. — J. Chem. Eng. Data, 1966, v. 11. p. 383—388.
5.55. Hellemans J. M., Kestin J., Ro S. T. The viscosity of CH_4, CF_4 and SF_6 over a range of temperatures. — Physica, 1973, v. 65, p. 376—380.
5.56. Hermans L. J. et al. The heat conductivity of polyatomic gases in magnetic fields. — Physica, 1970, v. 50, p. 410—432.
5.57. Holleran E. M., Hammens J. P. A three-parameter equation of state for gases. — Cryogenics, 1975, v. 15, N 2, p. 95—102.
5.58. Hwang Y. T., Martin J. J. The constant-volume heat capacity of gaseous tetrafluoromethane. — AIChE Journal, 1964, v. 10, p. 89—91.
5.59. Johnson M. W., Liley P. E. Correlations for the Prandtl number of saturated liquids, saturated vapor and dilute gases. — In: Proc. seventh Sympos. Thermophys. Prop., NY, 1977, p. 739—743.
5.60. Juris K., Wenzel L. A. Joule-Thomson effects in tetrafluoromethane-trifluoromethane mixtures. — Chem. Eng. Progr. Sympos. Ser., 1974, v. 70, N 140, p. 70—79.
5.61. Kalfoglou N. K., Miller J. G. Mixtures of spherically symmetric molecules at higher temperatures. — J. Phys. Chem., 1967, v. 71, p. 1256—1264.
5.62. Kestin J., Ro S. T., Wakeham W. A. Reference values of the viscosity of twelwe gases at 25° C. — Trans. Farad. Soc., 1971, v. 67, p. 2308—2313.
5.63. Kestin J., Khalifa H. E., Ro S. T., Wakeham W. A. The viscosity and diffusion coefficients of eighteen binary gaseous system. — Physica, 1977, v. 88A, p. 242—260.
5.64. Khoury F. M., Kobayashi R. Data by NMR and representations of selfdiffusion coefficients in carbontetrafluoride. — J. Chem. Phys., 1971, v. 55, p. 2439—2445.
5.65. Khoury F. M., Kobayashi R. Dense-gas diffusion coefficients in the CH_4-CF_4 system by pulsed NMR. — Physica. 1975, v. 80A, p. 1—24.
5.66. Klemm W., Henkel P. Über einige physikalische eigenschaften von SF_6, SeF_6, TeF_6 und CF_4. — Z. anorg. allgem. Chemie, 1932, Bd. 207, s. 73—86.
5.67. Knobler C. M., Pings C. J. Saturated liquid density of carbon tetrafluoride from 90 to 150 K. — J. Chem. Eng. Data, 1965, v. 10, p. 129—130.
5.68. Lambert J. D., Cotton K. J. et al. Transport properties of gaseous hydrocarbons. — Proc. Roy. Soc., 1955, A, v. 231, N 1135, p. 280—290.
5.69. Lange H. B., Stein F. P. Volumetric behaviour of a polar-nonpolar gas mixture: trifluoromethane-tetrafluoromethane system. — J. Chem. Eng. Data, 1970, v. 15, p. 56—61.
5.70. Lobo L. Q., Staveley L. A. The vapor pressure of tetrafluoromethane. — Cryogenics, 1979, v. 19, p. 335—338.
5.71. Lobo L. Q., Staveley L. A. Thermodynamic properties of liquid tetrafluoride. — I. Chem. Eng. Data, 1981, v. 26, № 4, p. 404—407.
5.72. MacCormack K. E., Schneider W. G. Compressibility of gases at pressures up to 50 atm. V. Carbon tetrafluoride in the temperature range 0—400 °C. — J. Chem. Phys., 1951, v. 19, p. 845—855.
5.73. McCoubrey J. C., Singh N. M. Intermolecular forces in quasi-spherical molecules. — Trans. Farad. Soc., 1957, v. 53, p. 877—883.
5.74. Maitland G. C., Smith E. B. Viscosity of binary gas mixtures at high temperatures. — J. Chem. Soc., Farad. Trans., 1974, v. 70, p. 1191—1211.
5.75. Martin J. J., Bhada R. K. P-V-T behaviour of carbontetrafluoride using a variable-volume cell of bellows gesign. — AIChE Journal, 1971, v. 17, N 3, p. 683—688.

5.76. Menzel W., Mohry F. Die Dampfdrucke des CF_4 und NF_3 und der Tripelpunkt des CF_4. — Z. anorg. allgem. Chem., 1933, Bl. 210, s. 257—263.

5.77. Morsy T. E., Straub D. Dampftafel und Mollier-Diagramm von tetrafluoromethan. — Kältetechnik, 1968, Bd. 20, N 7, s. 210—214.

5.78. Oshen S., Rosenbaum B. M., Thodos G. Thermal conductivity of carbon tetrafluoride in the dense gaseous region. — J. Chem. Phys., 1967, v. 46, N 8, p. 2939—2944.

5.79. Paas R., Schneider G. M. Phase equilibria of CH_4+CF_4 and CH_4+CHF_3 in the temperature range 90 to 140 K and at pressures up to 190 MPa. — J. Chem. Thermod., 1979, v. 11, N 3, p. 267—276.

5.80. Rosenbaum B. M., Thodos G. Thermal conductivity of mixtures in the dense gaseous state: the methane-carbon tetrafluoride system. — Physica, 1967, v. 37, p. 442—456.

5.81. Ruff O., Keim R. Die Reaktionsprodukte der verschiedenen Kohlearten mit fluor. I. Tetrafluoromethan. — Z. anorg. allgem. Chem. 1930, Bd. 192, s. 249—256.

5.82. Rugheimer J. H., Hubbard P. S. Nuclear magnetic relaxation and diffusion in liquid CH_4, CF_4, and mixtures of CH_4 and CF_4 with Argon. — J. Chem. Phys., 1963, v. 39, N 3, 552—564.

5.83. Santis de R., Grande B. An equation for predicting third virial coefficients of nonpolar gases. — AIChE Journal, 1979, v. 25, N 6, p. 931—938.

5.84. Sigmund P. M., Silberberg I. H., McKetta J. J. Second and third virial coefficients for system tetrafluoromethane-sulfurhexafluoride. — J. Chem. Eng. Data, 1972, v. 17, p. 168—174.

5.85. Simon M., Knobler C. M., Dunkan A. G. The vapor pressure of tetrafluoromethane from 86 to 146 K. — Cryogenics, 1967, v. 7, № 6, p. 138—140.

5.86. Smith J. H., Pace E. L. The thermodynamic properties of CF_4 from 12 K to its boiling point. — J. Phys. Chem. 1969, v. 73, p. 4232—4236.

5.87. Stewart J. W., LaRock R. I. Compression and densities of four solidified hydrocarbons and carbon tetrafluoride at 77 K. — J. Chem. Phys., 1958, v. 28, p. 425—427.

5.88. Stewart J. W. Compression and phase transitions of solid NH_3, SiF_4, H_2S and CF_4. — J. Chem. Phys., 1960, v. 33, p. 128—133.

5.89. Terry M. J., Staveley L. A. The densities of liquid argon, krypton, oxygen, nitrogen, carbon monoxide, methane and carbon tetrafluoride along the ortobaric liquid curve. — J. Chem. Thermod., 1969, v. 1, p. 413—424.

5.90. Witt K. J., Thodos G. Viscosities of binary mixtures in the dense gaseous state: the methane-tetrafluoromethane system. — Physica, 1966, v. 32, N 8, p. 1459—1472.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Обозначения величин и единицы измерения 3

Введение. Обзор уравнений для расчета теплофизических свойств фреонов 4

Глава 1. **Теплофизические свойства фреона-10**

1.1. Обзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 23
1.2. Обзор опубликованных данных о переносных свойствах . . 42
1.3. Таблицы теплофизических свойств фреона-10 на линиях кипения и конденсации 50

Глава 2. **Теплофизические свойства фреона-11**

2.1. Обзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 53
2.2. Система уравнений для расчета термодинамических свойств 62
2.3. Обзор опубликованных данных о переносных свойствах . . 66
2.4. Таблицы теплофизических свойств фреона-11 73

Глава 3. **Теплофизические свойства фреона-12**

3.1. Сбзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 97
3.2. Система уравнений для расчета термодинамических свойств 109
3.3. Обзор опубликованных данных о переносных свойствах . . 111
3.4. Таблицы теплофизических свойств фреона-12 119

Глава 4. **Теплофизические свойства фреона-13**

4.1. Обзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 143
4.2. Система уравнений для расчета термодинамических свойств 159
4.3. Обзор опубликованных данных о переносных свойствах . . 163
4.4. Таблицы теплофизических свойств 170

Глава 5. **Теплофизические свойства фреона-14**

5.1. Обзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 193
5.2. Система уравнений для расчета термодинамических свойств 209
5.3. Обзор опубликованных данных о переносных свойствах . . 212
5.4. Таблицы теплофизических свойств 219

Список литературы 243

Виктор Владимирович Алтунин, Владимир Зиновьевич Геллер, Елена Алексеевна Кременевская, Исаак Ильич Перельштейн, Евгений Константинович Петров

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНОВ

Том 2

Редактор *Н. А. Еськова*

Технические редакторы *Н. М. Ильичева, Н. П. Замолодчикова*

Корректор *В. С. Черная*

ИБ № 329

Сдано в наб. 29.09.83. Подп. к печ. 28.06.85. Т-09050. Формат 60×90¹/₁₆
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. 16.5 усл. п. л. 17,0 усл. кр.-отт. 20,64 уч.-изд. л. Тир. 3000. Зак. № 2886. Цена 1 р. 40 к. Изд. № 6080/7

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва ГСП, Новопресненский пер., д. 3.

Великолукская городская типография управления издательств, полиграфии и книжной торговли Псковского облисполкома, 182100, г. Великие Луки, ул. Полиграфистов, 78/12