

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО СТАНДАРТАМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Теплофизические свойства фреонов

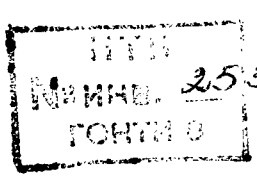
Том 1

В.В Алтунин, В.З Геллер, Е К Петров,
Д.С Рассказов, Г.А Спиридонов

ФРЕОНЫ МЕТАНОВОГО РЯДА

Справочные данные

Под редакцией
доктора технических наук С.А РИВКИНА



25356 б

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1980

УДК 536.7 : 661.97

Теплофизические свойства фреонов, т. 1. Фреоны метанового ряда: Справочные данные/Алтунин В. В., Геллер В. З., Петров Е. К. и др.; Под ред. С. Л. Ривкина; Госстандарт; ГСССД. — М.: Изд-во стандартов, 1980. — 232 с., ил.

В книге систематизированы и критически оценены опубликованные экспериментальные данные, а также таблицы и уравнения для четырех фреонов метанового ряда: фреона-20, 21, 22, 23. На основании обработки наиболее достоверных экспериментальных результатов авторами составлены уравнения, по которым рассчитаны подробные таблицы теплофизических свойств указанных веществ в интервале температуры от нормальных точек кипения до 473 К и давления 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, химической технологии, может быть использована также преподавателями, аспирантами и студентами инженерно-физических и химических специальностей.

Табл. 53. Ил. 38. Библиогр. 263.

Т $\frac{20406}{085(02)-80}$ 80

©Издательство стандартов, 1980

ОТ РЕДАКТОРА

Фреоны — предельные галоидозамещенные углеводородов — относятся к числу технически важных веществ. Одна из основных и традиционных сфер их использования — получение искусственного холода для обработки и хранения пищевых продуктов, в системе промышленного и транспортного кондиционирования. Используют фреоны также для медицинских, бытовых и технических целей, для обезжиривания, очистки, промывки и сушки оборудования и герметичных систем, в качестве среды при фторировании полимеров, получении высокомолекулярных фторорганических соединений, разделении карбоновых кислот. Фреоны применимы в качестве охлаждающего агента мощных электрогенераторов и в качестве рабочего тела в турбоустановках, работающих на вторичных энергоресурсах промышленных предприятий и на геотермальных источниках, в низкотемпературной части термодинамического цикла тепловых электростанций.

Такая широкая сфера применения фреонов явилась мощным стимулом для проведения крупномасштабных экспериментальных и расчетно-теоретических исследований с целью разработки достоверных справочных данных о теплофизических свойствах фреонов в широкой области температур и давлений. Наибольший размах эти исследования приобрели за последние 5—10 лет, причем для многих галоидных производных рядов метана и этана основная часть экспериментальных данных получена учеными СССР во Всесоюзном научно-исследовательском холодильном институте (ВНИХИ), Всесоюзном теплотехническом институте (ВТИ), Московском энергетическом институте (МЭИ), Одесском технологическом институте пищевой промышленности (ОТИПП), Ленинградском и Одесском технологических институтах холодильной промышленности (ЛТИХП и ОТИХП), Институте теплофизики СО АН СССР и в других организациях.

За последние годы достигнуты также значительные успехи в применении ЭВМ для обработки и обобщения произвольных массивов экспериментальных данных.

Оцененные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов, в данном случае — фреонов, публикуются государственной службой стандартных справочных данных.

«Теплофизические свойства фреонов» является многотомным справочным изданием, подготовленным коллективом авторов. В первых двух томах систематизированы, оценены и представлены в аналитической и табличной форме данные об основных теплофизических свойствах фреонов метанового ряда (том 1—фреоны-20, 21, 22, 23; том 2—фреоны-10, 11, 12, 13, 14). В последующих томах будут приведены данные для бромированных фреонов, галоидных производных рядов этана, пропана, циклобутана и азеотропных смесей.

Первый том подготовили сотрудники МЭИ и ОТИПП: кандидаты техн. наук В. В. Алтунин, Е. К. Петров, Д. С. Рассказов, Г. А. Спиридонов (МЭИ) и В. З. Геллер (ОТИПП).

В. В. Алтунин написал введение, разделы 1.1, 3.1, 3.2 и составил таблицы термодинамических свойств фреонов-20 и 22; В. В. Алтунин и В. З. Геллер — разделы 1.2, 3.3 и таблицы переносных свойств фреонов-20 и 22; В. З. Геллер — разделы 2.3, 4.3 и таблицы переносных свойств фреонов-21 и 23; Е. К. Петров и В. В. Алтунин — разделы 2.1 и 4.1; Д. С. Рассказов, Е. К. Петров и Г. А. Спиридонов — разделы 2.2, 4.2 и таблицы термодинамических свойств фреонов-21 и 23.

С. Л. Ривкин

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН И РАЗМЕРНОСТИ

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$^{-1}$

$$\alpha = \frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

γ — термический коэффициент давления, К$^{-1}$

$$\gamma = \frac{1}{p}\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

η — динамическая (сдвиговая) вязкость, Па·с
ν — кинематическая вязкость, м^2/с

$$\nu = \eta\,\varrho$$

λ — теплопроводность, кВт/(м·К)
a — температуропроводность, м^2/с

$$a = \lambda\,(\varrho c_p)$$

Pr — число Прандтля, $\mathrm{Pr} = \eta c_p/\lambda$
σ — поверхностное натяжение, Па·м
$k_{зв}$ — показатель адиабаты, $k_{зв} = -\dfrac{v}{p}\left(\dfrac{\partial p}{\partial v}\right)_s$

ВВЕДЕНИЕ

Существует несколько систем обозначения фреонов, которые подробно изложены в классификаторе [0.17]. Рассматриваемые в этом справочнике химические соединения имеют следующие названия (по женевской номенклатуре) и обозначения (по номенклатуре ИСО-68):

$CHCl_3$ — трихлорметан (Ф-20 или R20);

$CHFCl_2$ — фтордихлорметан (Ф-21 или R21);

CHF_2Cl — дифторхлорметан (Ф-22 или R22);

CHF_3 — трифторметан (Ф-23 или R23).

Расчетно-теоретические исследования термодинамических свойств фреонов до последних лет проводили главным образом при параметрах состояния, охватывающих лишь традиционную область их применения, и поэтому наибольшее распространение получили модельные и обобщенные уравнения состояния со сравнительно небольшим количеством эмпирических констант.

Так, в 1940 г. Беннинг, Макхарнесс на основе обработки своих экспериментальных p, v, T-данных для фреонов-11, 21, 22 ($T_{оп} \approx 300$—450 K, $P_{оп} \approx 0{,}03$—$2{,}1$ МПа) получили константы уравнения Битти — Бриджмена, и в течение длительного времени рассчитанные по этим уравнениям таблицы включались в справочные издания [0.7, 0.45 и др.]. Из табл. 1 видно, что уравнение (0.1) содержит всего пять регулируемых констант, но для фреонов полагали $\varepsilon = 0$ и, следовательно, степень уравнения относительно v понижали до третьей. Область применимости уравнения состояния Битти — Бриджмена невелика и даже при $\varepsilon \neq 0$ не выходит по плотности за пределы $\omega = 0$—$0{,}4$ [0.5].

В 1955—1959 гг. Мартин с соавторами разработали относительно простую методику определения коэффициентов уравнения состояния (0.2).

Двенадцать коэффициентов уравнения Мартина — Хау можно вычислить с помощью аналитических соотношений,

Таблица 1

Основные типы уравнений состояния газообразных фреонов

Форма уравнения		Комментарии	Название уравнения
$p=\frac{RT(1-\varepsilon)}{v^2}(v+B)-\frac{A}{v^2}$	(0.1)	$B=B_0-\left(1-\frac{b}{v}\right)$ $A=A_0-\left(1-\frac{a}{v}\right)$ $\varepsilon=C/vT^3$	Битти—Бриджмена
$p=\frac{RT}{v-b}+\sum_{i=2}^{5}\frac{F_i(T)}{(v-b)^i}$	(0.2)	$F_i=A_i+B_iT+C_i\times\exp(-kT)$	Мартина—Хау
$p=RT\varrho+(B_0RT-A_0-C_0/T^2)\varrho^2+(bRT-a)\varrho^3+a\alpha\varrho^6+c\varrho^3(1+\gamma\varrho^2)\times(1/T^2)\exp(-\gamma\varrho^2)$	(0.3)		Бенедикта—Вебба—Рубина (ББР
$\pi=\mathrm{Wa}\cdot\omega\tau+(A_2+B_2\tau+C_2/\tau^2+D_2/\tau^4)\omega^2+(A_3+B_3\tau+C_3/\tau^2)\omega^3+(A_4/\tau^2+A_5/\tau^4)\omega^3(1+\beta\omega^2)\exp(-\beta\omega^2)+A_6\omega^6$	(0.4)	$\mathrm{Wa}=(RT/pv)_{кр}$ $\omega=\varrho/\varrho_{кр}$ $\pi=p/p_{кр}$ $\tau=T/T_{кр}$	Модифицированное ББР (ББРМ)
$p=RT\varrho+(B_0RT-A_0-C_0/T^2+D_0/T^3-E_0/T^4)\varrho^2+(bRT-a-d/T)\varrho^3+\alpha(a+d/T)\varrho^6+c\varrho^3(1+\gamma\varrho^2)(1/T^2)\exp(-\gamma\varrho^2)$	(0.5)		Модифицированное ББР (ББРС)
$\pi=\alpha_к(\omega)+(\tau-1)\sum_{i=1}^{6}b_i\omega^i+\frac{(\tau-1)^2}{\tau}\sum_{i=2}^{4}c_i\omega^i$	(0.6)	$\alpha_к=1-(1-\omega)^5\{1+a_0\omega+[a_1(a_2-\omega)\omega^2]/[1+4(1-\omega)^2]\}$	Ромбуша
$z=1+\sum_{i=1}^{r}B_i(T)\varrho^i$	(0.7)	$B_i=\sum_{j=0}^{s_i}b_{ij}\frac{1}{\tau^j}$	Вириальное
$z=1+\varrho\sum_{j=0}^{m}(\alpha_0\varrho+\beta_0)^i\left[\sum_{j=0}^{n}c_{ij}\left(\frac{\alpha_1}{T}+\beta_1\right)^j\right]$	(0.8)		—

если известны критические параметры, температура Бойля, температурная зависимость давления насыщенного пара и одна изохора в жидкой фазе при $\omega \geqslant 1{,}5$ [3.50]. Различные варианты этой методики применяли при исследовании термодинамических свойств фреона-22 [3.50] и фреона-23 [0.39, 4.25, 4.26]. В работе [1.58] сделана оценка девяти коэффициентов уравнения (0.2) для газообразного фреона-20 и рассчитаны термодинамические таблицы в интервале $\tau = 0{,}52—1{,}4$ при $\pi \leqslant 3{,}6$.

По мнению ряда авторов [0.5, 0.42], уравнение Мартина — Хау целесообразно применять лишь при $\omega \leqslant 1{,}0—1{,}2$. Область применимости уравнения (0,2) и его точность удается несколько увеличить при уменьшении числа нулевых значений коэффициентов A_i, B_i и C_i [0.47, 1.1] или добавлении дополнительного слагаемого вида $F_6(T)/\exp(av)$ [3.50].

Уравнение (0.3), или так называемое уравнение Бенедикта — Вебба—Рубина, содержит восемь констант, и его рекомендуют использовать для оценки термодинамических свойств малоизученных газообразных фреонов и их смесей [0.23, 0.39]. Для расчета термодинамических таблиц и диаграмм обычно используют усложненные варианты уравнения БВР. В табл. 1 представлены две модификации уравнения этого типа с одиннадцатью константами. Уравнение (0.4) предложил Морси [0.42], а уравнение (0.5) — Старлинг [0.48].

Коэффициенты БВРМ были определены в нескольких работах: [0.41] — для фреона-22, [0.39, 0.42, 0.43] — для фреона-23. Для фреона-22 в работе [0.41] это уравнение рекомендуют применять в газовой фазе при $\tau = 0{,}46—1{,}28$ и $\omega \leqslant 1{,}6$. Средняя погрешность расчета давления p оценена $\pm 0{,}54\%$. Для фреона-23 в работах [0.39, 0.42, 0.43] использована примерно одинаковая машинная методика определения коэффициентов уравнения, но состав исходных данных различен, и, естественно, области применимости уравнений заметно отличаются. Наиболее содержательной, с методической точки зрения, является работа Морси [0.43], где получены коэффициенты уравнения (0.4) для восьми газов, в том числе для фреона-12, 13, 14, 23 и С-318.

Уравнение БВРС первоначально было проверено на неполярных газах и их смесях. Обычно его используют в обобщенной форме [0.49]. Рекомендуемые в работе [0.49] 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}.

Проверка обобщенного уравнения БВРС на фреонах и их смесях сделана в статьях [0.22, 0.25, 1.12]. 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 работе [0.22] подгоночные параметры K_{ii} и K_{ij} определены для большой группы чистых фреонов метанового ряда и их смесей.

Другие варианты уравнения БВР, отличающиеся от (0.3)—(0.5) только формой температурной зависимости при φ^2, φ^3 и φ^6, проанализированы в работах [0.23, 0.44].

Уравнение Ромбуша (0.6) также содержит одиннадцать регулируемых констант, но, судя по тексту статьи [0.46], эти константы определяли «вручную». Там же приведены коэффициенты уравнения (0.6) для фреонов-11, 12, 13 и 21. Уравнения рекомендованы к применению в области $\tau=0{,}5$—$2{,}0$ и $\omega=0$—$1{,}8$.

В принципе уравнение Ромбуша можно применять для расчета термодинамических свойств в жидкой фазе. Однако в работе [0.46], а затем и в [0.11] это уравнение использовано лишь для расчета таблиц значений v, h, s для перегретых и насыщенных паров фреона-21 при температуре от 213 до 473 К и давлении до 5 МПа. Для определения термодинамических свойств насыщенной жидкости в работе [0.46], как и в большинстве других работ, использована автономная система уравнений, включающая уравнение Клапейрона—Клаузиуса

$$r=T(dp_s/dT)(v''-v'), \qquad (0.9)$$

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

$$\ln \pi_s=A+B/\tau+C\ln\tau+D\tau^k, \qquad (0.10)$$

$$\ln \pi_s=\frac{1}{\tau}\sum_{j=0}^{n}a_j\tau^j+a_{n+1}\ln\tau. \qquad (0.11)$$

Обычно $k=3$—6[0.28, 0.46], а $n=3$—4 [0.26, 4.25, 4.28 и др.], но для фреона-22, например, в работах [0.18, 0.51] принято $n=5$, $a_{n+1}=0$ и, кроме того, в [0.51] правая часть уравнения (0.11) содержит слагаемое с дробной степенью. В работах [0.39, 0.41, 4.34] для фреона-23 применено обобщенное уравнение Риделя

$$\ln \pi_s=\alpha_c\ln\tau-0{,}0838(\alpha_c-3{,}75)(36/\tau-35-\tau^6+42\ln\tau), \qquad (0.12)$$

в котором параметр α_c принят зависящим от температуры.

Ясно, конечно, что уравнение (0.12) не может быть применено к полярным веществам без корректировки. Однако величина $a_c=(d\ln\pi_s/d\tau)_{\tau=1}=\mathrm{Ri}$ является фундаментальной характеристикой вещества, используемой в качестве определяющего критерия в теории термодинамического подобия [1.17]. Поэтому предпочтительнее корректировать последний член уравнения (0.12), что и сделано в работе [1.15].

Для аппроксимации экспериментальных данных о плотности насыщенной жидкости обычно применяют уравнения вида

$$\omega'=1+\sum_{j=1}^{m} d_j\,(1-\tau)^{j/3}, \qquad (0.13)$$

в котором $m=3$—4 [0.26, 0.46, 0.51, 4.25, 4.28 и др.].

Системой уравнений (0.9)—(0.13) пользуются при расчете термодинамических свойств жидких фреонов на линии насыщения около 20 лет, и наборы коэффициентов этих уравнений для фреонов-21, 22 и 23 приведены во многих экспериментальных и расчетно-теоретических работах.

Что же касается термодинамических функций в идеально газовом состоянии, то в подавляющем большинстве современных работ для фреонов метанового ряда ориентируются на данные Баро [0.37] и аппроксимируют их уравнениями вида

$$c_p^0=\sum_{j=0}^{n} c_j\tau^j, \qquad (0.14)$$

где $n=3$—5 [0.18, 0.21, 0.28 и др.]. В статье [0.21] даны коэффициенты этого уравнения для фреонов-20, 21, 22 и 23, найденные по данным [0.37] в интервале $T=100$—500 К.

По мере накопления экспериментальных результатов, повышения их точности и расширения изученной области состояний начали для расчета термодинамических свойств фреонов использовать более сложные уравнения состояния (см. табл. 1). 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 даже на ЭЦВМ средней мощности (типов БЭСМ-4, М-220) успешно решать задачи статистической обработки больших массивов однородных и разнородных термодинамических данных с целью построения многопараметрических уравнений состояния. Подробный обзор достижений в этой области прикладной теплофизики сделан, в частности, в монографии [0.5].

За последние годы для всех фреонов метанового ряда разработаны уравнения состояния в форме (0.7) или (0.8), т. е. в форме полиномиальных разложений по степеням плотности и температуры. Из табл. 1 видно, что эти уравнения имеют открытый конец и в зависимости от диапазона изменения независимых переменных и требуемой точности аппроксимации могут содержать различное количество эмпирических констант. При этом важно подчеркнуть, что для построения уравнений состояния видов (0.7) и (0.8) применяли машинные методики, а в качестве исходных данных использовали, как правило, результаты точных p, v, T-измерений [0.1, 0.26, 0.28, 2.1, 3.1, 3.66, 4.3, 4.14] или совокупность экспериментальных p, v, T- и c_p (p, T)-данных [3.1, 3.56].

Достаточно подробно примененные методы статистической обработки экспериментальных данных о теплофизических свойствах газов и жидкостей изложены в работах [0.4, 0.5, 0.29, 0.32, 1.3, 1.4, 3.2, 3.3, 4.3], а полученные для фреонов-21, 22 и 23 экспериментально обоснованные уравнения состояния видов (0.7) и (0.8) приведены и обсуждаются в следующих главах настоящего справочника. Там же сделаны краткие комментарии к работам, в которых для рассматриваемых фреонов метанового ряда составлены уравнения нетрадиционной структуры и с применением специфической техники поиска коэффициентов.

Из табл. 1 следует, что рекомендуемые в настоящей работе уравнения состояния видов (0.7) и (0.8) сводятся к форме

$$z = 1 + \sum_{i=1} \sum_{j=0} b_{ij} \rho^i \tau^j. \qquad (0.15)$$

Для перехода от уравнения состояния со смещенным центром разложения ($\beta_0 \neq \beta_1 \neq 0$) к полиномиальному уравнению вириального типа с $\alpha_0 = \alpha_1 = 1$ можно использовать рекуррентную формулу

$$b_{rk} = \sum_{i=p}^{m} (\beta_0)^{i-p} \frac{i!}{(i-p)!\,p!} \left[\sum_{j=k}^{n_i} \tilde{b}_{ij} (\beta_1)^{j-k} \frac{j!}{(j-k)!\,k!} \right], \qquad (0.16)$$

где $p = r-1$; r — текущая степень по ρ ($0 \leqslant r \leqslant m+1$).

Для полиномиального уравнения (0.15) программа расчета термодинамических свойств может быть сделана весьма компактной, поскольку в этом случае можно ограничиться небольшим набором арифметических операторов

$$\mathbf{P}_k = 1 + \{K_{ij}^{(k)}\} = 1 + \sum_{i=1} \sum_{j=0} K_{ij}^{(k)} b_{ij} \rho^i \tau^j, \qquad (0.17)$$

где $K_{ij}^{(k)}$ — некоторый комплекс, образованный из индексов

суммирования i и j. Очевидно, что для нахождения числовых значений произвольного оператора достаточно запрограммировать выражение P_k в общем виде с настройкой по соответствующему $K_{ij}^{(k)}$. Алгоритм такой программы и примеры записи расчетных соотношений для термодинамических величин обсуждались ранее в статье В. В. Алтунина, Г. А. Спиридонова [0.2]. Аналогичная методика описана в более поздней работе И. И. Перельштейна, Е. Б. Парушина [0.29], но там использованы другие обозначения операторов.

В табл. 2 представлена выборка расчетных соотношений с использованием десяти частных значений оператора P_{ij}:

$$\mathbf{P}_1=1+\{i\};\ \mathbf{P}_6=1+\{i+j\};$$

$$\mathbf{P}_2=1+\{1\ i\};\ \mathbf{P}_7=1+\left\{\frac{1+i}{i}\right\};$$

$$\mathbf{P}_3=1+\{j\ i\};\ \mathbf{P}_8=1+\left\{\frac{j-1}{i}\right\};$$

$$\mathbf{P}_4=1+\{1+i\};\ \mathbf{P}_9=1+\left\{\frac{i+j}{i}\right\};$$

$$\mathbf{P}_5=1+\{1-j\};\ \mathbf{P}_{10}=1+\left\{\frac{j(j-1)}{i}\right\}.$$

При необходимости перечень рассчитываемых по уравнению состояния термодинамических величин нетрудно расширить, если воспользоваться рекомендациями из работ [0.2, 0.5].

Таблица 2

Сводка расчетных формул для основных термодинамических величин

Величина	Исходное соотношение	Расчетная формула
Функция Гельмгольца	$F=-\int p dv$	$F=F_0+RT\left[\ln\left(\frac{\varrho}{\varrho_{с.т}}\right)+\mathbf{P}_2-1\right]$
Энтропия	$s=-\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_\varrho$	$s=s_0+R\left(\mathbf{P}_8-1-\ln\frac{\varrho}{\varrho_{ст}}\right)$
Внутренняя энергия	$u=F+Ts$	$u=u_0+RT(\mathbf{P}_3-1)$
Энтальпия	$h=u+\frac{p}{\varrho}$	$h=h_0+RT\ (\mathbf{P}_9-1)$
Функция Гиббса	$\Phi=h-Ts$	$\Phi=\Phi_0+RT\left(\ln\frac{\varrho}{\varrho_{ст}}+\mathbf{P}_7-1\right)$

Величина	Исходное соотношение	Расчетная формула
Летучесть (фугитивность)	$f = \exp\left(\frac{1}{RT}\int v\,dp\right)$	$\varrho RT \exp\ (\mathbf{P}_7 - 1)$
Изохорная теплоемкость	$c_v = T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_\varrho$	$c_v = c_v^0 - R(\mathbf{P}_{10} - 1)$
Изобарная теплоемкость	$c_p = c_v - T\frac{\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_\varrho^2}{\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T}$	$c_p = c_p^0 + R\left(\frac{\mathbf{P}_5^2}{\mathbf{P}_4} - \mathbf{P}_{10}\right)$
Скорость звука	$a = \sqrt{-v^2\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_s}$	$a = \sqrt{RT\left(\mathbf{P}_1 + \frac{\mathbf{P}_5^2}{\frac{c_p^0}{R} - \mathbf{P}_{10}}\right)}$
Изотермический дроссель-эффект	$\delta = -\left(\frac{\partial h}{\partial p}\right)_T$	$\delta = \frac{1 - \mathbf{P}_6}{\varrho \cdot \mathbf{P}_4}$
Адиабатный дроссель-эффект	$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_h$	$\mu = \frac{1}{\varrho}\left[\frac{1 - \mathbf{P}_6}{c_p^0 \mathbf{P}_1 + R(\mathbf{P}_5^2 - \mathbf{P}_1\mathbf{P}_{10})}\right]$
Термическое давление	$p_t = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_\varrho$	$p_t = \varrho RT\mathbf{P}_5$
Коэффициент термического расширения	$\alpha = \frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$	$\alpha = \frac{1}{T}\,\frac{\mathbf{P}_5}{\mathbf{P}_1}$
Коэффициент изотермического сжатия	$\beta = -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T$	$\beta = \frac{1}{\varrho RT\mathbf{P}_4}$
Термический коэффициент давления	$\gamma = \frac{1}{p}\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$	$\gamma = \frac{1}{T}\,\frac{\mathbf{P}_5}{\mathbf{P}_1}$
Отношение теплоемкостей	$\chi = \frac{c_p}{c_v}$	$\chi = 1 + \frac{\mathbf{P}_5^2}{\left(\frac{c_p^0}{R} - \mathbf{P}_{10}\right)\mathbf{P}_4}$
Показатель адиабаты (изоэнтропы)	$k_{\text{зв}} = -\frac{v}{p}\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_s$	$k_{\text{зв}} = \frac{\mathbf{P}_4}{\mathbf{P}_1}\,\frac{\mathbf{P}_5^2}{\left(\frac{c_p^0}{R} - \mathbf{P}_{10}\right)\mathbf{P}_1}$

Для аппроксимации термодинамических функций в идеально газовом состоянии в настоящей работе применены разложения по обратным степеням температуры:

$$(H_T^0 - H_0^0)/RT = \sum_{j=0}^{m_1} \alpha_j/\tau^j; \qquad (0.18)$$

$$c_p^0/R = \sum_{j=0}^{m_2} \beta_j/\tau^j; \qquad (0.19)$$

$$s_T^0/R = \sum_{j=0}^{m_3} \gamma_j/\tau^j. \qquad (0.20)$$

Температурная зависимость давления насыщенного пара описана степенными многочленами вида

$$p_s = \sum_{j=0}^{m_4} A_{sj}\,\tau^j. \qquad (0.21)$$

Заметим, что формулы (0.21) и (0.19) с теоретической точки зрения не имеют никаких преимуществ перед формулами (0.11) и (0.14), однако они удобнее для оперативных вычислений.

В качестве начала отсчета энтальпии следовало бы принять состояние равновесного кристалла при 0 К. Тогда в левой части формулы (0.18) будет находиться величина

$$(H_T^0 - H_0^0)_{\text{тв}} = (H_T^0 - H_0^0)_{\text{г}} + \Delta H_{s_0}^0, \qquad (0.22)$$

где $\Delta H_{s_0}^0$ — теплота сублимации кристалла при 0 К.

Для фреона-22 числовое значение $\Delta H_{s_0}^0$ известно и приведено в табл. 3. Для фреонов-21 и 23 вместо неизвестного значения $\Delta H_{s_0}^0$ нами использована некоторая условная величина $h_0 = 500$ кДж/кг, а для фреона-20 эта константа принята такой, чтобы $h''_{273,15} = 400$ кДж/кг.

Часть указанных в табл. 3 значений характерных параметров 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 критических точек.

Установлено, что для точного определения термодинамических свойств вещества в некоторой окрестности критической точки следует применять уравнения неаналитического

* Приведенные в табл. 3 значения дипольных моментов найдены по данным справочника [0.27].

Таблица 3

Характерные параметры для фреонов метанового ряда

Параметр	Числовое значение для			
	фреона-20	фреона-21	фреона-22	фреона-23
Температура в критической точке $T_{кр}$, К	536,6±0,2	451,60±0,05	369,30±0,02	299,00±0,05
Давление в критической точке $p_{кр}$, МПа	5,47±0,05	5,190±0,005	4,988±0,002	4,82±0,02
Плотность в критической точке $\varrho_{кр}$, кг/м^3	500±10	528±3	514±2	525±3
Температура в нормальной точке кипения $T_{н.т.к}$, К	334,3±0,1	282,05±0,1	232,35±0,05	191,00±0,05
Температура в тройной точке T_0, К	209,5±0,5	138,1±0,5	115,74±0,01	117,97±0,05
Теплота сублимации кристалла при 0 К $\Delta H^0_{S_0}$, кДж/кг	—	—	355,5±0,2	359,3±0,2
Дипольный момент μ_D, D	1,04±0,02	1,29	1,409±0,03	1,645±0,09
Молекулярная масса:				
по химической шкале M_X, кг/кмоль	119,390	102,933	86,476	70,019
по углеродной шкале M_C, кг/кмоль	119,3849	102,9285	86,4723	70,0160
Газовая постоянная R_X, кДж/(кг·К)	0,0696402	0,0807743	0,096146	0,118744
R_C, кДж/(кг·К)	0,069643	0,080777	0,096150	0,118749

типа [0.5, 0.6]. Вместе с тем доказана применимость теории масштабной инвариантности (scaling law) для адэкватного описания критических аномалий. Основные положения масштабной теории (равновесной и динамической) достаточно полно изложены в обзоре [0.6].

Отвлекаясь от обсуждения деталей, отметим, что по Скофилду, например, параметрами неаналитического уравнения состояния $p_{sc}=f(v, \Theta)$ являются полярные координаты $\bar{v}$ и Θ, которые связаны с $\Delta\varrho^*=|\omega-1|$ и $\Delta T^*=\tau-1$ и характеризуют удаление от критической точки.

«Выход» на аналитическое уравнение состояния p_A может быть сделан с помощью специальной переключающей функции, как, например, это сделано для двуокиси углерода [0.5]:

$$p=f(\bar{r})p_A+[1-f(\bar{r})]p_{sc}, \qquad (0.23)$$

где переключающая функция

$$f(\bar{r})=1-\{1-\exp[-(k_1\bar{r})^{n_1}]\}\{1-\exp[-(k_2\bar{r})^{n_2}]\}. \qquad (0.24)$$

Согласно равновесной масштабной теории уравнения кривой упругости и кривой сосуществования фаз в окрестности критической точки имеют вид:

$$1-\pi_s=c_1(1-\tau)+c_2(1-\tau)^{2-\alpha}+\rho_{кр}c_3(1-\tau)^{2\beta\delta-1}, \qquad (0.25)$$

$$\rho^{\pm}=\rho_{кр}+b(1-\tau)+B_1^{\pm}(1-\tau)^{\beta}+B_2^{\pm}(1-\tau)^{\beta+\Delta}. \qquad (0,26)$$

Осредненные значения критических показателей α, β и δ равны: $\alpha=0{,}100$, $\beta=0{,}355$, $\delta=4{,}352$. По опытным данным Ю. Р. Чашкина и др. [4.17] для фреона-23 $\beta=0{,}355$, а $\Delta=0{,}315$.

Известно несколько аналитических уравнений состояния полиномиального типа для фреона-22 [0.28, 3.1, 3.66], при получении которых добивались выполнения классических критических условий:

$$p=p_{кр};\ (\partial p/\partial v)_{T,\,кр}=(\partial^2 p/\partial v^2)_{T,\,кр}=0;$$
$$(\partial p/\partial T)_{v,\,кр}=(dp_s/dT)_{кр}.$$

В цитируемых работах коэффициенты уравнений типа (0.7) или (0.8) находили по методу наименьших квадратов в исходном базисе разложения, а для удовлетворения критическим условиям использовали метод неопределенных множителей Лагранжа.

Заметим, что в работе [3.1] фиксировали $T_{кр}$ и $\varrho_{кр}$, а определяли расчетное $p_{кр}$. Возможен и иной вычислительный алгоритм: фиксируют $T_{кр}$ и $p_{кр}$, а определяют расчетную критическую плотность $\varrho_{кр}$ для точки, в которой выполняются критические условия [0.28]. Как видно из табл. 30, расчетная $\varrho_{кр}$ [0.28] существенно отличается от экспериментальных данных. Наш собственный опыт также показал, что оба

вариационных способа отыскания параметров «расчетной критической точки» мало продуктивны.

Из сказанного выше о масштабной теории следует, что в рамках полиномиальных разложений типа (0.7) или (0.8) нельзя согласовать p, v, T-данные в широкой однофазной области и на линии насыщения так, чтобы одновременно выполнялись все критические условия в «экспериментальной критической точке». Тем не менее при получении аналитического уравнения состояния полезно использовать хотя бы второе и третье критические условия для того, чтобы уверенно «отсечь» верхнюю границу двухфазной области [0,5, 3.1].

В работах В. В. Алтунина, О. Г. Гадецкого [3.1] и Огучи с соавторами [3.56] при аппроксимации опытных данных для жидкого и газообразного фрсона-22 добивались равенства химических потенциалов в сосуществующих фазах ($\varphi' = \varphi''$). Как известно, это условие является характерным признаком единого для газовой и жидкой фаз уравнения состояния.

Для решения указанной задачи использовали не только p, v, T-данные в однофазной области, но и данные о $p_s(T)$, $\varrho_s(T)$, а в работе [3.1] — также и данные о теплоемкости жидкости.

В менее благоприятной ситуации разумной альтернативой одноструктурному единому уравнению состояния может оказаться составное единое уравнение, которое названо А. В. Клецким [0.19] системой взаимосогласованных уравнений состояния. Основное уравнение системы

$$p = p_0 + T \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=0}^{s_i} a_{ij} (1 - T_s/T)^i (1 - \varrho/\varrho_{кр})^j \qquad (0.27)$$

должно описывать, частично меняя структуру, обе зоны, на которые разделена термическая поверхность по критической изохоре. При $\varrho > \varrho_{кр}$ (эта область параметров состояния условно названа зоной жидкости)

$$p_0 = p_s = \exp\left[\sum_{i=1}^{4} B_i T_s^i\right],$$
$$T_s = T_{кр} + \sum_{i=3}^{n} A_i (1 - \varrho/\varrho_{кр})^i. \qquad (0.28)$$

При $\varrho < \varrho_{кр}$ (в зоне пара)

$$p_0 = \sum_{i=0}^{s_i} a_{ij} (1 - \varrho/\varrho_{кр})^j,$$
$$T_s = T_{кр}. \qquad (0.29)$$

25356 6

Взаимные переходы уравнений зон и предельные переходы гарантируются определенными ограничениями, которые наложены на часть коэффициентов a_{ij} [0.19]. По этой методике А. В. Клецким получены (1979 г.) конкретные уравнения.

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 (η_T, λ_T) 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.

Преобладающая часть опытных данных о вязкости и теплопроводности сжатых фреонов-21, 22, 23 в однофазной области получена в работах В. З. Геллера, С. И. Иванченко, В. Г. Передрия [0.15, 2.4, 2.5, 3.9, 3.10, 3.26, 4.2] и Д. С. Рассказова, Ю. М. Бабикова, Н. Я. Филатова [2.13, 4.7, 4.8, 4.9], и они явились базовыми для рекомендуемых в данной книге уравнений и таблиц переносных свойств.

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

$$\eta_T = \sum_{j=0}^{1} a_{\eta,\, j}\, \tau^{j/2}, \qquad (0.30)$$

$$\lambda_T = \sum_{j=0}^{1} a_{\lambda,\, j}\, \tau^{j}. \qquad (0.31)$$

Обобщенные уравнения (для групп фреонов) предложены в работах [0.50, 1.18, 4.11 и др.]. Некоторые из них приведены в гл. I.

В работах [1.49, 2.22, 2.30 и др.] вязкость жидких фреонов метанового ряда на линии насыщения аппроксимирована уравнениями типа

$$\ln \eta_ж = \sum_{j=-1}^{n} A_j \tau^j, \qquad (0.32)$$

где $n=0$—2. Более сложное уравнение применено в работе [0.40].

Для описания экспериментальных данных о вязкости и теплопроводности сжатых фреонов метанового ряда предложено несколько типов уравнений.

Хорошо известно, что в некоторой области состояния сжатых и ожиженных 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

$$\eta=\eta T+\sum_{i=0}^{m_1} b_{\eta,\,i}\,\rho^i, \qquad (0.33)$$

$$\lambda=\lambda_T+\sum_{i=1}^{m_2} b_{\lambda,\,i}\,\rho^i, \qquad (0.34)$$

где $m_1=4$—8, $m_2=4$. Коэффициенты уравнений (0.33) и (0.34) для фреонов-21, 22 и 23 определяли неоднократно в разных интервалах плотностей и по разным опытным данным [0.13, 0.15, 1.3, 1.4, 3.20, 3.29, 3.60].

В работе [0.15] на основании обработки опытных данных для фреонов-21, 22 и 23 в области значений приведенной плотности $\omega\leqslant 1{,}9$—$2{,}0$ определены коэффициенты обобщенного уравнения

$$[(\eta-\eta_T)/\eta_{0,7}]\cdot 10^{-4}=\sum_{i=1}^{9}\overline{b}_{\eta,\,i}\,\omega^i, \qquad (0.35)$$

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

Таблица 4

Коэффициенты обобщенных уравнений (0.35) и (0.41)

i	$\overline{b}_{\eta,\,i}$	$\overline{\alpha}_{\eta,\,i}$	$\overline{\beta}_{\eta,\,i}$
0	—	0,397133	0,001449
1	0,02500	1,414087	0,020085
2	0,01390	—2,156796	—0,069557
3	—0,13069	2,405557	0,168403
4	0,12846	—1,381979	—0,200158
5	—0,08264	0,275277	0,145676
6	—0,07428	0,070019	—0,077080
7	0,16461	—0,039094	0,030819
8	—0,09023	0,004662	—0,007762
9	0,01605	—	0,000846

В работе [0.16] для определения вязкости плотных флюидов (полярных и неполярных) в области $\omega=0$—2,6 рекомендуется использовать обобщенное уравнение

$$\eta=\eta_T\left[1+\sum_{i=1}^{6}\sum_{j=0}^{3}a_{\tau_i,\,ij}\,\omega^i/\tau^j\right], \qquad (0.36)$$

с помощью которого составлены таблицы η/η_T для $\pi=0{,}2$—30, $\tau=0{,}6$—5,0 и $z_{кр}=0{,}23$—0,26. Эти таблицы могут оказаться полезными для оценки вязкости малоизученных фреонов (например, фреона-20).

Что же касается уравнений типа (0.36) с индивидуальными постоянными, то распространения они не получили, вероятно, из-за большого числа регулируемых констант (до 20—25 и более).

Выполненный [0.3, 0.32, 3.2] сравнительный анализ различных уравнений вязкости в ω, τ-переменных показал, что с вычислительной и физической точек зрения предпочтение следует отдать уравнениям

$$\eta_i=\eta_T\,\exp\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=0}^{n}a_{\tau_i,\,ij}\,\omega^i/\tau^j\right]. \qquad (0.37)$$

Эти уравнения являются 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.

Характер расслоения изотерм избыточной теплопроводности другой: при высоких значениях плотности в жидкой фазе $(\partial\Delta\lambda/\partial T)_\rho>0$, а в широкой окрестности критической точки происходит сильное увеличение $\Delta\lambda$ и $(\partial\Delta\lambda/\partial T)_\rho<0$.

По оценке Зенгерса, область критической аномалии теплопроводности достаточно широка и охватывает интервал $|\Delta T^*|=0{,}2$ при $\rho=\rho_{кр}$ и интервал $|\Delta\rho^*|=\pm0{,}7$ при $T=T_{кр}$ [0.38].

Динамическая масштабная теория вполне удовлетворительно предсказывает асимптотическое поведение теплопроводности [0.5, 0.6], но пока не может конкурировать с полуэмпирическими уравнениями, одно из которых предложено в работе [0.38]:

$$\lambda=\lambda_0(T)+\Delta\lambda_{рег}(\rho,\,T)+\Delta\lambda_{sc}(\rho,\,T), \qquad (0.38)$$

где $\lambda_0=\lambda_T$, $\Delta\lambda_{рег}$ — 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

$$\Delta\lambda_{sc}=c_1\,\Delta\lambda_c\,F\,(\Delta T^*,\ \Delta\rho^*)=c_1\,\Delta\lambda_c\,\omega^{1/2}\times \\ \times\exp\,[-A\,(\Delta T^*)^2-B(\Delta\rho^*)^4], \qquad (0.39)$$

здесь $\Delta\lambda_c\sim T\rho(c_p-c_v)/\eta$, а константы c_1 и B близки к единице.

Уравнения этого типа апробированы на таких хорошо изученных веществах, как H_2O, CO_2, Ar. Детальные исследования теплопроводности в критической области фреонов — дело будущего. Однако уже сейчас ясно, что популярные в прошлом простейшие аппроксимации имеют ограниченную ценность. По нашему мнению, подходящей моделью аналитического единого уравнения теплопроводности для области, где ΔT^* и $\Delta\rho^*$ больше 0,05—0,1, может быть эмпирическое уравнение

$$\lambda=\lambda_T\,\exp\,[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=0}^{n}a_{\lambda,\,ij}\,\omega^i/\tau^j], \qquad (0.40)$$

которое, как показано на примере CO_2, хорошо передает зависимость $\lambda(\rho,\ T)$ в газовой и жидкой фазах вплоть до кривой затвердевания и некоторую часть $\Delta\lambda_{sc}$ [0.5, 0.32].

Уравнения типов (0.37) и (0.40) были применены [3.2—3.3] для аппроксимации экспериментальных данных и расчета таблиц вязкости и теплопроводности фреона-22.

Определенным препятствием для применения уравнения вида $\Delta\eta(\omega,\tau)$ или $\eta/\eta_T(\omega,\ \tau)$ является отсутствие надежных данных о плотности. В частности, для фреона-22 до последнего времени отсутствовали измерения $\rho\ (p,\ T)$ при температурах ниже 280 К и давлениях выше p_s. Плотность жидкого фреона-21 при высоких давлениях изучена лишь при $T>T_{н.т.к}$. Это обстоятельство послужило стимулом для разработки уравнений вида $F(\overline{\eta},\overline{p},\ \overline{T})$, связывающих непосредственно измеряемые в опыте величины.

В работах С. Л. Ривкина [0.30, 0.31] установлено, что в широкой области $p,\ T$-переменных изолинии вязкости жидкости близки к прямым. Поэтому для описания вязкости жидких фреонов при плотности $\omega\geqslant 1{,}9$—$2{,}0$ оказалось возможным применить обобщенное уравнение вида

$$\tau=0{,}7\sum_{i=0}^{m}\overline{\alpha}_{\eta,\,i}\,(\eta^*)^{-i}+\pi\sum_{i=0}^{m}\overline{\beta}_{\eta,\,i}\,(\eta^*)^{-i}, \qquad (0.41)$$

где $\eta^*=\eta/\eta_{0,7}$. Коэффициенты уравнения (0.41) для рассматриваемой группы фреонов находим в работах [0.12, 0.15, 0.24]. Приведенные в табл. 4 значения $\overline{\alpha}_{\eta,\,i}$ и $\overline{\beta}_{\eta,\,i}$ взяты из работы [0.15].

Следует отметить, что уравнение (0.41) описывает практически всю область жидкого состояния (однофазную и вдоль линии насыщения) от $\omega=2{,}0$ до кривой кристаллизации. В зоне $\omega=1{,}9$—$2{,}0$ оно «стыкуется» с уравнением (0.35).

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 $T=f(\eta, \bar{p})$ должно быть более сложным, а именно:

$$\tau = \sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} a_{\eta,\, ij}\, \bar{p}^i \eta^j, \qquad (0.42)$$

где параметр $\bar{p}$ есть p или $(p-p_s)$ [0.36].

В работе [0.20] для описания вязкости жидкого и газообразного фреона-22 применено уравнение типа

$$p = \sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} a_{ij} (T-T_{кр})^i (\eta-\eta_i)^j, \qquad (0.43)$$

в котором $m=2$, $n=11$. Это уравнение описывает широкую область однофазного состояния, однако оно является достаточно сложным и содержит фактически 24 эмпирические константы.

Для расчета таблиц теплопроводности фреонов при $\omega \leqslant 1{,}9$—$2{,}0$ в настоящей работе применены уравнения вида (0.34).

При более высоких плотностях наблюдается расслоение изотерм избыточной теплопроводности в координатах $(\Delta\lambda, \varrho)$, и поэтому расчетное уравнение должно быть усложнено.

В работе [3.3] для фреона-22 рекомендуется уравнение типа (0.40) с четырьмя коэффициентами, а в [0.35] 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 жидких фреонов применена система уравнений

$$\lambda=\lambda_s \sum_{i=0}^{9} \sum_{j=0}^{6} \bar{a}_{\lambda,\, ij}\, \tau^i\, (\pi/10)^j; \qquad (0.45)$$

$$\lambda_s = \lambda_{кр} + \sum_{j=0}^{n} c_j\, (T_{кр}-T)^{j/3}, \qquad (0.46)$$

которая разработана В. З. Геллером с сотрудниками [0.13, 1.4] по опытным данным для фреона-21, 22 и 23.

Температурная зависимость теплопроводности на линии насыщения представлена уравнениями типа (0.46) с индивидуальными для каждого фреона константами c_j, а зависимость теплопроводности от давления определена по обобщенному уравнению (0.45).

Коэффициенты обобщенного уравнения теплопроводности жидких фреонов приведены в табл. 5, а коэффициенты уравнений (0.46) для фреона-20, 21, 22 и 23 — в соответствующих разделах справочника.

Таблица 5

Коэффициенты обобщенного уравнения (0.45)

i	Значения $\bar{\alpha}_{\lambda,\ ij}$ при i			
	0	1	2	3
0	—1,10704	—0,68156	1,40965	—0,944264
1	—0,33919	2,25599	—5,05850	4,452905
2	—3,67110	21,18587	—32,63517	16,91989
3	9,77897	—56,31672	83,18183	—49,13515
4	—10,37926	59,36453	—79,97439	51,61741
5	5,12614	—29,14068	35,19539	—24,96465
6	—0,97589	5,52094	—5,29561	4,663276

Система уравнений (0.45)—(0.46) применима для расчета теплопроводности жидких фреонов вплоть до кривой затвердевания. Для фреона-20 p, T-параметры кривой плавления — затвердевания при высоком давлении известны, а для других жидкостей их можно оценить, пользуясь рекомендациями [0.14].

К числу важных физических констант относится поверхностное натяжение σ на границе жидкость — пар. Для фреонов метанового ряда температурная зависимость σ изучена недостаточно полно, а для фреона—20 и 23, например, известно только несколько опытных точек [0.34]. Поэтому целесообразно применять обобщенные зависимости [0.33, 1.2, 1.8]. Наиболее универсальное уравнение получено в работе [0.33]:

$$\sigma^* = \sigma B = \sum_{m=1}^{5} \beta_m (1-\tau)^m \sum_{n=0}^{3} \alpha_n A^n \cdot 10^{-8}, \qquad (0.47)$$

где $B=(RT)^{-1/3} p_{кр}^{-2/3}$, размерность B — [моль$^{1/3}$/(Па·м)];

$A=100(\pi_s)_{\tau=0,625}$; $\beta_1=1,1239$; $\beta_2=9,1160$;

$\beta_3=-29,0038$; $\beta_4=51,1109$; $\beta_5=-35,1050$;

$\alpha_0=7,56938$; $\alpha_1=-2,57629$; $\alpha_2=0,711868$;

$\alpha_3=-0,07567$.

Параметр A был в свое время введен Л. П. Филипповым [1.17] в качестве критерия термодинамического подобия; для рассматриваемой группы фреонов он близок к 1,9.

В заключение отметим, что за последние 20 лет опубликовано немало справочных изданий с табличными данными о теплофизических свойствах фреонов [0.7, 0.8, 0.9, 0.10, 0.18, 0.28, 0.34, 0.45, 0.51 и др.]. Наиболее активно обновляются справочные данные для фреона-22 [0.28, 0.51, 1.2, 1.4, 3.1, 3.2, 3.3, 3.20, 3.31 и др.]. Но для фреона-20 и 23 в 70-е гг. новые табличные данные о теплофизических свойствах не были опубликованы, а в широко известных справочниках [0.9, 0.10] они вообще отсутствуют.

В подавляющем большинстве справочных изданий не приводятся также и уравнения. Между тем уравнения являются компактной и универсальной формой хранения и использования информации о теплофизических свойствах веществ, и в современных условиях они имеют не меньшее прикладное значение, чем таблицы. Поэтому в следующих разделах данной книги приведены числовые значения коэффициентов для значительной части рассмотренных выше уравнений, полученные в результате последовательного анализа экспериментальных данных.

Глава первая

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-20

Фреон-20 (трихлорметан, хлороформ) относится к высококипящим хладоагентам, и его теплофизические свойства при повышенных давлениях изучены значительно хуже, чем других фреонов метанового ряда. При низких давлениях для фреона-20 имеется сравнительно много экспериментальных данных как о термодинамических свойствах, так и о свойствах переноса. Однако в полной мере эта информация не обобщена, и исчерпывающие справочные данные о теплофизических свойствах фреона-20 отсутствуют.

1.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Из табл. 6 и 7 следует, что при низких давлениях термодинамические характеристики фреона-20 определены для газовой и жидкой фаз и на линиях равновесия жидкость — пар, но расхождения между различными группами опытных данных часто заметно превышают оговоренные авторами экспериментальных работ погрешности измерений. Это замечание относится, в частности, к опытным данным о втором вириальном коэффициенте уравнения состояния (рис. 1) и к данным об упругости насыщенного пара. Согласованность опытных данных о теплоемкости насыщенной жидкости хорошая, однако непосредственные измерения выполнены при температурах ниже нормальной точки кипения ($T_{н.т.к}$=334,3 К). Сравнительный анализ опытных данных об ортобарической плотности показал, что температурная зависимость плотности насыщенной жидкости может быть достаточно уверенно восстановлена в интервале от тройной

точки до критической, а температурная зависимость плотности сухого насыщенного пара — от $T_{н.т.к}$ до $T_{кр}$ (рис. 2).

Таблица 6

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-20 при низком давлении

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1913	Долежалек, Шульце	c_p	223—293	ж	—	[1.27]
1922	Магнус, Шмид	B_1	371	г	1	[1.32]
1925	Уильямс, Даниэль	c_p	295—319	ж	—	[1.70]
1949	Айхара	c_v	279	г	2	[1.19]
1949	Ламберт и др.	B_1	323—383	г	4	[1.42]
1955	Франсис, Макглашан	B_1	316—398	г	8	[1.32]
1955	Стевели, Тупман, Харт	c_p	284—329	ж	—	[1.60]
1957	Харрисон, Мелвин-Ходжес	c_p	246—303	ж	8	[1.34]
1965	Заалишвили, Белоусова, Колыско	B_1	353—383	г	4	[1.11]
1965	Форт, Мур	ϱ; w	293	ж	1; 1	[1.31]

Таблица 7

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-20 на линиях равновесия жидкость—пар

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1902	Кюнен, Робсон	p_s	518—536	п	—	[1.41]
1912	Херц, Ратман	p_s	300—334	п	—	[1.36]
1913	Флетчер, Тюре	r	273—314	ж—п	—	[1.61]
1914	Бекман, Личе	p_s	291—343	п	—	[1.22]
1915	Друкер, Юмено	p_s	209—263	п	—	[1.28]
1916	Рекс	p_s	273—303	п	—	[1.52]
1921	Шульце	ϱ	278—299	ж	3	[1.57]
1923	Херц, Нойкирх	ϱ	483—536	ж; п	15	[1.37]
1926	Мэтью	r	334	ж—п	1	[1.46]
1926	Шмидт	p_s	273—373	п	8	[1.56]
1928	Смит, Морган	ϱ	213—333	ж	10	[1.59]
1932	Урихт	ϱ	331—373	п	7	[1.71]
1937	Кооп	ϱ	193—293	ж	4	[1.26]
1938	Скэтчард, Рэмон	p_s	308—333	п	6	[1.55]
1952	Паттон	ϱ	298	ж	1	
		r	298	ж—п	1	[1.54]

Экспериментальные данные о давлении насыщенного пара обобщены в работах [1.58, 1.61]. В работе [1.58] рекомендуется уравнение

$$\lg p_s = A + B/T + C \lg T + DT, \qquad (1.1)$$

коэффициенты которого даны для двух интервалов температур (I—T=275—340 К и II—T=340—536,6 К) и для случая, когда размерность p_s—[атм]:

$A_I = -2{,}9593966 \cdot 10^1$; $A_{II} = 1{,}4088080 \cdot 10^1$;
$B_I = -1{,}0258492 \cdot 10^3$; $B_{II} = -1{,}9585807 \cdot 10^3$;
$C_I = 1{,}4881037 \cdot 10^1$; $C_{II} = -3{,}3974131 \cdot 10^0$;
$D_I = -1{,}4702661 \cdot 10^{-2}$; $D_{II} = 1{,}0602881 \cdot 10^{-3}$.

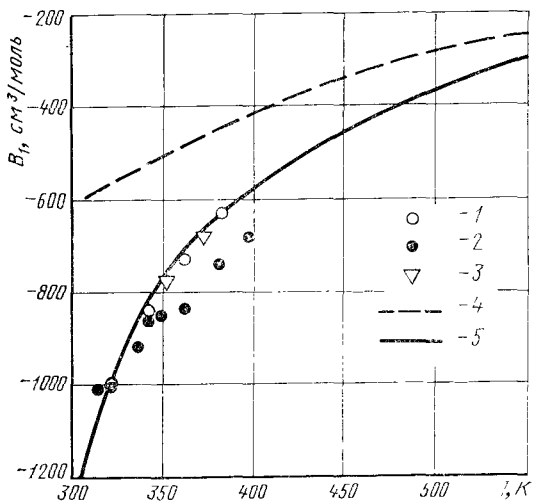


Рис. 1. Второй вириальный коэффициент фреона-20:

опытные данные: *1*—Ламберта и др. [1.42]; 2—Франциса, Макглашана [1.32]; *3*—Заалишвили и др. [1.11]; расчетные данные: *4*—по уравнению (1.15); *5*—настоящей работы

Средние отклонения рассчитанных и экспериментальных значений p_s в интервале I равны 0,75%, а в интервале II—0,58%. Максимальные отклонения не превышают 1,52%.

При давлении выше 0,04 МПа уравнение (1.1) основано на единственных измерениях Кюнена, Робсона [1.41], и по-

этому рекомендуемым значениям p_s следует приписыва бо́льшую, чем обычно, погрешность.

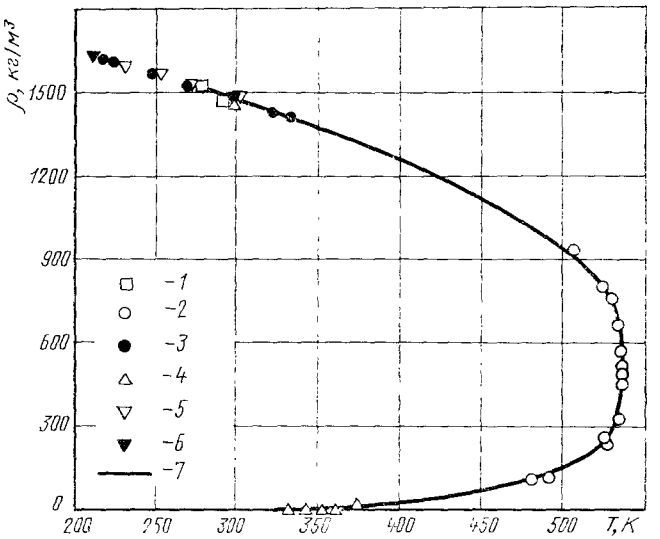


Рис. 2. Ортобарическая плотность фреона-20:
опытные данные: *1*—Шульце [1.57]; *2*—Херца, Нойкирха [1.37]; *3*—Смита, Моргана [1.59]; *4*—Урихта [1.71]; *5*—Коопа [1.26]; *6*—Скеттчарда, Ремона [1.55]; *7*—расчетные данные настоящей работы

Числовые значения параметров узловых точек на линии равновесия жидкость — пар по данным экспериментальных работ и некоторых справочных обзоров приведены в табл. 8

Таблица 8

Параметры узловых точек на линии равновесия жидкость—пар фреона-20

Год	Авторы	Критические параметры			$T_{н.т.к.}$, К	$T_{пл}$, К	Источник
		$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\rho_{кр}$, кг/м³			
1878	Зайчевский	533,15	5,56	—	—	—	[1.40]
1895	Пиктет, Альтшуль	531,95	—	—	—	—	
1902	Кюнен, Робсон	536,0	5,46	—	—	—	
1923	Херц, Нойкирх	535,6± ±0,2	—	496	334,30± ±0,05	—	
1935	Харанд	536,65	—	—	—	—	
1943	Фишер, Рейхель	536,75	—	—	—	—	

Продолжение табл. 8

Год	Авторы	Критические параметры			$T_{н.т.к.}$, К	$T_{пл}$, К	Источник
		$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\varrho_{кр}$, кг/м³			
1947	Стэлл	533,15	5,56	—	334,45	209,65	[1.61]
1954	Свитославский, Креглевский	536,3	—	—	—	—	[1.40]
1965	Заалишвили, Белоусова, Колыско	—	—	—	334,25	—	[1.11]
1968	Сешадри, Висванат, Кулор	536,71	5,47	500	—	—	[1.58]
1968	Лапидус, Нисельсон, Сейфер	536,5	5,47	498	334,2	210	[1.13]
1970	Филипс, Мэрфи	—	—	—	334,35	—	[1.50]

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

Большие допуски к принятым в этой книге значениям критических параметров являются естественными, поскольку $p_{кр}$ и $\varrho_{кр}$ определены экспериментально лишь в работах [1.41] и [1.37].

При отсутствии точных эмпирических формул для аналитического определения значений p_s и ϱ' фреонов рекомендуем использовать обобщенные уравнения, полученные в работе [1.15]:

$$\ln \pi_s = \mathrm{Ri} \ln \tau + (\mathrm{Ri} - 4 + p_\alpha)\,\psi(\tau), \qquad (1.2)$$

$$\ln \omega' = [1{,}4 + 0{,}03 \ln (p_{кр} R T_{кр}^{3,3}) - 0{,}03\,\mathrm{Ri} - 0{,}2\,p_\alpha + L_\alpha + L_\beta](1-\tau)^{1/3} + [0{,}68 - 0{,}07\,\mathrm{Ri} - 0{,}5\,p_\alpha + L_\alpha]s(\tau), \qquad (1.3)$$

где $\mathrm{Ri} = (d\ln\pi_s/d\tau)_{\tau=1}$ — критерий Риделя, p_α, L_α, L_β — подгоночные константы, а температурные функции

$$\psi(\tau) = 4(\tau - 1)\tau - 2{,}68 \ln \tau + s(\tau), \qquad (1.4)$$

$$s(\tau) = (\tau - 1)\{0{,}2(\tau + 1)^2 + 0{,}5\}. \qquad (1.5)$$

Для фреонов метанового ряда $\mathrm{Ri} = 6{,}5$—$7{,}2$, а подгоночные константы изменяются в пределах: p_α — от $-0{,}2$ до $-0{,}06$; L_β — от 0 до 0,1; L_α — от $-0{,}05$ до 0. Например, для фреона-22 $\mathrm{Ri} = 6{,}7964$, $p_\alpha = 0{,}1644$, $L_\alpha = L_\beta = 0$. Следовательно, подгоночные константы L_α и L_β являются, вообще говоря, малозначимыми. Оценку константы p_α можно сделать с помощью эмпирической корреляции [1.15]

$$\ln z_{кр} = -0{,}088(\mathrm{Ri} - p_a) - 0{,}728, \qquad (1.6)$$

если учесть полученные Л. П. Филипповым [1.17] соотношения:

$$\mathrm{Ri} = 4{,}919\ \mathrm{Pi} + 5{,}811 = 7{,}78 - 3{,}27\ \lg A_\Phi, \qquad (1.7)$$

где $\mathrm{Pi} = -(\lg \pi_s)_{\tau=0.7} - 1$, $A_\Phi = 100\ (\pi_s)_{\tau=0{,}625}$.

При указанных значениях τ давление насыщенного пара измеряют достаточно точно, и числовые значения A_Φ, Pi, Ri могут быть надежными.

Для расчета ортобарической плотности пара в работе [1.17] предложена формула

$$\lg(1 - z_п) = (0{,}094 \lg A_\Phi + 0{,}254) + (0{,}705 - 0{,}0668 \lg A_\Phi) \lg z_ж. \qquad (1.8)$$

Поверхностное натяжение на границе жидкость — пар можно рассчитать с помощью обобщенных уравнений (0.47) или (1.9):

$$\sigma^* = \sigma_0^*(1 - \tau)^n, \qquad (1.9)$$

где $$\sigma^* = \sigma B^{-1} = \sigma\left(\sqrt[3]{K T_{кр}\, p_{кр}^2}\right)^{-1}.$$

Точность уравнения (1.9) несколько ниже, но оно проще и, как установлено в работах [1.2, 1.8], дает вполне удовлетворительные результаты для фреонов. По экспериментальным данным, для фреонов метанового ряда $n = 1{,}249$, а $\sigma_0^* = 12{,}35$ [1.2]. Следовательно, для фреона-20 константа $B = 5{,}911 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

В работах Бриджмена [1.24, 1.25] при давлении до 2500 МПа измерены температура плавления и скачок объема при плавлении $\Delta v_{пл}$ твердого фреона-20. По этим опытным данным в работе [1.20] определены константы уравнения Симона:

$$p - p_0 = a[(T/T_0)^c - 1], \qquad (1.10)$$

где $T_0 = 209{,}7$ К; $a = 8330$ бар; $c = 1{,}52$. Другой набор констант получен в работе [1.9], а в более поздней работе М. К. Жоховского [0.14] предложено более универсальное уравнение кривой плавления и найдены его параметры для многих веществ, в том числе и для фреона-20.

Для аппроксимации опытных данных Бриджмена о $\Delta v_{пл}$ в работе [1.10] использовано уравнение

$$\Delta v_{пл} = \Delta v_0 \exp\left[-b\,(T/T_0 - 1)\right]. \qquad (1.11)$$

Для фреона-20 константа b оказалась равной $0{,}58 \pm 0{,}02$ в интервале $p_{пл} = 1000$—2500 МПа, но при давлении 400—1200 МПа $b = 0{,}91 \pm 0{,}05$.

Термодинамические функции фреона-20 в идеально газовом состоянии рассчитаны в нескольких работах. Как правило, расчеты выполнены в приближении к модели жесткий ротатор — гармонический осциллятор (ЖРГО). Учет ангармоничности колебаний сделан лишь в работе Баро [0.37], причем поправка найдена по полуэмпирической методике.

В табл. 9 приведены значения теплоемкости c_p, энтальпии $(H_T^0 - H_0^0)$ и энтропии S_T^0 по данным [1.7, 0.37, 1.33, 1.39, 1.54]. Из табл. 9, в частности, следует, что данные [1.39, 1.54] практически одинаковы, а полученные в работе Баро значения C_p^0 в среднем на 0,5—1% выше рассчитанных в приближении к модели ЖРГО. В гл. 3 показано, что для фреона-22 расчетные данные [0.37] хорошо согласуются с результатами непосредственных калориметрических измерений. Это подтверждает корректность расчетной методики Баро, и поэтому его данным следует отдать предпочтение.

В работе [0.21] по этим данным получены уравнения

$$C_p^0 = a_0 + 2a_1 T + 3a_2 T^2 + 4a_3 T^3, \qquad (1.12)$$

$$H_T^0 - H_0^0 = a_0 T + a_1 T^2 + a_2 T^3 + a_3 T^4, \qquad (1.13)$$

$$s_T^0 = a_0 \ln T + 2\ a_1\ T + 1{,}5\ a_2\ T^2 + 1{,}333\ a_3 T^3 + a_4. \qquad (1.14)$$

При C_p^o, кДж/(кмоль·К), коэффициенты a_j для фреона-20 равны

$$a_0 \cdot 10^{-2} = 0{,}2291506;$$
$$a_1 = 0{,}09485;$$
$$a_2 \cdot 10^3 = -0{,}05482929;$$
$$a_3 \cdot 10^6 = 0{,}009470524;$$
$$a_4 \cdot 10^{-2} = 1{,}157499.$$

Для расчета термодинамических свойств фреона-20 в однофазной области при повышенных давлениях в работе Сешадри, Висваната, Кулора [1.58] использовано уравнение состояния вида

$$p = \frac{RT}{v - b_0} + \sum_{i=2}^{5} \frac{A_i + B_i T + C_i \exp(-5{,}475\ \tau)}{(v - b_0)^i}. \qquad (1.15)$$

Коэффициенты уравнения найдены по методике, предложенной Мартином, Хау (1955 г.), и для случая, когда размерность v—[л/моль], p—[атм], T—[К], равны

$B_0 = 6{,}054802 \cdot 10^{-2}$;
$A_2 = -21{,}5847159$;
$B_2 = 1{,}31856963 \cdot 10^{-2}$;
$C_2 = 30{,}306821$;
$A_3 = 3{,}17370469$;
$B_3 = -1{,}4828215 \cdot 10^{-3}$;
$C_3 = -5{,}4014024$;
$A_4 = -1{,}93684745 \cdot 10^{-1}$;
$B_4 = 0$;
$C_4 = 0$;
$A_5 = 0$;
$B_5 = 1{,}1943037 \cdot 10^{-5}$;
$C_5 = 0$.

Таблица 9

Значения термодинамических функций фреона-20 в идеально газовом состоянии по данным разных авторов

T, K	C_p^0, кал (моль·К)				$H_T^0 - H_0^0$, кал моль				S_T^0, кал (моль·К)			
	[1.33]	[0.37]	[1.39]	[1.54]	[1.33]	[1.7]	[1.39]	[1.54]	[1.33]	[1.7]	[1.39]	[1.54]
100	9,62	—	9,637	9,637	836	—	837	836	57,19	—	57,180	57,180
150	11,13	—	—	11,414	1363	—	—	1364	61,43	—	—	61,432
200	13,02	13,04	12,978	12,978	1975	—	1975	1974	64,94	—	64,933	64,934
250	14,17	14,49	—	—	2663	—	—	—	68,00	—	—	—
298,16	15,71	—	—	15,627	3390	3396	—	3383	70,66	70,723	—	70,628
300	15,76	15,79	15,671	15,671	3419	—	3412	3412	70,76	—	70,724	70,725
400	17,83	17,90	17,747	17,747	5104	5106	5088	5088	75,58	75,643	75,532	75,532
500	19,34	19,45	19,266	19,266	6967	6967	6943	6942	79,74	79,787	79,661	79,664
600	20,44	20,60	20,378	20,378	8959	8954	8928	8927	83,37	83,407	83,280	83,280
700	21,27	21,47	21,217	21,217	11040	11040	11009	11009	86,59	86,621	86,487	86,487
800	21,91	22,16	21,872	21,872	13210	13197	13165	13165	89,47	89,500	89,365	89,365
1000	22,88	23,19	22,831	22,831	17690	17676	17641	17641	94,47	94,494	94,355	94,356
1300	23,77	—	23,751	23,751	24690	24677	24640	24640	100,59	100,615	100,471	100,471

По уравнению (1.15) в работе [1.58] рассчитаны таблицы значений v, h, s для газообразного фреона-20 при $T=280$—750 К и $p=0{,}1$—200 атм. Со своей стороны заметим, что числовые значения констант A_i, B_i и C_i в уравнении Мартина — Хау существенным образом зависят от значений критических параметров. Кроме того, аналитические соотношения, применяемые для определения этих констант, могут быть различными (см., например, работу [1.1]). Оценить степень достоверности рассчитанных в работе [1.58] таблиц можно, применив, например, обобщенное уравнение БВРС, которое обсуждено во введении.

Заметим, что аналитические выражения $f(T_{кр}, p_{кр}, \text{Pi})$ для определения индивидуальных коэффициентов уравнения (0.5) приведены в работе [0.49], а подгоночные константы K_{ij} для фреонов метанового ряда — в работах [0.22, 1.12]. Там же указаны числовые значения фактора ацентричности (критерия Pi) для многих фреонов.

При невысоких (докритических) давлениях вполне удовлетворительные результаты для фреонов метанового ряда дает несложное обобщенное уравнение, которое получено И. И. Перельштейном [1.14] на основе преобразованного уравнения (0.1).

На основе обработки экспериментальных данных для нормальных жидкостей Л. П. Филиппов [1.17] нашел несложную формулу для расчета изотермической сжимаемости

$$\beta_T RT\rho/M=\rho(\partial\rho/\partial p)_T RT\rho/M=72/\omega^{7,5}. \qquad (1.16)$$

Интегрирование приводит к следующему уравнению изотермы жидкости:

$$\rho=\rho_0[1+612(p-p_0)(\rho_{кр}/\rho_0)^{7,5}1/(\rho_0 RT)]^{1/8,5}, \qquad (1.17)$$

которое применимо в интервале значений приведенной плотности $\omega=2{,}2$—$3{,}2$. В качестве начальных параметров p_0 и ρ_0 можно принять давление и плотность жидкости на линии насыщения.

Таким образом, описанная выше система обобщенных уравнений позволяет рассчитать термодинамические свойства недостаточно изученных веществ в широкой области состояний по ограниченному числу исходных опытных данных. Однако в этом справочнике термодинамические таблицы для фреона-20 в однофазной области при повышенных давлениях не приведены из-за отсутствия экспериментальных данных, необходимых для аттестации уравнений и таблиц.

1.2. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Таблицы вязкости газообразного фреона-20 при атмосферном давлении, приведенные в монографиях [1.5, 1.6] охватывают интервал температур $T=273$—700 К, различие данных составляет ~6%. Сравнение табличных данных [1.5, 1.6] с результатами непосредственных измерений показало (рис. 3), что таблицы [1.6] неточны, а более ранние основаны на экспериментальных данных, полученных до 1933 г (табл. 10).

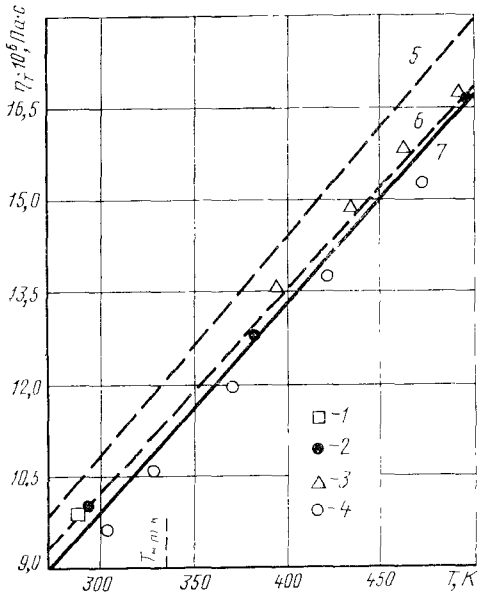


Рис. 3. Вязкость газообразного фреона-20 при низких давлениях:

опытные данные: *1*—Шурмана [1.62]; *2*—Брауне, Линке [1.23]; *3*—Титани [1.65]; *4*—Пала, Баруа [1.48]; расчетные данные: *5*—Голубева, Гнездилова [1.6]; *6*—Голубева [1.5]; *7*—настоящей работы

Для определения вязкости фреона-20 при атмосферном давлении можно использовать уравнение

$$\lg\left(\eta_T/\eta_{T_{кр}}\right)=\left(\sum_{i=0}^{3} a_j\,\tau^{-i}\right)\lg\,\tau, \qquad (1.18)$$

где $\eta_{T\,кр}=17{,}95$ мкПа·с;

$a_0=0{,}74739$; $a_2=-0{,}21477$;

$a_1=0{,}41890$; $a_3=0{,}03636$.

На основании обработки сравнительно большого (около 200 точек) массива экспериментальных данных о вязкости газообразных фреонов в интервале $\tau=0{,}6—1{,}9$ Н. Г. Сагайдакова [4.11] составила обобщенное уравнение

$$\tau=a+b(\eta_T/\eta_{T_{кр}})+c(\eta_T/\eta_{T_{кр}})^2. \qquad (1.19)$$

Вероятная погрешность вычисленных по нему значений η_T, по-видимому, не превышает $\pm 1{,}5\%$.

Для жидкого фреона-20 таблицы [1.5] охватывают интервал температур от 273 К до $T_{н.т.к}$ и не противоречат экспериментальным данным. Но из табл. 10 и рис. 4 видно, что в настоящее время вязкость жидкого фреона-20 изучена в более широком интервале температур.

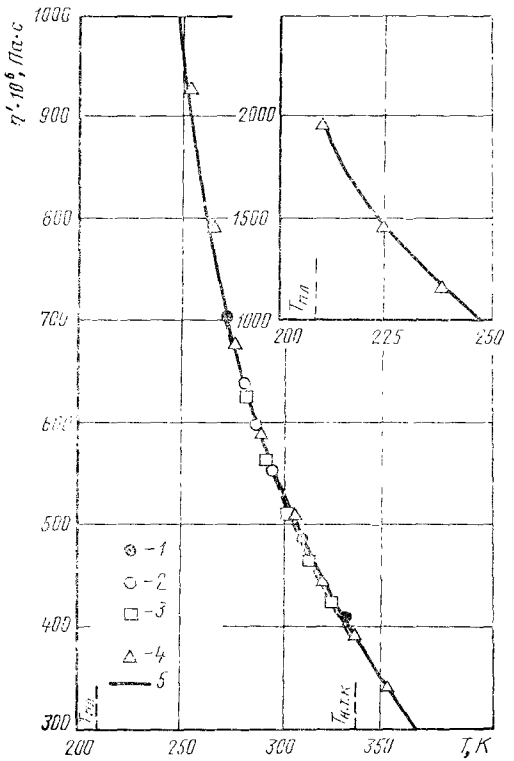


Рис. 4. Вязкость жидкого фреона-20 вблизи линии насыщения:
опытные данные: *1*—Торпа, Роджера [1.64]; *2*—Колоссовски [1.44]; *3*—Рабиновича, Пономаренко [1.44]; *4*—Филипса, Мэрфи [1.49, 1.50]; *5*—расчетные данные настоящей работы

Для расчета вязкости жидкого фреона-20 в области $\omega=0—1{,}9$ рекомендуется использовать обобщенное уравнение (0.35), а при $\omega\geqslant 1{,}9$—обобщенное уравнение (0.41), коэффи-

циенты которых приведены в табл. 4. Вязкость фреона-20 в опорной точке найдена по данным Филипса, Мэрфи [1.49, 1.50] и равна $\eta_{0,7}=295$ мкПа·с.

В табл. 11 перечислены практически все экспериментальные исследования теплопроводности газообразного и жидкого фреона-20.

Таблица 10

Экспериментальные исследования вязкости фреона-20

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Число опытных точек	Фаза	Метод*	Источник
1897	Торп, Роджер	273—330	p_s	4	ж	КД	[1.64]
1908	Цакалотес	293; 313	p_s	2	ж	Ка	[1.66]
1910	Раппанеккер	290—485	0,1	3	г	Ка	[1.51]
1914	Фогель	273	0,1	1	г	Ка	[1.68]
1923	Шурман	287	0,1	1	г	КД	[1.62]
1924	Миллер	281; 293	p_s	2	ж	Ка	[1.47]
1927	Циммерманс, Мартин	288—303	p_s	2	ж	КШ	[1.44]
1928	Колоссовски	283—296	p_s	4	ж	Ка	[1.44]
1930	Брауне, Линке	293—618	0,1	7	г	КД	[1.23]
1933	Титани	394—581	0,1	7	г	Ка	[1.65]
1935	Бриджмен	303/348	0,1—800	4	ж	КШ	[1.5]
1960	Рабинович, Пономаренко	283—323	p_s	5	ж	Ка	[1.44]
1968	Пал, Баруа	304—573	0,1	5	г	КД	[1.48]
1970	Филипс, Мэрфи	210—356	p_s	11	ж	Ка	[1.50]

* Методы измерений: Ка — капилляра; КШ — катящегося шарика; КД — колеблющегося диска.

Таблица 11

Экспериментальные исследования теплопроводности фреона-20

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Число опытных точек	Фаза	Метод*	Источник
1895	Вебер	282—288	p_s	2	ж	П	[1.69]
1913	Эйкен	373	0,1	1	г	П	[1.30]
1940	Ридель	293	p_s	1	ж	П	[1.53]
1941	Бейтс, Хазард, Пальмер	293—323	p_s	3	ж	П	[1.21]
1945	Хатчинсон	291	p_s	1	ж	КЦ	[1.38]
1948	Ваи дер Хельд, Ван Друнен	289	p_s	1	ж	НН	[1.35]
1950	Ламберт, Стейнс Вудс	339—358	0,1	2	г	Н	[1.43]
1954	Вайнс, Беннет	333—422	0,1	4	г	Н	[1.67]
1954	Мэзон	303—323	p_s	2	ж	КЦ	[1.45]
1954	Филиппов	288—363	p_s	График	ж	КЦ	[1.16]
1964	Джалалян	216—293	p_s	7	ж	Н	[1.29]
1967	Таушер	214—348	p_s	10	ж	НН	[1.63]

* Методы измерений: П—плоского слоя; КЦ—коаксиальных цилиндров; Н—нагретой нити; НН—нестационарный метод нагретой нити.

Из рис. 5 и 6 видно, что «температурный ход» теплопроводности в широком интервале температур может быть представлен прямолинейными зависимостями как для газообразного, так и для жидкого фреона-20. Но если в первом случае согласие экспериментальных данных следует признать хорошим, то во втором необходим отбор надежных данных.

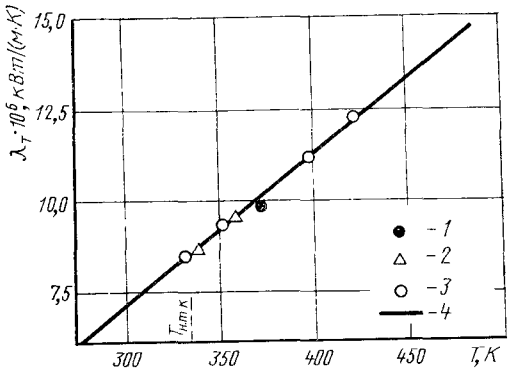


Рис. 5. Теплопроводность газообразного фреона-20 при низких давлениях:

опытные данные: *1*—Эйкена [1.30]; *2*—Ламберта и др. [1.43]; *3*—Вайнеса, Бенета [1.67]; *4*—расчетные данные настоящей работы

Для расчета теплопроводности газообразного фреона-20 при низких давлениях рекомендуется использовать уравнение

$$\lambda_T \cdot 10^4 = a_0 + a_1 T, \qquad (1.20)$$

где размерность λ—[Вт/(м·К)]; $a_0 = -5{,}050 \cdot 10^{-3}$; $a_1 = 4{,}076 \cdot 10^{-5}$, которое передает опытные данные с погрешностью менее 2%.

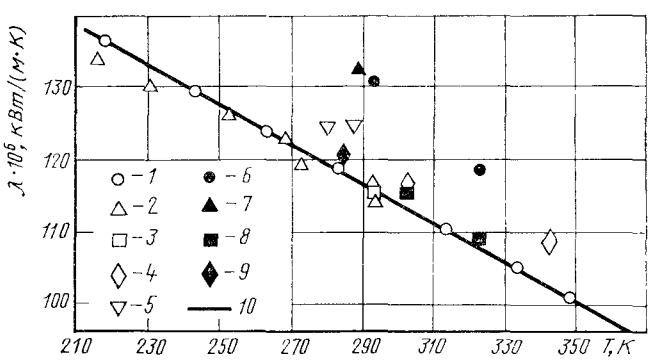


Рис. 6. Теплопроводность жидкого фреона-20 вблизи линии насыщения:

опытные данные: *1*—Таушера [1.63]; *2*—Джалаляна [1.29]; *3*—Риделя [1.53]; *4*—Филиппова [1.16]; *5*—Вебер [1.69]; *6*—Бейтса и др. [1.21]; *7*—Хатчинсона [1.38]; *8*—Мэзона [1.45]; *9*—Хельда, Друнена [1.35]; *10*—расчетные данные настоящей работы

Для фреонов метанового ряда О. Б. Цветков [1.18] предложил обобщенное уравнение

$$\lambda_T\ \lambda_{T_{кр}} = -0{,}14091 + 1{,}36468\tau - 0{,}2232\tau^2 (c_v\ c_{v,\ T_{кр}}), \quad (1.21)$$

которое аппроксимирует сравнительно большой массив (около 100 точек) экспериментальных данных о теплопроводности при атмосферном давлении в интервале $\tau = 0{,}5—1{,}3$ со средней погрешностью около 2%.

Теплопроводность жидкого фреона-20 впервые определила Вебер [1.69] относительным методом плоского слоя. Опыты проведены весьма тщательно при различных размерах измерительного зазора, и расхождения с новыми экспериментальными данными не превышают 4—6%.

Ридель применил [1.53] абсолютный метод плоского слоя для определения λ фреона-20 при $T = 293$ К. Качество его данных не вызывает сомнений, поскольку полученные им для большого числа веществ результаты хорошо согласуются с наиболее достоверными данными других исследователей. В работах [1.21, 1.38] применяли тот же метод, но их данные завышены в сравнении с другими результатами на 10—15%. Результаты остальных измерений согласуются между собой в основном в пределах погрешности эксперимента.

Температурная зависимость теплопроводности жидкого фреона-20 на линии насыщения установлена на основании обработки согласующихся измерений, выполненных в работах [1.16, 1.29, 1.35, 1.45, 1.53, 1.63].

В качестве аппроксимирующей функции использовано уравнение (0.46), коэффициенты которого для фреона-20 при $\lambda_{кр} = 400 \cdot 10^{-4}$ Вт/(м·К) равны

$c_1 = -8{,}56330 \cdot 10^{-3}$; $c_4 = 6{,}41577$;
$c_2 = 2{,}58130$; $c_5 = -3{,}02624$;
$c_3 = -6{,}05146$; $c_6 = 0{,}54782$.

Для определения теплопроводности жидкого фреона-20 при высоких давлениях рекомендуется применять обобщенное уравнение (0.46). Коэффициенты этого уравнения найдены в работах [0.13, 1.4] по экспериментальным данным для фреона—21, 22 и 23 и приведены в табл. 5.

Заметим, что полученные в работах [1.3, 1.4] обобщенные уравнения пригодны для расчета вязкости и теплопроводности жидких фреонов метанового ряда при давлении до 50—60 МПа.

1.3. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРЕОНА-20 НА ЛИНИЯХ КИПЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ

Рекомендуемые справочные данные о теплофизических свойствах фреона-20 на линиях равновесия жидкость — пар приведены в табл. 12. Значения ρ, h, s, r рассчитаны с помощью термического уравнения состояния и уравнений (0.9), (1.1), (1.3), (1.12). Табличные данные η, λ, σ вычислены по обобщенным уравнениям (0.35), (0.41), (0.45) и (1.9).

Теплофизические свойства фреона-20 на линиях кипения и конденсации

Таблица 12

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	r	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^6$	$\sigma \cdot 10^3$
275	0,0090	1524,5	0,473	401,9	672,4	4,004	4,988	270,5	797,0	10,18	121,0	29,75
280	0,0115	1515,1	0,592	405,4	675,1	4,017	4,980	269,7	748,0	10,35	119,6	29,04
290	0,0186	1494,8	0,920	413,6	680,4	4,046	4,966	266,8	662,0	10,69	116,9	27,63
300	0,0293	1475,6	1,40	423,0	686,2	4,077	4,955	263,1	587,0	11,63	114,2	26,24
310	0,0435	1456,5	2,03	432,3	691,3	4,109	4,945	259,0	523,0	11,37	111,4	24,86
320	0,0620	1438,6	2,79	442,2	696,7	4,141	4,936	254,6	468,0	11,70	108,7	23,50
330	0,0879	1419,6	3,88	451,7	702,2	4,170	4,929	250,5	421,0	12,03	105,9	22,15
340	0,1224	1398,0	5,26	460,8	707,7	4,197	4,923	246,9	381,0	12,35	103,2	20,82
350	0,1682	1375,3	7,10	469,8	713,2	4,222	4,917	243,3	348,0	12,68	100,4	19,50
360	0,2255	1353,9	9,33	478,9	718,6	4,247	4,913	239,0	319,0	13,00	97,7	18,21
370	0,2979	1331,1	12,10	487,9	724,0	4,272	4,910	236,1	294,0	13,33	94,9	16,93
380	0,3830	1307,3	15,31	497,3	729,3	4,296	4,907	232,1	273,0	13,66	92,1	15,67
390	0,4823	1282,2	19,01	507,0	734,6	4,322	4,905	227,6	254,0	13,99	89,4	14,43
400	0,6039	1258,3	23,53	517,0	739,8	4,347	4,904	222,7	237,0	14,33	86,3	13,21
410	0,7417	1233,2	28,62	527,5	744,9	4,373	4,903	217,4	221,0	14,68	83,6	12,01
420	0,9058	1216,9	34,73	538,4	749,8	4,399	4,903	211,5	206,0	15,05	80,8	10,84
430	1,097	1178,5	42,17	549,5	754,6	4,425	4,902	205,4	191,4	15,44	77,9	9,69
440	1,339	1147,9	51,33	561,7	759,2	4,452	4,901	197,5	176,6	15,88	75,0	8,56
450	1,601	1117,9	61,73	574,4	763,2	4,480	4,900	188,8	165,7	16,58	72,4	7,47
460	1,880	1086,3	73,24	587,2	766,8	4,507	4,898	179,6	154,5	17,18	69,4	6,41
470	2,219	1051,9	87,59	600,0	770,0	4,534	4,895	170,0	141,0	17,86	66,8	5,38
480	2,600	1020,4	104,00	613,0	772,1	4,562	4,893	159,1	129,6	18,70	64,1	4,39
490	3,017	985,0	125,05	628,0	774,6	4,590	4,891	147,5	117,7	19,40	61,2	3,44
500	3,466	944,5	148,51	641,8	776,4	4,618	4,888	134,6	105,3	20,30	58,4	2,54
505	3,706	924,0	161,92	649,5	776,9	4,633	4,885	127,4	99,9	20,90	57,0	2,12
510	3,954	896,3	177,13	657,5	777,4	4,648	4,883	119,9	93,1	21,60	55,5	1,70
515	4,207	871,4	194,00	665,7	777,2	4,664	4,880	111,5	87,7	22,50	53,8	1,31
520	4,468	838,4	213,95	675,2	776,9	4,681	4,876	101,7	81,2	23,60	51,8	0,94
525	4,743	804,5	239,49	685,6	775,6	4,699	4,870	90,0	75,4	25,30	49,5	0,60
530	5,044	753,2	278,61	698,3	771,3	4,722	4,860	73,0	67,7	30,80	46,1	0,29
535	5,352	656,7	381,07	719,5	756,8	4,756	4,826	37,3	55,7	39,90	39,0	0,05
536,6	5,472	499,9	499,95	739,7	739,7	4,784	4,784	0,0	—	—	—	0,00

Глава вторая

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-21

2.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Основные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования термодинамических свойств фреона-21 (фтордихлорметана) выполнены в конце 60-х годов, но полученные результаты отражены в справочных изданиях [0.8—0.10 и др.] не полностью. Так, опубликованные в статье [2.1] таблицы значений ρ, h, s, w на линии насыщения приведены в справочном обзоре [0.34], а таблицы в однофазной области — в справочнике [0.10]. Рекомендуемые в книгах [0.8—0.10] таблицы термодинамических свойств на линии насыщения повторяют расчетные данные Ромбуша, Гизена [0.46, 2.37], основанные на небольшом числе измерений [2.23—2.37].

В данном справочнике представлена существенно более полная информация о термодинамических свойствах жидкого и газообразного фреона-21.

Опытные данные в однофазной области. Из табл. 13 и рис. 7 видно, что плотность (сжимаемость) газа при повышенных давлениях измеряли в трех лабораториях, а жидкости — в одной (при $p \leqslant 20$ МПа, $\omega \leqslant 2{,}5$).

Таблица 13

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-21 в однофазной области

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1940	Беннинг, Макхарнес	ρ	326—446	0,3—2,1	г	22	[2.25]
1940	Беннинг и др.	ρ	247—296	0,02—0,15	г	10	[2.25]
1967	Шелудяков и др.	c_p	311—407	0,1	г	6	[2.27]
		w	244—463	0,1—10	г	269	[2.15, 2.16]
1968	Рассказов, Петров, Каекин	ρ	308—473	0,3—18,7	г; ж	284	[2.10]

Продолжение табл 13

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1969	Шиляков, Шелудяков, Соловьев	ρ	309—473	0,2—6,8	г	292	[2.19. 2.21]
1969	Шумская, Груздев	c_p	300—469	0,1	г	9	[2.20]
1969	Мейер	w	196—275	0,1	ж	18	[3.52]
1970	Хайяр, Маквуд	B_1	313—403	0,1	г	4	[3.45]
1975	Груздев, Шумская	c_p	303—453	0,1—2	г	63	[2.9]

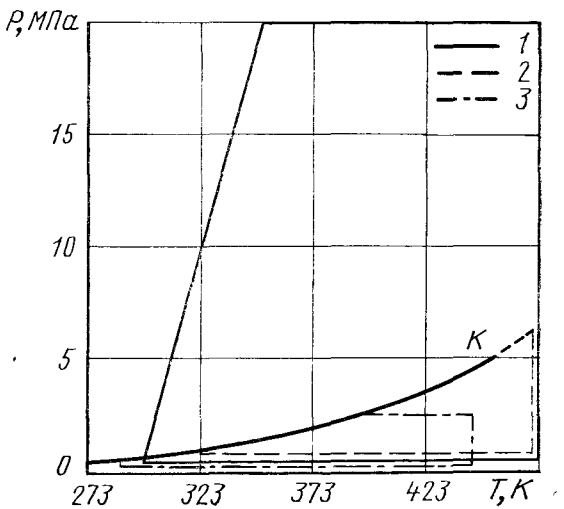


Рис. 7. Области экспериментального исследования термических свойств фреона-21 в работах:

1—Рассказова, Петрова, Каекина [2.10]; *2*—Шилякова и др. [2.19]; *3*—Беннинга [2.25]

Для определения p, v, T-зависимости перегретого и насыщенного пара Беннинг, Макхарнесс [2.25] использовали метод безбалластного пьезометра с ртутным затвором и пикнометр. Результаты измерений авторы аппроксимировали, и полученные интерполяционные уравнения описывают исходные данные в однофазной области с отклонением до 1%. В работе [2.1] выполнена совместная обработка опытных данных [2.10, 2.25] и установлено, что в паровой фазе из 32 точек 12 имеют отклонение до 0,2%, 10 — менее 0,4%, 7 — менее 0,6% и лишь 3 точки — до 0,8%.

Наиболее обстоятельные исследования сжимаемости фреона-21 в газовой и жидкой фазах выполнено в МЭИ под руководством Д. Д. Калафати и Д. С. Рассказова [2.10, 2.11]. Авторы этих работ применяли метод безбалластного пьезометра постоянного объема. Количество исследуемого вещества в пьезометре определяли взвешиванием съемного стакана на аналитических весах после вымораживания фреона из пьезометра. Температуру измеряли 10-омным платиновым термометром сопротивления в схеме с низкоомным потенциометром класса точности 1. Погрешность измерения температуры термостата не превышала 0,05 К. Давление измеряли грузопоршневыми манометрами класса 0,05. Для разделения исследуемого фреона и масла при измерении давления применяли мембранно-ртутный нуль-индикатор, чувствительность которого составляла 20 мм вод. ст. Опыты проводили по изохорам, причем измерения заканчивали в двухфазной области. На деформацию пьезометра из-за температуры и давления вводили поправки. Максимальная относительная погрешность определения удельного объема 0,2—0,3% в зависимости от области параметров состояния.

В работах МЭИ использовали фреон-21 с содержанием основного вещества 99.954% (влага 0,032%, нелетучий остаток 0,001%, углеводороды 0,013%). В процессе проведения опытов хроматографический анализ выполняли несколько раз, причем пробы фреона отбирали как до, так и после проведения опыта. Существенного отличия результатов от исходных данных анализа замечено не было.

В эти же годы опубликованы результаты подробных пьезометрических и акустических измерений, выполненных в Институте теплофизики СО АН СССР под руководством А. Н. Соловьева и Е. П. Шелудякова [2.15—2.19]. В этих работах использовали фреон-21 с содержанием 99,8% основного продукта (вода 0,19%, нелетучий остаток 0,004%).

Для экспериментального исследования сжимаемости перегретых и насыщенных паров применен метод безбалластного пьезометра постоянного объема. Основные величины (давление, температуру, массу вещества) измеряли приборами того же класса, что и в работах МЭИ. Отличительной особенностью пьезометрической установки является использование мембранного нуль-индикатора давления электроконтактного типа. Чувствительность этого прибора составляла 1 мм вод. ст., но наблюдался дрейф нуля до 10 мм вод. ст. Авторы работ [2.19, 2.21] оценили максимальный разброс экспериментальных точек на кривой насыщения 0,4% по давлению, а воспроизводимость давления при прямом и обратном ходе на изохорах 0,15%.

Прямые измерения второго вириального коэффициента выполнены только в одной работе (см. табл. 13). Вычислен-

ные по p, v, T-данным [2.25, 2.10] значения B_1 приведены в статье [2.1] и отмечено их удовлетворительное согласие в интервале $T=313$—403 К. Однако по данным МЭИ значение производной dB_1/dT больше, и при низкой температуре расхождения значительные.

Изобарную теплоемкость газообразного фреона-21 измеряли в трех работах. Более точными и содержательными являются измерения В. А. Груздева, А. И. Шумской [2.9, 2.20], выполненные на проточном капиллярном калориметре с погрешностью, по оценке авторов, не более 0,4—0,7%. Был использован фреон-21 с содержанием 99,6—99,7% основного вещества (влага 0,03%, фреоны-12 и 13 0,013%, другие газы 0,05—0,3%). Графической экстраполяцией экспериментальных изотерм авторы получили температурные зависимости теплоемкости в идеально газовом состоянии и установили, что экспериментальные значения c_p^0 в пределах погрешности измерений согласуются с рассчитанными по спектрам без учета поправки на ангармоничность колебаний. Данные Баро [0.37] несколько выше.

В настоящей работе исходные значения термодинамических функций фреона-21 в идеально газовом состоянии приняты по данным справочника [1.39].

Е. П. Шелудяков с соавторами [2.15, 2.16] измеряли скорость звука в перегретых и насыщенных парах методом стоячих волн в резонаторе (при низких частотах) с погрешностью, по оценке авторов, 0,5%. Однако в работе [2.1] отмечено, что вычисленные по термическому уравнению состояния значения w заметно отличаются от экспериментальных (в среднем на 2—4%) и расхождение носит систематический характер. Отчасти это расхождение связано с выбранными в [2.1] значениями c_p^0.

Мейер [3.52] измерил скорость звука в жидком фреоне-21 методом акустического интерферометра Пирса и аппроксимировал опытные данные уравнением типа (3.1) с коэффициентами

$a_0=891{,}0$; $a_2=15{,}45\cdot10^{-4}$;
$a_1=-3{,}953\cdot10^{0}$; $a_3=-0{,}764\cdot10^{-5}$.

Опытные данные на линиях равновесия жидкость — пар. Из табл. 14 следует, что давление насыщенного пара и ортобарическая плотность пара и жидкости изучены более полно в интервале $T=294$—448 К. Однако согласование опытных данных о p_s и ρ'' не очень хорошее (рис. 8, 9). Не показанные на рис. 8 экспериментальные значения p_s, полученные А. А. Шиляковым с соавторами [2.21, 2.19], систематически выше данных МЭИ в среднем на 0,3% (максимальное отклонение 0,9%), но при $T>393$ К расхождение уменьшается до 0,07%. Завышение значений p_s

и ϱ'' в опытах [2.19, 2.21] может быть объяснено влиянием растворенных примесей в исследуемом веществе [2.21]. Полученные в работе [2.26] методом гидростатического взвеши-

Таблица 14

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-21 на линиях равновесия жидкость—пар

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1940	Беннинг, Макхарнес	p_s	243—448	п	7	[2.24]
		ϱ	405—440	п	3	[2.25]
		ϱ	244—441	ж	9	[2.26]
1940	Беннинг и др.	c_p	261—338	ж	4	[2.27]
1967	Шелудяков и др.	w	238—451	п	28	[2.15, 2.16]
1968	Калафати и др.	p_s	308—448	п	16	[2.10]
1968	Васьков, Панайоти	c_p	209—332	ж	—	[0.11]
1969	Шиляков, Шелудяков, Соловьев	p_s	294—449	п	26	[2.19]
		ϱ	305—445	п	22	
1969	Лавров, Шелудяков, Соловьев	c_p	307—363	ж	29	[2.12]
1969	Дорохов, Кирияненко, Соловьев	σ	244—358	ж—п	22	[1.8; 3.13]
1971	Синицын, Муратов, Скрипов	σ	293—443	ж—п	16	[0.33; 1.2]

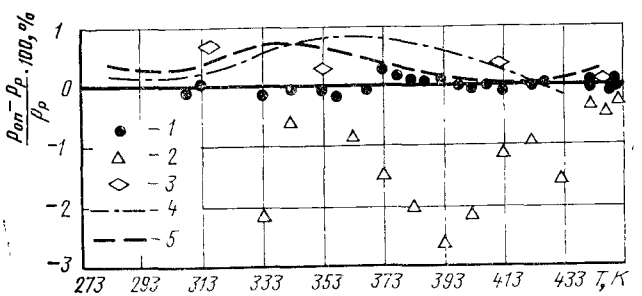


Рис. 8. Отклонение значений давления насыщенного пара фреона-21 от принятых в настоящей работе:

опытных данных: *1*—Рассказова, Петрова, Каекина [2.10, 2.11]; *2*—Шелудякова и др. [2.15]; *3*—Беннинга и др. [2.24]; табличных данных: *4*—Беннинга и др. [2.24]; *5*—Ромбуша, Гизена [2.37]

вания значения ρ' завышены как для фреона-21 (рис. 9) так и фреона-22 [3.1, 3.66].

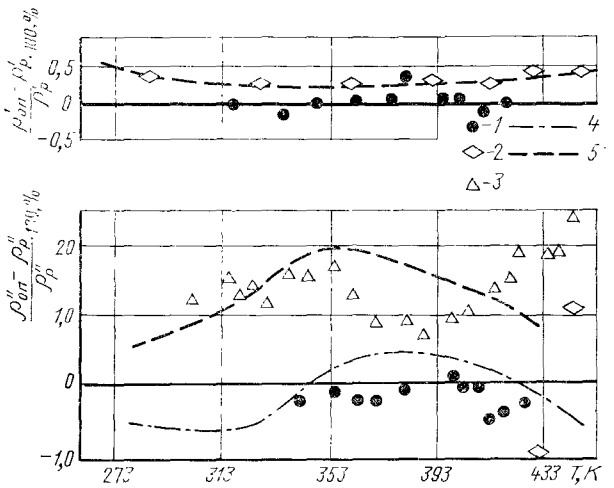


Рис. 9. Отклонение значений плотности на линиях насыщения фреона-21 от принятых в настоящей работе:
опытных данных: *1*—Рассказова, Петрова, Каскииа [2.10]; *2*—Беннинга и др. [2.25, 2.26]; *3*—Шилякова и др. [2.19]; табличных данных: *4*—Беннинга и др. [2.25, 2.26]; *5*—Ромбуша, Гизена [2.37]

В табл. 15 приведены и экспериментально найденны параметры узловых точек на линиях равновесия жидкость-пар, и рекомендуемые в некоторых справочных изданиях

Таблица 15

Параметры узловых точек на линии равновесия жидкость—пар фреона-2

Год	Авторы	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\rho_{кр}$, кг/м³	$T_{н.т.к}$ К	$T_{пл}$, К	Источ ник
1940	Беннинг, Макхарнес	451,65	5,168	522	282,05	138,2	[2.26
1966	Ромбуш, Гизен	451,50	5,181	525	282,04	—	[0.46
							2.37
1967	Шелудяков и др.	451,65	5,178	—	—	—	[2.15
1968	Каёкин и др.	451,65	5,194	—	—	—	[2.10
1968	—	451,65	5,17	522	282,07	138,15	[2.22
1968	Галлант	451,65	5,17	522	282,05	138,15	[2.29
1969	Вудлин	—	—	—	282,05	138,15	[2.39
1969	Шиляков и др.	451,55	5,198	529,7	—	—	[2.21
1970	Филипс, Мэрфи	—	—	—	282,05	—	[1.50

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

Заметим, что в большинстве прежних работ значения $T_{кр}$, $T_{н.т.к}$ и $T_{пл}$ принимали по данным [2.26]. Две последние величины подтверждены последующими измерениями (табл. 15), но критические параметры, по-видимому, ближе к найденным А. А. Шиляковым [2.21] в специальных опытах методом движущегося мениска.

Теплоемкость жидкого фреона-21 изучена в широком интервале температур (табл. 14), но экспериментальные данные сообщены лишь в работах [2.27, 2.12]. В работе [0.11] приведена интерполяционная формула

$$c_s' = 1{,}0300 + 7{,}9550 \cdot 10^{-4} \cdot t + 3{,}3910 \cdot 10^{-6} \cdot t^2, \qquad (2.1)$$

где размерность c_s' —[кДж/(кг·К)].

Изобарную теплоемкость в жидкой фазе в работе [2.12] определяли относительным методом — сравнивали кривые нагрева исследуемой и образцовой жидкостей во времени. Погрешность результатов не превышает 0,5%, причем основной вклад в нее вносится при дифференцировании кривых нагрева. В перекрывающейся области температур расхождение указанных результатов не превышает 0,7% [2.12].

Экспериментальные данные о поверхностном натяжении жидкого фреона-21 охватывают интервал $T=244$—443 К (табл. 14). Эти опытные данные очень хорошо аппроксимирует уравнение (1.9) с коэффициентами $n=1{,}249$; $B=5{,}5203 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Уравнения состояния и таблицы. В справочных изданиях [0.7, 0.45 и др.] фактически рекомендуются таблицы термодинамических свойств фреона-21, составленные Беннингом, Макхарнесом (1939 г.).

Ромбуш, Гизен [0.46] составили новую систему уравнений, включающую уравнение состояния (0.6) и интерполяционные формулы (0.10), (0.13), (0.19), и рассчитали таблицы значений ρ, h, s на кривой насыщения при $T=213$—451 К, а также h, lg p-диаграмму в области $T=203$—473 К при давлении до 10 МПа [2.37]. Табличные данные [2.37] приведены в нескольких справочных изданиях [0.8—0.10 и др.], а в работе [0.11] с помощью той же системы уравнений рассчитаны подробные таблицы значений v, h, s для перегретого пара в интервале $T=243$—473 К и $p=0{,}01$—5 МПа. Следует заметить, что бóльшую часть рассматриваемых таблиц нельзя считать экспериментально обоснованной.

В. В. Алтунин, Г. А. Спиридонов и В. С. Каекин [2.1] предложили термическое уравнение состояния типа (0.7), полученное на основании машинной обработки экспериментальных p, v, T-данных для жидкого и газообразного фреона-21 в интервале $T=298$—473 К и $p=0{,}3$—19 МПа. Рассчитанные по этому уравнению таблицы значений ρ, h, s

приведены частично в статье [2.1] и справочных изданиях [0.10, 0.34].

Е. П. Шелудяков, А. А. Шиляков [2.18, 2.21] на основании графо-аналитической обработки опытных данных [2.19, 2.25] получили для перегретого пара фреона-21 уравнение состояния

$$p=RT/v-a[v^q(T-T_0)]^{-1}\ \exp\ (-\alpha/v), \qquad (2.2)$$

где размерность p — [бар]; v — [м³/кг]); $T_0=138{,}15$ К; $a=0{,}21576$; $\alpha=1{,}3367\cdot10^{-3}$; $q=2{,}0630$. По утверждению авторов, это уравнение аппроксимирует исходные p, v, T-данные в интервале $\tau=0{,}56$—$1{,}05$, $\omega=0{,}001$—$0{,}95$ со средним квадратическим и максимальным отклонениями 0,12 и 0,35% соответственно. В работе [2.17] оно использовано для расчета таблиц значений v, h, s, c_p, c_v перегретого и насыщенного пара в интервале $T=243$—473 К, $p=0{,}01$—5 МПа.

Отметим, что в работах [2.17, 2.18, 2.21] термодинамические свойства насыщенного пара фреона-21 рассчитывали с использованием эмпирического уравнения кривой упругости

$$\ln\ p_s=A+B\ \ln\ (T-T_0)+C\ (T_{кр}-T)^n, \qquad (2.3)$$

коэффициенты которого найдены по опытным данным [2.19, 2.24] в интервале $T=243$—449 К. Однако в связи с отклонением опытных данных [2.19] от результатов [2.10], выполненных на более чистых образцах фреона-21, для расчета p_s в интервале T_0—$T_{кр}$ рекомендуется применять обобщенное уравнение (1.2). Ортобарическую плотность жидкости целесообразно вычислять по обобщенному уравнению (1.3). Параметры Ri и p_α уравнений (1.2)—(1.3) для фреона-21 можно оценить с помощью корреляций (1.6)—(1.7) или определить по опытным данным в интервале $\tau=0{,}625$—$0{,}7$.

В работах А. П. Клименко и соавторов [0.22, 1.12] для фреона-21 найдена корректирующая константа ($K_{ij}=-0{,}025$) обобщенного уравнения состояния типа (0.5) и сообщается, что уравнение БВРС аппроксимирует 280 опытных точек [2.19] в области $\tau=0{,}68$—$1{,}04$, $\pi=0{,}05$—$1{,}51$, $\omega=0{,}02$—$0{,}92$ со средним квадратическим отклонением 0,33%.

В статье [0.26] дана информация об алгоритме программы для ЭВМ, разработанной в Институте теплофизики СО АН СССР для расчета теплофизических свойств фреонов. В качестве математической модели уравнения состояния принято выражение

$$z=1+\sum_{i=1}^{r}[K_{1i}+K_{2i}\,\tau+K_{3i}\ \exp\ (-K_4\,\tau)]\omega^{-i}, \qquad (2.4)$$

расчет p_s, ϱ', σ, c_p^0, H^0. s^0 выполняется соответственно по уравнениям (0.11), (0.13), (1.9), (1.12), (1.13), (1.14). Приведенные в этой статье таблицы значений p_s, ϱ, h, s, σ на

линии насыщения фреона-21 при $T=273$—451 К и ϱ, h, s, γ, w в газовой фазе при $p=0{,}1$ МПа, $T=283$—433 К хорошо согласуются с рекомендуемыми в настоящей работе.

Таким образом, имеется несколько уравнений состояния, пригодных для расчета термодинамических свойств газообразного фреона-21. Для сжатой жидкости уравнение состояния и термодинамические таблицы были составлены только в работе [2.1].

2.2. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

При получении уравнения состояния фреона-21 применена машинная методика совместной обработки опытных данных о термических свойствах для жидкости и газа [0.5, 2.1]. В качестве исходных приняты экспериментальные p, v, T-данные МЭИ [2.10], охватывающие область $T=308$—473 К, $p=0{,}3$—19 МПа для газовой и жидкой фаз и около 300 измеренных значений $z(\varrho, T)$ и $p_s(T)$. Полученное уравнение состояния имеет вид (0.15) с коэффициентами, указанными в табл. 16.

В табл. 17 приведены коэффициенты интерполяционных формул (0.18)—(0.21) для определения температурных зависимостей давления насыщенного пара и трех функций в идеально газовом состоянии (энтальпии, теплоемкости и энтропии).

Средняя квадратическая погрешность аппроксимации исходных опытных данных [2.10] уравнением состояния составляет 0,27%; гистограмма отклонений представлена на рис. 10.

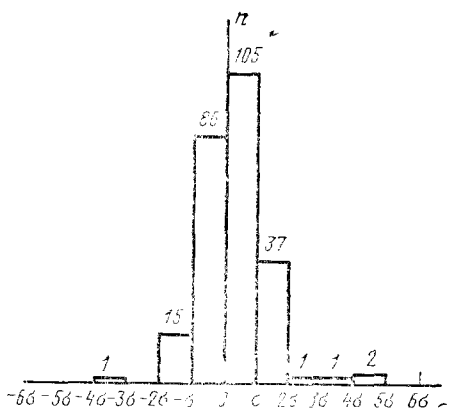


Рис. 10. Гистограмма отклонений значений сжимаемости фреона-21, рассчитанных по уравнению (0.15), от опытных данных [2.10]

Расчет термодинамических свойств на линии насыщения (линиях кипения и конденсации) проведен с использованием независимого уравнения кривой упругости. Средняя квадратическая погрешность аппроксимации исходных опытных данных о p_s—T_s-зависимости полиномом (0.21) составляет 0,09%. Со-

Таблица 16

Коэффициенты уравнения состояния (0.15) для фреона-21 (при размерности ρ—[г/см^3], $\tau = T/451{,}65$)

i	Значение b_{ij} при j				
	0	1	2	3	4
1	$0{,}233889633 \cdot 10^{1}$	$-0{,}305403400 \cdot 10^{1}$	$-0{,}217922813 \cdot 10^{1}$	$0{,}110472338 \cdot 10^{1}$	$-0{,}575342224 \cdot 10^{0}$
2	$-0{,}268911716 \cdot 10^{1}$	$0{,}145434544 \cdot 10^{1}$	$0{,}792086048 \cdot 10^{0}$	$0{,}150672581 \cdot 10^{1}$	$0{,}962453130 \cdot 10^{-1}$
3	$0{,}412827329 \cdot 10^{1}$	$0{,}655474718 \cdot 10^{0}$	$-0{,}487760676 \cdot 10^{0}$	$-0{,}115257330 \cdot 10^{0}$	—
4	$-0{,}315857655 \cdot 10^{1}$	$-0{,}243289633 \cdot 10^{1}$	$-0{,}188795402 \cdot 10^{1}$	—	—
5	$0{,}406934804 \cdot 10^{1}$	$-0{,}600400793 \cdot 10^{0}$	$0{,}180448803 \cdot 10^{0}$	$0{,}221726465 \cdot 10^{0}$	—
6	$-0{,}167145539 \cdot 10^{1}$	$0{,}217886870 \cdot 10^{1}$	$-0{,}457427093 \cdot 10^{0}$	—	—

Таблица 17

Коэффициенты вспомогательных интерполяционных уравнений (0.18)—(0.21) для фреона-21

j	$A^{*}_{s_j}$	α_j	β_j	γ_j
0	$-0{,}924375070 \cdot 10^{2}$	$0{,}122767350 \cdot 10^{2}$	$0{,}13635445 \cdot 10^{2}$	$0{,}615635180 \cdot 10^{2}$
1	$0{,}611097455 \cdot 10^{2}$	$-0{,}959102930 \cdot 10^{0}$	$-0{,}509841820 \cdot 10^{1}$	$-0{,}465871910 \cdot 10^{2}$
2	$0{,}371902056 \cdot 10^{1}$	$0{,}730351950 \cdot 10^{1}$	$-0{,}439020789 \cdot 10^{0}$	$0{,}354966340 \cdot 10^{2}$
3	$-0{,}759756227 \cdot 10^{1}$	$-0{,}247756820 \cdot 10^{1}$	$0{,}103994680 \cdot 10^{1}$	$-0{,}139826580 \cdot 10^{2}$
4	$-0{,}438698453 \cdot 10^{-1}$	$0{,}339640600 \cdot 10^{0}$	$-0{,}223798380 \cdot 10^{0}$	$0{,}216379730 \cdot 10^{1}$
5	$0{,}201704400 \cdot 10^{0}$	—	—	—
6	$0{,}194881380 \cdot 10^{0}$	—	—	—
7	$-0{,}641840765 \cdot 10^{-1}$	—	—	—
8	$0{,}541764224 \cdot 10^{-2}$	—	—	—

* При $\bar{\tau} = T/100$ для A_{sj}; при $\tau = T/451{,}65$ для α_j, β_j, γ_j.

гласие рассчитанных по уравнениям (0.15) и (0.21) значений ϱ' и ϱ'' с данными МЭИ также хорошее (см. рис. 9).

Сравнение с опытными результатами других исследований показало, что:

данные [2.19, 2.21] о сжимаемости перегретого пара в основном занижены и в среднем отклонение составляет 0,25%;

экспериментальные [2.15, 2.16] и рассчитанные значения скорости звука в перегретом паре хорошо согласуются при невысоких давлениях (табл. 18), но вблизи линии насыщения и в широкой окрестности критической точки расхождения велики и достигают 5—10%;

Таблица 18

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными [2.16] исследования скорости звука фреона-21

T, К	p, МПа	$w_{оп}$, м/с	$w_р$, м/с	Δw, м/с	δw, %
463,16	0,49	200,0	200,71	—0,71	—0,34
463,16	0,98	194,9	196,05	—1,15	—0,58
463,16	1,47	189,4	191,17	—1,17	—0,61
463,16	1,96	183,6	186,01	—2,41	—1,30
463,16	2,45	177,4	180,60	—3,20	—1,77
463,16	2,94	170,7	174,81	—4,11	—2,36
451,66	0,49	197,3	197,86	—0,56	—0,28
451,66	0,98	191,8	192,70	—0,90	—0,47
451,66	1,47	185,9	187,20	—1,30	—0,69
451,66	1,96	179,7	181,35	—1,60	—0,88
451,66	2,45	173,1	175,07	—1,97	—1,12
451,66	2,94	166,0	168,18	—2,18	—1,29
303,46	0,049	166,8	166,95	—0,15	—0,09
303,46	0,098	165,1	165,54	—0,44	—0,27
303,46	0,147	163,2	164,11	—0,91	—0,55

расхождения измеренных [2.9] и вычисленных значений теплоемкости c_p перегретого пара практически не превышают погрешностей эксперимента и расчета (табл. 19);

Таблица 19

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными [2.9] об изобарной теплоемкости фреона-21

T, К	p, МПа	$c_p^{оп}$, кДж/кг	$c_p^{р}$, кДж/кг	δc_p, %	T, К	p, МПа	$c_p^{оп}$, кДж/кг	$c_p^{р}$, кДж/кг	δc_p, %
303,05	0,098	0,614	0,608	0,98	411,75	0,50	0,720	0,722	—0,3
318,65	0,098	0,626	0,626	0	446,65	0,50	0,740	0,735	0,7
337,55	0,098	0,641	0,643	—0,3	436,55	2,0	0,848	0,845	0,4
416,05	0,60	0,727	0,730	—0,4	444,75	2,0	0,835	0,832	0,4
446,85	0,60	0,745	0,740	0,7	452,85	2,0	0,831	0,822	1
390,15	0,50	0,712	0,717	—0,7					

вычисленные значения теплоемкости насыщенной жидкости удовлетворительно согласуются с опытными данными [0.11, 2.12].

Поверхностное натяжение жидкого фреона-21 рассчитано по обобщенному уравнению (1.9) с погрешностью 1—1,5%.

2.3. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Экспериментальные исследования вязкости жидкого и газообразного фреона-21 при высоких давлениях и в широком интервале температур проведены в самое последнее время (табл. 20). Поэтому в справочниках [0.8, 0.9, 0.10, 0.34], опубликованных в 70-е годы, содержится ограниченная и не всегда точная информация о вязкости фреона-21 при атмосферном давлении η_T и на линии насыщения $\eta_ж$. Так, в справочнике [0.10] содержатся лишь оценочные данные о η_T и $\eta_ж$ по данным расчетных работ [0.7, 2.6], таблицы [0.8, 0.9] фактически основаны на опытных результатах Макиты [2.32], которые оказались недостоверными, и т. д.

В настоящее время надежные уравнения и экспериментально обоснованные таблицы вязкости фреона-21 можно составить в области $T=230$—473 К и $p=0{,}1$—60 МПа.

Из табл. 20 следует, что для изучения вязкости фреона-21 при низких давлениях в газовой фазе и на линии насыщения длительное время применяли метод катящегося шарика (критические замечания по этому методу делались неоднократно [1.5, 1.6]). Вместе с тем значительная часть измеренных в работах [2.30, 2.38, 3.35] значений η_T достаточно хорошо согласуется как между собой, так и с результатами измерений в работе [2.13], проведенных капиллярным методом. Исключение составляют лишь данные Макиты [2.32], отличающиеся на 8—10%. Такими же неточными оказались данные этого автора и для других веществ [2.3].

Измеренные методом катящегося шарика значения $\eta_ж$ [3.35, 2.38] также не подтверждаются более поздними экспериментальными данными.

Результаты Беннинга, Марквуда [3.35] о вязкости жидкого фреона-21 вблизи линии насыщения существенно завышены (до 20%) по сравнению с новыми экспериментальными данными [2.4, 2.13]. Опытные значения Кинзера, напротив, сильно занижены (до 10%) по отношению к данным Филипса, Мэрфи [1.50]. Таким образом, результаты измерений вязкости фреона-21 в жидкой фазе вблизи линии насыщения, полученные методом катящегося шарика, по-видимому, ненадежны и в дальнейшем не рассматриваются.

Таблица 20

Экспериментальные исследования вязкости фреона-21

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод	Источник
1939	Беннинг, Марквуд	274—353	0,03—0,1	г	7	КШ	[2.35]
		243—333	p_s	ж	4	КШ	[2.35]
1954	Макита	298—423	0,1—0,6	г	10	КШ	[2.32]
1955	Веллман	303—362	0,1	г	4	КШ	[2.38]
1956	Кинзер	208—248	p_s	ж	6	КШ	
1958	Мак-Куллум	363—464	0,1	г	4	КШ	
1959	Цуи	363—423	0,1	г	3	КШ	
1959	Кэмин, Витцель	303—363	0,1—0,6	г	12	КШ	[2.30]
1970	Филипс, Мэрфи	208—347	p_s	ж	11	Ка	[1.50]
1975	Геллер, Иванченко, Кронберг	273—434	1—59	ж	65	Ка	[2.4]
1975	Рассказов, Бабиков, Филатов	273—473	0,1—20	г; ж	53	Ка	[2.13]

Измерения Филипса, Мэрфи [1.49, 1.50] проведены методом неразгруженного от давления капиллярного вискозиметра с «висячим уровнем» при числах Рейнольдса от 50 до 700, и результаты занимают промежуточное положение между данными [3.35] и [2.38]. Однако сравнение их с новыми экспериментальными значениями [2.4, 2.13], полученными при помощи капиллярных вискозиметров более совершенных конструкций, показало, что с повышением температуры расхождения растут и при 347 К достигают 12%. Следует отметить, что в работе [1.50] отсутствует информация, необходимая для подробного анализа измерений, и потому однозначно установить причины столь существенных отклонений не представляется возможным.

В. З. Геллер, С. И. Иванченко и А. В. Кронберг [2.4] использовали капиллярные вискозиметры конструкции И. Ф. Голубева (V вариант). Все измерения проведены при числах Рейнольдса не более 800. «Стыковку» значений вязкости, полученных с различными вискозиметрами, осуществляли на двух-трех изотермах, при этом расхождения не превышали погрешности эксперимента, оцененной авторами ±1,5%. Фреон-21, как показали хроматографические анализы, содержал примесей не более 0,1%. Контроль чистоты фреона после окончания эксперимента свидетельствует об отсутствии его термического разложения.

Д. С. Рассказов, Ю. М. Бабиков и Н. Я. Филатов [2.13] применили модифицированный вискозиметр Ренкина с капилляром в замкнутом контуре. Отличительными особенностями вискозиметра явились вынос ртути, создающей перепад давлений на капилляре, в зону комнатных температур и фиксация времени падения капли ртути бесконтактным методом с помощью высокочастотного резонансного контура. Максимальная относительная погрешность опытных данных согласно авторской оценке не превышала 2—2,3%. Содержание примесей во фреоне-21 составляло 0,13%.

Анализ результатов [2.4, 2.13] показал, что экспериментальные данные согласуются между собой с отклонением в пределах суммарной погрешности рассматриваемых работ. Поэтому как для газовой фазы фреона-21 при атмосферном давлении, так и для жидкой фазы имеется достаточная согласованность независимых измерений. Для определения вязкости фреона-21 при атмосферном давлении рекомендуется использовать уравнение (1.18) со следующими значениями констант:

$\eta_{T_{кр}} = 16{,}7$ мкПа·с;

$a_0 = 0{,}73904$; $a_2 = -0{,}01239$;

$a_1 = 0{,}12559$; $a_3 = -0{,}00157$.

При его получении в массив исходных η_T, T-данных были включены 32 экспериментальных значения η_T по работам [2.13, 2.30, 2.38, 3.35] в интервале температур 273—473 К. Для расчета зависимости вязкости газообразного и жидкого фреона-21 от давления рекомендуется использовать в интервале $\omega=0$—1,9 обобщенное уравнение (0.35), а при $\omega\geqslant 1{,}9$— обобщенное уравнение (0.41), коэффициенты которых приведены в табл. 4. Вязкость фреона-21 в опорной точке ($\tau=0{,}7$ и $\pi=0{,}7$) найдена по данным [2.4, 2.13] и равна $\eta_{0,7}=$ $=272$ мкПа·с.

Заметим, что коэффициенты $\bar{b}_{\tau_i,\ i}$, $\bar{\alpha}_{\eta_i,\ i}$, $\bar{\beta}_{\eta_i,\ i}$ найдены на основании обработки весьма представительной совокупности согласующихся экспериментальных данных для фреона-21, 22 и 23, причем в общий массив исходных данных были включены ~ 120 опытных значений вязкости фреона-21 в интервале $T=273$—473 К и $p=0{,}1$—59 МПа, полученных в работах [2.4, 2.13, 2.30]. На рис. 11, 12 показаны отклонения опытных данных от рассчитанных по этим уравнениям.

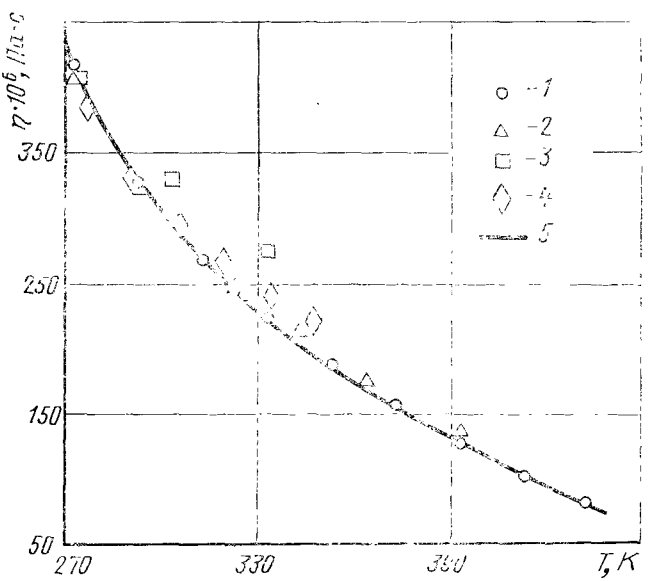


Рис. 11. Вязкость жидкого фреона-21 вдоль линии насыщения:

опытные данные: *1*—Геллера и др. [2.4]; *2*—Рассказова и др. [2.13]; *3*—Беннинга, Марквуда [3.35]; *4*—Филипса, Мэрфи [1.50]; *5*—расчетные данные настоящей работы

Существующие справочники [0.8, 0.9, 0.10, 0.34] содержат сведения только о теплопроводности фреона-21 при атмос-

ферном давлении и вблизи линии насыщения, причем, напри мер, рекомендуемые в них значения $\lambda_ж$ взяты из опублико ванной в 1965 г. расчетной работы [2.14].

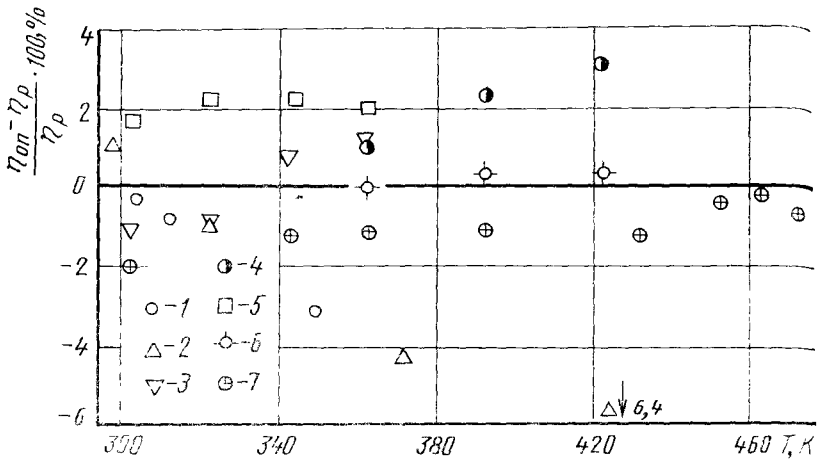


Рис. 12. Отклонение опытных значений вязкости фреона-21 при атмосферном давлении от принятых в настоящей работе:

1—Беннинга, Марквуда [3.35]; *2*—Макиты [2.32]; *3*—Веллмана [2.38]; 4—Мак-Куллума [2.38]; *5*—Кэмина, Витцеля [2.30]; *6*—Цун [2.38]; 7—Геллера и др. [2.4]

К настоящему времени накоплена достаточно большая экспериментальная информация о теплопроводности фреона-21 в газовой и жидкой фазах при давлении до 60 МПа в интервале $T=150$—470 К — табл. 21.

Для исследования теплопроводности жидких фреонов Марквуд, Беннинг [2.33] использовали относительный вариант метода коаксиальных цилиндров и в калибровочных опытах за основу приняли данные Бриджмена о λ толуола и этилового спирта, которые в силу существенных методических погрешностей, связанных со значительными оттоками тепла, оказались завышенными на 15—25% по отношению к наиболее достоверным результатам других авторов. Теплопроводность газообразного фреона-21 Марквуд, Беннинг измеряли относительным методом нагретой нити и приняли в качестве образцовых данные о теплопроводности воздуха и двуокиси углерода. Измеренные ими значения λ_T при температурах 303—363 К несколько лучше согласуются с данными других авторов, чем значения $\lambda_ж$.

Таблица 21

Экспериментальные исследования теплопроводности фреона-21

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод	Источник
1943	Марквуд, Беннинг	303—363	0,1	г	2	Н	[2.33]
		273—348	$\sim p_s$	ж	3	КЦ	[2.33]
1959	Пауэлл, Чаллонер	253—293	$\sim p_s$	ж	2	П	[2.35]
1964	Джалалян	215—273	$\sim p_s$	ж	7	Н	[1.29]
1964	Масиа, Брасеро, Риенда	278—408	0,003—0,12	г	8	Н	[2.34]
1966	Пауэлл и др.	286	$\sim p_s$	ж	1	ТК	[2.36]
1967	Таушер	148—323	$\sim p_s$	ж	13	НН	[1.63]
1970	Груздев, Шестова	325—465	0,16—4,5	г	51	КЦ	[2.7]
		305—400	0,5—5,5	ж	13	КЦ	[2.7]
1974	Геллер, Передрий	210—132	5—59	ж	64	Н	[2.5]

Примечание. ТК — метод теплового компаратора.

В работе [2.35] измерения $\lambda_ж$ фреона-21 проведены методом плоского слоя, нагреваемого сверху, благодаря чему исключалась естественная конвекция в жидкостях с положительным коэффициентом расширения. Эта методика была использована авторами ранее [2.28] при определении теплопроводности при атмосферном давлении семи технически важных жидкостей, в том числе и толуола.

По авторской оценке, погрешность опытных данных равна ±1%. Однако в действительности опытные данные Пауэлла, Чаллонера о теплопроводности толуола отличаются от рекомендуемых в справочнике [2.2] на 3—4%, а результаты измерений на жидком фреоне-21 завышены по отношению к данным других авторов на 8—10%.

Позднее Пауэлл и соавторы [2.36] применили для измерения $\lambda_ж$ относительный метод теплового компаратора. Опорными служили значения теплопроводности толуола и четыреххлористого углерода, полученные ранее [2.28]. Погрешность оценена ±5%. Теплопроводность фреона-21 при температуре 286 К [2.36] также существенно отличается от данных других авторов.

Данные Масиа, Брасеро, Риенды [2.34] получены методом нагретой нити, достаточно надежны и были использованы ранее при составлении справочных таблиц [2.31] и разработке обобщенного уравнения (1.21).

Таушер [1.63] применил относительный вариант нестационарного метода нагретой платиновой нити, ее диаметр в обоих зондах составлял 20 мкм, длина 50 мм. В качестве образцовой жидкости использовано высоковязкое силиконовое масло, λ которого определяли в контрольных опытах по толуолу. Контрольные опыты проводили после каждой серии измерений, при этом в качестве опорных были приняты значения теплопроводности толуола, рекомендуемые в работе Зибланда [2.40]. Разброс экспериментальных точек Таушера, как показывают приведенные в работе результаты контрольных опытов с толуолом, составляет 3—4%. Вместе с тем экспериментальные данные о теплопроводности фреона-21 достаточно хорошо согласуются с результатами более поздних исследований [2.5, 2.7].

Анализ работы В. А. Груздева, А. И. Шестовой [2.7, 2.8] показал достаточную надежность их данных. Об этом свидетельствуют согласование (отклонение в пределах суммарной погрешности сравниваемых результатов) с данными [2.31, 2.34] о теплопроводности газообразного фреона-21 при атмосферном давлении, а также с результатами [1.63, 2.5] для жидкого фреона-21 вдоль кривой насыщения.

В. З. Геллер, В. Г. Передрий [2.5] использовали модифицированный вариант стационарного метода нагретой нити, при этом в качестве наружного термометра сопротивления

был взят тонкостенный платиновый капилляр, что позволило повысить точность определения теплопроводности. Отсутствие конвекции контролировали измерениями при двух-четырех различных значениях перепада температур в слое (числа Рэлея не превышали 1500). При подсчете λ вводили поправки на эксцентриситет нити, отвод тепла с концов и изменение геометрических размеров измерительной ячейки, которые в сумме не превышали 0,3—0,5%. В связи с отсутствием ИК-спектров поглощения жидкого фреона-21 поправку на теплообмен излучением не вводили, однако, как показывают расчеты, это не могло существенно исказить результаты измерений. Опыты проводили при зазоре 0,5 мм. Чистота фреона-21, проверенная хроматографически, составляла 99,9%. Погрешность опытных данных оценена авторами $\pm 1{,}2\%$. Результаты измерений [2.5] вблизи кривой насыщения находятся в хорошем согласии с данными [2.7, 1.63].

По указанным выше причинам данные [2.33, 2.35, 2.36] целесообразно исключить из обработки. Между результатами остальных независимых измерений согласованность удовлетворительная (хотя желаемая высокая степень согласования опытных данных не достигнута).

Для определения теплопроводности фреона-21 при атмосферном давлении рекомендуется использовать уравнение (1.20) со следующими значениями коэффициентов:

$$a_0 = -6{,}378 \cdot 10^{-3};\ a_1 = 5{,}135 \cdot 10^{-5};$$

размерность λ—[Вт/(м·К)]. Эти значения коэффициентов найдены в результате обработки 30 значений λ_T в интервале $T=250$—465 К по данным [2.7, 2.33, 2.34].

Температурная зависимость теплопроводности жидкого фреона-21 вдоль кривой насыщения описывается уравнением (0.46), коэффициенты которого равны

$c_1 = -0{,}22593$; $c_4 = 4{,}03891$;
$c_2 = 2{,}87771$; $c_5 = -0{,}98069$;
$c_3 = -5{,}26325$; $c_6 = -0{,}00627$;
$\lambda_{кр} = 373 \cdot 10^{-4}$ Вт/(м·К).

Эти коэффициенты найдены в результате обработки 40 значений λ_s в интервале $T=148$—432 К по данным [1.29, 1.63, 2.5, 2.7].

Для расчета зависимости теплопроводности газообразного и жидкого фреона-21 от давления рекомендуется использовать систему согласованных между собой уравнений: в интервале $\omega=0$—$1{,}9$—уравнение (0.34) с индивидуальными коэффициентами, а при $\omega \geqslant 1{,}9$—обобщенное уравнение (0.45).

Числовые значения коэффициентов $b_{\lambda,\,i}$ уравнения (0.34) найдены по опытным данным работы [2.7] в интервале значений плотности 10—230 кг/м³ и равны

$b_1 = 0{,}026504$; $b_3 = -0{,}041032$;

$b_2 = 0{,}038283$; $b_4 = 0{,}026114$.

Размерность $\lambda \cdot 10^4$—[Вт/(м·К)].

Коэффициенты $\alpha_{\lambda,\,ij}$ обобщенного уравнения (0.45) приведены в табл. 5 и получены по массиву измерений λ фреонов-21, 22, 23 (272 точки) в интервале $\tau = 0{,}3$—$1{,}0$ и $\pi = 1$—12,

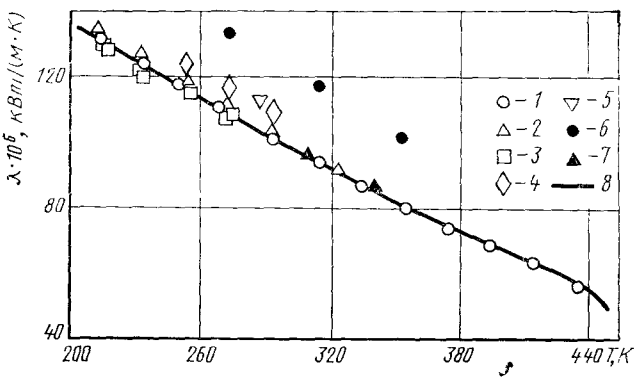


Рис. 13. Теплопроводность фреона-21 вдоль линии насыщения:

опытные данные: *1*—Геллера, Передрия [2.5]; *2*—Таушера [1.63]; *3*—Джалаляна [1.29]; *4*—Пауэла, Чаллонера [2.35]; *5*—Пауэла и др. [2.36]; *6*—Марквуда, Беннинга [2.33]; *7*—Груздева, Шестовой [2.7]; *8*—расчетные данные настоящей работы

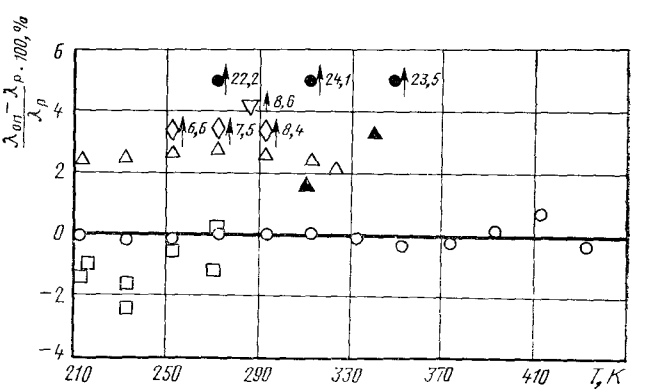


Рис. 14. Отклонение опытных значений теплопроводности фреона-21 вдоль линии насыщения от принятых в настоящей работе

Обозначения те же, что и на рис. 13

причем в состав исходных данных было включено 51 значение λ фреона-21 в интервале $T=210$—432 К и $p=5$—59 МПа [2.5].

На рис. 13, 14 показаны отклонения опытных данных от рассчитанных по этим уравнениям.

2.4. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Термодинамические таблицы для газообразного и жидкого фреона-21 рассчитаны по уравнениям, указанным в 2.2, и охватывают область $T=303$—473 К и $p=0{,}01$—20 МПа (табл. 22, 23). Приведенная в 2.3 система уравнений для расчета вязкости и теплопроводности фреона-21 применима во всей экспериментально изученной области состояний. Однако необходимые для определения ν, a и Pr точные значения термодинамических функций (ρ и c_p) имеются лишь до давления порядка 20 МПа и при температурах выше $T_{\text{н.т.к}}$. Поэтому рекомендуемые таблицы переносных свойств (табл. 24, 25) охватывают ту же область состояний, что и термодинамические таблицы.

Таблица 22

Термодинамические свойства фреона-21 на линиях кипения и конденсации

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\sigma \cdot 10^3$
303,15	0,2150	1350,4	9,32	283,9	498,3	2,071	2,785	0,981	0,639	214,4	16,99
305,15	0,2296	1345,7	9,91	285,8	499,2	2,077	2,784	0,978	0,643	213,4	16,70
307,15	0,2148	1340,9	10,53	287,8	500,2	2,084	2,782	0,976	0,647	212,4	16,42
309,15	0,2607	1336,1	11,17	289,7	501,1	2,091	2,781	0,974	0,651	211,4	16,14
311,15	0,2774	1331,2	11,85	291,7	502,1	2,097	2,779	0,973	0,655	210,4	15,85
313,15	0,2948	1326,3	12,55	293,7	503,0	2,103	2,778	0,972	0,659	209,3	15,57
315,15	0,3130	1321,4	13,29	295,6	503,9	2,110	2,776	0,971	0,663	208,3	15,29
317,15	0,3321	1316,4	14,05	297,6	504,8	2,116	2,775	0,971	0,667	207,2	15,01
319,15	0,3520	1311,3	14,85	299,5	505,7	2,122	2,774	0,971	0,671	206,2	14,73
321,15	0,3728	1306,2	15,69	301,5	506,7	2,129	2,773	0,972	0,675	205,2	14,45
323,15	0,3945	1301,1	16,56	303,4	507,6	2,135	2,771	0,973	0,680	204,2	14,18
325,15	0,4172	1295,9	17,47	305,4	508,4	2,141	2,770	0,974	0,684	203,0	13,90
327,15	0,4408	1290,7	18,42	307,3	509,3	2,147	2,769	0,975	0,689	202,0	13,63
329,15	0,4655	1285,4	19,41	309,3	510,2	2,153	2,768	0,977	0,693	200,9	13,36
331,15	0,4912	1280,1	20,44	311,2	511,1	2,159	2,766	0,979	0,698	199,9	13,08
333,15	0,5180	1274,7	21,51	313,2	511,9	2,165	2,765	0,982	0,703	198,7	12,81
335,15	0,5459	1269,3	22,63	315,2	512,8	2,171	2,764	0,984	0,708	197,6	12,54
337,15	0,5749	1263,8	23,80	317,2	513,6	2,177	2,763	0,987	0,713	196,4	12,28
339,15	0,6051	1258,3	25,02	319,1	514,4	2,183	2,762	0,990	0,718	195,3	12,01
341,15	0,6365	1252,7	28,28	321,1	515,2	2,188	2,761	0,994	0,723	194,1	11,74
343,15	0,6691	1247,1	27,60	323,1	516,0	2,194	2,760	0,998	0,728	192,9	11,48
345,15	0,7030	1241,4	28,97	325,1	516,8	2,200	2,758	1,001	0,734	191,7	11,21
347,15	0,7381	1235,7	30,39	327,2	517,6	2,206	2,757	1,006	0,740	190,4	10,95

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_p'	c_p''	r	$\sigma \cdot 10^3$
349,15	0,7745	1229,9	31,88	329,2	518,4	2,212	2,756	1,010	0,745	189,2	10,69
351,15	0,8123	1224,1	33,42	331,2	519,2	2,217	2,755	1,015	0,751	188,0	10,43
353,15	0,8514	1218,1	35,02	333,2	519,9	2,223	2,754	1,020	0,757	186,7	10,17
355,15	0,8919	1212,2	36,68	335,3	520,6	2,229	2,753	1,025	0,764	185,3	9,91
357,15	0,9338	1206,1	38,41	337,3	521,4	2,235	2,753	1,030	0,770	184,1	9,66
359,15	0,9772	1200,0	40,21	339,4	522,1	2,240	2,751	1,036	0,777	182,7	9,40
361,15	1,0220	1193,8	42,08	341,5	522,7	2,246	2,750	1,042	0,784	181,2	9,15
363,15	1,0684	1187,6	44,02	343,6	523,4	2,252	2,749	1,048	0,791	179,8	8,90
365,15	1,1162	1181,3	46,03	345,7	524,1	2,257	2,748	1,054	0,798	178,4	8,65
367,15	1,1657	1174,9	48,12	347,8	524,7	2,263	2,747	1,061	0,806	176,9	8,40
369,15	1,2167	1168,4	50,29	349,9	525,4	2,269	2,745	1,068	0,814	175,5	8,15
371,15	1,2693	1161,8	52,55	352,0	526,0	2,274	2,744	1,075	0,822	174,0	7,90
373,15	1,3236	1155,2	54,89	354,2	526,6	2,280	2,743	1,083	0,831	172,4	7,66
375,15	1,3795	1148,5	57,32	356,4	527,1	2,286	2,742	1,091	0,840	170,7	7,42
377,15	1,4372	1141,7	59,85	358,5	527,7	2,291	2,741	1,099	0,849	169,2	7,17
379,15	1,4966	1134,7	62,47	360,7	528,2	2,297	2,740	1,108	0,859	167,5	6,93
381,15	1,5577	1127,7	65,20	363,0	528,8	2,303	2,739	1,117	0,869	165,8	6,70
383,15	1,6207	1120,6	68,03	365,2	529,3	2,308	2,737	1,127	0,880	164,1	6,46
385,15	1,6855	1113,4	70,98	367,4	529,7	2,314	2,736	1,137	0,891	162,3	6,22
387,15	1,7522	1106,0	74,04	369,7	530,2	2,320	2,735	1,148	0,903	160,5	5,99
389,15	1,8207	1098,5	77,22	372,0	530,6	2,325	2,734	1,159	0,915	158,6	5,76
391,15	1,8912	1091,0	80,54	374,3	531,0	2,331	2,733	1,171	0,928	156,7	5,53
393,15	1,9637	1083,2	83,98	376,6	531,4	2,337	2,731	1,183	0,942	154,8	5,30
395,15	2,038	1075,4	87,58	378,9	531,8	2,343	2,730	1,197	0,957	152,9	5,08
397,15	2,115	1067,3	91,32	381,3	532,1	2,348	2,729	1,211	0,973	150,8	4,85

Продолжение табл. 22

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_p'	c_p''	r	$\sigma \cdot 10^3$
399,15	2,193	1059,2	95,22	383,6	532,4	2,354	2,727	1,226	0,989	148,8	4,63
401,15	2,274	1050,8	99,30	386,1	532,6	2,360	2,726	1,242	1,007	146,5	4,41
403,15	2,357	1042,3	103,55	388,5	532,9	2,366	2,724	1,260	1,027	144,4	4,20
405,15	2,442	1033,5	108,00	390,9	533,0	2,372	2,723	1,278	1,047	142,1	3,98
407,15	2,530	1024,6	112,65	393,4	533,2	2,378	2,721	1,298	1,070	139,8	3,77
409,15	2,620	1015,4	117,53	395,9	533,3	2,383	2,719	1,320	1,091	137,1	3,56
411,15	2,712	1006,1	122,64	398,5	533,4	2,389	2,718	1,344	1,121	134,9	3,35
413,15	2,806	996,4	128,01	401,1	533,4	2,395	2,716	1,370	1,150	132,3	3,14
415,15	2,903	986,5	133,66	403,7	533,3	2,402	2,714	1,398	1,182	129,6	2,94
417,15	3,003	976,2	139,62	406,4	533,2	2,408	2,712	1,430	1,217	126,8	2,74
419,15	3,105	965,7	145,91	409,1	533,1	2,414	2,710	1,465	1,257	124,0	2,54
421,15	3,210	954,7	152,57	411,8	532,9	2,420	2,708	1,504	1,301	121,1	2,35
423,15	3,317	943,4	159,63	414,6	532,6	2,427	2,705	1,549	1,352	118,0	2,16
425,15	3,428	931,6	167,15	417,5	532,2	2,433	2,703	1,600	1,409	114,7	1,97
427,15	3,541	919,3	175,18	420,4	531,7	2,440	2,700	1,658	1,476	111,3	1,79
429,15	3,657	906,4	183,79	423,4	531,2	2,446	2,697	1,726	1,553	107,8	1,61
431,15	3,776	892,8	193,05	426,5	530,5	2,453	2,694	1,806	1,645	104,0	1,43
433,15	3,898	878,6	203,08	429,7	529,7	2,460	2,691	1,902	1,756	100,0	1,26

Термодинамические свойства фреона-21 в однофазной области

$T = 303{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	φ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,41	0,9975	502,8	3,044	0,600	168,0	34,90	3,327
0,02	0,82	0,9949	502,6	2,987	0,601	167,6	34,95	3,356
0,03	1,23	0,9923	502,4	2,951	0,603	167,3	35,01	3,385
0,04	1,65	0,9897	502,1	2,930	0,605	167,0	35,07	3,414
0,05	2,07	0,9871	501,9	2,912	0,607	166,7	35,13	3,444
0,1	4,19	0,9740	500,9	2,853	0,616	165,1	35,43	3,600
0,2	8,63	0,9468	498,6	2,792	0,636	161,7	36,10	3,952
0,3	1350,66	0,0091	283,9	2,071	0,981	716,2	—0,35	1,758
0,4	1350,95	0,0121	283,9	2,070	0,980	717,0	—0,35	1,755
0,5	1351,24	0,0151	284,0	2,070	0,980	717,9	—0,35	1,753
0,6	1351,53	0,0181	284,0	2,070	0,980	718,8	—0,35	1,751
0,7	1351,82	0,0211	284,0	2,070	0,979	719,6	—0,36	1,748
0,8	1352,11	0,0242	284,1	2,070	0,979	720,5	—0,36	1,746
0,9	1352,39	0,0272	284,1	2,070	0,979	721,4	—0,36	1,744
1,0	1352,68	0,0302	284,1	2,070	0,978	722,2	—0,36	1,741
1,5	1354,10	0,0452	284,3	2,069	0,977	726,5	—0,36	1,730
2,0	1355,50	0,0603	284,5	2,068	0,975	730,8	—0,36	1,719
2,5	1356,89	0,0752	284,7	2,068	0,974	735,0	—0,37	1,708
3,0	1358,26	0,0902	284,8	2,067	0,972	739,2	—0,37	1,698
3,5	1359,62	0,1051	285,0	2,067	0,971	743,3	—0,37	1,688
4,0	1360,96	0,1200	285,2	2,066	0,969	747,4	—0,37	1,678
4,5	1362,29	0,1349	285,4	2,065	0,968	751,5	—0,38	1,668
5,0	1363,60	0,1497	285,6	2,065	0,966	755,6	—0,38	1,658
5,5	1364,90	0,1645	285,7	2,064	0,965	759,6	—0,38	1,649
6,0	1366,19	0,1793	285,9	2,063	0,963	763,6	—0,38	1,640
6,5	1367,47	0,1941	286,1	2,063	0,962	767,6	—0,38	1,631
7,0	1368,73	0,2088	286,3	2,062	0,961	771,5	—0,39	1,622
7,5	1369,98	0,2236	286,5	2,062	0,959	775,4	—0,39	1,614
8,0	1371,21	0,2382	286,7	2,061	0,958	779,3	—0,39	1,605
8,5	1372,44	0,2529	286,8	2,061	0,957	783,1	—0,39	1,597
9,0	1373,65	0,2675	287,0	2,060	0,956	786,9	—0,40	1,589
9,5	1374,85	0,2822	287,2	2,059	0,954	790,7	—0,40	1,581
10,0	1376,05	0,2968	287,4	2,059	0,953	794,5	—0,40	1,573
11,0	1378,39	0,3259	287,8	2,058	0,951	802,0	—0,40	1,558
12,0	1380,70	0,3549	288,2	2,057	0,949	809,4	—0,41	1,544
13,0	1382,97	0,3838	288,6	2,055	0,946	816,7	—0,41	1,529
14,0	1385,20	0,4127	289,0	2,054	0,944	823,9	—0,41	1,516
15,0	1387,39	0,4415	289,3	2,053	0,942	831,0	—0,42	1,503
16,0	1389,55	0,4702	289,7	2,052	0,940	838,0	—0,42	1,490
17,0	1391,67	0,4988	290,1	2,051	0,938	845,0	—0,42	1,478
18,0	1393,76	0,5274	290,5	2,050	0,936	851,8	—0,43	1,466
19,0	1395,82	0,5558	298,9	2,049	0,934	858,6	—0,43	1,455

T=313,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^4$
0,01	0,40	0,9977	508,8	3,064	0,609	170,5	31,75	3,218
0,02	0,79	0,9954	508,6	3,008	0,610	170,2	31,80	3,243
0,03	1,19	0,9931	508,5	2,975	0,612	170,0	31,85	3,268
0,04	1,60	0,9908	508,3	2,951	0,614	169,7	31,90	3,293
0,05	2,00	0,9885	508,1	2,933	0,615	169,4	31,94	3,319
0,1	4,05	0,9767	507,1	2,874	0,623	167,9	32,20	3,453
0,2	8,30	0,9525	505,0	2,814	0,610	164,9	32,76	3,749
0,3	1326,32	0,0889	293,7	2,103	0,972	696,4	—0,32	1,881
0,4	1326,64	0,0119	293,7	2,103	0,971	697,4	—0,32	1,878
0,5	1326,96	0,0149	293,7	2,103	0,971	698,3	—0,32	1,875
0,6	1327,28	0,0179	293,7	2,103	0,970	699,2	—0,32	1,872
0,7	1327,60	0,0208	293,8	2,103	0,970	700,1	—0,32	1,869
0,8	1327,91	0,0238	293,8	2,103	0,970	701,1	—0,32	1,866
0,9	1328,23	0,0268	293,8	2,103	0,969	702,0	—0,32	1,863
1,0	1328,54	0,0298	293,9	2,102	0,969	702,9	—0,32	1,860
1,5	1330,11	0,0446	294,0	2,102	0,967	707,5	—0,33	1,847
2,0	1331,65	0,0594	294,2	2,101	0,965	712,0	—0,33	1,833
2,5	1333,17	0,0741	294,3	2,100	0,964	716,5	—0,34	1,820
3,0	1334,67	0,0889	294,5	2,100	0,962	720,9	—0,34	1,807
3,5	1336,16	0,1035	294,7	2,099	0,960	725,3	—0,34	1,795
4,0	1337,62	0,1182	294,8	2,098	0,958	729,7	—0,34	1,783
4,5	1339,07	0,1328	295,0	2,098	0,957	734,0	—0,35	1,771
5,0	1340,51	0,1474	295,2	2,097	0,955	738,3	—0,35	1,759
5,5	1341,92	0,1620	295,3	2,096	0,954	742,6	—0,35	1,748
6,0	1343,32	0,1766	295,5	2,096	0,952	746,8	—0,36	1,737
6,5	1344,71	0,1911	295,7	2,095	0,951	751,0	—0,36	1,726
7,0	1346,08	0,2056	295,9	2,094	0,949	755,1	—0,36	1,716
7,5	1347,43	0,2200	296,0	2,094	0,948	759,2	—0,36	1,705
8,0	1348,77	0,2345	296,2	2,093	0,946	765,3	—0,37	1,695
8,5	1350,10	0,2489	296,4	2,093	0,945	767,4	—0,37	1,665
9,0	1351,41	0,2633	296,5	2,092	0,944	771,4	—0,37	1,676
9,5	1352,71	0,2776	296,7	2,091	0,942	775,4	—0,38	1,666
10,0	1354,00	0,2920	296,9	2,091	0,941	779,3	—0,38	1,657
11,0	1356,53	0,3206	297,3	2,089	0,938	787,2	—0,38	1,639
12,0	1359,02	0,3491	297,6	2,088	0,936	794,9	—0,39	1,622
13,0	1361,46	0,3775	298,0	2,087	0,934	802,6	—0,39	1,606
14,0	1363,86	0,4058	298,3	2,086	0,931	810,1	—0,40	1,590
15,0	1366,21	0,4340	298,7	2,085	0,929	817,5	—0,40	1,575
16,0	1368,52	0,4622	299,1	2,084	0,927	824,9	—0,40	1,560
17,0	1370,79	0,4902	299,5	2,082	0,925	832,1	—0,41	1,546
18,0	1373,03	0,5182	299,8	2,081	0,923	839,3	—0,41	1,532
19,0	1375,22	0,5462	300,2	2,080	0,921	846,4	—0,41	1,519
20,0	1377,39	0,5740	300,6	2,079	0,919	853,4	—0,42	1,506

$T = 323{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\eta \cdot 10^5$
0,01	0,38	0,9979	515,0	3,081	0,618	173,1	29,02	3,116
0,02	0,77	0,9959	514,8	3,028	0,620	172,8	29,06	3,137
0,03	1,16	0,9938	514,6	2,995	0,621	172,5	29,10	3,159
0,04	1,55	0,9917	514,4	2,971	0,622	172,3	29,15	3,181
0,05	1,94	0,9896	514,3	2,953	0,624	172,0	29,19	3,204
0,1	3,91	0,9791	513,3	2,895	0,630	170,7	29,40	3,319
0,2	8,00	0,9574	511,5	2,835	0,645	167,9	29,87	3,572
0,3	12,29	0,9349	509,5	2,798	0,662	165,0	30,39	3,860
0,4	1301,11	0,0116	303,4	2,135	0,973	672,5	—0,28	2,012
0,5	1301,46	0,0147	303,4	2,135	0,972	673,5	—0,28	2,008
0,6	1301,82	0,0177	303,5	2,134	0,972	674,5	—0,28	2,005
0,7	1302,17	0,0206	303,5	2,134	0,971	675,5	—0,28	2,001
0,8	1302,52	0,0235	303,5	2,134	0,971	676,5	—0,28	1,997
0,9	1302,87	0,0265	303,5	2,134	0,970	677,5	—0,28	1,994
1,0	1303,22	0,0294	303,6	2,134	0,970	678,5	—0,28	1,990
1,5	1304,96	0,0440	303,7	2,133	0,968	683,3	—0,29	1,973
2,0	1306,67	0,0586	303,8	2,132	0,966	688,2	—0,29	1,956
2,5	1308,35	0,0732	304,0	2,131	0,964	692,9	—0,30	1,940
3,0	1310,01	0,0877	304,1	2,131	0,962	697,6	—0,30	1,924
3,5	1311,65	0,1022	304,3	2,130	0,960	702,3	—0,30	1,909
4,0	1313,27	0,1167	304,4	2,129	0,958	706,9	—0,31	1,894
4,5	1314,86	0,1311	304,6	2,129	0,956	711,5	—0,31	1,880
5,0	1316,44	0,1455	304,7	2,128	0,954	716,1	—0,32	1,866
5,5	1317,99	0,1599	304,9	2,127	0,952	720,6	—0,32	1,852
6,0	1319,53	0,1742	305,0	2,126	0,951	725,0	—0,32	1,839
6,5	1321,04	0,1885	305,2	2,126	0,949	729,4	—0,33	1,826
7,0	1322,54	0,2028	305,3	2,125	0,947	733,8	—0,33	1,813
7,5	1324,02	0,2170	305,5	2,124	0,946	738,1	—0,33	1,801
8,0	1325,49	0,2312	305,7	2,124	0,944	742,5	—0,34	1,789
8,5	1326,93	0,2454	305,8	2,123	0,942	746,7	—0,34	1,777
9,0	1328,36	0,2595	306,0	2,122	0,941	750,9	—0,34	1,766
9,5	1329,78	0,2737	306,1	2,122	0,939	755,1	—0,35	1,754
10,0	1331,17	0,2878	306,3	2,121	0,938	759,3	—0,35	1,744
11,0	1333,93	0,3159	306,6	2,120	0,935	767,5	—0,36	1,722
12,0	1336,62	0,3439	307,0	2,118	0,932	775,6	—0,36	1,702
13,0	1339,26	0,3718	307,3	2,117	0,930	783,6	—0,37	1,683
14,0	1341,85	0,3997	307,6	2,116	0,927	791,5	—0,37	1,664
15,0	1344,38	0,4274	308,0	2,115	0,925	799,3	—0,38	1,646
16,0	1346,87	0,4551	308,3	2,114	0,923	806,9	—0,38	1,629
17,0	1349,32	0,4826	308,7	2,112	0,920	814,5	—0,39	1,613
18,0	1351,71	0,5101	309,1	2,111	0,918	821,9	—0,39	1,597
19,0	1354,07	0,5375	309,4	2,110	0,916	829,3	—0,39	1,582
20,0	1356,39	0,5648	309,8	2,109	0,914	836,6	—0,40	1,567

$T = 333.15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^4$
0,01	0,37	0,9981	521,2	3,104	0,627	175,5	26,65	3,020
0,02	0,75	0,9963	521,1	3,048	0,629	175,3	26,68	3,039
0,03	1,12	0,9944	520,9	3,015	0,630	175,1	26,72	3,058
0,04	1,50	0,9925	520,7	2,991	0,631	174,8	26,75	3,078
0,05	1,88	0,9906	520,6	2,973	0,632	174,6	26,79	3,097
0,1	3,79	0,9811	519,7	2,915	0,638	173,4	26,97	3,197
0,2	7,73	0,9617	517,9	2,855	0,651	170,8	27,36	3,415
0,3	11,84	0,9415	516,1	2,819	0,666	168,2	27,79	3,659
0,4	16,15	0,9206	514,2	2,791	0,681	165,4	28,26	3,935
0,5	20,67	0,8988	512,3	2,769	0,699	162,5	28,80	4,251
0,6	1275,05	0,0175	313,2	2,165	0,981	645,2	—0,22	2,155
0,7	1275,44	0,0204	313,3	2,165	0,981	646,3	—0,23	2,150
0,8	1275,84	0,0233	313,3	2,164	0,980	647,3	—0,23	2,146
0,9	1276,23	0,0262	313,3	2,164	0,980	648,4	—0,23	2,141
1,0	1276,63	0,0291	313,3	2,164	0,979	649,5	—0,23	2,137
1,5	1278,57	0,0436	313,4	2,163	0,976	654,7	—0,24	2,115
2,0	1280,49	0,0580	313,5	2,162	0,974	659,8	—0,24	2,094
2,5	1282,37	0,0724	313,7	2,162	0,971	664,9	—0,25	2,074
3,0	1284,22	0,0868	313,8	2,161	0,969	669,9	—0,25	2,055
3,5	1286,05	0,1011	313,9	2,160	0,967	674,9	—0,26	2,035
4,0	1287,85	0,1154	314,0	2,159	0,965	679,8	—0,26	2,017
4,5	1289,62	0,1297	314,2	2,158	0,962	684,7	—0,27	1,999
5,0	1291,36	0,1439	314,3	2,158	0,960	689,5	—0,27	1,982
5,5	1293,09	0,1580	314,4	2,157	0,958	694,3	—0,28	1,965
6,0	1294,78	0,1722	314,6	2,156	0,956	699,0	—0,28	1,949
6,5	1296,46	0,1863	314,7	2,155	0,954	703,6	—0,29	1,933
7,0	1298,11	0,2004	314,8	2,155	0,952	708,3	—0,29	1,918
7,5	1299,74	0,2144	315,0	2,154	0,951	712,8	—0,30	1,903
8,0	1301,34	0,2284	315,1	2,153	0,949	717,4	—0,30	1,889
8,5	1302,93	0,2424	315,3	2,152	0,947	721,9	—0,30	1,875
9,0	1304,50	0,2564	315,4	2,152	0,945	726,3	—0,31	1,861
9,5	1306,05	0,2703	315,6	2,151	0,944	730,7	—0,31	1,847
10,0	1307,58	0,2842	315,7	2,150	0,942	735,1	—0,32	1,834
11,0	1310,58	0,3119	316,0	2,149	0,939	743,7	—0,32	1,809
12,0	1313,52	0,3395	316,3	2,148	0,936	752,2	—0,33	1,785
13,0	1316,39	0,3670	316,6	2,146	0,933	760,5	—0,34	1,763
14,0	1319,20	0,3943	316,9	2,145	0,930	768,7	—0,34	1,741
15,0	1321,95	0,4216	317,3	2,144	0,927	776,8	—0,35	1,720
16,0	1324,64	0,4488	317,6	2,142	0,925	784,8	—0,35	1,700
17,0	1327,28	0,4759	317,9	2,141	0,922	792,6	—0,36	1,681
18,0	1329,86	0,5029	318,2	2,140	0,920	800,4	—0,36	1,663
19,0	1332,40	0,5299	318,6	2,138	0,917	808,0	—0,37	1,645
20,0	1334,89	0,5567	318,9	2,137	0,915	815,6	—0,38	1,628

$T = 343{,}15$ K

p	v	z	h	s	c_p	w	φ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,36	0,9983	527,5	3,123	0,636	178,0	24,56	2,931
0,02	0,72	0,9966	527,4	3,067	0,637	177,8	24,59	2,947
0,03	1,09	0,9949	527,2	3,034	0,638	177,6	24,62	2,964
0,04	1,45	0,9932	527,1	3,010	0,639	177,3	24,65	2,981
0,05	1,82	0,9915	526,9	2,992	0,640	177,1	24,68	2,998
0,1	3,67	0,9829	526,1	2,931	0,646	176,0	24,83	3,086
0,2	7,47	0,9654	524,5	2,875	0,657	173,7	25,16	3,274
0,3	11,42	0,9473	522,8	2,839	0,670	171,3	25,52	3,483
0,4	15,54	0,9286	521,1	2,812	0,683	168,8	25,91	3,716
0,5	19,84	0,9092	519,3	2,790	0,699	166,2	26,34	3,978
0,6	24,35	0,8891	517,4	2,771	0,715	163,4	26,81	4,275
0,7	1247,25	0,0202	323,1	2,194	0,997	613,1	—0,16	2,325
0,8	1247,70	0,0231	323,2	2,194	0,997	614,2	—0,16	2,319
0,9	1248,15	0,0260	323,2	2,194	0,996	615,3	—0,17	2,313
1,0	1248,60	0,0289	323,2	2,194	0,995	616,5	—0,17	2,308
1,5	1250,81	0,0433	323,3	2,193	0,992	622,1	—0,18	2,280
2,0	1252,98	0,0576	323,4	2,192	0,989	627,6	—0,18	2,253
2,5	1255,11	0,0719	323,5	2,191	0,986	633,1	—0,19	2,227
3,0	1257,20	0,0861	323,5	2,190	0,983	638,5	—0,20	2,202
3,5	1259,26	0,1003	323,6	2,189	0,980	643,8	—0,20	2,178
4,0	1261,28	0,1144	323,7	2,188	0,978	649,0	—0,21	2,155
4,5	1263,26	0,1285	323,9	2,187	0,975	654,2	—0,22	2,133
5,0	1265,22	0,1426	324,0	2,187	0,972	659,3	—0,22	2,112
5,5	1267,14	0,1566	324,1	2,186	0,970	664,4	—0,23	2,091
6,0	1269,03	0,1706	324,2	2,185	0,969	669,4	—0,24	2,071
6,5	1270,89	0,1845	324,3	2,184	0,965	674,3	—0,24	2,052
7,0	1272,73	0,1984	324,4	2,183	0,963	679,2	—0,25	2,033
7,5	1274,53	0,2123	324,5	2,183	0,961	684,0	—0,25	2,015
8,0	1276,31	0,2261	324,7	2,182	0,959	688,8	—0,26	1,998
8,5	1278,07	0,2399	324,8	2,181	0,957	693,5	—0,26	1,981
9,0	1279,80	0,2537	324,9	2,180	0,955	698,2	—0,27	1,964
9,5	1281,51	0,2674	325,0	2,179	0,953	702,9	—0,27	1,948
10,0	1283,19	0,2811	325,2	2,179	0,951	707,5	—0,28	1,932
11,0	1286,49	0,3085	325,4	2,177	0,947	716,5	—0,28	1,902
12,0	1289,71	0,3357	325,7	2,176	0,944	725,4	—0,29	1,874
13,0	1292,85	0,3627	326,0	2,174	0,941	734,1	—0,30	1,847
14,0	1295,91	0,3897	326,3	2,173	0,937	742,7	—0,31	1,822
15,0	1298,91	0,4166	326,6	2,171	0,934	751,1	—0,32	1,797
16,0	1301,83	0,4434	326,9	2,170	0,932	759,4	—0,32	1,774
17,0	1304,69	0,4701	327,2	2,169	0,929	767,5	—0,33	1,752
18,0	1307,49	0,4966	327,5	2,167	0,926	775,6	—0,34	1,731
19,0	1310,24	0,5231	327,8	2,166	0,924	783,5	—0,34	1,710
20,0	1312,93	0,5495	328,1	2,165	0,921	791,3	—0,35	1,691

$T = 353{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\sigma \cdot 10^3$
0,01	0,35	0,9985	534,0	3,142	0,645	180,4	22,72	2,846
0,02	0,70	0,9969	533,8	3,086	0,646	180,2	22,74	2,861
0,03	1,06	0,9954	533,7	3,053	0,647	180,0	22,77	2,876
0,04	1,41	0,9939	533,5	3,029	0,648	179,8	22,80	2,891
0,05	1,77	0,9923	533,4	3,011	0,649	179,6	22,82	2,906
0,1	3,56	0,9845	532,6	2,953	0,654	178,6	22,95	2,983
0,2	7,24	0,9687	531,1	2,894	0,664	176,5	23,23	3,148
0,3	11,04	0,9523	529,5	2,858	0,675	174,3	23,53	3,328
0,4	14,99	0,9355	527,9	2,832	0,687	172,0	23,85	3,526
0,5	19,09	0,9182	526,3	2,810	0,700	169,6	24,20	3,746
0,6	23,36	0,9003	524,5	2,792	0,714	167,2	24,57	3,992
0,7	27,83	0,8818	522,7	2,776	0,730	164,6	24,99	4,269
0,8	32,51	0,8625	520,9	2,761	0,747	161,9	25,45	4,583
0,9	1218,38	0,0259	333,2	2,223	1,019	578,8	—0,09	2,521
1,0	1218,90	0,0288	333,2	2,223	1,018	580,1	—0,09	2,514
1,5	1221,45	0,0430	333,3	2,222	1,014	586,2	—0,10	2,477
2,0	1223,95	0,0573	333,4	2,221	1,010	592,1	—0,11	2,442
2,5	1226,39	0,0715	333,4	2,220	1,006	598,0	—0,12	2,408
3,0	1228,78	0,0856	333,5	2,219	1,003	603,8	—0,13	2,376
3,5	1231,12	0,0997	333,5	2,218	0,999	609,5	—0,14	2,346
4,0	1233,42	0,1137	333,6	2,217	0,996	615,2	—0,15	2,316
4,5	1235,67	0,1277	333,7	2,216	0,993	620,7	—0,16	2,288
5,0	1237,88	0,1416	333,8	2,215	0,990	626,2	—0,16	2,261
5,5	1240,04	0,1555	333,8	2,214	0,987	631,6	—0,17	2,235
6,0	1242,17	0,1693	333,9	2,213	0,984	636,9	—0,18	2,210
6,5	1244,26	0,1831	334,0	2,212	0,981	642,1	—0,19	2,186
7,0	1246,32	0,1969	334,1	2,211	0,978	647,3	—0,19	2,163
7,5	1248,34	0,2106	334,2	2,211	0,976	652,4	—0,20	2,141
8,0	1250,33	0,2243	334,3	2,210	0,973	657,5	—0,21	2,119
8,5	1252,28	0,2379	334,4	2,209	0,971	662,5	—0,21	2,098
9,0	1254,21	0,2515	334,5	2,208	0,969	667,4	—0,22	2,078
9,5	1256,10	0,2651	334,6	2,207	0,966	672,3	—0,22	2,059
10,0	1257,97	0,2787	334,7	2,206	0,964	677,2	—0,23	2,040
11,0	1261,62	0,3056	335,0	2,205	0,960	686,7	—0,24	2,004
12,0	1265,17	0,3325	335,2	2,203	0,956	696,0	—0,25	1,970
13,0	1268,62	0,3592	335,4	2,202	0,952	705,1	—0,26	1,938
14,0	1271,98	0,3858	335,7	2,200	0,948	714,0	—0,27	1,908
15,0	1275,25	0,4123	336,0	2,199	0,945	722,8	—0,28	1,879
16,0	1278,45	0,4387	336,2	2,197	0,942	731,5	—0,29	1,852
17,0	1281,56	0,4650	336,5	2,196	0,939	739,9	—0,30	1,826
18,0	1284,61	0,4912	336,8	2,194	0,936	748,3	—0,30	1,802
19,0	1287,59	0,5173	337,1	2,193	0,933	756,5	—0,32	1,778
20,0	1290,58	0,5433	337,4	2,192	0,930	764,6	—0,32	1,756

$T = 363{,}15$ K

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,34	0,9986	540,4	3,160	0,654	182,8	21,09	2,767
0,02	0,68	0,9972	540,3	3,184	0,654	182,6	21,11	2,780
0,03	1,03	0,9958	540,2	3,071	0,655	182,4	21,13	2,793
0,04	1,37	0,9944	540,0	3,047	0,656	182,2	21,15	2,806
0,05	1,72	0,9930	539,9	3,029	0,657	182,0	21,18	2,819
0,1	3,46	0,9859	539,2	2,972	0,661	181,1	21,29	2,888
0,2	7,02	0,9715	537,8	2,913	0,670	179,2	21,52	3,032
0,3	10,69	0,9568	536,3	2,877	0,680	177,2	21,77	3,189
0,4	14,48	0,9416	534,8	2,851	0,690	175,1	22,03	3,360
0,5	18,40	0,9261	533,3	2,830	0,702	172,9	22,32	3,547
0,6	22,47	0,9101	531,7	2,812	0,714	170,7	22,63	3,753
0,7	26,70	0,8936	530,0	2,796	0,727	168,4	22,96	3,982
0,8	31,11	0,8765	528,4	2,782	0,742	166,0	23,32	4,237
0,9	35,72	0,8588	526,6	2,769	0,759	163,5	23,72	4,524
1,0	40,56	0,8404	524,7	2,757	0,777	160,9	24,15	4,850
1,5	1190,17	0,0430	343,6	2,251	1,043	547,2	—0,01	2,722
2,0	1193,09	0,0571	343,6	2,249	1,038	553,8	—0,02	2,674
2,5	1195,94	0,0713	343,6	2,248	1,033	560,2	—0,04	2,629
3,0	1198,71	0,0853	343,6	2,247	1,028	566,5	—0,05	2,587
3,5	1201,42	0,0993	343,6	2,246	1,024	572,7	—0,06	2,546
4,0	1204,06	0,1132	343,7	2,245	1,020	578,8	—0,07	2,508
4,5	1206,64	0,1271	343,7	2,244	1,015	584,7	—0,08	2,472
5,0	1209,17	0,1410	343,8	2,243	1,012	590,6	—0,09	2,437
5,5	1211,64	0,1547	343,8	2,242	1,008	596,4	—0,10	2,404
6,0	1214,06	0,1685	343,9	2,241	1,004	602,1	—0,11	2,372
6,5	1216,44	0,1821	343,9	2,240	1,001	607,7	—0,12	2,342
7,0	1218,76	0,1958	344,0	2,239	0,998	613,2	—0,13	2,312
7,5	1221,04	0,2094	344,1	2,238	0,995	618,7	—0,14	2,285
8,0	1223,28	0,2229	344,1	2,237	0,992	624,1	—0,15	2,258
8,5	1225,48	0,2364	344,2	2,236	0,989	629,4	—0,16	2,232
9,0	1227,63	0,2499	344,3	2,235	0,986	634,6	—0,16	2,207
9,5	1229,76	0,2633	344,4	2,235	0,983	639,8	—0,17	2,183
10,0	1231,84	0,2767	344,5	2,234	0,981	644,9	—0,18	2,160
11,0	1235,91	0,3034	344,6	2,232	0,976	654,9	—0,19	2,117
12,0	1239,84	0,3299	344,8	2,230	0,971	664,7	—0,20	2,076
13,0	1243,66	0,3563	345,0	2,229	0,966	674,2	—0,22	2,038
14,0	1247,36	0,3826	345,2	2,227	0,962	683,6	—0,23	2,002
15,0	1250,97	0,4087	345,5	2,225	0,958	692,8	—0,24	1,968
16,0	1254,47	0,4348	345,7	2,224	0,955	701,8	—0,25	1,936
17,0	1257,88	0,4607	345,9	2,222	0,951	710,6	—0,26	1,906
18,0	1261,20	0,4865	346,2	2,221	0,948	719,2	—0,27	1,877
19,0	1264,45	0,5122	346,4	2,219	0,945	727,8	—0,28	1,850
20,0	1267,61	0,5378	346,7	2,218	0,942	736,1	—0,28	1,824

$T = 373{,}15$ K

p	v	z	h	s	c_p	w	μ	$\lambda \cdot 10^2$
0,01	0,33	0,9987	547,0	3,178	0,662	185,1	19,64	2,691
0,02	0,67	0,9975	546,9	3,122	0,663	185,0	19,65	2,703
0,03	1,00	0,9962	546,8	3,089	0,663	184,8	19,67	2,715
0,04	1,33	0,9949	546,6	3,065	0,664	184,6	19,69	2,727
0,05	1,67	0,9936	546,5	3,047	0,665	184,4	19,71	2,739
0,1	3,36	0,9872	545,8	2,990	0,669	183,6	19,80	2,799
0,2	6,81	0,9741	544,5	2,931	0,677	181,8	20,00	2,927
0,3	10,36	0,9607	543,1	2,896	0,686	180,0	20,21	3,067
0,4	14,01	0,9470	541,7	2,870	0,695	178,1	20,43	3,213
0,5	17,78	0,9330	540,3	2,849	0,705	176,1	20,67	3,377
0,6	21,67	0,9186	538,8	2,832	0,715	174,1	20,92	3,559
0,7	25,69	0,9038	537,3	2,816	0,727	172,0	21,19	3,740
0,8	29,87	0,8886	535,7	2,802	0,739	169,9	21,48	3,951
0,9	34,20	0,8729	534,1	2,790	0,753	167,7	21,79	4,181
1,0	38,72	0,8567	532,4	2,778	0,768	165,3	22,13	4,441
1,5	1156,46	0,0430	354,2	2,279	1,080	505,5	—0,11	3,036
2,0	1158,96	0,0572	354,1	2,278	1,073	512,7	—0,09	2,975
2,5	1163,34	0,0713	354,1	2,277	1,066	519,8	—0,07	2,906
3,0	1166,62	0,0853	354,0	2,276	1,060	526,8	—0,05	2,851
3,5	1169,81	0,0993	354,0	2,274	1,054	533,5	—0,04	2,796
4,0	1172,90	0,1131	354,0	2,273	1,049	540,2	—0,02	2,741
4,5	1175,92	0,1270	354,0	2,272	1,043	546,7	—0,00	2,695
5,0	1178,85	0,1407	354,0	2,271	1,038	553,0	—0,01	2,649
5,5	1181,71	0,1544	354,0	2,270	1,034	559,3	—0,02	2,606
6,0	1184,50	0,1680	354,0	2,269	1,029	565,4	—0,04	2,565
6,5	1187,22	0,1816	354,0	2,268	1,025	571,5	—0,05	2,526
7,0	1189,88	0,1952	354,1	2,267	1,021	577,4	—0,06	2,488
7,5	1192,49	0,2086	354,1	2,266	1,017	583,2	—0,07	2,452
8,0	1195,03	0,2221	354,1	2,265	1,013	589,0	—0,08	2,418
8,5	1197,53	0,2355	354,2	2,264	1,010	594,6	—0,09	2,384
9,0	1199,97	0,2488	354,2	2,263	1,006	600,2	—0,10	2,352
9,5	1202,36	0,2621	354,3	2,262	1,003	605,7	—0,11	2,320
10,0	1204,71	0,2754	354,3	2,261	1,000	611,1	—0,12	2,289
11,0	1209,27	0,3018	354,5	2,259	0,994	621,7	—0,14	2,231
12,0	1213,67	0,3280	354,6	2,257	0,988	632,0	—0,15	2,176
13,0	1217,91	0,3541	354,8	2,255	0,983	642,1	—0,17	2,124
14,0	1222,02	0,3801	354,9	2,253	0,978	651,9	—0,18	2,075
15,0	1226,00	0,4059	355,1	2,252	0,974	661,5	—0,19	2,028
16,0	1229,86	0,4316	355,3	2,250	0,970	670,9	—0,20	2,027
17,0	1233,61	0,4572	355,5	2,248	0,966	680,1	—0,22	1,992
18,0	1237,26	0,4826	355,7	2,247	0,962	689,1	—0,23	1,958
19,0	1240,80	0,5080	356,0	2,245	0,958	697,9	—0,24	1,926
20,0	1244,26	0,5332	356,2	2,244	0,955	706,6	—0,25	1,895

$T = 383{,}15$ K

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\nu \cdot 10^3$
0,01	0,32	0,9988	553,7	3,196	0,670	187,5	18,33	2,620
0,02	0,65	0,9977	553,5	3,139	0,671	187,3	18,35	2,631
0,03	0,97	0,9965	553,4	3,106	0,671	187,1	18,36	2,641
0,04	1,30	0,9953	553,3	3,083	0,672	187,0	18,38	2,652
0,05	1,62	0,9942	553,2	3,065	0,673	186,8	18,40	2,662
0,1	3,27	0,9883	552,6	3,008	0,676	186,0	18,48	2,717
0,2	6,62	0,9764	551,3	2,949	0,684	184,4	18,64	2,830
0,3	10,05	0,9642	550,0	2,914	0,691	182,7	18,82	2,951
0,4	13,58	0,9518	548,7	2,888	0,700	181,0	19,00	3,081
0,5	17,20	0,9391	547,3	2,868	0,708	179,2	19,20	3,221
0,6	20,93	0,9261	546,0	2,850	0,718	177,4	19,41	3,371
0,7	24,78	0,9128	544,6	2,835	0,728	175,5	19,63	3,534
0,8	28,75	0,8992	543,1	2,822	0,739	173,5	19,86	3,710
0,9	32,85	0,8852	541,6	2,809	0,750	171,5	20,11	3,904
1,0	37,10	0,8708	540,1	2,798	0,763	169,5	20,38	4,116
1,5	61,24	0,7913	531,6	2,748	0,850	157,8	22,07	5,608
2,0	1123,85	0,0575	365,1	2,307	1,119	469,0	0,23	3,374
2,5	1127,99	0,0716	364,9	2,303	1,109	476,9	0,21	3,281
3,0	1131,97	0,0856	364,8	2,304	1,101	484,7	0,18	3,196
3,5	1135,81	0,0996	364,7	2,303	1,092	492,2	0,16	3,118
4,0	1139,51	0,1134	364,7	2,301	1,085	499,5	0,14	3,045
4,5	1143,10	0,1272	364,6	2,300	1,078	506,7	0,11	2,978
5,0	1146,56	0,1409	364,5	2,299	1,071	513,7	0,10	2,915
5,5	1149,93	0,1545	364,5	2,298	1,065	520,5	0,08	2,856
6,0	1153,19	0,1681	364,5	2,296	1,059	527,2	0,06	2,801
6,5	1156,37	0,1816	364,4	2,295	1,053	533,7	0,04	2,749
7,0	1159,45	0,1951	364,4	2,294	1,048	540,2	0,03	2,700
7,5	1162,46	0,2085	364,4	2,293	1,043	546,4	0,01	2,654
8,0	1165,39	0,2218	364,4	2,292	1,039	552,6	0,00	2,610
8,5	1168,25	0,2351	364,4	2,291	1,034	558,7	—0,01	2,569
9,0	1171,03	0,2483	364,4	2,289	1,030	564,6	—0,03	2,529
9,5	1173,77	0,2615	364,4	2,288	1,026	570,5	—0,04	2,492
10,0	1176,43	0,2746	364,4	2,287	1,022	576,3	—0,05	2,456
11,0	1181,68	0,3008	364,5	2,285	1,015	587,5	—0,07	2,389
12,0	1186,55	0,3268	364,6	2,283	1,008	598,4	—0,09	2,328
13,0	1191,31	0,3526	364,7	2,281	1,002	609,0	—0,11	2,272
14,0	1195,89	0,3782	364,8	2,280	0,996	619,4	—0,12	2,220
15,0	1200,32	0,4038	364,9	2,278	0,991	629,4	—0,14	2,172
16,0	1204,59	0,4291	365,1	2,276	0,986	639,3	—0,16	2,127
17,0	1208,73	0,4544	365,2	2,274	0,981	648,9	—0,17	2,085
18,0	1212,74	0,4795	365,4	2,272	0,977	658,3	—0,18	2,046
19,0	1216,63	0,5046	365,6	2,271	0,973	667,4	—0,20	2,009
20,0	1220,41	0,5295	365,8	2,269	0,969	676,4	—0,21	1,974

$T = 393{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,32	0,9989	560,4	3,213	0,678	189,7	17,16	2,553
0,02	0,63	0,9979	560,3	3,157	0,679	189,6	17,18	2,562
0,03	0,95	0,9968	560,2	3,124	0,679	189,5	17,19	2,572
0,04	1,26	0,9957	560,0	3,100	0,680	189,3	17,20	2,581
0,05	1,58	0,9947	559,9	3,082	0,681	189,2	17,22	2,591
0,1	3,18	0,9893	559,3	3,025	0,684	188,4	17,28	2,639
0,2	6,44	0,9784	558,2	2,967	0,690	186,9	17,43	2,741
0,3	9,77	0,9673	556,9	2,932	0,697	185,3	17,58	2,848
0,4	13,17	0,9560	555,7	2,906	0,705	183,8	17,73	2,962
0,5	16,67	0,9445	554,4	2,886	0,713	182,1	17,89	3,084
0,6	20,25	0,9327	553,1	2,869	0,721	180,5	18,07	3,214
0,7	23,94	0,9207	551,8	2,854	0,730	178,8	18,25	3,354
0,8	27,73	0,9085	550,5	2,841	0,739	177,0	18,44	3,504
0,9	31,63	0,8959	549,1	2,829	0,749	175,2	18,64	3,667
1,0	35,66	0,8831	547,7	2,817	0,760	173,4	18,85	3,843
1,5	58,08	0,8132	540,0	2,770	0,830	163,1	20,16	3,016
2,0	1083,62	0,0581	376,5	2,337	1,182	422,0	0,43	3,957
2,5	1088,89	0,0723	376,3	2,335	1,167	431,2	0,39	3,809
3,0	1093,90	0,0864	376,1	2,333	1,154	440,1	0,35	3,676
3,5	1098,67	0,1003	375,9	2,331	1,142	448,6	0,32	3,556
4,0	1103,23	0,1142	375,7	2,330	1,131	456,9	0,28	3,448
4,5	1107,60	0,1279	375,6	2,328	1,121	464,9	0,26	3,350
5,0	1111,80	0,1416	375,4	2,327	1,111	472,6	0,23	3,260
5,5	1115,84	0,1552	375,3	2,325	1,103	480,2	0,20	3,177
6,0	1119,74	0,1687	375,2	2,324	1,095	487,5	0,18	3,100
6,5	1123,50	0,1822	375,1	2,323	1,087	494,7	0,16	3,029
7,0	1127,14	0,1955	375,0	2,321	1,080	501,7	0,14	2,963
7,5	1130,67	0,2089	375,0	2,320	1,074	508,6	0,12	2,901
8,0	1134,09	0,2221	374,9	2,319	1,068	515,2	0,10	2,843
8,5	1137,41	0,2353	374,9	2,318	1,062	521,8	0,08	2,788
9,0	1140,64	0,2484	374,8	2,316	1,057	528,2	0,06	2,737
9,5	1143,79	0,2615	374,8	2,315	1,052	534,5	0,05	2,689
10,0	1146,85	0,2746	374,8	2,314	1,047	540,7	0,03	2,645
11,0	1152,74	0,3005	374,8	2,312	1,038	552,7	0,00	2,559
12,0	1158,37	0,3262	374,8	2,310	1,030	564,3	—0,02	2,483
13,0	1163,74	0,3517	374,8	2,307	1,023	575,5	—0,04	2,413
14,0	1168,89	0,3771	374,9	2,305	1,016	586,4	—0,06	2,350
15,0	1173,84	0,4024	374,9	2,303	1,010	597,0	—0,08	2,292
16,0	1178,60	0,4274	375,0	2,301	1,004	607,3	—0,10	2,238
17,0	1183,19	0,4521	375,1	2,300	0,998	617,4	—0,12	2,188
18,0	1187,62	0,4772	375,3	2,298	0,993	627,2	—0,13	2,142
19,0	1191,91	0,5019	375,4	2,296	0,989	636,7	—0,15	2,099
20,0	1196,06	0,5265	375,6	2,294	0,984	646,1	—0,16	2,058

$T = 403{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,31	0,9990	567,2	3,230	0,686	192,0	16,10	2,489
0,02	0,62	0,9980	567,1	3,174	0,686	191,9	16,12	2,497
0,03	0,92	0,9971	567,0	3,141	0,687	191,7	16,13	2,506
0,04	1,23	0,9961	566,9	3,117	0,687	191,6	16,14	2,514
0,05	1,54	0,9951	566,8	3,099	0,688	191,5	16,15	2,523
0,1	3,10	0,9902	566,2	3,042	0,691	190,8	16,21	2,567
0,2	6,27	0,9802	565,1	2,984	0,697	189,4	16,33	2,657
0,3	9,50	0,9701	563,9	2,949	0,703	188,0	16,46	2,753
0,4	12,80	0,9598	562,8	2,924	0,710	186,5	16,59	2,854
0,5	16,17	0,9493	561,6	2,904	0,717	185,0	16,72	2,961
0,6	19,63	0,9386	560,4	2,887	0,724	183,5	16,87	3,075
0,7	23,17	0,9278	559,1	2,872	0,732	181,9	17,02	3,196
0,8	26,80	0,9167	557,9	2,859	0,740	180,3	17,17	3,326
0,9	30,52	0,9054	556,6	2,847	0,749	178,7	17,34	3,464
1,0	34,35	0,8938	555,3	2,836	0,759	177,0	17,51	3,612
1,5	55,37	0,8318	548,2	2,791	0,817	167,9	18,53	4,560
2,0	80,80	0,7600	539,9	2,752	0,910	157,1	19,94	4,119
2,5	1044,25	0,0736	388,4	2,365	1,252	381,7	0,66	4,632
3,0	1050,90	0,0877	388,0	2,363	1,229	392,2	0,60	4,399
3,5	1057,12	0,1017	387,6	2,361	1,210	402,2	0,54	4,198
4,0	1062,98	0,1155	387,3	2,359	1,192	411,8	0,49	4,023
4,5	1068,51	0,1293	387,0	2,357	1,177	420,9	0,44	3,868
5,0	1073,76	0,1430	386,8	2,355	1,163	429,7	0,40	3,730
5,5	1078,76	0,1566	386,6	2,354	1,151	438,2	0,37	3,606
6,0	1083,53	0,1700	386,4	2,352	1,139	446,5	0,33	3,494
6,5	1088,10	0,1834	386,2	2,350	1,129	454,4	0,30	3,392
7,0	1092,48	0,1967	386,0	2,349	1,119	462,1	0,27	3,298
7,5	1096,70	0,2100	385,9	2,347	1,111	469,7	0,24	3,212
8,0	1100,77	0,2232	385,8	2,346	1,103	477,0	0,22	3,133
8,5	1104,69	0,2363	385,6	2,345	1,095	484,1	0,19	3,060
9,0	1108,48	0,2493	385,5	2,343	1,088	491,1	0,17	2,991
9,5	1112,16	0,2623	385,5	2,342	1,082	497,9	0,15	2,928
10,0	1115,72	0,2752	385,4	2,341	1,075	504,5	0,13	2,868
11,0	1122,53	0,3009	385,3	2,338	1,064	517,4	0,09	2,759
12,0	1128,97	0,3264	385,2	2,336	1,054	529,8	0,06	2,663
13,0	1135,09	0,3517	385,1	2,333	1,045	541,8	0,03	2,576
14,0	1140,92	0,3788	385,1	2,331	1,037	553,3	0,01	2,498
15,0	1146,48	0,4017	385,1	2,329	1,029	564,5	—0,02	2,427
16,0	1151,81	0,4265	385,1	2,327	1,023	575,3	—0,04	2,362
17,0	1156,93	0,4512	385,2	2,325	1,016	585,9	—0,06	2,302
18,0	1161,85	0,4757	385,3	2,323	1,011	596,1	—0,08	2,247
19,0	1166,59	0,5001	385,4	2,321	1,005	606,1	—0,10	2,196
20,0	1171,17	0,5244	385,5	2,319	1,000	615,8	—0,11	2,149

$T = 413{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^6$
0,01	0,30	0,9991	574,1	3,247	0,693	194,2	15,15	2,42
0,02	0,60	0,9982	574,0	3,191	0,694	194,1	15,16	2,43
0,03	0,90	0,9973	573,9	3,158	0,694	194,0	15,17	2,44
0,04	1,20	0,9964	537,8	3,134	0,695	193,9	15,18	2,45
0,05	1,50	0,9955	573,7	3,116	0,695	193,7	15,19	2,45
0,1	3,02	0,9910	573,1	3,059	0,698	193,1	15,24	2,49
0,2	6,10	0,9819	572,1	3,001	0,704	191,8	15,34	2,58
0,3	9,24	0,9726	571,0	2,967	0,709	190,5	15,45	2,66
0,4	12,44	0,9632	569,9	2,941	0,715	189,2	15,56	2,75
0,5	15,71	0,9536	568,8	2,921	0,722	187,8	15,67	2,85
0,6	19,05	0,9439	567,6	2,905	0,728	186,4	15,79	2,96
0,7	22,45	0,9341	566,5	2,890	0,735	185,0	15,91	3,05
0,8	25,94	0,9240	565,3	2,877	0,743	183,5	16,04	3,16
0,9	29,51	0,9138	564,1	2,866	0,750	182,1	16,18	3,28
1,0	33,17	0,9034	562,9	2,855	0,759	180,5	16,32	3,41
1,5	53,00	0,8480	556,3	2,810	0,808	172,4	17,13	4,19
2,0	76,30	0,7854	548,9	2,773	0,882	163,0	18,19	5,38
2,5	105,28	0,7115	540,0	2,738	1,007	151,7	19,68	7,40
3,0	1000,05	0,0899	400,8	2,394	1,353	339,6	0,99	5,65
3,5	1008,83	0,1040	400,2	2,392	1,314	351,9	0,88	5,25
4,0	1016,86	0,1179	399,6	2,389	1,283	363,4	0,79	4,92
4,5	1024,26	0,1316	399,2	2,387	1,257	374,2	0,72	4,65
5,0	1031,14	0,1453	398,7	2,385	1,234	384,5	0,65	4,41
5,5	1037,58	0,1588	398,4	2,382	1,214	394,3	0,59	4,21
6,0	1043,64	0,1723	398,0	2,380	1,197	493,7	0,54	4,04
6,5	1049,36	0,1856	397,7	2,379	1,182	412,7	0,49	3,89
7,0	1054,80	0,1988	397,4	2,377	1,168	421,4	0,45	3,74
7,5	1059,97	0,2120	397,2	2,375	1,156	429,8	0,41	3,62
8,0	1064,91	0,2251	397,0	2,373	1,145	437,9	0,37	3,50
8,5	1069,63	0,2381	396,8	2,372	1,134	445,7	0,34	3,40
9,0	1074,17	0,2510	396,6	2,370	1,125	453,4	0,30	3,31
9,5	1078,53	0,2639	396,4	2,369	1,116	460,8	0,28	3,23
10,0	1082,73	0,2767	396,3	2,367	1,108	468,0	0,25	3,14
11,0	1090,70	0,3022	396,0	2,364	1,094	482,0	0,20	3,00
12,0	1098,17	0,3274	395,8	2,362	1,081	495,3	0,16	2,87
13,0	1105,20	0,3524	395,7	2,359	1,070	508,0	0,12	2,77
14,0	1111,84	0,3773	395,6	2,357	1,060	520,3	0,09	2,68
15,0	1118,15	0,4019	395,5	2,354	1,051	532,1	0,06	2,58
16,0	1124,16	0,4265	395,5	2,352	1,043	543,5	0,03	2,50
17,0	1129,89	0,4508	395,5	2,350	1,035	554,6	0,00	2,43
18,0	1135,38	0,4750	395,5	2,348	1,029	565,3	—0,02	2,36
19,0	1140,65	0,4991	395,5	2,346	1,022	575,7	—0,04	2,30
20,0	1145,71	0,5230	395,5	2,344	1,017	585,9	—0,06	2,24

$T = 423{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,29	0,9992	581,1	3,263	0,701	196,5	14,28	2,370
0,02	0,59	0,9984	581,0	3,207	0,701	196,3	14,28	2,377
0,03	0,88	0,9975	580,9	3,174	0,702	196,2	14,29	2,384
0,04	1,17	0,9967	580,8	3,151	0,702	196,1	14,30	2,391
0,05	1,47	0,9959	580,7	3,133	0,703	196,0	14,31	2,398
0,1	2,95	0,9917	580,2	3,073	0,705	195,4	14,35	2,434
0,2	5,95	0,9834	579,1	3,018	0,710	194,2	14,44	2,507
0,3	9,00	0,9749	578,1	2,984	0,715	193,0	14,53	2,584
0,4	12,11	0,9663	577,1	2,959	0,721	191,8	14,62	2,665
0,5	15,28	0,9575	576,0	2,939	0,727	190,5	14,72	2,749
0,6	18,50	0,9487	574,9	2,922	0,733	189,2	14,82	2,838
0,7	21,79	0,9397	573,8	2,908	0,739	187,9	14,92	2,931
0,8	25,15	0,9306	572,7	2,895	0,745	186,6	15,03	3,029
0,9	28,58	0,9213	571,6	2,884	0,752	185,3	15,14	3,132
1,0	32,08	0,9118	570,4	2,873	0,760	183,9	15,26	3,242
1,5	50,90	0,8621	564,4	2,830	0,802	176,5	15,91	3,899
2,0	72,51	0,8069	557,6	2,794	0,862	168,3	16,72	4,833
2,5	98,31	0,7439	549,8	2,762	0,954	158,7	17,78	6,303
3,0	131,34	0,6682	540,3	2,729	1,123	147,1	19,27	9,080
3,5	948,42	0,1080	414,2	2,425	1,515	295,0	1,48	7,404
4,0	960,88	0,1218	413,2	2,421	1,441	309,9	1,30	6,603
4,5	971,79	0,1355	412,3	2,418	1,386	322,5	1,14	6,007
5,0	981,55	0,1490	411,6	2,415	1,343	336,1	1,02	5,544
5,5	990,40	0,1625	410,9	2,412	1,308	347,8	0,92	5,170
6,0	998,51	0,1758	410,4	2,410	1,278	358,9	0,83	4,861
6,5	1006,02	0,1890	409,9	2,408	1,254	369,3	0,75	4,601
7,0	1013,01	0,2022	409,4	2,405	1,232	379,3	0,68	4,377
7,5	1019,57	0,2152	409,0	2,403	1,214	388,8	0,62	4,183
8,0	1025,75	0,2282	408,7	2,401	1,197	397,9	0,57	4,012
8,5	1031,59	0,2410	408,3	2,399	1,183	406,6	0,52	3,860
9,0	1037,14	0,2539	408,1	2,397	1,169	415,1	0,48	3,725
9,5	1042,42	0,2666	407,8	2,396	1,157	423,3	0,44	3,602
10,0	1047,47	0,2793	407,6	2,394	1,147	431,2	0,40	3,491
11,0	1056,95	0,3045	407,1	2,391	1,127	446,3	0,33	3,297
12,0	1065,71	0,3294	406,8	2,388	1,111	460,7	0,28	3,132
13,0	1073,88	0,3541	406,5	2,385	1,097	474,4	0,22	2,990
14,0	1081,52	0,3787	406,3	2,382	1,085	487,4	0,18	2,867
15,0	1088,73	0,4031	406,1	2,380	1,074	500,0	0,14	2,757
16,0	1095,53	0,4273	406,0	2,377	1,064	512,1	0,11	2,660
17,0	1101,99	0,4513	405,9	2,375	1,055	523,7	0,08	2,573
18,0	1108,15	0,4752	405,8	2,372	1,047	535,0	0,05	2,494
19,0	1114,02	0,4989	405,8	2,370	1,040	545,9	0,02	2,422
20,0	1119,64	0,5226	405,8	2,368	1,033	556,4	—0,00	2,357

$T = 433{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,29	0,9992	588,1	3,280	0,708	198,6	13,48	2,315
0,02	0,57	0,9985	588,0	3,224	0,708	198,5	13,49	2,321
0,03	0,86	0,9977	587,9	3,191	0,709	198,4	13,49	2,328
0,04	1,15	0,9970	587,8	3,167	0,709	198,3	13,50	2,334
0,05	1,43	0,9962	587,7	3,149	0,710	198,2	13,51	2,340
0,1	2,88	0,9924	587,2	3,092	0,712	197,7	13,54	2,373
0,2	5,88	0,9847	586,3	3,035	0,717	196,6	13,62	2,439
0,3	8,78	0,9769	585,3	3,000	0,721	195,4	13,70	2,509
0,4	11,80	0,9690	584,3	2,975	0,726	194,3	13,77	2,581
0,5	14,87	0,9611	583,3	2,956	0,732	193,2	13,86	2,657
0,6	17,99	0,9530	582,3	2,939	0,737	192,0	13,94	2,735
0,7	21,18	0,9448	581,2	2,925	0,743	190,8	14,03	2,818
0,8	24,42	0,9364	580,2	2,912	0,749	189,6	14,12	2,904
0,9	27,72	0,9280	579,1	2,901	0,755	188,3	14,21	2,995
1,0	31,08	0,9194	578,0	2,891	0,761	187,1	14,30	3,090
1,5	49,02	0,8745	572,4	2,848	0,799	180,5	14,83	3,649
2,0	69,24	0,8255	566,1	2,814	0,848	173,1	15,46	4,406
2,5	92,70	0,7708	559,2	2,783	0,919	164,9	16,25	5,506
3,0	121,12	0,7079	551,0	2,754	1,033	155,3	17,26	7,292
3,5	159,49	0,6311	540,9	2,722	1,256	143,6	18,64	10,875
4,0	883,39	0,1294	429,2	2,459	1,848	246,0	2,36	11,193
4,5	903,51	0,1423	427,3	2,453	1,661	265,6	1,95	9,070
5,0	919,68	0,1554	425,9	2,448	1,546	282,4	1,67	7,779
5,5	933,34	0,1684	424,7	2,445	1,466	297,4	1,45	6,895
6,0	945,22	0,1814	423,7	2,441	1,407	311,0	1,28	6,244
6,5	955,80	0,1944	422,9	2,438	1,361	323,6	1,14	5,741
7,0	965,34	0,2072	422,2	2,435	1,324	335,3	1,03	5,338
7,5	974,07	0,2201	421,5	2,432	1,293	346,4	0,93	5,006
8,0	982,11	0,2328	421,0	2,430	1,267	356,8	0,84	4,727
8,5	989,59	0,2455	420,5	2,428	1,245	366,7	0,77	4,489
9,0	996,59	0,2581	420,0	2,425	1,225	376,2	0,70	4,282
9,5	1003,16	0,2706	419,6	2,423	1,208	385,3	0,64	4,101
10,0	1009,37	0,2831	419,2	2,421	1,193	394,1	0,59	3,941
11,0	1020,85	0,3080	418,6	2,417	1,167	410,7	0,50	3,669
12,0	1031,29	0,3325	418,1	2,414	1,146	426,3	0,42	3,446
13,0	1040,88	0,3569	417,6	2,411	1,127	441,0	0,35	3,259
14,0	1049,77	0,3811	417,3	2,408	1,112	455,0	0,29	3,100
15,0	1058,06	0,4052	417,0	2,405	1,099	468,3	0,24	2,962
16,0	1065,83	0,4290	416,7	2,402	1,087	481,1	0,20	2,841
17,0	1073,16	0,4527	416,5	2,400	1,076	493,4	0,16	2,731
18,0	1080,08	0,4763	416,4	2,397	1,067	505,2	0,12	2,639
19,0	1086,66	0,4997	416,3	2,395	1,058	516,6	0,09	2,553
20,0	1092,92	0,5230	416,2	2,392	1,051	527,7	0,06	2,475

$T = 443{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,28	0,9993	595,2	3,296	0,715	200,8	12,75	2,262
0,02	0,56	0,9986	595,1	3,240	0,715	200,7	12,76	2,268
0,03	0,84	0,9979	595,0	3,207	0,716	200,6	12,76	2,274
0,04	1,12	0,9972	594,9	3,183	0,716	200,5	12,77	2,280
0,05	1,40	0,9965	594,8	3,165	0,716	200,4	12,77	2,286
0,1	2,81	0,9930	594,4	3,109	0,718	199,9	12,81	2,315
0,2	5,67	0,9859	593,5	3,051	0,723	198,9	12,87	2,376
0,3	8,56	0,9788	592,5	3,017	0,727	197,9	12,93	2,438
0,4	11,50	0,9716	591,6	2,992	0,732	196,8	13,00	2,504
0,5	14,49	0,9642	590,6	2,972	0,737	195,7	13,07	2,571
0,6	17,52	0,9568	589,6	2,956	0,742	194,7	13,14	2,642
0,7	20,60	0,9493	588,7	2,942	0,747	193,6	13,21	2,715
0,8	23,73	0,9417	587,7	2,929	0,752	192,5	13,29	2,792
0,9	26,92	0,9340	586,7	2,918	0,758	191,3	13,36	2,872
1,0	30,16	0,9263	585,7	2,908	0,763	190,2	13,44	2,955
1,5	47,31	0,8856	580,3	2,866	0,797	184,2	13,87	3,436
2,0	66,38	0,8417	574,6	2,833	0,839	177,6	14,97	4,063
2,5	88,00	0,7936	568,2	2,804	0,896	170,4	14,97	4,920
3,0	113,27	0,7399	561,1	2,777	0,979	162,3	15,69	6,182
3,5	144,23	0,6779	552,7	2,749	1,114	152,9	16,58	8,272
4,0	185,69	0,6017	542,1	2,718	1,392	141,7	17,73	12,597
4,5	782,35	0,1607	448,4	2,501	3,183	186,9	4,47	27,380
5,0	828,16	0,1687	443,7	2,489	2,159	217,6	3,16	15,014
5,5	856,19	0,1794	440,9	2,481	1,831	239,9	2,51	11,139
6,0	877,13	0,1911	438,9	2,476	1,658	258,3	2,09	9,127
6,5	894,07	0,2051	437,3	2,471	1,548	274,4	1,80	7,863
7,0	908,42	0,2153	436,1	2,467	1,471	288,9	1,57	6,983
7,5	920,93	0,2275	435,0	2,463	1,413	302,2	1,39	6,328
8,0	932,06	0,2398	434,1	2,460	1,367	314,4	1,24	5,819
8,5	942,11	0,2520	433,3	2,457	1,330	325,9	1,12	5,409
9,0	951,28	0,2643	432,6	2,454	1,299	336,7	1,01	5,071
9,5	959,74	0,2765	432,0	2,451	1,273	347,0	0,92	4,787
10,0	967,59	0,2887	431,4	2,449	1,251	356,8	0,84	4,543
11,0	981,83	0,3130	430,5	2,445	1,214	375,2	0,70	4,147
12,0	994,49	0,3371	429,7	2,441	1,185	392,2	0,59	3,836
13,0	1005,93	0,3610	429,1	2,437	1,162	408,1	0,50	3,584
14,0	1016,37	0,3848	428,5	2,433	1,142	423,1	0,43	3,376
15,0	1025,99	0,4084	428,1	2,430	1,125	437,3	0,36	3,200
16,0	1034,93	0,4319	427,7	2,427	1,111	450,8	0,31	3,048
17,0	1043,28	0,4552	427,4	2,424	1,098	463,8	0,26	2,917
18,0	1051,12	0,4784	427,2	2,422	1,087	476,2	0,21	2,801
19,0	1058,51	0,5014	427,0	2,419	1,077	488,1	0,17	2,698
20,0	1065,52	0,5243	426,8	2,416	1,068	499,7	0,14	2,606

$T = 453{,}15$ K

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,27	0,9994	602,4	3,312	0,721	202,9	12,08	2,212
0,02	0,55	0,9987	602,3	3,256	0,722	202,9	12,08	2,217
0,03	0,82	0,9981	602,2	3,223	0,722	202,8	12,09	2,223
0,04	1,10	0,9974	602,1	3,199	0,723	202,7	12,10	2,228
0,05	1,37	0,9968	602,0	3,181	0,723	202,6	12,10	2,233
0,1	2,75	0,9936	601,6	3,125	0,725	202,1	12,13	2,260
0,2	5,54	0,9871	600,7	3,067	0,729	201,2	12,18	2,315
0,3	8,36	0,9805	599,8	3,033	0,733	200,2	12,24	2,372
0,4	11,22	0,9738	598,9	3,008	0,737	199,3	12,29	2,431
0,5	14,12	0,9671	598,0	2,989	0,742	198,3	12,35	2,492
0,6	17,07	0,9603	597,1	2,973	0,746	197,3	12,41	2,556
0,7	20,06	0,9535	596,2	2,959	0,751	196,3	12,47	2,621
0,8	23,09	0,9465	595,2	2,946	0,756	195,3	12,53	2,689
0,9	26,17	0,9395	594,3	2,935	0,761	194,2	12,60	2,760
1,0	29,30	0,9324	593,3	2,925	0,766	193,2	12,66	2,834
1,5	45,76	0,8955	588,3	2,884	0,796	187,7	13,01	3,252
2,0	63,83	0,8560	582,9	2,852	0,832	181,8	13,41	3,779
2,5	83,97	0,8133	577,1	2,824	0,880	175,4	13,87	4,468
3,0	106,91	0,7666	570,7	2,798	0,941	168,4	14,41	5,415
3,5	133,83	0,7144	563,4	2,773	1,038	160,6	15,03	6,812
4,0	166,97	0,6545	554,9	2,747	1,192	151,8	15,75	9,122
4,5	211,44	0,5814	544,2	2,717	1,504	141,6	16,55	13,817
5,0	285,49	0,4784	528,1	2,677	2,597	129,4	17,11	30,199
5,5	699,98	0,2146	466,4	2,538	1,568	162,4	6,21	45,992
6,0	771,65	0,2124	458,5	2,519	2,467	196,3	4,03	19,117
6,5	808,71	0,2196	454,6	2,509	1,987	219,8	3,10	13,183
7,0	834,77	0,2291	452,0	2,502	1,758	239,0	2,54	10,413
7,5	855,17	0,2396	450,1	2,497	1,619	255,7	2,15	8,769
8,0	872,07	0,2506	448,5	2,492	1,526	270,6	1,86	7,666
8,5	886,56	0,2619	447,2	2,488	1,457	284,1	1,64	6,867
9,0	899,29	0,2734	446,1	2,484	1,404	296,7	1,45	6,267
9,5	910,67	0,2850	445,1	2,481	1,362	308,4	1,30	5,777
10,0	920,97	0,2966	444,3	2,478	1,327	319,5	1,18	5,382
11,0	939,12	0,3200	442,9	2,473	1,275	339,9	0,97	4,747
12,0	954,80	0,3433	441,8	2,467	1,233	358,5	0,82	4,330
13,0	968,64	0,3666	440,9	2,464	1,200	375,7	0,69	3,984
14,0	981,05	0,3898	440,1	2,461	1,173	391,8	0,59	3,707
15,0	992,34	0,4129	439,5	2,459	1,155	407,0	0,50	3,479
16,0	1002,69	0,4359	439,0	2,457	1,137	421,3	0,43	3,287
17,0	1012,26	0,4588	438,5	2,449	1,121	435,0	0,37	3,124
18,0	1021,18	0,4815	438,1	2,448	1,108	448,0	0,31	2,982
19,0	1029,53	0,5042	437,8	2,443	1,096	460,5	0,26	2,858
20,0	1037,38	0,5267	437,6	2,440	1,08[illegible]	472,5	0,22	2,749

$T = 463{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,27	0,9994	609,6	3,328	0,728	205,1	11,16	2,164
0,02	0,54	0,9988	609,5	3,271	0,728	205,0	11,47	2,169
0,03	0,80	0,9982	609,5	3,239	0,729	204,9	11,47	2,174
0,04	1,07	0,9976	609,4	3,215	0,729	204,8	11,48	2,178
0,05	1,34	0,9970	609,3	3,197	0,729	204,7	11,48	2,183
0,1	2,69	0,9941	608,9	3,140	0,731	204,3	11,50	2,208
0,2	5,41	0,9881	608,0	3,083	0,735	203,4	11,55	2,258
0,3	8,17	0,9820	607,2	3,049	0,739	202,5	11,60	2,310
0,4	10,95	0,9759	606,3	3,024	0,743	201,7	11,64	2,364
0,5	13,78	0,9698	605,1	3,005	0,747	200,8	11,69	2,419
0,6	16,64	0,9635	604,6	2,989	0,751	199,8	11,74	2,476
0,7	19,55	0,9573	603,7	2,975	0,755	198,9	11,79	2,535
0,8	22,49	0,9509	602,8	2,963	0,760	198,0	11,84	2,596
0,9	25,47	0,9445	601,9	2,952	0,764	197,0	11,90	2,659
1,0	28,50	0,9380	601,0	2,942	0,769	196,1	11,95	2,725
1,5	44,33	0,9044	596,2	2,901	0,796	191,1	12,24	3,091
2,0	61,54	0,8687	591,2	2,870	0,828	185,8	12,56	3,541
2,5	80,45	0,8305	585,8	2,843	0,868	180,1	12,92	4,107
3,0	101,58	0,7894	580,0	2,818	0,920	173,9	13,32	4,846
3,5	125,65	0,7445	573,5	2,795	0,990	167,2	13,77	5,857
4,0	153,90	0,6947	566,2	2,771	1,092	160,0	14,26	7,334
4,5	188,53	0,6380	557,8	2,747	1,256	152,0	14,77	9,709
5,0	234,21	0,5706	547,3	2,719	1,565	143,3	15,20	14,190
5,5	303,87	0,4838	532,9	2,684	2,367	134,3	15,14	25,663
6,0	454,80	0,3526	507,1	2,625	5,901	130,9	12,27	73,260
6,5	648,12	0,2681	481,3	2,567	3,875	158,3	6,74	38,710
7,0	722,79	0,2689	472,7	2,547	2,527	185,4	4,63	20,431
7,5	765,24	0,2620	468,1	2,536	2,053	207,1	3,58	14,286
8,0	795,13	0,2589	465,0	2,528	1,811	225,6	2,92	11,234
8,5	818,34	0,2776	462,7	2,522	1,662	241,9	2,46	9,397
9,0	837,30	0,2873	460,9	2,516	1,561	256,5	2,13	8,162
9,5	853,62	0,2975	459,3	2,512	1,486	270,0	1,87	7,270
10,0	867,79	0,3080	458,1	2,508	1,429	282,5	1,66	6,593
11,0	891,72	0,3297	456,0	2,501	1,347	305,2	1,34	5,626
12,0	911,57	0,3519	454,4	2,495	1,289	325,6	1,10	4,964
13,0	928,59	0,3742	453,1	2,490	1,246	344,3	0,93	4,478
14,0	943,54	0,3966	452,1	2,485	1,213	361,5	0,79	4,104
15,0	956,88	0,4190	451,2	2,481	1,186	377,7	0,67	3,806
16,0	968,96	0,4413	450,5	2,477	1,164	392,9	0,58	3,562
17,0	980,00	0,4636	449,8	2,474	1,146	407,2	0,50	3,358
18,0	990,19	0,4859	449,3	2,470	1,130	420,9	0,42	3,185
19,0	999,65	0,5080	448,9	2,467	1,116	434,0	0,36	3,035
20,0	1008,48	0,5301	448,5	2,464	1,104	446,5	0,31	2,905

$T = 473,15$ K

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^5$
0,01	0,26	0,9995	616,9	3,343	0,734	207,2	10,89	2,118
0,02	0,52	0,9989	616,9	3,287	0,735	207,1	10,90	2,122
0,03	0,79	0,9984	616,8	3,254	0,735	207,0	10,90	2,127
0,04	1,05	0,9978	616,7	3,231	0,735	206,9	10,90	2,131
0,05	1,31	0,9973	616,6	3,213	0,736	206,8	10,91	2,136
0,1	2,63	0,9945	616,2	3,156	0,737	206,4	10,93	2,158
0,2	5,29	0,9890	615,4	3,099	0,741	205,6	10,97	2,204
0,3	7,98	0,9835	614,6	3,065	0,744	204,8	11,01	2,252
0,4	10,70	0,9778	613,8	3,040	0,748	204,0	11,05	2,300
0,5	13,46	0,9722	612,9	3,021	0,752	203,2	11,09	2,351
0,6	16,24	0,9665	612,1	3,005	0,756	202,3	11,13	2,402
0,7	19,06	0,9607	611,3	2,991	0,760	201,5	11,17	2,455
0,8	21,92	0,9549	610,4	2,979	0,764	200,6	11,22	2,510
0,9	24,81	0,9490	609,5	2,968	0,768	199,8	11,26	2,567
1,0	27,74	0,9430	608,7	2,958	0,772	198,9	11,30	2,625
1,5	43,01	0,9124	604,2	2,918	0,796	194,4	11,54	2,949
2,0	59,46	0,8801	599,5	2,887	0,825	189,5	11,80	3,336
2,5	77,33	0,8458	594,4	2,861	0,859	184,4	12,08	3,810
3,0	96,99	0,8092	589,1	2,838	0,902	179,0	12,39	4,405
3,5	118,93	0,7700	583,2	2,816	0,957	173,2	12,72	5,176
4,0	143,87	0,7274	576,8	2,794	1,032	167,0	13,07	6,214
4,5	172,98	0,6806	569,7	2,772	1,137	160,4	13,42	7,692
5,0	208,20	0,6283	561,4	2,749	1,298	153,5	13,71	9,948
5,5	253,13	0,5685	551,6	2,724	1,572	146,4	13,83	13,745
6,0	313,14	0,4981	539,3	2,694	2,096	140,2	13,45	20,892
6,5	408,25	0,4166	523,0	2,657	3,082	137,7	11,85	33,619
7,0	530,13	0,3455	505,1	2,616	3,583	145,9	8,72	37,731
7,5	626,78	0,3131	492,7	2,588	2,895	163,9	6,36	26,500
8,0	687,97	0,3042	485,5	2,572	2,330	183,4	4,81	18,421
8,5	729,61	0,3048	480,9	2,560	2,002	201,6	3,84	13,971
9,0	760,64	0,3096	477,6	2,552	1,800	218,0	3,18	11,518
9,5	785,27	0,3165	475,8	2,545	1,665	233,1	2,70	9,585
10,0	805,68	0,3247	473,0	2,540	1,569	247,0	2,34	8,370
11,0	838,34	0,3453	469,9	2,530	1,440	271,9	1,83	6,777
12,0	864,05	0,3634	467,6	2,523	1,357	294,1	1,48	5,777
13,0	885,32	0,3842	465,8	2,517	1,299	314,1	1,22	5,087
14,0	983,51	0,4054	464,4	2,512	1,255	332,5	1,03	4,579
15,0	919,43	0,4268	463,2	2,507	1,221	349,6	0,87	4,188
16,0	933,61	0,4484	462,2	2,502	1,194	365,6	0,75	3,877
17,0	946,41	0,4700	461,4	2,498	1,172	380,7	0,64	3,623
18,0	958,09	0,4915	460,7	2,495	1,153	395,0	0,56	3,410
19,0	968,83	0,5131	460,1	2,491	1,137	408,6	0,48	3,230
20,0	978,79	0,5346	459,6	2,488	1,122	421,6	0,41	3,074

Таблица 24

Переносные свойства фреона-21 на линиях кипения и конденсации

T	p	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^6$	$\lambda'' \cdot 10^6$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
303,15	0,2150	294	11,41	0,218	1,225	97,6	9,44	0,0738	1,586	2,96	0,773
305,15	0,2296	288	11,50	0,214	1,160	96,9	9,56	0,0737	1,500	2,91	0,773
307,15	0,2448	283	11,58	0,211	1,100	96,2	9,68	0,0736	1,421	2,87	0,774
309,15	0,2607	277	11,66	0,208	1,043	95,5	9,80	0,0734	1,347	2,83	0,775
311,15	0,2774	272	11,74	0,204	0,991	94,8	9,92	0,0732	1,278	2,80	0,775
313,15	0,2948	267	11,82	0,201	0,942	94,1	10,04	0,0730	1,214	2,76	0,776
315,15	0,3130	262	11,91	0,1986	0,896	93,4	10,16	0,0728	1,154	2,73	0,777
317,15	0,3321	258	11,99	0,1958	0,853	92,7	10,29	0,0726	1,098	2,70	0,777
319,15	0,3520	253	12,07	0,1931	0,813	91,8	10,41	0,0723	1,045	2,68	0,778
321,15	0,3728	248	12,16	0,1902	0,775	91,0	10,54	0,0720	0,995	2,65	0,779
323,15	0,3945	244	12,24	0,1879	0,739	90,5	10,66	0,0716	0,947	2,63	0,781
325,15	0,4172	240	12,33	0,1854	0,706	89,9	10,79	0,0713	0,903	2,61	0,781
327,15	0,4408	236	12,42	0,1830	0,674	89,2	10,92	0,0710	0,861	2,59	0,783
329,15	0,4655	232	12,50	0,1807	0,644	88,6	11,05	0,0706	0,822	2,57	0,784
331,15	0,4912	228	12,59	0,1784	0,616	87,6	11,18	0,0699	0,784	2,56	0,786
333,15	0,5180	225	12,68	0,1762	0,589	86,9	11,32	0,0691	0,748	2,54	0,788
335,15	0,5459	221	12,77	0,1741	0,564	86,2	11,45	0,0690	0,715	2,53	0,790
337,15	0,5749	217	12,86	0,1719	0,540	85,6	11,59	0,0686	0,683	2,51	0,791
339,15	0,6051	214	12,95	0,1699	0,518	84,9	11,72	0,0682	0,653	2,49	0,793
341,15	0,6365	210	13,05	0,1678	0,496	84,2	11,86	0,0677	0,624	2,48	0,795
343,15	0,6691	207	13,14	0,1658	0,476	83,6	12,00	0,0672	0,597	2,46	0,797
345,15	0,7030	203	13,24	0,1639	0,457	82,9	12,14	0,0667	0,571	2,45	0,800
347,15	0,7381	200	13,34	0,1619	0,439	82,3	12,29	0,0662	0,546	2,44	0,803

Продолжение табл. 24

T	p	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^6$	$\lambda'' \cdot 10^6$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
349,15	0,7745	196,8	13,43	0,1600	0,121	81,6	12,43	0,0657	0,524	2,43	0,805
351,15	0,8123	193,6	13,53	0,1581	0,405	81,0	12,58	0,0652	0,501	2,42	0,808
353,15	0,8514	190,3	13,64	0,1563	0,389	80,4	12,73	0,0647	0,480	2,41	0,811
355,15	0,8919	187,1	13,74	0,1544	0,375	79,7	12,88	0,0642	0,460	2,40	0,815
357,15	0,9338	184,0	13,85	0,1525	0,360	78,8	13,03	0,0635	0,441	2,40	0,818
359,15	0,9772	180,8	13,95	0,1507	0,347	78,2	13,19	0,0629	0,422	2,39	0,822
361,15	1,0220	177,7	14,06	0,1488	0,334	77,6	13,35	0,0624	0,405	2,38	0,826
363,15	1,0684	174,6	14,18	0,1470	0,322	77,0	13,51	0,0619	0,388	2,37	0,830
365,15	1,1162	171,6	14,29	0,1452	0,310	76,3	13,67	0,0614	0,372	2,35	0,834
367,15	1,1657	167,5	14,41	0,1426	0,299	75,7	13,83	0,0608	0,357	2,34	0,839
369,15	1,2167	163,6	14,53	0,1400	0,289	75,1	14,00	0,0603	0,342	2,32	0,845
371,15	1,2693	159,9	14,65	0,1376	0,279	74,5	14,17	0,0597	0,328	2,30	0,850
373,15	1,3236	156,3	14,78	0,1353	0,269	74,1	14,35	0,0592	0,315	2,28	0,856
375,15	1,3795	152,8	14,91	0,1330	0,260	73,5	14,52	0,0585	0,302	2,27	0,862
377,15	1,4372	149,5	15,04	0,1309	0,251	72,9	14,70	0,0580	0,289	2,25	0,868
379,15	1,4966	146,3	15,18	0,1289	0,243	72,3	14,89	0,0575	0,277	2,24	0,876
381,15	1,5557	143,2	15,32	0,1269	0,235	71,7	15,07	0,0569	0,266	2,23	0,883
383,15	1,6207	140,2	15,46	0,1251	0,227	71,2	15,26	0,0563	0,255	2,22	0,891
385,15	1,6855	137,3	15,61	0,1233	0,220	70,3	15,46	0,0555	0,244	2,22	0,900
387,15	1,7522	134,5	15,76	0,1216	0,213	69,7	15,66	0,0549	0,234	2,21	0,909
389,15	1,8207	131,8	15,92	0,1199	0,206	69,2	15,86	0,0543	0,224	2,21	0,919
391,15	1,8912	129,1	16,09	0,1184	0,1998	68,6	16,07	0,0537	0,215	2,20	0,929
393,15	1,9637	126,6	16,26	0,1168	0,1936	68,1	16,28	0,0531	0,205	2,20	0,941
395,15	2,038	124,1	16,44	0,1151	0,1877	67,5	16,50	0,0525	0,1969	2,20	0,953
397,15	2,115	121,6	16,62	0,1140	0,1820	67,0	16,73	0,0519	0,18982	2,20	0,967

T	p	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^6$	$\lambda'' \cdot 10^6$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
399,15	2,193	119,3	16,81	0,1123	0,1766	66,5	16,96	0,0512	0,1800	2,20	0,981
401,15	2,274	116,9	17,01	0,1113	0,1713	65,0	17,19	0,0505	0,1719	2,20	0,997
403,15	2,357	114,6	17,22	0,1100	0,1663	65,1	17,14	0,0498	0,1639	2,21	1,014
405,15	2,442	112,4	17,41	0,1087	0,1615	64,9	17,69	0,0491	0,1564	2,21	1,032
407,15	2,530	110,2	17,67	0,1075	0,1569	64,3	17,95	0,0483	0,1489	2,22	1,054
409,15	2,620	107,9	17,91	0,1063	0,1524	63,8	18,21	0,0476	0,1417	2,23	1,076
411,15	2,712	105,8	18,16	0,1051	0,1481	63,2	18,49	0,0467	0,1345	2,25	1,101
413,15	2,806	103,6	18,43	0,1039	0,1439	62,5	18,78	0,0458	0,1276	2,27	1,128
415,15	2,903	101,4	18,71	0,1028	0,1399	61,9	19,08	0,0449	0,1207	2,29	1,159
417,15	3,003	99,2	19,00	0,1016	0,1361	61,3	19,39	0,0439	0,1141	2,31	1,193
419,15	3,105	97,0	19,31	0,1005	0,1324	60,8	19,71	0,0429	0,1075	2,34	1,232
421,15	3,210	94,8	19,65	0,0993	0,1288	60,2	20,1	0,0419	0,1010	2,37	1,275
423,15	3,317	92,6	20,0	0,0981	0,1253	59,6	20,4	0,0408	0,0946	2,40	1,325
425,15	3,428	90,3	20,4	0,0969	0,1219	58,9	20,8	0,0396	0,0882	2,45	1,382
427,15	3,541	88,0	20,8	0,0957	0,1186	58,3	21,2	0,0382	0,0819	2,51	1,448
429,15	3,657	85,6	21,2	0,0945	0,1154	57,6	21,6	0,0368	0,0757	2,57	1,526
431,15	3,776	83,2	21,7	0,0932	0,1124	56,9	22,0	0,0353	0,0694	2,64	1,618
433,15	3,898	80,7	22,2	0,0919	0,1093	56,2	22,5	0,0336	0,0632	2,74	1,731

Таблица 25

Переносные свойства фреона-21 в однофазной области

	$T=303{,}15$ K				$T=313{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	11,28	9,20	3,59	0,755	11,64	9,72	3,85	0,7
0,5	295	98,0	0,0741	2,94	268	94,3	0,0733	2,7
1,0	296	98,3	0,0744	2,94	269	94,6	0,0736	2,7
2,0	299	98,8	0,0748	2,95	272	95,2	0,0741	2,7
3,0	302	99,4	0,0753	2,95	274	95,8	0,0746	2,7
4,0	305	99,9	0,0758	2,96	277	96,4	0,0753	2,7
5,0	308	100,5	0,0763	2,96	280	97,0	0,0758	2,7
6,0	310	101,1	0,0768	2,96	283	97,6	0,0764	2,7
8,0	316	102,2	0,0778	2,97	288	98,8	0,0775	2,7
10,0	322	103,1	0,0786	2,98	293	99,8	0,0783	2,7
12,0	327	103,9	0,0793	2,99	298	100,6	0,0791	2,7
14,0	333	104,5	0,0799	3,00	304	101,3	0,0798	2,7
16,0	338	105,0	0,0804	3,02	309	101,8	0,0803	2,8
18,0	344	105,4	0,0808	3,06	314	102,1	0,0806	2,8
20,0	349	105,6	0,0810	3,09	319	102,4	0,0808	2,8

Продолжение табл. 25

	$T=323{,}15$ K				$T=333{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	12,00	10,23	4,16	0,738	12,35	10,75	4,45	0,73
0,5	245	90,7	0,0718	2,62	12,66	11,31	0,783	0,78
1,0	246	91,0	0,0721	2,62	226	87,4	0,0700	2,52
2,0	250	91,6	0,0726	2,63	228	88,1	0,0706	2,52
3,0	251	92,3	0,0733	2,63	231	88,8	0,0714	2,52
4,0	254	92,9	0,0738	2,62	233	89,5	0,0720	2,51
5,0	256	93,6	0,0745	2,62	236	90,2	0,0727	2,51
6,0	259	94,2	0,0751	2,62	238	90,9	0,0734	2,51
8,0	264	95,4	0,0763	2,62	243	92,1	0,0746	2,51
10,0	269	96,5	0,0770	2,62	248	93,3	0,0758	2,51
12,0	274	97,4	0,0782	2,62	252	94,2	0,0766	2,51
14,0	279	98,0	0,0787	2,64	257	94,9	0,0773	2,52
16,0	284	98,6	0,0796	2,65	262	95,5	0,0779	2,53
18,0	288	99,0	0,0797	2,67	266	95,9	0,0784	2,55
20,0	293	99,3	0,0801	2,70	271	96,3	0,0788	2,58

Продолжение табл. 25

	$T=343{,}15$ K				$T=353{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	12,70	11,26	4,75	0,728	13,04	11,77	5,05	0,724
0,5	13,00	11,80	0,851	0,770	13,33	12,29	0,920	0,759
1,0	208	83,9	0,0676	2,46	19,07	80,4	0,0648	2,41
2,0	210	84,6	0,0683	2,45	193,3	81,2	0,0657	2,40
3,0	212	85,3	0,0690	2,44	195,8	82,0	0,0665	2,40
4,0	215	86,1	0,0698	2,44	198,2	82,8	0,0674	2,38
5,0	217	86,8	0,0706	2,43	201	83,6	0,0682	2,38
6,0	220	87,6	0,0713	2,43	203	84,4	0,0691	2,37
8,0	224	88,9	0,0726	2,42	207	85,8	0,0704	2,36
10,0	229	90,1	0,0738	2,42	212	87,1	0,0718	2,35
12,0	233	91,1	0,0748	2,42	217	88,2	0,0729	2,35
14,0	238	91,9	0,0757	2,43	221	89,0	0,0738	2,35
16,0	243	92,6	0,0763	2,44	225	89,7	0,0745	2,36
18,0	247	93,0	0,0768	2,45	230	90,2	0,0750	2,38
20,0	251	93,4	0,0772	2,47	234	90,6	0,0755	2,40

Продолжение табл. 25

	$T=363{,}15$ K				$T=373{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	13,38	12,29	5,30	0,729	13,72	12,80	5,69	0,717
0,5	13,66	12,79	0,990	0,749	13,99	13,28	1,069	0,743
1,0	14,10	13,42	0,426	0,816	14,40	13,88	0,4668	0,797
2,0	177,1	77,8	0,0629	2,36	160,9	74,6	0,0600	2,31
3,0	179,7	78,7	0,0639	2,35	163,9	75,5	0,0611	2,30
4,0	182,3	79,6	0,0648	2,34	166,8	76,4	0,0621	2,29
5,0	184,8	80,4	0,0657	2,33	169,5	77,3	0,0632	2,28
6,0	187,3	81,2	0,0666	2,32	172,1	78,2	0,0642	2,26
8,0	192,0	82,8	0,0682	2,30	177,1	79,9	0,0660	2,24
10,0	196,7	84,2	0,0702	2,28	181,9	81,3	0,0675	2,24
12,0	201	85,3	0,0718	2,26	186,5	82,6	0,0689	2,24
14,0	206	86,3	0,0719	2,30	191,0	83,6	0,0692	2,25
16,0	210	87,0	0,0726	2,31	195,3	84,4	0,0707	2,25
18,0	214	87,6	0,0733	2,32	199,6	85,1	0,0715	2,26
20,0	218	88,0	0,0737	2,33	203	85,6	0,0720	2,26

Продолжение табл. 25

$T=383{,}15$ K					$T=393{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	14,06	13,32	6,03	0,713	14,39	13,83	6,36	0,71
0,5	14,31	13,78	1,132	0,735	14,64	14,28	1,20	0,73
1,0	14,70	14,35	0,507	0,782	15,00	14,82	0,547	0,76
2,0	144,6	71,4	0,0568	2,26	129,3	68,3	0,0534	2,23
3,0	148,1	72,4	0,0581	2,25	133,1	69,3	0,0554	2,21
4,0	151,3	73,4	0,0594	2,24	136,5	70,4	0,0564	2,19
5,0	154,3	74,3	0,0605	2,22	139,8	71,4	0,0578	2,18
6,0	157,2	75,3	0,0616	2,21	142,9	72,4	0,0590	2,16
8,0	162,7	77,1	0,0637	2,19	148,8	74,3	0,0613	2,14
10,0	167,7	78,6	0,0654	2,18	154,2	76,0	0,0633	2,12
12,0	172,6	80,0	0,0669	2,18	159,2	77,4	0,0649	2,12
14,0	177,2	81,1	0,0681	2,18	163,9	78,7	0,0663	2,12
16,0	181,6	82,0	0,0690	2,19	168,6	79,6	0,0673	2,13
18,0	185,9	82,7	0,0698	2,20	173,0	80,5	0,0683	2,13
20,0	190,1	83,3	0,0704	2,21	177,2	81,1	0,0689	2,14

Продолжение табл. 25

$T=403{,}15$ K					$T=413{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	14,72	14,34	6,69	0,709	15,04	14,86	7,05	0,706
0,5	14,96	14,78	1,275	0,726	15,27	15,28	1,317	0,722
1,0	15,30	15,30	0,587	0,758	15,60	15,78	0,627	0,750
2,0	16,49	15,71	0,227	0,898	16,68	17,09	0,254	0,861
3,0	120,8	66,3	0,0514	2,24	106,5	63,3	0,0468	2,28
4,0	124,2	67,4	0,0532	2,29	111,0	64,5	0,0494	2,22
5,0	127,4	68,5	0,0548	2,15	115,1	65,6	0,0516	2,16
6,0	130,5	69,6	0,0564	2,14	118,7	66,8	0,0535	2,12
8,0	136,3	71,6	0,0590	2,10	124,9	68,9	0,0565	2,07
10,0	141,7	73,4	0,0612	2,08	130,5	70,9	0,0591	2,04
12,0	146,8	75,0	0,0630	2,06	135,6	72,5	0,0611	2,02
14,0	151,7	76,3	0,0645	2,05	140,5	74,0	0,0628	2,01
16,0	156,3	77,4	0,0657	2,07	145,0	75,2	0,0641	2,01
18,0	160,8	78,3	0,0667	2,08	149,2	76,1	0,0651	2,02
20,0	165,1	79,0	0,0674	2,09	153,3	76,9	0,0660	2,03

Продолжение табл. 25

	$T=423{,}15$ K				$T=433{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	15,36	15,37	7,39	0,704	15,68	15,89	7,75	0,702
0,5	15,59	15,79	1,422	0,718	15,90	16,29	1,497	0,714
1,0	15,90	16,26	0,667	0,743	16,20	16,75	0,708	0,736
2,0	16,89	17,48	0,280	0,833	17,12	17,89	0,305	0,811
3,0	18,87	19,43	0,1317	1,092	18,81	19,59	0,1562	0,992
4,0	96,1	61,3	0,0442	2,26	81,6	56,1	0,0344	2,68
5,0	100,9	62,6	0,0470	2,18	88,3	58,6	0,0412	2,33
6,0	105,1	63,8	0,0488	2,16	93,0	60,5	0,0455	2,16
8,0	112,5	66,0	0,0528	2,08	101,0	63,3	0,0509	2,02
10,0	118,9	68,1	0,0567	2,00	107,8	65,5	0,0544	1,961
12,0	124,7	69,9	0,0590	1,983	113,8	67,2	0,0569	1,938
14,0	129,8	71,4	0,0608	1,974	119,1	68,9	0,0590	1,922
16,0	134,5	72,7	0,0624	1,966	123,9	70,4	0,0608	1,911
18,0	138,7	73,8	0,0636	1,967	128,2	71,6	0,0621	1,910
20,0	142,4	74,7	0,0646	1,967	132,4	73,0	0,0636	1,904

Продолжение табл. 25

	$T=443{,}15$ K				$T=453{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	16,0	16,40	8,13	0,700	16,31	16,91	8,48	0,699
0,5	16,21	16,79	1,572	0,712	16,52	17,30	1,651	0,708
1,0	16,49	17,23	0,749	0,730	16,79	17,72	0,789	0,726
2,0	17,36	18,32	0,329	0,795	17,60	18,75	0,353	0,782
3,0	18,81	19,84	0,1791	0,930	18,93	20,1	0,1992	0,889
4,0	21,7	22,4	0,0887	1,35	21,2	22,2	0,1115	1,141
5,0	72,6	53,0	0,0296	2,93	25,7	26,8	0,0361	2,59
6,0	80,8	56,2	0,0386	2,39	64,5	59,1	0,0263	3,17
8,0	90,2	60,0	0,0471	2,05	80,2	56,4	0,0423	2,17
10,0	97,6	62,7	0,0518	1,946	88,6	59,8	0,0489	1,967
12,0	103,8	64,5	0,0547	1,907	95,1	61,8	0,0525	1,897
14,0	109,5	66,4	0,0572	1,883	100,7	64,0	0,0555	1,856
16,0	114,5	68,1	0,0592	1,868	106,0	65,9	0,0578	1,837
18,0	119,1	69,5	0,0608	1,863	110,4	67,4	0,0596	1,814
20,0	123,3	70,9	0,0623	1,857	114,9	68,9	0,0612	1,810

	$T=463{,}15$ K				$T=473{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^3$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^3$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	16,62	17,43	8,86	0,697	16,93	17,94	9,25	0,6
0,5	16,82	17,80	1,73	0,706	17,13	18,31	1,809	0,7
1,0	17,09	18,21	0,831	0,722	17,38	18,71	0,874	0,7
2,0	17,85	19,19	0,377	0,770	18,10	19,64	0,400	0,7
3,0	19,06	20,5	0,219	0,855	19,22	20,8	0,238	0,8
4,0	21,0	22,3	0,1326	1,030	20,9	22,4	0,1509	0,9
5,0	24,6	25,3	0,0690	1,520	23,7	24,8	0,0918	1,2
6,0	35,8	34,6	0,01289	6,11	28,8	29,0	0,0439	2,0
8,0	68,1	52,0	0,0361	2,37	54,6	46,5	0,0290	2,7
10,0	79,8	56,6	0,0456	2,01	70,0	53,2	0,0423	2,0
12,0	86,9	59,0	0,0502	1,898	78,3	56,0	0,0477	1,8
14,0	92,9	61,6	0,0538	1,830	85,2	59,1	0,0480	1,8
16,0	98,7	63,7	0,0565	1,803	91,4	61,5	0,0552	1,7
18,0	103,6	65,3	0,0584	1,791	96,8	63,3	0,0573	1,7
20,0	107,9	67,0	0,0602	1,777	101,5	65,1	0,0593	1,7

Глава третья

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-22

Фреон-22 (дифторхлорметан) относится к числу наиболее изученных фреонов метанового ряда. К настоящему времени опубликовано более 70 экспериментальных работ, в которых имеется весьма обширная экспериментальная информация о теплофизических свойствах газообразного и жидкого фреона-22 в широком интервале температур и давлений. В частности, p, v, T-зависимость фреона-22 изучена в интервале $T=203$—473 К при давлениях $p=0{,}1$—35 [160] МПа и получено около 950 опытных точек, известно 250 экспериментальных значений теплоемкости c_p и c_v в интервале $T=232$—473 К при $p=0{,}1$—$3{,}5$ МПа, а измерения вязкости ($N_{\text{оп}}\approx 530$) и теплопроводности ($N_{\text{оп}}\approx 360$) выполнены в интервале $T=115$—473 К и $p=0{,}1$—59 МПа.

В опубликованных ранее справочных изданиях [0.7, 0.9, 0.10, 0.45, 2.22], в монографии А. В. Клецкого [0.18], а также в справочных пособиях [0.8, 0.34] учтена сравнительно небольшая часть имеющихся экспериментальных результатов о теплофизических свойствах фреона-22, вследствие чего упомянутые справочные данные являются не только не полными, но в ряде случаев и недостаточно точными.

С целью разработки более полных и достоверных справочных данных авторы выполнили серию экспериментальных и расчетно-теоретических исследований, результаты которых частично опубликованы [0.13, 0.36, 1.2, 1.3, 1.4, 3.1, 3.2, 3.3, 3.9, 3.10, 3.11, 3.32] и послужили основанием для составления рекомендуемых таблиц теплофизических свойств газообразного и жидкого фреона-22.

4.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Основные экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-22, выполненные в 18 лабораториях, перечислены ниже в табл. 26, 29. Обычно в каждой из этих

лабораторий термодинамические величины измеряли как однофазной области, так и на линиях равновесия жидкость-пар. Однако для сопоставительного анализа удобнее сгруппировать экспериментальные работы по областям исследования. Поэтому в отдельных подразделах обсуждаются результаты калориметрических и акустических измерений, определения термодинамических функций в стандартном состоянии и уравнения состояния, использовавшиеся ранее для расчета таблиц термодинамических свойств фреона-22.

Опытные данные в однофазной области. Из табл. 26 и рис. 15 видно, что измерения плотности (или коэффициента сжимаемости) охватывают большую область состояний, при чем максимальные давление и температура составили поряд

Таблица 26

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-22 в однофазной области

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1939	Беннинг, Макхарнес	ϱ	298—412	0,03—2,1	г	40	[2.25]
1940	Беннинг и др.	c_p	322—408	0,1	г	6	[2.27]
1956	Мияхара, Ричардсон	w	300—475	0,1	г	9	[3.53]
1957	Михельс А.	ϱ	292—423	0,7—13	г; ж	181	[3.50]
1961	Хванг	c_v	323—473	до 3,5	г	58	[3.54]
1964	Клецкий	ϱ	293—465	0,8—5,8	г; ж	63	[0.18]
1966	Лагутина	ϱ	273—393	0,2—6	г	135	[3.22, 3.2
1967	Новиков, Лагутина	w	273—393	0,2—6	г	145	[3.23, 3.2
1968	Цандер	ϱ	287—473	0,3—35	г; ж	270	[3.66]
1968	Хайяр, Маквуд	B_1	303—403	0,1	г	4	[3.44, 3.4
1969	Шумская, Груздев	c_p	300—460	0,1	г	9	[2.20]
1969	Мейер	w	198—226	0,1	ж	9	[3.52]
1970	Эрнст, Бюссе	c_p	298—353	0,1—1,4	г	37	[3.40]
1971	Саттер, Коул	B_1	323—425	0,1	г	3	[3.61]
1971	Хейзорт, Саттен	B_1	298—328	0,1	г	3	[3.46]
1971	Кумаган, Ивасаки	ϱ	253—313	9,7—160	ж	34	[3.48]
1971	Дате, Ивасаки	ϱ	298—398	0,1—6,5	г	48	[0.51]
1974	Хирата и др.	ϱ	297—414	2,0—9,4	г	65	[0.51]
1974	Бир, Эрнст, Маурер	c_p	333—353	0,2—3,4	г	16	[3.36]
1975	Груздев, Шумская	c_p	301—452	0,2—2	г	92	[2.9]
1975	Огучи и др.	ϱ	253—363	0,2—8,9	г; ж	63	[3.56]

а 35 МПа и 473 К, хотя в газовой фазе опыты проведены при емпературах до 253 К, а в жидкой — минимальная температура 287 К. В самое последнее время из справочника [0.51] тало известно о трех экспериментальных работах японских сследователей, выполненных в 1971—1974 гг. и фактически е опубликованных, в том числе и о работе Кумагаи, Ивасаи [3.48], где плотность жидкого фреона-22 измерена в интервале $T=253$—313 К при давлении до 160 МПа.

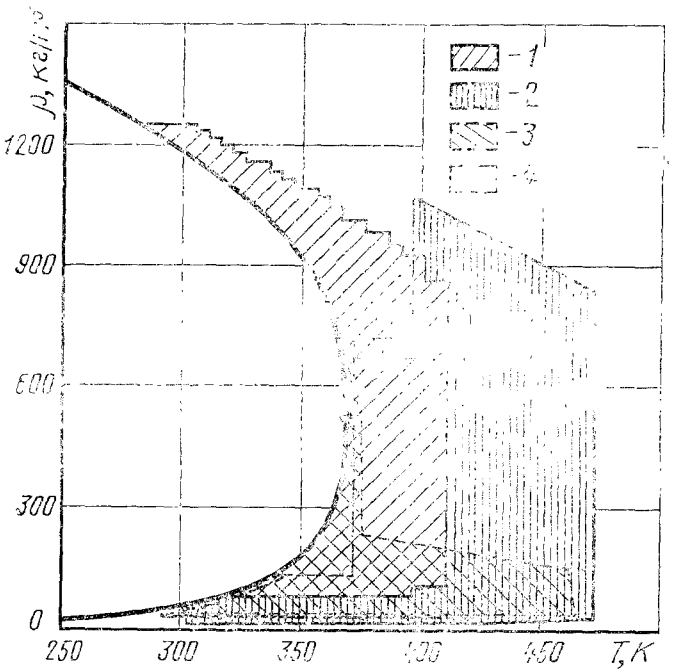


Рис. 15. Области экспериментального исследования термических свойств фреона-22 в работах:

1—Цандера (изохорные измерения) [3.66]; *2*—Цандера (измерения методом Барнетта) [3.66]; *3*—Клецкого [0.13]; *4*—Михельса [3.50]

Следует подчеркнуть, что плотность распределения опытных точек в изученной области состояний очень неравномерна и подавляющая часть экспериментальных значений плотности относится к газовой фазе при давлении до 6 МПа. Выполненная нами статистическая обработка опубликованных до 1972 г. экспериментальных p, v, T-данных показала [3.1], что действительная точность этих результатов в ряде случаев существенно ниже оцененной самими авторами экспериментальных работ. Так, в работах Л. И. Лагутиной [3.22, 3.23] максимальная погрешность измеренных значений плотности газообразного фреона-22 оценена 0,2—0,3%. В действитель-

ности, среднее квадратическое отклонение этих данных от методически независимых и согласующихся измерений Цандера [3.66] и А. В. Клецкого [0.18] составляет $\sigma_z = 0{,}85\%$ и $\sigma_z = 1{,}27\%$. Даже, если из данных [3.22, 3.23] исключить около 20 сильно выпадающих (более чем на 0,5—1,0%) значений $z_{оц}$, то и тогда по оставшимся 115 точкам $\sigma_z = 0{,}38\%$. Отклонение опытных данных Беннинга, Макхарнесса [2.25] еще больше: $\sigma_z \approx 1{,}8\%$. К сожалению, и в более поздних экспериментальных работах некоторая часть данных имеет погрешности, превышающие средний уровень для стандартных p, v, T-измерений. Это относится, в первую очередь, к работе [3.66] и отчасти к [0.18, 3.56]. Тем не менее из совокупности перекрывающихся измерений [0.18, 3.50, 3.56, 3.66] удается сделать достаточно представительную выборку согласующихся p, v, T-данных и на основе их статистической обработки построить точное уравнение состояния.

Поскольку в этом случае при формировании весовой функции приходится оперировать с относительными погрешностями единичных измерений, то необходимо сделать предварительную оценку основных групп опытных результатов.

В 60-х годах в Амстердамской лаборатории под руководством А. Михельса изучена p, v, T-зависимость фреонов-12, 13 и 22 в интервале $T = 273$—423 К при давлении до 40 МПа. Исследование выполнено на хорошо известной экспериментальной установке, реализующей метод разгруженного от давления пьезометра переменного объема. Образцы фреонов содержали обычно не менее 99,95% основного продукта. Погрешность опытных данных по p, v-величинам оценивается обычно $\pm 0{,}05\%$. Опытные результаты этой лаборатории для фреонов-12 и 13 были опубликованы в 1966 г. и использованы для разработки таблиц термодинамических свойств, в частности, [0.28]. Однако для фреона-22 результаты непосредственных измерений не публиковались и известны нам по расчетно-теоретической работе Мартина [3.50].

В Ленинградском технологическом институте холодильной промышленности p, v, T-зависимость фреона-22 изучали на установке, реализующей метод пьезометра постоянного объема с балластным пространством [0.18, 3.17]. Неразгруженный от давления пьезометр ($v \approx 456$ см^3) и стеклянный ртутный дифференциальный манометр пространственно были разделены и соединены стальным капилляром, причем пьезометр и дифманометр имели автономные системы термостатирования, а соединительный капилляр — наружный нагреватель. Для измерения давления исследуемого вещества применен грузопоршневой манометр класса точности 0,02. Температуру основного термостата измеряли с помощью образцового платинового термометра сопротивления, а сопротивление термометра — потенциометром ПМС-18 класса точности А. Массу

образца определяли с помощью отделяющихся ампул-дозаторов, взвешиваемых на аналитических весах. Исходный образец по данным хроматографического анализа содержал примесей не более 0,15 об. % и был подвергнут дополнительной очистке. Вероятная погрешность опытных данных А. В. Клецкого [0.18], по-видимому, близка к 0,15%. Сравнение с данными Михельса и Цандера подтвердило указанную оценку.

Цандер [3.66] провел очень обстоятельное исследование p, ρ, T-зависимости жидкого и газообразного фреона-22 на двух экспериментальных установках. Сжимаемость газообразного фреона-22 определена по методу Барнетта, и получено 107 опытных значений $z(p, T)$ на семи изотермах в интервале 303—473 К при давлении 0,3—34 МПа. По утверждению Цандера, максимальная погрешность результатов не превышает ±0,25%. Вторая установка представляла собой пьезометр постоянного объема, приспособленный для изохорных измерений. Объем пьезометра при комнатных условиях равен 63 см^3 и определен калибровкой по ртути. Пьезометр сблокирован с ртутным затвором в одном термостате. Положение ртути в затворе фиксировали с помощью электроконтакта, и возможная неконтролируемая вариация объема $\Delta V/V$ была менее $2 \cdot 10^{-5}$. Результаты непосредственных измерений были скорректированы с учетом деформации пьезометра в зависимости от температуры и давления и представлены на 35 изохорах в интервале $\rho = 80$—1250 кг/м^3 при $p = 1{,}9$—21 МПа и $T = 287$—413 К ($N_{оп} = 163$). Погрешность этой группы измерений, по нашей оценке, равна в среднем 0,3—0,4% (по $z_{оп}$). Однако поскольку вторая группа опытных данных относится главным образом к жидкой фазе, то соответствующие погрешности δ_ρ можно считать вполне приемлемыми. Важно отметить сообщение Цандера о том, что по данным калориметрических измерений в точке плавления чистота исследованного им фреона-22 близка 99,97 мол. %.

Огучи, Танишита с соавторами [3.56] выполнили экспериментальное исследование p, v, T-зависимости фреона-22 в интервале $T = 253$—363 К и $p = 0{,}2$—$8{,}9$ МПа на установке, описанной ими ранее [3.62]. Применены неразгруженный от давления сферический пьезометр и мембранный нуль-индикатор, размещенные в одном термостате. Внутренний объем пьезометрической части определен в градуировочных опытах на дистиллированной воде при $p < 12$ МПа. Для вычисления поправок на термическую деформацию пьезометра использованы данные о коэффициенте линейного расширения, измеренные в лаборатории на тех же образцах стали, из которой изготовлен пьезометр. С учетом этих поправок удельный объем, определенный как $v = V/m$, может быть найден, как считают авторы, с погрешностью порядка 0,01%. Противодавление в нуль-индикаторе создавали газообразным азотом,

поддерживали на заданном уровне с помощью специальной следящей системы и измеряли ртутным (при $p_{оп} \leqslant 0{,}4$ МПа) или поршневым манометром. Поршневой манометр калибровали по давлению пара чистой CO_2 при $T = 273{,}15$ К. Чувствительность нуль-индикатора [3.62] не менее 0,2 КПа, а погрешность определения $p_{оп}$ оценивается 0,01%. В работе [3.56] указаны следующие погрешности измерения давления: 0,014% при 10 МПа, 0,018% при 5 МПа и 0,05% при 1 МПа. Температуру измеряли с вероятной погрешностью 0.010 К при $T > 293$ К и 0.015 К при $T < 293$ К. Суммарная погрешность определения удельного объема фреона-22 (с учетом ошибок отнесения), по оценке авторов [3.56], равна 0.03% в жидкой фазе, 0,04% в газовой фазе и возрастает до 0.2% при $v = 100$ см^3/г. Исследованный образец по данным хроматографического анализа содержал 99,99% по массе фреона-22 и всего лишь 0,81% по массе фреона-23, 32 и воздуха.

В работе [3.56] p, v, T-измерения выполнены на четырех изохорах в газовой фазе ($v \approx 10$, 40, 70 и 100 см^3/г), на одной изохоре в жидкой фазе (0.86 см^3/г) и несомненно относятся к числу наиболее точных для фреона-22.

Из перечисленных в табл. 26 экспериментальных исследований только в работе [3.56] опытные данные представлены в соответствии с МПТШ-68. В более ранних работах использовали МПТШ-48. Это обстоятельство необходимо иметь в виду при сравнении и обработке опытных данных*.

Полученные в работах [3.44, 3.45, 3.46, 3.61] значения второго вириального коэффициента B_1 представлены на рис. 16. Там же приведены значения B_1, найденные по p, v, T-данным [0.18, 3.66], а также рассчитанные по трем различным уравнениям состояния, рекомендуемым в работах [0.18, 3.1, 3.66] для сжатого фреона-22. Из рис. 16 следует, что в изученном интервале температур ($T = 293$—473 К) лучшие результаты дает уравнение В. Б. Алтунина, О. Г. Гадецкого [3.1].

Изобарная теплоемкость газообразного фреона-22 измерена в интервале $T = 293$—460 К при $p = 1$—3.4 МПа (см. табл. 24). Выполненный ранее [3.1] анализ показал, что экспериментальные данные о теплоемкости c_p при атмосферном давлении опубликованные до 1970 г., имеют низкую точность, и поэтому работы [2.20, 2.27] здесь не обсуждаются. В более поздних работах [2.9, 3.36, 3.40] исследованы не только фреон-22, но и другие многоатомные газы.

В работах Института термодинамики университета Карлсруэ [3.36, 3.40] выполнены две серии измерений c_p методом проточного адиабатного калориметра. Суммарная погреш-

---

* В рассматриваемом интервале температур отличие МПТШ-68 от МПТШ-48 составляет 0,026 К при 230 К, 0.0 при 273.15 и 373.15 К, —0.01 при 320 К.

ность полученных значений c_p, по оценке авторов, близка 0,1%. Полученные экспериментальные данные очень хорошо согласуются, и расхождения значений c_p на изотермах 333 и 353 К при $p=0{,}1$—$1{,}4$ МПа не превышают 0,2—0,3%.

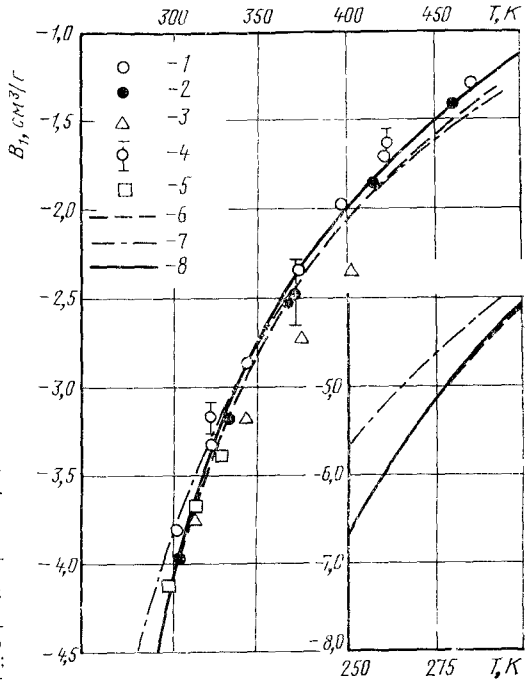


Рис. 16. Второй вириальный коэффициент фреона-22:

опытные данные: *1*—Цандера [3.66]; *2*—Клецкого [0.18]; Хайяра, Маквуда [3.45]; Сатера, Коула [3.61]; *5*—Форта, Саттена [3.46]; рассчитанный по уравнению состояния: *6*—Клецкого [0.18]; *7*—Цандера [3.66]; *8*—Алтунина, Гадецкого [3.1]

В работе В. А. Груздева, А. И. Шумской [2.9] измерения c_p фреона-22 выполнены на оригинальном проточном капиллярном калориметре с погрешностью, по оценке авторов, не более 0,4—0,7%. Сравнение опытных данных [2.9] и [3.36, 3.40] показало, что их расхождения не выходят за пределы оговоренных авторами погрешностей измерений при невысоких давлениях, но по мере повышения давления расхождения увеличиваются и при 2 МПа превышают 3,5%, причем данные [2.9] занижены (рис. 17).

Поскольку калориметрические данные [3.36, 3.40] при низких давлениях имеют высокую точность, то их можно использовать для выбора приемлемых значений термодинамических функций газообразного фреона-22 в стандартном (идеально газовом) состоянии. Эти функции были табулированы ранее

в нескольких работах [0.37, 1.7, 1.39, 3.41, 3.63]. В большинстве их расчет выполнен в приближении к модели жесткий ротатор — гармонический осциллятор, причем использованные основные частоты колебаний для фреона-22 практически одинаковы, а структурные параметры отличаются мало (см. табл. 27). Но в работе Баро [0.37] учтена ангармоничность колебаний с помощью полуэмпирической формулы в предположении, что константа ангармоничности $\varkappa$ для фреона-22 имеет то же значение, что и для фреона-12.

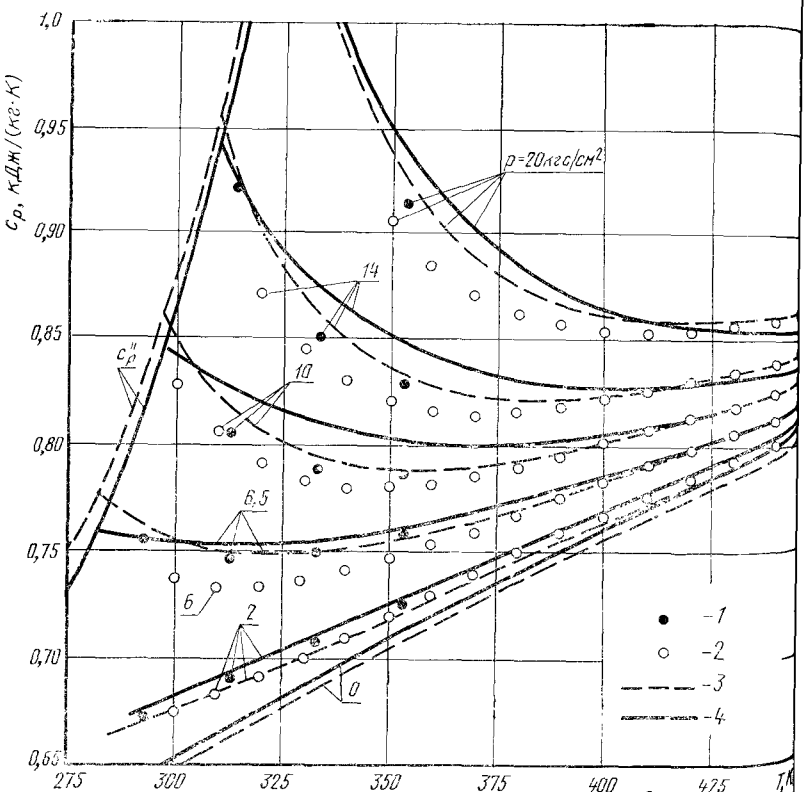


Рис. 17. Изобарная теплоемкость газообразного фреона-22 при повышенных давлениях:

опытные данные: *1*—Эрнста и др. [3.36, 3.40]; *2*—Груздева, Шумской [2.9]; табличные данные: *3*—[0.51]; *4*—Алтунина, Гадецкого [3.1]

Молекулярные постоянные фреона-22

Символ, размерность	Числовые значения, принятые в работах				
	[3.41]	[3.63]	[1.7]	[0.37]	[1.39]
ν_1, $см^{-1}$	3023	3025	3023	3025	3021
ν_2, $см^{-1}$	1311	1312	1311	1312	1312
ν_3, $см^{-1}$	1178	1178	1178	1178	836
ν_4, $см^{-1}$	809	808	809	808	812
ν_5, $см^{-1}$	595	593	595	595	589
ν_6, $см^{-1}$	422	421	422	421	417
ν_7, $см^{-1}$	1317	1315	1317	1315	1551
ν_8, $см^{-1}$	1116	1116	1116	1116	1168
ν_9, $см^{-1}$	365	369	365	369	400
r_{C-F}, Å	1,34	1,36	1,35±0,03	—	1,35
r_{C-C}, Å	1,75	1,73	1,77±0,03	—	1,74
r_{C-H}, Å	1,10	1,093	1,10±0,03	—	1,09
$I_xI_yI_z \cdot 10^{117}$, $(г \cdot см^2)^3$	3440	—	3585,3	—	3434,33
σ	1	1	1	1	—
$\varkappa_c$	—	—	—	0,035	—

В табл. 28 сравнены значения теплоемкости C_p^0, энтальпии $(H_T^0 - H_0^0)$ и энтропии S_T^0. Различия данных [1.7, 3.41, 3.63] малы и не превышают для энтальпии 4 кал/моль, для энтропии — 0,035 кал/(моль·К). Результаты Баро о C_p^0 в среднем на 0,5% выше рассчитанных в работах [3.41, 3.63] и, как видно на рис. 18, хорошо согласуются с калориметрическими данными при $T = 293$—353 К. По данным [1.39] зависимость теплоемкости, энтальпии и энтропии существенно круче, значения C_p^0, $(H_T^0 - H_0^0)$ и S_T^0 больше, причем C_p^0 при $T = 300$—500 К на 1,5—2% выше данных [0.37, 3.40] и 2—3% выше данных [0, 3.41, 3.63].

Таблица 28

Значения термодинамических функций фреона-22 в идеально газовом состоянии по данным разных авторов

T, К	C_p^0, кал/(моль·К)				$H_T^0 - H_0^0$, кал/моль				S_T^0, кал/(моль·К)			
	[0.37]	[3.11]	[3.63]	[1.39]	[1.7]	[3.41]	[3.63]	[1.39]	[1.7]	[3.11]	[3.63]	[1.33]
100	—	8,44	8,43	8,368	—	804	803	802	—	55,75	55,77	55,720
150	—	9,60	—	—	—	1253	—	—	—	59,38	—	—
200	10,92	10,89	10,88	10,930	—	1765	1764	1758	—	62,32	62,33	62,245
250	12,22	12,16	—	—	—	2342	—	—	—	64,88	—	—
298,16	—	13,35	13,34	13,653	2956	2956	2952	2967	67,165	67,13	67,13	67,126
300	13,47	13,40	13,39	13,701	—	2981	2979	2992	—	67,21	67,21	67,211
400	15,74	15,63	15,62	16,039	4435	4435	4432	4484	71,416	71,38	71,38	71,485
500	17,58	17,49	17,45	17,849	6093	—	6090	6182	75,108	75,26	75,17	75,268
600	19,02	18,87	18,87	19,221	7912	7912	7908	8039	78,421	78,38	78,38	78,649
700	20,15	19,97	19,97	20,271	9856	9856	9849	10016	81,415	81,39	81,38	81,694
800	21,04	20,84	20,88	21,093	11900	11900	11904	12085	84,143	84,11	84,12	84,457
1000	22,35	22,11	22,12	22,286	16202	16200	16220	16431	88,938	88,90	89,94	89,301
1300	—	23,29	—	—	23027	23030	—	—	94,900	94,86	—	—

По указанным выше причинам при расчете термодинамических таблиц для сжатого фреона-22 предпочтение следует отдать зависимости $C_p^0(T)$, найденной в работе Баро [0.37]. Заметим, что справочные данные [0.28, 3.1] построены с использованием именно этих значений термодинамических функ-

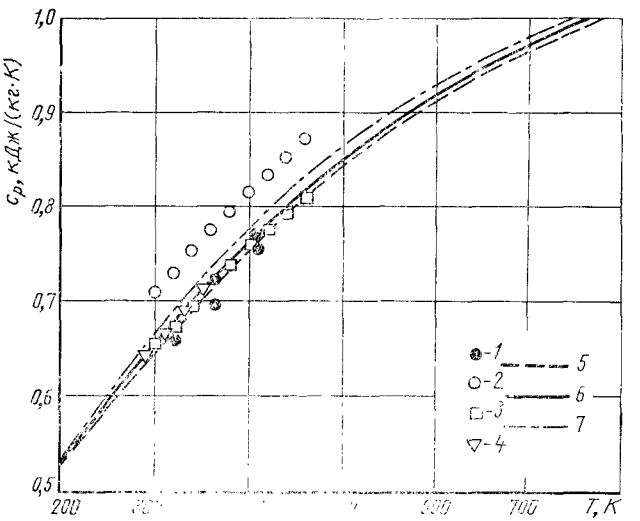


Рис. 18. Температурная зависимость изобарной теплоемкости фреона-22:

опытные данные: *1*—Беннинга и др. [2.27]; *2*—Шумской, Груздева [2.20]; *3*—Груздева, Шумской [2.9]; *4*—Эрнста, Бюссе [3.40]; расчетные: *5*—Вейсмана и др. [3.65]; *6*—Баро [0.37]; *7*—табличные [1.39]

ций фреона-22 в идеально газовом состоянии. В работе [0.21] по данным Баро при $T \leqslant 500$ К найдены коэффициенты уравнений (1.12)—(1.14) для расчета C_p^0, $(H_T^0 - H_0^0)$ и S_T^0, которые для фреона-22 при размерности C_p^0—[кДж/(кмоль·К)] равны

$a_0 \cdot 10^{-2} = 0{,}2589346$;
$a_1 \cdot 10^0 = 0.04288737$;
$a_2 \cdot 10^3 = 0{,}03381799$;
$a_3 \cdot 10^6 = -0{,}04123227$;
$a_4 \cdot 10^{-2} = 1{,}049551$.

В обзоре Морси [3.54] приведены экспериментальные данные Хванга об изохорной теплоемкости газообразного фреона-22 в интервале температур 323—473 К при давлении до 34 МПа. По всей вероятности, исследование выполнено на той же экспериментальной установке, которая была создана Неверсом, Мартином и использована ими для определения c_v фреона-С318 и пропилена, при $T = 330$—420 К и $\rho \leqslant 160$ кг/м^3.

В этой работе, в свою очередь, сообщается, что максимальная погрешность c_v может составлять 3,2% при низкой плотности и уменьшается до 1,1% при наивысшей для этого исследования. По нашему мнению, более достоверную информацию о зависимости c_v (v, T) фреона-22 можно получить из обработки результатов измерений изобарной теплоемкости (см. выше) и данных Л. М. Лагутиной, И. И. Новикова [3.23, 3.25]. В этой работе выполнены подробные измерения скорости звука в перегретых и насыщенных парах фреона-22 методом акустического интерферометра Пирса на частотах 500 и 150 кГц, а измерительную ячейку оформили как пьезометр постоянного объема и параллельно с акустическими измерениями изучили p, v, T-зависимость. Это последнее обстоятельство позволило определить в опытных точках показатель адиабаты $K_s = \frac{v}{p}\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_s = \frac{w^2}{pv^2}$ и по графику $K_s(p, T)$ оценить степень согласованности двух групп исходных данных $w_s(p, T)$ и $p_s(p, T)$. По оценке авторов, погрешность измерения K_s данным методом составляет порядка 0,2%. Со своей стороны заметим, что эта оценка несомненно основана только на учете инструментальных погрешностей, а действительная погрешность будет заметно выше. В работе [3.1] установлено, что вычисленные по p, v, T-данным [0.18, 3.66] значения w согласуются с измеренными Л. М. Лагутиной обычно с отклонением в пределах 0,3—1,0%, однако вблизи критической точки расхождения существенно возрастают.

Мейер [3.52] применил метод акустического интерферометра Пирса для измерения скорости звука в жидких фреонах. Для фреона-22 опытные данные аппроксимированы с погрешностью ±0,1% уравнением

$$w = 662{,}3 - 4{,}615t - 15{,}80\cdot10^{-4}t^2 - 3{,}830\cdot10^{-5}t^3, \qquad (3.1)$$

где размерность w—[м/с], а t—[°C]. По уравнению (3.1) при $T_{\text{н.т.к}}$ $w'_{\text{о.ф}} \approx 850$ м/с.

Опытные данные на линиях равновесия жидкость — пар. На линиях равновесия фаз выполнены измерения давления насыщенного пара p_s, ортобарической плотности жидкости ρ', теплоемкости насыщенной жидкости C'_σ, скорости звука в насыщенных парах $w'_{\text{о.ф}}$ в широком интервале температур; теплота испарения r измерена только при $T_{\text{н.т.к}}$ — табл. 29. Температурная зависимость давления насыщенного пара фреона-22 обстоятельно изучена в интервале T—от 203 К до критической точки (369.30 К) [3.17, 3.55, 3.56, 3.66]. Результаты измерений в работах [3.17, 3.66] представлены по МПТШ-48, в [3.56] — по МПТШ-68. Существенно, что в этих работах зависимость p_s (T) исследована на образцах высокой чистоты.

Таблица 29

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-22 на линиях равновесия жидкость — пар

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1935	Буг, Сьюпехарт	p_s	295—358	п	18	[3.37]
1939	Беннинг, Макхарнесс	p_s	212—366	п	7	[2.24]
		ϱ	204—360	ж	8	[2.26]
1940	Беннинг и др.	c_s	256—328	ж	4	[2.27]
1957	Нейльсон, Уайт	c_s	115,7—232,5	ж	13	[3.55]
		r	232,5	ж—п	6	
1960	Якобсон	p_s	238—333	п	6	[3.65]
1960	Штайнле	σ	248—323	ж—п	График	[3.60]
1961	Клецкий	p_s	230—366	п	14	[3.16, 3.17]
		ϱ	359—366	ж	5	[0.18]
1966	Лагутина	p_s	287—369	п	22	[3.23]
		w	287—369	п	22	
1968	Цандер	p_s	203—369	п	23	[3.66]
		ϱ	279—365	ж	31	
1969	Дорохов, Кирпянко, Соловьев	σ	232—323	ж—п	22	[1.8, 3.13]
1974	Огучи, Танишита, Ватанабе	p_s	233—363	п	22	[3.56, 3.62]
		ϱ	305	ж	1	
1974	Хирата и др.	p_s	298—368	п	35	[0.51]
1976	Железный	σ	150—330	ж—п	19	[3.14]

Как видно из рис. 19, согласие указанных групп опытных данных, представленных по МПТШ-48, очень хорошее и расхождение не превышает 0,15%.

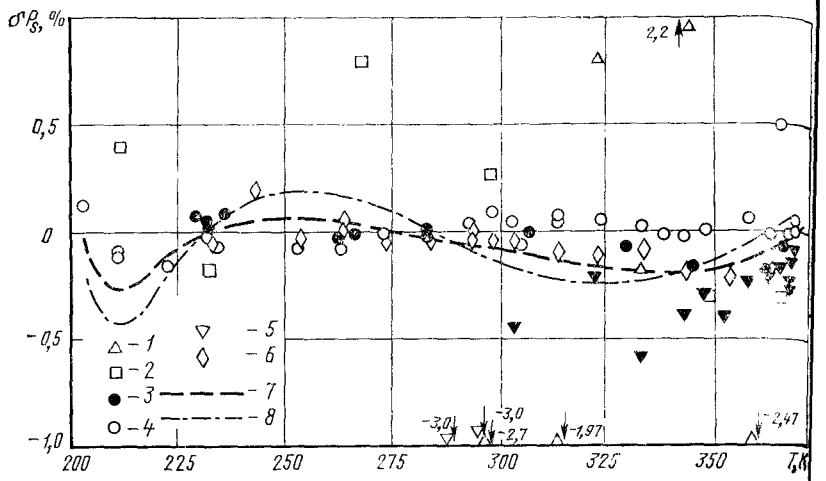


Рис. 19. Отклонение значений давления насыщенного пара фреона-22 от принятых в настоящей работе:

опытных данных: *1*—Бута, Сьюпехарта [3.37]; *2*—Беннинга, Макхарнесса [2.24]; *3*—Клецкого [3.17]; *4*—Цандера [3.66]; *5*—Лагутиной [3.23]; *6*—Огучи и др. [3.56]; табличных данных: *7*—Клецкого [0.18]; *8*—Перельштейна [0.28]

Известно несколько вариантов интерполяционных уравнений p_s (T) типов (0.10), (0.11) и (0.21), основанных на опытных данных А. В. Клецкого и Цандера [0.18, 0.28, 3.16—3.19, 3.66]. Но, судя по информации, приведенной в работе [1.15], для расчета p_s фреона-22 по МПТШ-48 в интервале $T=116$—369 К с успехом можно применять обобщенное уравнение (1.2), характерные параметры которого в рассматриваемом случае равны: $T_{кр}=369{,}28$ К, $p_{кр}=4{,}990$ МПа, $Ri=6{,}7964$; $p_\alpha=-0{,}1644$.

Для расчетов по МПТШ-68 в интервале $T=194$—$369{,}30$ К можно применять уравнение

$$\ln \pi_s = [\ 7{,}0340913(1-\tau)+1{,}4030736(1-\tau)^{1.5}$$
$$4{,}9605880(1-\tau)^3+8{,}8828089(1-\tau)^4-10{,}600638(1-\tau)^5], \quad (...2)$$

где $p_{кр}=4{,}988$ МПа, $T_{кр}=369{,}30$ К. Это уравнение рекомендуется в справочнике [0.51] и аппроксимирует опытные данные А. В. Клецкого, Цандера, Огучи и Хираты (около 10 опытных значений p_s) со средним отклонением 0,07% и максимальным — 0,19%.

Следует заметить, что таблицы значений p_s, приведенные в работах [0.7, 0.45, 2.21] и в первом издании справочника Н. Б. Варгафтика, существенно отличаются от рассчитанных в [0.18, 0.28, 3.1] и в настоящей работе, а расхождения дост...

гают 2—4% (!). Этот факт объясняется тем, что первая группа справочных данных повторяет таблицы Грехема, Макхарнесса (1946 г.), рассчитанные с помощью недостаточно точных уравнений, составленных еще в 1940 г.

Непосредственные измерения плотности на кривой насыщения фреона-22 выполнены лишь для жидкой фазы (см. табл. 29). В работах [0.18, 3.66] плотность насыщенной жидкости измерена пикнометрическим способом с погрешностью порядка 0,1—0,2%. В работе Беннинга, Макхарнесса [2.26] измерения ρ' выполнены по методу гидростатического взвешивания и их погрешность, по-видимому, порядка 0,5—1%. В работе [3.1] отмечено, что в ρ—T-диаграмме данные [2.26] располагаются выше опытных данных [3.66] и расхождение достигает 1—1,5%.

В работе [0.28] для фреона-22 составлено следующее интерполяционное уравнение

$$\rho' = 496{,}3 + 1{,}93578\Theta + 173{,}9750\Theta^{1/3} - 2\cdot 10^{-3}\Theta^2 - \\ - 17{,}8467\cdot\Theta^{1\,2}, \qquad (3.3)$$

где размерность ρ'—[кг/м^3], $\Theta = (369{,}28 - T)$ К. Рассчитанные по уравнению (3.3) значения ρ' хорошо согласуются с рекомендуемыми в настоящей работе, за исключением небольшой области, примыкающей к критической точке.

В работе [3.21] по тем же исходным данным составлено интерполяционное уравнение вида

$$T_s = T_{кр} + \sum_{i=2}^{6} A_i(\rho - \rho_{кр})^i, \qquad (3.4)$$

где при $T_{кр} = 369{,}28$ К и $\rho_{кр} = (1/1{,}95)$ г/см^3

$A_2 = -6{,}05$; $A_5 = -47{,}06$;
$A_3 = -357{,}30$; $A_6 = -1{,}68$.
$A_4 = 237{,}65$;

Уравнения (3.3), (3.4) пригодны для расчетов по МПТШ-48. Для расчетов же по МПТШ-68 в интервале $T = 194$—$369{,}30$ К можно применять уравнение (0.13) при $m = 4$ с коэффициентами

$d_1 = 1{,}8877394\cdot 10^{0}$; $d_3 = -7{,}1134041\cdot 10^{-2}$;
$d_2 = 5{,}9858531\cdot 10^{-1}$; $d_4 = 4{,}0327650\cdot 10^{-1}$.

Коэффициенты взяты из справочника [0.51] и действительны при $T_{кр} = 369{,}30$ К и $\rho_{кр} = 513$ кг/м^3.

В табл. 30 приведены как экспериментально найденные параметры узловых точек на линии равновесия жидкость—пар, так и рекомендуемые в современных справочных изданиях. Выбранные значения приведены в табл. 3 и совпадают с отклонением в пределах допусков с принятыми в работах [0.28, 3.56].

Таблица 30

Параметры узловых точек на линии равновесия жидкость — пар фреона-22

Год	Авторы	Критические параметры			$T_{\text{н. т. к}}$, К	T_0, К	Источник
		$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\theta_{кр}$, кг/м³			
1935	Бут, Сьюнехарт	369,55	4,912	—	—	—	[3.37]
1939	Беннинг, Макхарнесс	369,15	4,934	525,0	232,36	—	[2.26]
1957	Нейльсон, Уайт	—	—	—	232,48±0,07	115,73±0,01	[3.55]
1961	Клецкий	369,28	4,985	515,5	232,30	—	[3.18]
1968	Зволинский и др.	369,15	4,977	525,0	—	—	[1.40]
1968	Цандер	369,33	4,990	513,0	—	—	[3.66]
1970	Филипс, Мэрфи	—	—	—	232,35	—	[1.50]
1970	Алтунин	369,30	4,988	514	232,35	115,74	[3.1]
1971	Перельштейн	369,28	4,989	496,3	—	—	[0.28]
1971	Кюпер, Леффлер	369,33	4,99	513,1	—	—	[0.41]
1974	Хирата и др.	369,30	4,988	—	—	—	[0.51]
1974	Танишита и др.	369,30	4,988	513,0	—	—	[3.56]
1977	Перельштейн, Парушин	369,28	4,99	537	—	—	[1.15]

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

Теплоемкость жидкого фреона-22 измеряли в двух работах [2.27, 3.55], и, как отмечено в [3.1], обе группы экспериментальных данных удается согласовать с вычисленными по термическому уравнению состояния с расхождением в пределах $\pm 3\%$.

Теплоемкость твердого фреона-22 измерена только в одной работе [3.55] от 16 К до $T_{\text{п.т}}$ (рис. 20). Исследуемый образец содержал 99,98 мол. % фреона-22, и поэтому эффект предплавления авторы не связывают с влиянием примесей. При температуре 59 К обнаружена аномалия λ-типа с теплотой перехода около 16 ± 2 кал/моль. Дебаевская температура по данным [3.55] $\Theta_D = 70$ К. Вычисленная по данным [3.55] калориметрическая энтропия в нормальной точке кипения оказалась равной 63,919 кал/(мол·К) и хорошо согласуется с результатами расчета $s^0_{T_{\text{п.т.к}}}$ по спектроскопическим данным. Так, например, по таблицам [1.7, 3.41, 3.63] соответствующее значение энтропии равно 64,09; 63,959 и 63,99 кал/(моль·К).

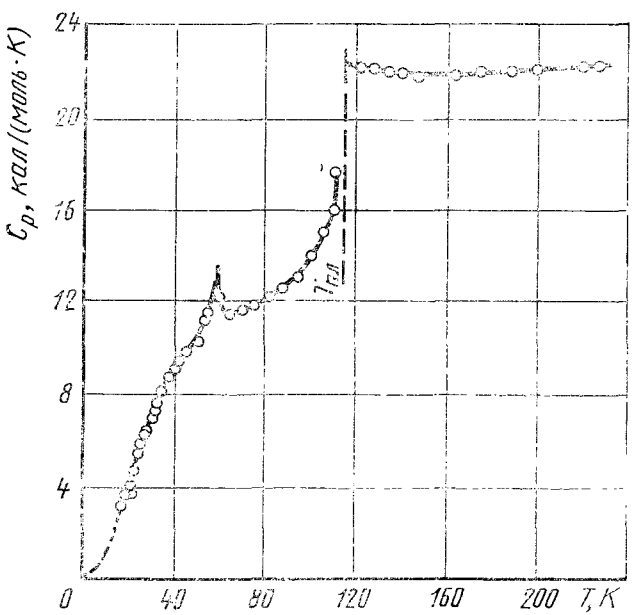


Рис. 20. Теплоемкость твердого фреона-22 по данным Нельсон, Уайта [3.55]

Экспериментальные данные о поверхностном натяжении жидкого фреона-22 приведены в работах [0.45, 1.8, 3.14, 3.60]. Из рис. 21 следует, что разброс опытных данных чрезмерно

велик. По оценке авторов некоторых экспериментальных работ, погрешности измеренных значений σ фреона-22 являются большими и, например, в работе [3.60] составляют ±8%. Авторы работы [1.8] в статье [3.13] сообщают, что они измеряли поверхностное натяжение фреона-22 на образцах технической чистоты. В этих условиях было признано целесообразным рассчитать табличные значения σ по обобщенному уравнению (1.9), в котором для фреона-22 константа $n=1{,}249$, а $B=5{,}024\cdot10^{-3}$ Н/м [1.2]. Погрешность рассчитанных значений σ оценена как не превышающая ±3%. Опубликованные недавно опытные данные [3.14] о поверхностном натяжении чистого фреона-22 подтвердили эту оценку.

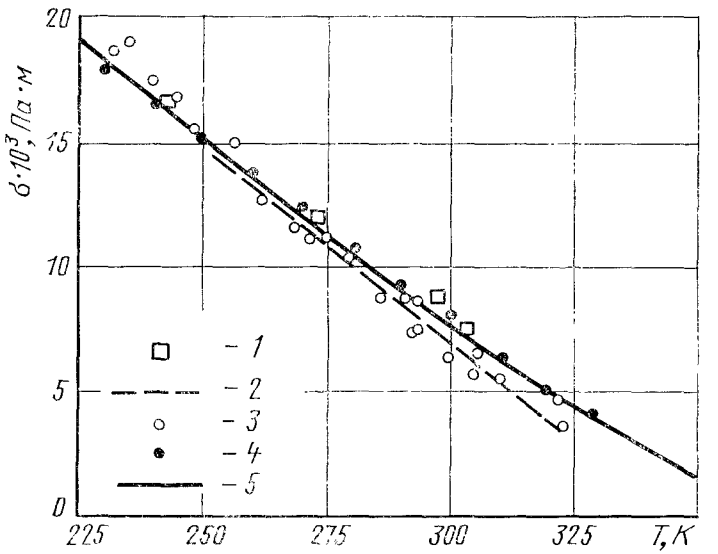


Рис. 21. Зависимость поверхностного натяжения фреона-22 от температуры по данным:

1—Планка [0.45]; *2*—Штайнле [3.60]; *3*—Кириянснко и др. [3.13]; *4*—Железного [3.14]; *5*—расчета по обобщенному уравнению (1.9)

Уравнения состояния и таблицы. Первые таблицы термодинамических свойств фреона-22 разработали Грэхем, Макхарнесс в 1945 г. на основании обработки данных Беннинга с соавторами [2.23, 2.24, 2.25, 2.26]. Эти таблицы опубликованы практически без изменений в ряде справочных изданий [0.7, 0.45, 2.22 и др.] и включают значения v, h, s на линии равновесия жидкость — пар при $T=170$—325 К, а также в области перегретого пара при $T\leqslant430$ К и $p\leqslant1{,}8$ МПа.

А. В. Клецким [0.18] составлены более полные и точные таблицы термодинамических свойств, которые включают дан

ные о v, h, s (при $T=168$—523 К и $p=0{,}002$—$6{,}5$ МПа), а также о теплоемкости c_p и c_v (при $T=233$—513 К и $p=0{,}1$—4 МПа) газообразного фреона-22. Расчет таблиц для газовой фазы выполнен по уравнению состояния вида

$$pv/RT_{кр}=\alpha_0+\alpha_1\tau+\beta/\tau^3, \qquad (3.5)$$

где $\alpha_0=\sum_{i=1}^{7} a_i\omega^i$; $\alpha_1=1+\sum_{i=1}^{7} b_i\omega^i$; $\beta=\sum_{i=1}^{7} c_i\omega^i$.

Коэффициенты уравнения (всего 21 коэффициент)* найдены автором «вручную» по своим экспериментальным p, v, T-данным ($T=293$—465 К и $p=0{,}8$—$5{,}8$ МПа).

В работе [0.18] приведены также таблицы значений v', h', s', c'_p, c'_s и σ при $T=173$—369 К, но они получены не по уравнению состояния, а в результате численно-графической обработки имевших к тому времени опытных данных. В целом термодинамические таблицы книги [0.18], включенные позднее в справочники [0.8—0.10], следует считать вполне надежными, по крайней мере, в области действия уравнения состояния.

Один из двух вариантов уравнения состояния вида

$$z=1+\rho\sum_{i=0}^{7}\Big[\sum_{j=0}^{s_i} c_{ij}\Big(\frac{T_{кр}}{T}-1\Big)^j\Big](\rho-\rho_{кр})^i \qquad (3.6)$$

разработан Цандером [3.66] (при $s_i=2$, $\Sigma s_i=24$), оно построено по машинной методике Штейна и, как сообщает автор, аппроксимирует его опытные p, v, T-данные, полученные по методу Барнетта, со средней погрешностью $\delta\rho=0{,}18\%$ и $\delta p=0{,}34\%$, а измеренные пьезометрическим методом — со средней погрешностью $\delta\rho=0{,}69\%$ и $\delta p=0{,}48\%$.

Второе уравнение вида (3.6) разработано В. В. Алтуниным, О. Г. Гадецким [3.1] также с применением ЭЦВМ, но по более универсальной машинной методике и для более представительного массива исходных экспериментальных данных. В этом уравнении $\Sigma s_i=30$, а значения c_{ij} определены на основании совместной статистической обработки экспериментальных p, v, T-данных [0.18, 3.66] (т. е. около 330 «точек» в области $T=283$—473 К и $p=0{,}3$—35 МПа), опытных данных о втором вириальном коэффициенте $B_1(T)$ и сглаженных данных о $\rho'(T)$ и c'_p (T_s) в интервале $T=203$—360 К.

В работе [3.1] показано, что полученное в МЭИ уравнение состояния согласует имевшиеся до 1972 г. опытные данные о термодинамических свойствах фреона-22 значительно лучше

* В работе [3.17] было составлено уравнение состояния такого же вида, но с меньшим числом коэффициентов. Это уравнение использовано для расчета таблиц и h, $\lg p$-диаграммы [3.18, 3.19].

и в более широкой области состояний. По этому уравнению были рассчитаны подробные таблицы термодинамических свойств жидкого и газообразного фреона-22 при $T=273$—553 К и $p=0{,}1$—35 МПа, которые включают значения ϱ, h, s, Φ, j, c_p, c_v, w, δ_T, μ, p_t, α, γ как в однофазной области, так и на линиях равновесия жидкость — пар.

В работе Кюпера, Лёффлера [0.41] разработана система уравнений, которая включает интерполяционные формулы $p_s(T)$, $\varrho'(T)$ и термическое уравнение состояния типа (0.4) с одиннадцатью коэффициентами, найденными по p, v, T-данным [2.25, 3.22, 3.50, 3.66] и неопубликованным данным Брааш (1969 г.) при низких температурах, причем всего использовано 510 точек в области $T=173$—472 К и $\varrho=0{,}001$—$0{,}82$ г/см^3 ($p_{max}=160$ бар). Среднее отклонение от экспериментальных данных $\delta_p=0{,}54\%$. Эта система уравнений использована авторами [0.41] для расчета h—lg$p$-диаграммы газообразного фреона-22 и таблиц значений v, h, s на линиях равновесия жидкость — пар, причем h' и s' вычислены по уравнению Клапейрона — Клаузиуса с помощью вспомогательных формул $\varrho'(T)$ и $p_s(T)$ типов (0.13) и (0.12).

В работе И. И. Перельштейна [0.28] таблицы термодинамических свойств насыщенного и перегретого пара фреона-22 рассчитаны по уравнению состояния вида

$$z=1+\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=0}^{3}\bar{b}_{ij}\,\rho^i\tau^j+\sum_{i=4,6,8}\left[\sum_{j=0}^{1}b_{ij}\;\;1\;\tau^j\right]\rho^i. \quad (3.7)$$

Область применимости уравнения (3.7) не оговорена, но в качестве источников исходных опытных данных упоминаются работы [0.18, 3.66], а таблицы значений v, h, s рассчитаны только в газовой фазе при давлениях до 6 МПа*. Коэффициенты уравнения состояния найдены по машинной методике, причем в результате специальной обработки p, v, T-данных при низких значениях плотности (см. книгу [0,5]) первые две температурные функции отождествлены с вириальными коэффициентами $B_1(\tau)$ и $B_2(\tau)$.

В статье [3.27] приведены на графиках рассчитанные по уравнению (3.7) значения скорости звука и показателя адиабаты (изоэнтропы) для перегретых паров фреона-22 при давлении до 6 МПа. Позднее в работе Ю. П. Алешина с соавторами [0.1] опубликованы диаграммы w—T и $K_{ад}$—T для той же области состояний. Расчеты выполняли по уравнению состояния типа (0.7), где $r=9$, $s_i=3$, $\Sigma s_i=24$. Уравнение не аттестовано, не указаны область его применимости и состав исходных опытных данных.

* Табличные данные [0.28] для жидкого фреона-22 на линии насыщения получены с помощью автономной системы уравнений (0.9), (0.10), (3.3).

В сентябре 1975 г. на XIV Международном конгрессе по холоду Огучи представил новое уравнение состояния для фреона-22 в форме полиномиального разложения (0.7), где $r=11$, $s_i^{max}=6$, $\Sigma s_i=28$. Коэффициенты этого уравнения найдены с применением ЭЦВМ на основании обработки разнородных данных, но в отличие от работы [3.1] в минимизируемый квадратичный функционал включены опытные данные о c_p в однофазной области.

Авторы уравнения сообщают [3.56], что в качестве исходных ими были использованы 539 точек $z(\varrho, T)$, в том числе данные [0.18, 3.50] (242 точки из 243), часть данных [3.66] (181 точка из 270), часть данных [3.56] (36 точек из 63). Кроме того, 27 точек ϱ' — измерений Цандера и 57 точек c_p в газовой фазе по данным Эриста с соавторами [3.36, 3.40].

Качество аппроксимации исходных p, v, T-данных высокое, и среднее отклонение δz варьируется от 0,09 до 0,20% и лишь для данных [3.66], полученных пьезометрическим методом, возрастает до 0,57%. Вычисленные и экспериментальные значения c_p и w в газовой фазе согласуются с отклонением 1%, однако вблизи критической точки и вдоль изотермы 373,15 К расхождения w_p и $w_{оп}$, как и ожидалось, велики. Таким образом, уравнение относится к числу точных уравнений состояния фреона-22, но область его применимости была не вполне ясной, так как около 35% точек (!) $z(\varrho, T)$ из работ [3.56, 3.66] были исключены из обработки, а данные о ϱ' и c_p' при $T<273$ К в работе [3.56] не обсуждаются.

Позднее из справочника [0.51] японской ассоциации холодильщиков стало известно, что уравнение Огучи применимо в интервале температур 287—473 К, причем в газовой фазе — при давлении до 15 МПа, а в жидкой — до 20 МПа и $v\geq 0{,}8$ см^3/г ($\omega\leqslant 2{,}4$). Однако в рассчитанных по этому уравнению таблицах значения v, h, s даны до давления 15 МПа, а теплоемкость c_p — до 10 МПа и только для перегретого пара в интервале $T=233$—473 К. Кроме того, приведены таблицы значений w, c_v, $\gamma=c_p/c_v$ для перегретого пара в интервале $T=243$—363 К при давлении до 4,5 МПа и диаграмма h—lg$p$.

Из рис. 17 видно, что в определенной области температуры и давления имеются систематические расхождения не только между экспериментальными данными [2.9] и [3.36, 3.40], но и между табличными значениями c_p, рассчитанными в работах [0.51] и [3.1]. В таблицах [0.51] использованы более низкие (примерно на 1%) значения c_p^0, и фактически за счет этого расхождение с опытными данными [3.36, 3.40] при повышенных давлениях уменьшилось до 1—1,3%, в то время как табличные значения [3.1] выше на 1,5—2,8%. В этой области состояний сравниваемые табличные данные о c_p выше

опытных [2.9] соответственно на 2,5—3,2 и 2—4,2%. По указанной причине вероятная погрешность справочных данных о теплоемкости c_p сжатого фреона-22 в газовой фазе оценена 2—3%.

А. В. Клецкий, Т. Н. Цуранова [3.21] составили для жидкого фреона-22 уравнение состояния вида

$$p=p_s+b\ (T-T_s)+c(T-T_s)^2, \qquad (3.8)$$

где $b=0{,}628+0{,}211\ \varrho+2{,}842\ \varrho^4$,

$c=-0{,}02629+0{,}09457\ \varrho-0{,}09879\ \varrho^2+0{,}03191\ \varrho^3$.

Коэффициенты найдены на основании обработки части опытных данных Цандера в интервале $\varrho=500-1250$ кг/м^3 ($\omega=1{,}02-2{,}43$, $p_{max}=20$ МПа, $N_{оп}=119$). Описание исходных данных о плотности не очень хорошее (среднее отклонение 0,15%, максимальное 0,75%). Тем не менее в работе [3.21] составлена таблица значений ϱ для $T=263-423$ К и $p=0{,}5-30$ МПа.

Заметим, что ранее в работе [2.3] предпринята попытка построить уравнение изотермы жидкости в форме $(\varrho-\varrho_s)=f_1(p-p_s)$ и $p-p_s=f_2(\varrho-\varrho_s)$.

Рассмотренные выше термические уравнения состояния являются фактически аппроксимациями первой производной от функции Гельмгольца $F=U-TS$, так как $p=\varrho^2(\partial F/\partial\varrho)_T$. Но существуют инженерные задачи, которые удобнее решать не в ϱ, T-, а в p, S-переменных. Тогда уравнение состояния следует разыскивать в форме $H=f(p,\ S)$. Для фреона-22 такое уравнение было получено в работе Баера с сотрудниками [3.34] и названо каноническим. Оно имеет вид

$$y-y^0=(a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3)\tilde{p}+(a_4+a_5)x\tilde{p}^2, \qquad (3.9)$$

где $y=(H-H_0)/RT_0$; $x=(S-S_0)/R+\ln(p/p_0)$; $\tilde{p}=p/p_0$;

$y^0=\sum_{j=0}^{3}c_jx^j$; $p_0=1$ бар; $T_0=500$ К.

Коэффициенты c_j зависимости безразмерной энтальпии от безразмерной энтропии в идеально газовом состоянии найдены по данным Баро, а коэффициенты a_i — на основании обработки p, v, T-данных Цандера в газовой фазе при $T=303-473$ К, $p\leqslant 2$ МПа.

Авторы [3.34] сообщают, что значения v, рассчитанные по уравнению (3.9) с помощью термодинамического соотношения

$$v=[(\partial Y/\partial p)_X+(1-\tilde{p})(\partial Y/\partial X)_{\tilde{p}}](RT_0/p_0), \qquad (3.10)$$

хорошо согласуются с исходными данными ($\delta v\approx 0{,}08\%$).

Как известно, при расчетах фазового равновесия растворов должна быть известна летучесть компонентов. В холодильной технике применяют при невысоких давлениях бинарные растворы с фреонами (взаимные, фреоно-масляные и др.), причем компоненты часто имеют сильно отличающиеся температуры кипения. В этих случаях достаточно знать летучесть чистого низкокипящего компонента.

Таблицы значений f фреона-22 в интервале $T=273$—553 К и $p=0{,}1$—30 МПа приведены в работе [3.1]. В работе [3.24] для определения летучести газообразного фреона-22 применен интересный аналитический способ прямого расчета f по p, v, T-данным. Другие термодинамические свойства указанного выше класса газовых растворов можно легко оценить по известным свойствам компонентов [3.4].

До сих пор речь шла о термодинамических свойствах газообразного и жидкого фреона-22. Термодинамические функции твердого фреона-22 табулированы в работе [3.55] при температуре 15—232 К (табл. 31). В эту таблицу включены также значения энтропии, энтальпии и функции Гиббса в паровой фазе при $T_{\text{н.т.к.}}$ В частности, $(H_T-H_0^0)_{\text{и}}=9482{,}8$ кал/моль. С другой стороны, по данным [3.41, 3.63] при нормальной температуре кипения фреона-22 $H_T^0-H_0^0=2135\pm2$ кал/моль. Следовательно, теплота сублимации кристалла фреона-22 при 0 К $\Delta H_{s_0}^0=7348$ кал/моль$=355{,}5$ кДж/кг.

Таблица 31

Термодинамические свойства конденсированной фазы [3.55]

T, К	c_p	s	$(h-h_0^0)$	$-(\Phi-h_0^0)$
	кДж/(кг·К)		кДж/кг	
15	0,1195	0,05512	0,5893	0,2375
20	0,1889	0,09865	1,350	0,6230
30	0,3372	0,2049	3,987	2,160
40	0,4362	0,3162	7,929	4,719
50	0,4952	0,4208	12,626	8,414
80	0,5845	0,6878	33,474	20,530
90	0,6215	0,7587	35,642	32,641
100	0,6602	0,8259	42,035	40,555
110	0,6987	0,8900	48,831	49,069
115,73	0,7209	0,9256	52,898	54,222
115,73	1,0713	1,3376	100,582	54,218
120	1,0693	1,3765	105,153	60,027
140	1,0598	1,5406	126,437	89,247
160	1,0575	1,6818	147,596	121,492
180	1,0634	1,8067	168,798	156,408
200	1,0695	1,9190	190,137	193,663
220	1,0733	2,0212	211,556	233,108
232,50	1,0758	2,0803	224,994	258,67
232,50	—	3,0859*	458,807*	258,67*

* Относится к паровой фазе.

3.2. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

При получении уравнения состояния фреона-22 применена машинная методика совместной обработки разнородных опытных данных о термодинамических свойствах жидкости и газа [0.5, 3.1]. В качестве исходных p, v, T-данных приняты экспериментальные результаты Михельса [3.50], Клецкого [0.18] и Цандера [3.66], охватывающие область $T=285$—473 К, $p=0{,}3$—35 МПа в газовой и жидкой фазах и свыше 500 измеренных значений $z(\varrho, T)$. В состав исходных были включены также сглаженные опытные данные о давлении насыщенного пара p_s в интервале $T_{\text{н.т.к}}$—$T_{\text{кр}}$, плотности ϱ' и теплоемкости c'_p кипящей жидкости при низкой температуре, а также о температурной зависимости B_1 в интервале $T=275$—473 К.

Аппроксимирующее выражение имело форму (0.8), но принятый вариант уравнения состояния преобразован к виду (0.15) с коэффициентами, указанными в табл. 32.

В табл. 33 приведены коэффициенты интерполяционных формул (0.18)—(0.21) для температурных зависимостей давления насыщенного пара и трех функций в идеально газовом состоянии (энтальпии, теплоемкости и энтропии). Так как в качестве начала отсчета энтальпии принято состояние равновесного кристалла при 0 К, то числовое значение коэффициента a_1^0 в формуле (0.18) заменено на указанное в табл. 33 значение $a_1=a_1^0+\Delta H^0_{s_0}/RT_{\text{кр}}$.

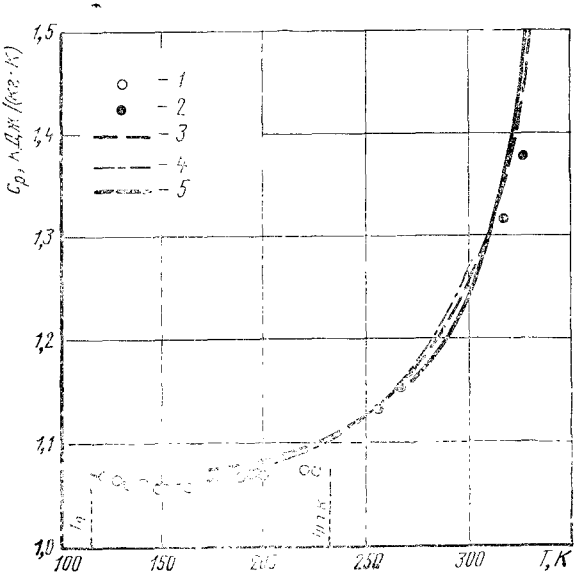


Рис. 22. Теплоемкость жидкого фреона-22 на линии насыщения: опытные данные: *1*—Нельсон, Уайта [3.55]; *2*—Бенинга, Макнарнесса [2.27]; расчетные: *3*—Клецкого [0.18]; *4*—в таблицах [0.51]; *5*—настоящей работы

Таблица 32

Коэффициенты уравнения состояния (0,15) для фреона-22 (при размерности ρ — [г/см^3], $\tau = T/369{,}30$)

i	Значения $\tilde{b}_{ij}$ при j				
	0	1	2	3	4
0	$0{,}154559033\cdot10^{2}$	$-9{,}588169570\cdot10^{2}$	$0{,}803989910\cdot10^{2}$	$-0{,}501193823\cdot10^{2}$	$0{,}106801017\cdot10^{2}$
1	$-9{,}930456235\cdot10^{2}$	$0{,}327924916\cdot10^{3}$	$-0{,}392420999\cdot10^{3}$	$0{,}178147023\cdot10^{3}$	$-0{,}195951367\cdot10^{2}$
2	$0{,}137958558\cdot10^{3}$	$-0{,}501523216\cdot10^{3}$	$0{,}591126065\cdot10^{3}$	$-0{,}220793269\cdot10^{3}$	—
3	$0{,}158360768\cdot10^{3}$	$-0{,}260340529\cdot10^{3}$	$-0{,}468209639\cdot10^{2}$	$0{,}127708687\cdot10^{3}$	—
4	$-0{,}629643372\cdot10^{3}$	$0{,}153334391\cdot10^{4}$	$-0{,}863205629\cdot10^{3}$	—	—
5	$0{,}663861736\cdot10^{3}$	$-0{,}173618388\cdot10^{4}$	$0{,}101955726\cdot10^{4}$	—	—
6	$-0{,}281427636\cdot10^{3}$	$0{,}859607943\cdot10^{3}$	$-0{,}537060980\cdot10^{3}$	—	—
7	$0{,}257036934\cdot10^{2}$	$-0{,}132941498\cdot10^{3}$	$0{,}961219190\cdot10^{2}$	—	—

Таблица 33

Коэффициенты вспомогательных интерполяционных уравнений (0.18)—(0.21) для фреона-22 (при $\tau = T/369{,}30$)

j	A_{s_j}	α_j	β_j	γ_j
0	$0{,}249778028\cdot10^{3}$	$0{,}120965268\cdot10^{2}$	$0{,}141882115\cdot10^{2}$	$0{,}700887000\cdot10^{2}$
1	$-0{,}221085343\cdot10^{4}$	$-0{,}154917191\cdot10^{4}$	$-0{,}856536102\cdot10^{4}$	$-0{,}132753979\cdot10^{3}$
2	$0{,}803322308\cdot10^{4}$	$-0{,}325182809\cdot10^{4}$	$0{,}18076197\cdot10^{4}$	$0{,}273182973\cdot10^{3}$
3	$-0{,}152712208\cdot10^{5}$	$0{,}266630926\cdot10^{2}$	$-0{,}13405184\cdot10^{4}$	$-0{,}352929006\cdot10^{3}$
4	$0{,}159603132\cdot10^{5}$	$-0{,}309765069\cdot10^{2}$	$0{,}29741914\cdot10^{4}$	$0{,}269112319\cdot10^{3}$
5	$-0{,}872181170\cdot10^{4}$	$0{,}154076186\cdot10^{2}$	$-0{,}18294974\cdot10^{4}$	$-0{,}109509485\cdot10^{3}$
6	$0{,}201342736\cdot10^{4}$	$-0{,}286439441\cdot10^{1}$	$0{,}35567870\cdot10^{3}$	$0{,}181391902\cdot10^{2}$

Таблица 34

Результаты сравнения рассчитанных по уравнению (0.15) и опытных данных о термодинамических свойствах фреона-22 в однофазной области

Авторы, источник	Измеренная величина	$T_{оп}$, К	$p_{оп}$, МПа	Число опытных точек	σ_w	σ_p	σ_ρ
					%		
Бенинг, Маккарнесс [2.25]	z	298—412	0,3—21	40	—	1,79	1,97
Михельс [3.50]	z	292—423	0,7—13	181	—	0,18	—
Клецкий [0.18]	z	294—465	0,8—5,8	63(55)	—	0,19(0,16)	2,94(0,46)
Лагутина [3.23]	z	273—393	0,2—6	135(116)	—	0,85(0,35)	1,27
Цандер [3.66]	z	303—473	0,3—35	107	—	0,34	0,43
		287—413	1,4—20,8	163	—	0,33(2,11*)	0,81(0,54*)
Огучи и др. [3.56]	z	253—363	0,2—8,9	63	—	0,26	—
Новиков, Лагутина [3.23]	w	273—393	0,2—6	145(133)	2,7(1,1)	—	—

Примечания. В скобках указаны часть опытных точек и соответствующие им средние квадратические отклонения. Значения σ для точек, относящихся только к жидкой фазе, отмечены *.

Из табл. 34 видно, что уравнение состояния достаточно хорошо согласует основные группы опытных p, v, T-данных во всей изученной области температуры и давления, а среднее квадратическое отклонение экспериментальных данных о скорости звука не выходит за пределы 1—2%. Согласие с экспериментальными значениями p_s, c_p, w на линиях равновесия жидкость — пар также можно признать вполне удовлетворительным (см. рис. 19, 22, 23). Показанное на рис. 23 расхождение рекомендуемых в настоящей работе и справочнике [0.51] значений $w'_{оф}$ является большим, но объяснимо и обусловлено тем, что в указанном справочнике зависимость $w'(T)$ рассчитана по формуле, искусственно увязывающей опытные данные в интервале $T=198$—226 К [3.52] с оцененным в работе [3.47] значением w' при 298 К. Напротив, обсуждавшийся выше факт расхождения данных о теплоемкости c_p газообразного фреона-22 при повышенных давлениях трудно объясним и побуждает приписывать вычисленным по термическому уравнению состояния значениям c_p систематическую погрешность 2—3%.

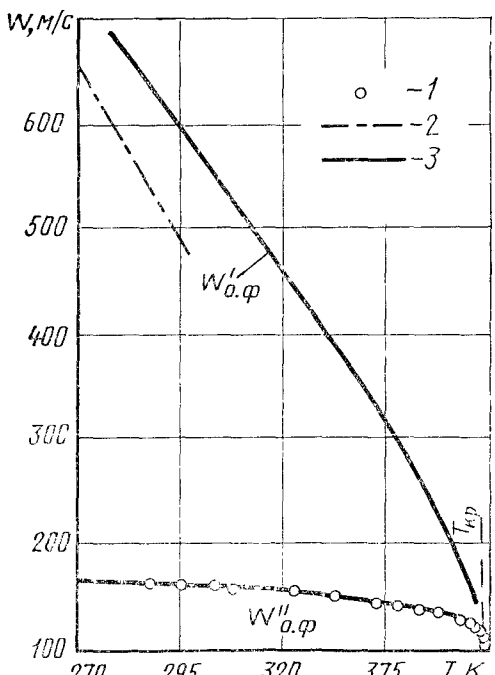


Рис. 23. Скорость распространения звука на линии насыщения фреона-22 (со стороны однофазной области) по данным: *1*—Новикова, Лагутиной [3.23, 3.25]; *2*—таблиц [0.51]; *3*—настоящей работы

Поверхностное натяжение жидкого фреона-22 рассчитано по обобщенному уравнению (1.9), и, судя по рис. 21, вероятная погрешность рекомендуемых значений σ, по-видимому, не превышает 1,5—3%.

3.3. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Справочные данные [0.8, 0.10, 0.18, 0.34, 3.7] о вязкости газа при низких давлениях и жидкости на линии насыщения практически не отличаются друг от друга и основаны на ограниченной экспериментальной информации, полученной методом катящегося шарика и опубликованной до 1962 г. (табл. 35). Так, при составлении таблиц [0.18] в качестве

Таблица 35

Экспериментальные исследования вязкости фреона-22

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод	Источник
1939	Беннинг, Марквуд	275—353	0,1—0,9	г	8	КШ	[3.35]
		240—318	p_s	ж	5	КШ	[3.35]
1954	Макита	298—473	0,1—2	г	23	КШ	[2.32]
1954	Кофлин	239—329	0,1	г	5	КШ	[2.38]
1956	Кинзер	208—233	p_s	ж	4	КШ	[2.38]
1959	Кэмин, Витцель	303—363	0,1—2	г	13	КШ	[2.30]
1959	Тзю Чанг Юэ	363—423	0,1	г	3	КШ	[2.38]
1961	Вилберс	254—288	0,1	г	3	КШ	[2.38]
1968	Шричард, Тирунараянан, Рамачандран	300	0,1	г	1	КД	[3.59]
1969	Гордон, Хамильтон, Фонтайн	246—312	p_s	ж	8	Ка	[0.40]
1970	Латто, Хезюн, Ашрани	233—365	0,1	г	14	Ка	[3.49]
1970	Филипс, Мэрфи	200—299	p_s	ж	8	Ка	[1.50]
1970	Бутырская	298—473	0,1—49	г, ж	200	Ка	[3.5, 3.6]
		253—369	p_s	ж	10		
1970	Ивасаки, Такахаши	273—398	0,1—6,0	г	48	КД	[0.51]
1973	Геллер, Иванченко, Передрий	255—369	1—59	ж	57	Ка	[3.9]
1975	Чайковский, Геллер, Бондарь	115—313	1,5—59	ж	95	Ка	[3.32]
1976	Геллер, Карбанов	192—228	p_s	ж	6	Ка	[3.11, 3.12]
1977	Сагайдакова	293—323	0,1—9,8	ж	22	Ка	[4.11]

исходных были использованы опытные данные Макиты [2.32] и Беннинга, Марквуда [3.35], которые, как выяснилось впоследствии, являются очень неточными. Позднее А. В. Кли-

кий, С. Т. Бутырская [3.20] и В. В. Алтунин [3.2] составили подробные таблицы вязкости жидкого и газообразного фреона-22 в интервале $T=233$—553 К при давлении до 30—50 МПа. Эти таблицы разработаны с учетом измерений С. Т. Бутырской [3.6], выполненных методом капилляра, существенно полнее и достовернее опубликованных ранее. Например, при температуре 320 К по новым измерениям и таблицам [3.2, 3.20] вязкость жидкого фреона-22 на линии насыщения на 50—60%, а газообразного при давлениях 1—2 МПа на 10—15% ниже, чем по данным [0.10, 0.18, 0.34, 2.32, 3.35]. Сейчас опытных данных значительно больше, расширена область измерений и экспериментально обоснованные таблицы вязкости фреона-22 составлены заново.

В работе [3.2] на основании машинного эксперимента с 43 опытными значениями η_T была получена расчетная формула

$$\eta_{iT}=\left(23{,}6136-9{,}54140\frac{1}{\tau}+1{,}67446\frac{1}{\tau^2}\right)\sqrt{\tau}, \qquad (3.11)$$

где размерность η—[мкПа·с].

С целью унификации расчетов в настоящей работе температурная зависимость вязкости при атмосферном давлении аппроксимирована уравнением (1.18), в котором

$\eta_{T_{кр}}=15{,}8$ (мкПа·с); $\quad a_2=-0{,}06696$;
$a_0=0{,}73796$; $\quad a_3=0{,}00654$.
$a_1=0{,}22430$;

Из рис. 24 следует, что бо́льшая часть экспериментальных значений η_T согласуется с отклонением в пределах ±1%. Опытные данные [3.49] имеют большой разброс, а

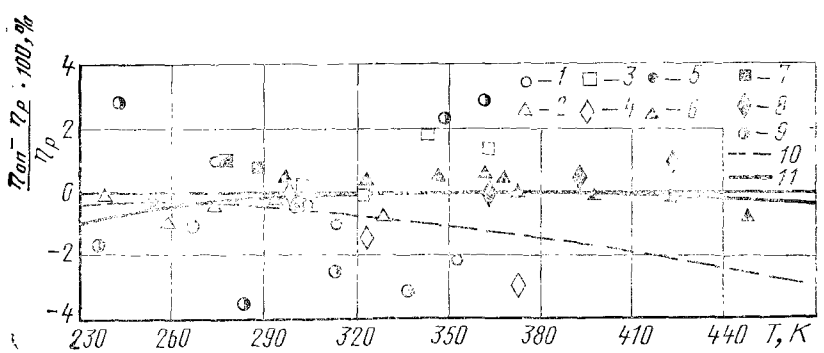


Рис. 24. Отклонение значений вязкости газообразного фреона-22 при атмосферном давлении от принятых в настоящей работе:
опытных: *1*—Боннинга, Маркуида [3.35]; *2*—Кофлина [2.38]; *3*—Кэмпина, Витеси [2.30]; *4*—Макиты [2.32]; *5*—Шрипанда и др. [3.59]; *6*—Бутырской [3.5, 3.6]; *7*—Тэю Чанг Юэ [2.38]; *8*—Вилберса [2.38]; *9*—Латто и др. [3.49]; табличных: *10*—Клецкого [0.18]; *11*—Алтунина [3.2]

данные [2.32] систематически занижены, причем расхождение достигает 4%. Рассчитанные по уравнениям (1.18) и (3.11) значения η_T практически совпадают как в области измерений, так и за ее пределами.

Для расчета вязкости газообразного и жидкого фреона-22 при повышенных давлениях использованы два обобщенных уравнения: (0.35) и (0.41). Их коэффициенты приведены в табл. 4 и найдены на основании обработки согласующихся экспериментальных данных о вязкости трех фреонов, причем в общий массив исходных данных были включены ~360 опытных значений вязкости фреона-22 в интервале $T=115$—473 К и $p=0{,}1$—59 МПа. Вязкость фреона-22 в реперной точке ($\tau=0{,}7$, $\pi=0{,}7$) $\eta_{0,7}=254$ мкПа·с. Уравнение (0,35) рекомендуется применять при $\omega\leqslant 1{,}9$—2,0, а уравнение (0.41) — в жидкой фазе при $\omega>2{,}0$ и вплоть до кривой кристаллизации.

На первый взгляд, применение для расчета таблиц вязкости фреона-22 обобщенных уравнений, составленных для группы фреонов, может показаться удивительным, поскольку именно фреон-22 считается наиболее изученным. Действительно, экспериментальной информации о вязкости фреона-22 значительно больше, чем для других фреонов рассматриваемой группы, но вместе с тем и больше случаев заметного расхождения опытных данных, полученных одним и тем же методом. Приведем несколько примеров.

Вязкость жидкого фреона-22 на линии насыщения измерена Гордоном с соавторами [0.40] на установке, реализующей метод капиллярного вискозиметра с «висячим» уровнем. Данные [0.40] лежат на 3—7% ниже результатов Филлипса, Мэрфи [1.50], использовавших такую же методику. Расхождение опытных результатов, полученных по методу катящегося шарика, еще больше (рис. 25).

С. Т. Бутырская [3.5, 3.6] измерила вязкость на капиллярном вискозиметре конструкции И. Ф. Голубева (V вариант). Аналогичную методику применили В. З. Геллер с соавторами [3.9]. Оказалось, что при умеренных температурах (как вблизи линии насыщения, так и в однофазной области) данные [3.6] систематически выше (на 8—10%) результатов [3.9]. Позднее В. Ф. Чайковский с соавторами [3.32] выполнили новые измерения, причем их методика исследования принципиально не отличалась от использованной в работах [3.6, 3.9]. В перекрывающейся области состояний измерения [3.9, 3.32] согласуются с отклонением в пределах 1,1% и свидетельствуют о наличии систематических погрешностей в данных С. Т. Бутырской. В подтверждение этой точки зрения укажем еще на один факт. Если использовать данные [3.6] о вязкости фреонов-21 и 22 в жидкой фазе, то обобщенного уравнения типа (0.41) получить не удается. По

данным ОТИПП [0.15, 3.9, 3.32], такое уравнение составлено и оказалось достаточно точным. Таким образом, «обобщенный подход» к обработке измерений вязкости фреона-22 при высоких давлениях представляется вполне оправданным, по крайней мере в настоящее время.

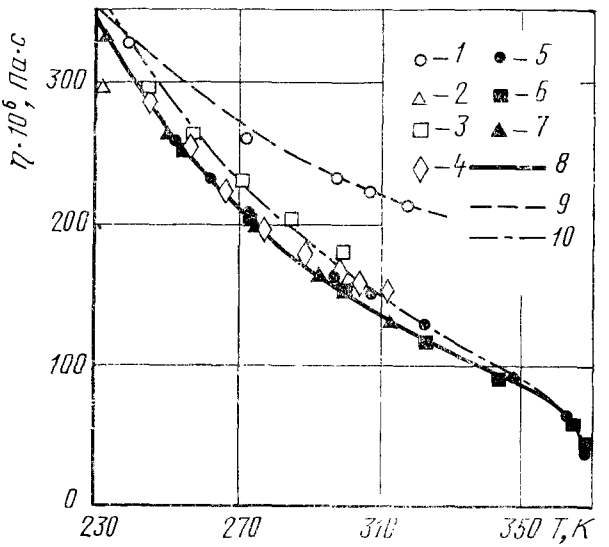


Рис. 25. Вязкость жидкого фреона-22 вблизи линии насыщения:

опытные данные: *1*—Беннинга, Марквуда [3.35]; *2*—Кинзера [2.38]; *3*—Филипса, Мэрфи [1.50]; *4*—Гордона и др. [0.40]; *5*—Бутырской [3.6]; *6*—Геллера и др. [3.9]; *7*—Чайковского и др. [3.32]; табличные данные: *8*—настоящей работы; *9*—Клецкого [0.18]; *10*—Алтунина [3.2, 3.3]

Полезно дать разъяснения и относительно формы расчетных уравнений. В нескольких работах (например, [3.6. 3.20, 3.29]) для расчета вязкости сжатого фреона-22 рекомендованы уравнения типа (0.33), составленные с учетом опытных данных С. Т. Бутырской. В последней по времени работе уравнение (0.33) при $m_1=4$ использовано для расчета таблиц, но при низкой температуре табличные значения получены не аналитическим способом, а на основании графической обработки опытных данных.

Рекомендуемое в работе [3.2] уравнение типа (0.37) также содержит четыре коэффициента, но оно реализует двухпараметрическую зависимость избыточной вязкости $\Delta\eta(\varrho, T)$ и пригодно для аналитического расчета вязкости жидкого и

газообразного фреона-22 во всей области ρ, T-переменных, охваченной таблицами [3.20].

Во введении к данной книге отмечено, что уравнения типа (0.37) обладают рядом преимуществ по сравнению с другими формами аналитических зависимостей $\Delta\eta(\rho, T)$. Однако вязкость фреона-22 изучена в существенно большем интервале температур и давлений, чем плотность. Поэтому возможности уравнения (0.37) не могут быть реализованы в полной мере. В связи с этим представлялось целесообразным применить простые зависимости $\Delta\eta(\rho)$ там, где подобное упрощение не приводит к заметным погрешностям (рис. 26), а при низких температурах в жидкой фазе (при $\omega \geqslant 1{,}9$) использовать уравнение (0.41), в котором вязкость связана функционально с непосредственно измеряемыми в опыте давлением и температурой. Из рис. 27 видно, что ли-

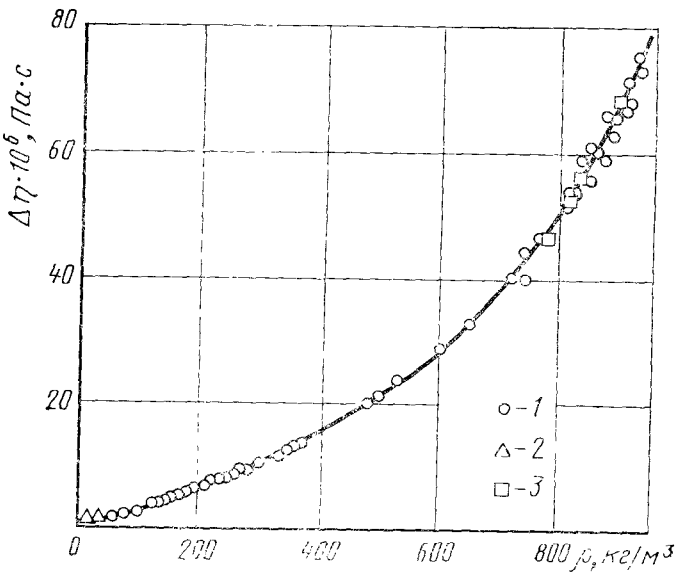


Рис. 26. Зависимость избыточной вязкости фреона-22 от плотности по данным:

1 Гелтера и др. [3.9]; *2*—Кэмпиа, Витцеля [2.30]; *3*—Чайковского и др. [3.32]

нии постоянной вязкости жидкого фреона-22 в T—p-диаграмме являются прямыми в сравнительно широком интервале температуры и давления и могут быть уверенно аппроксимированы уравнением (0.41)*.

* По мере приближения к критической изотерме изолинии вязкости начинают искривляться, и необходимо применять более сложные уравнения (0.42)—(0.43).

Результаты сравнения опытных и рассчитанных по обобщенным уравнениям (0.35) и (0.41) значений вязкости фреона-22 представлены на рис. 28.

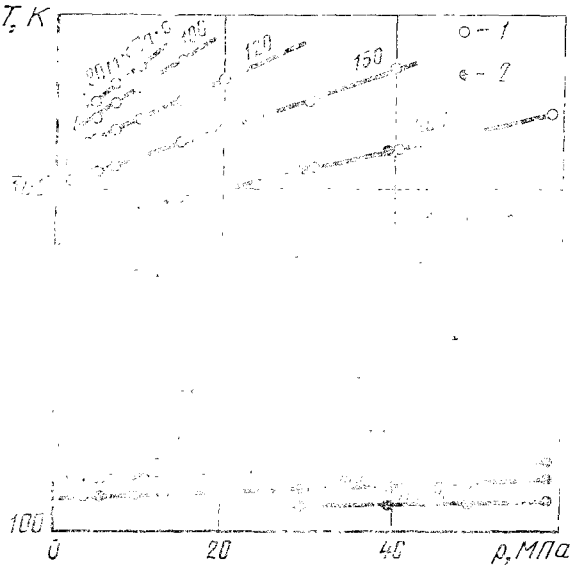


Рис. 2[illegible]
стоянн[illegible]
фреона-22 [illegible]
диагра[illegible]
[illegible]
1—Геллера и др. [3.9],
2—Чайковского и др. [3.32]

Максимальное расхождение расчетных значений с опытными [4.11] составляет 3,3%. Опытные данные Ивасаки, Такахаши не были опубликованы, и о них стало известно по справочнику [0.51], где приведены только коэффициенты аппроксимирующего полинома

$$\eta_1 = \sum_{i=0}^{1} \sum_{j=0}^{4} d_{ij}\, T^i\, p^j. \qquad (3.12)$$

Уравнение содержит 25 коэффициентов и описывает сравнительно небольшую область состояний в газовой фазе при давлении до 6 МПа.

Авторы работ [0.20, 4.11] установили, что в p, T-переменных изолинии вязкости вещества в однофазной области могут быть параболами второй степени, и для газовой фазы при $\eta \leqslant \eta_{1a}$ предложили уравнение вида

$$p = 1 + \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=0}^{5} b_{ij}\, (\Theta - 1)^i (\eta_1 - \eta_{1a})^j, \qquad (3.13)$$

где $\Theta = \sum_{k=0}^{2} c_k \eta^k$ — линия атмосферного давления. Уравнение

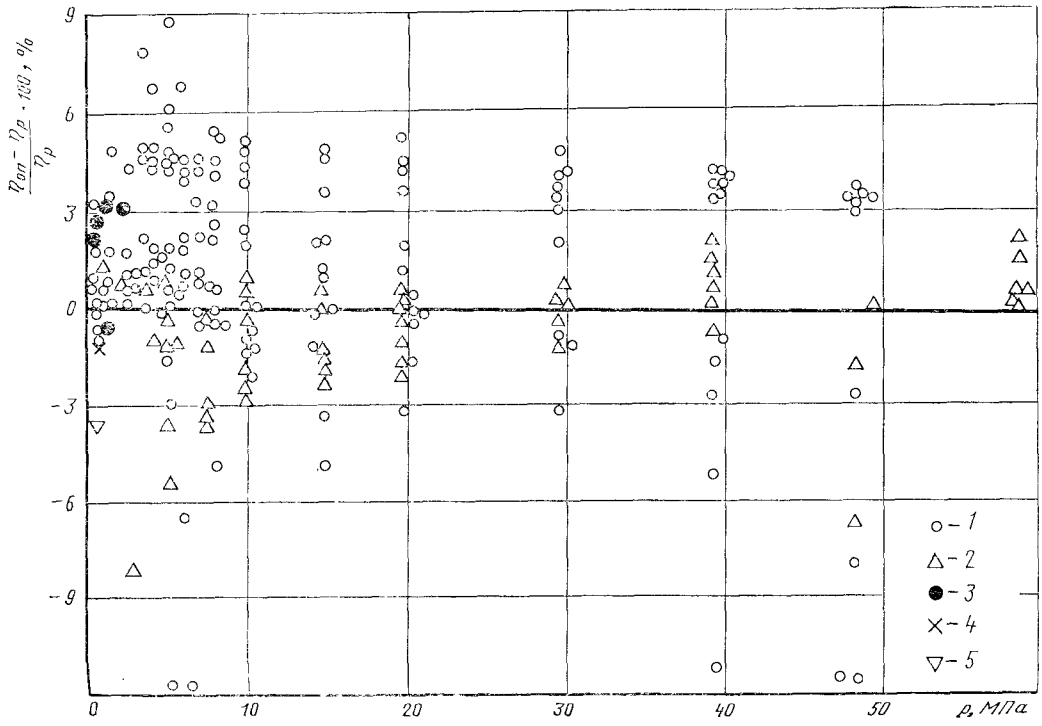


Рис. 28. Отклонение опытных значений вязкости фреона-22 при повышенных давлениях от принятых в настоящей работе:

1—Бутырской [3.6]; *2*—Геллера и др. [3.9]; *3*, *1*—Кэмпина, Витцеля [2.30]; *5*—Беннинга, Марквуда [3.35]

(3.13) содержит примерно в два раза меньше коэффициентов для существенно более широкого интервала температуры и давления, чем уравнение (3.12).

В настоящей работе вязкость жидкого и газообразного фреона-22 рассчитана по уравнениям (0.35) и (0.41), коэффициенты которых приведены в табл. 4. Вязкость фреона-22 в опорной точке ($\tau=0{,}7$ и $\pi=0{,}7$) $\eta_{0,7}=254$ мкПа·с.

Коэффициенты $\bar{b}_{\eta,\,i}$, $\bar{\alpha}_{\eta,\,i}$, $\bar{\beta}_{\eta,\,i}$ найдены на основании обработки согласующихся экспериментальных данных для трех фреонов, причем в общий массив исходных данных были включены ~ 370 опытных значений вязкости фреона-22 в интервале $T=115$—473 К и $p=0{,}1$—59 МПа, полученные в работах [1.50, 2.30, 3.6, 3.9, 3.32]. Погрешность табличных значений вязкости оценивается 2—3% в однофазной области и 4—5% на линии насыщения.

Обстоятельные экспериментальные исследования теплопроводности сжатого фреона-22 в газовой и жидкой фазах проведены в середине 70-х годов (табл. 36). Отчасти по этой причине в справочных изданиях [0.8—0.10, 0.18, 0.34] даны только табличные значения λ_T и λ_s. Для области повышенных давлений таблицы теплопроводности были составлены в работах [0.35, 3.3, 3.31].

В работах О. Б. Цветкова [0.35, 3.31] приведены таблицы теплопроводности газообразного фреона-22 при $T=273$—473 К и $p=0{,}1$—6 МПа. Расчет таблиц выполнен по обобщенному уравнению (0.44), в котором константы n, c_1 и c_2 приняты одинаковыми для фреона-11, 12, 13, 14 и 22, но числовое значение индивидуальной константы A для фреона-22 не указано. Опубликованные в 1973 г. опытные данные В. З. Геллера с соавторами [3.9] ни в работе [0.35], ни в [3.31] не упоминаются. Сказано лишь, что табличные значения λ при $p=1{,}6$ МПа систематически ниже (на $\sim 11\%$) опытных данных В. А. Груздева и др. [2.8].

Сравнение рекомендуемых в настоящей работе значений λ с таблицами [3.31] показало, что последние систематически занижены на 12—18%.

В работе В. В. Алтунина [3.3] получено экспериментально обоснованное уравнение типа (0.40) со следующими коэффициентами:

$a_{10}=-0{,}4040215$; $a_{20}=0{,}1935286$;

$a_{11}=1{,}451927$; $a_{21}=-0{,}3274052$.

В состав исходных опытных данных были включены измеренные значения λ [1.63, 2.8, 3.39] и экспериментальные значения $\Delta\lambda$ [3.9, 3.33] при давлении до 30 МПа. Температурная зависимость теплопроводности при атмосферном давлении

определена по опытным данным [2.8, 3.51] и представлена уравнением (0.31) с коэффициентами

$$a_0 = \quad 3{,}03677;\ a_1 = 12{,}5878;\ a_2 = 5{,}38463;$$

где размерность $\lambda_T \cdot 10^6$ — [кВт/(м·К)].

По уравнениям (0.31) и (0.40) рассчитаны таблицы теплопроводности жидкого и газообразного фреона-22 в интервале $T = 273$—553 К и $p = 0{,}1$—30 МПа. В статье [3.3] приведены таблицы значений λ' и λ'' в интервале $T = 233$—363 К. Там же обращено внимание на некоторую несогласованность опытных данных [2.8, 3.9, 3.33] при невысоких значениях плотности (рис. 29).

В этом справочнике таблицы теплопроводности рассчитаны по системе уравнений, полученной В. А. Геллером [1.4] на основании анализа и обобщения всех имеющихся экспериментальных данных (см. табл. 3.5).

Таблица 3.5

Опыты измерения теплопроводности фреона-22

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод	Источник
1943	Марквуд, Беннинг	303; 363 273; 313	0,1 $\sim p_s$	г ж	2 2	Н КЦ	[2.33] [2.33]
1953	Чернеева	243—353 198—293	0,16—1,1 $\sim p_s$	г ж	18 11	Н Н	[3.33]
1959	Науэл, Чаллонер	253—293	$\sim p_s$	ж	3	П	[2.35]
1962	Видмер	153—208	$\sim p_s$	ж	6	НН	[3.64]
1962	Грассман и др.	193—296	$\sim p_s$	ж	6	НН	[3.42]
1963	Грассман, Джобст	235—304	$\sim p_s$	ж	8	НН	[3.43]
1964	Сейл	248—287	$\sim p_s$	ж	4	НН	[3.58]
1964	Джалалян	216—275	$\sim p_s$	ж	4	Н	[3.39]
1964	Масиа Брасеро, Риенда	278—407	0,003—0,12	г	8	Н	[3.51]
1965	Цветков	194—343	$\sim p_s$	ж	9	РР	[3.30]
1966	Науэл и др.	256	$\sim p_s$	ж	1	ТК	[2.36]
1966	Пурнаназамридхи	253—293	$\sim p_s$	ж	—	Н	[3.57]
1967	Таушер	148—303	$\sim p_s$	ж	—	НН	[1.63]
1969	Груздев, Шестова. Селин	315—459	6,15—1,6	г	16	КЦ	[2.8]
1971	Садыков и др.	126—228	1	ж	14	Н	[3.28]
1973	Геллер, Иванченко, Передрий	193—433	0,1—59	г, ж	158	Н	[3.9, 2.26]
1975	Геллер и др.	113—295	0,1—59	ж	91	Н	[3.13, 3.10]
1975	Дональсон	289—347	0,1	г	4	Н	[3.38]

Примечание. РР — регулярного режима.

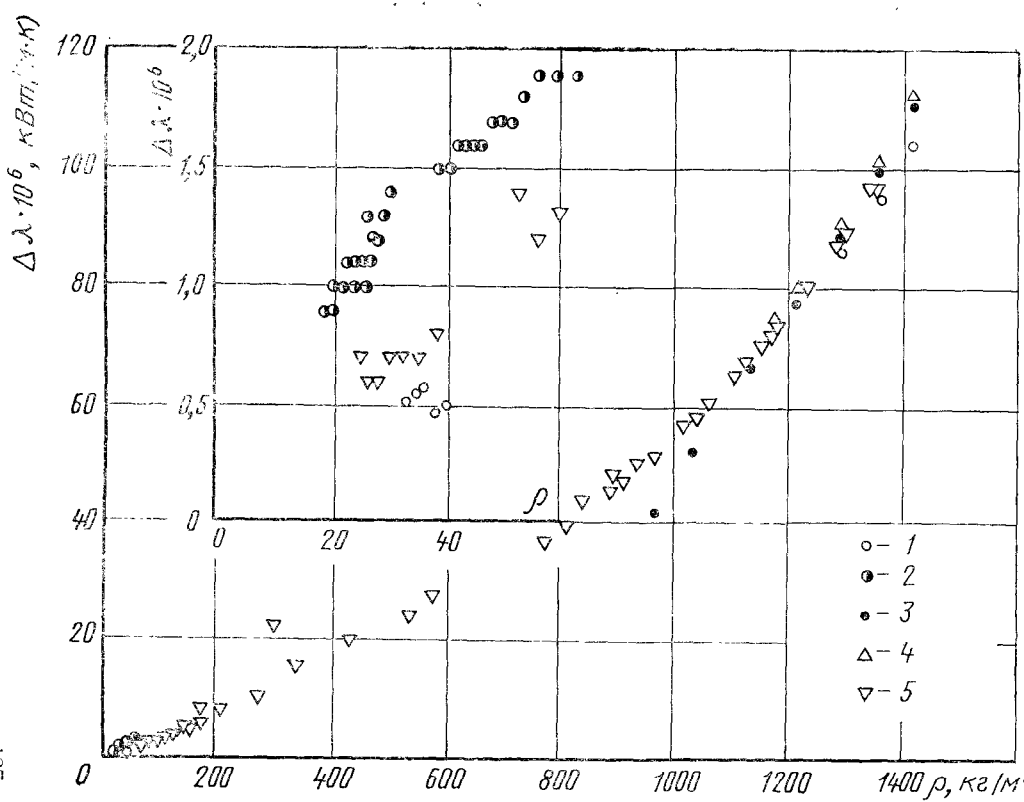


Рис. 29. Зависимость избыточной теплопроводности фреона-22 от плотности по данным:

1—Черняевой [3.33]; *2*—Груздева и др. [2.8]; *3*—Цветкова [3.30]; *4*—Таушера [1.63]; *5*—Геллера и др. [3.9]

Температурная зависимость теплопроводности при атмосферном давлении представлена уравнением (1.20) с коэффициентами

$$a_0 = -8{,}269 \cdot 10^{-3};\ a_1 = 6{,}330 \cdot 10^{-5},$$

где размерность λ_T — [Вт/(м · К)]. Из рис. 30 видно, что уравнение основано на опытных данных [2.8, 3.51] и хорошо их аппроксимирует.

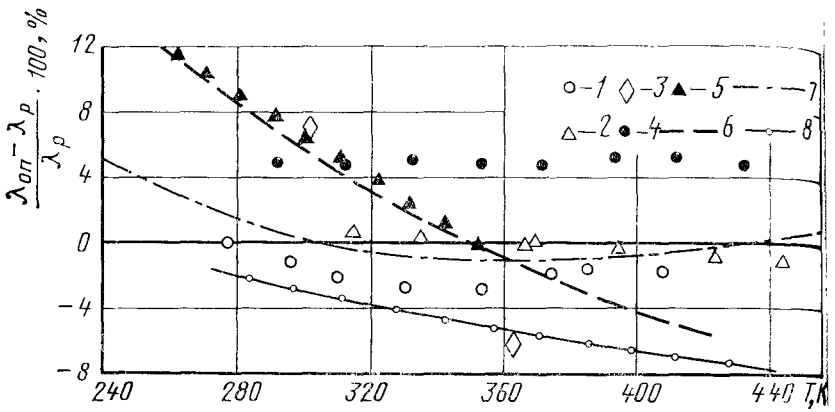


Рис. 30. Отклонение значений теплопроводности газообразного фреона-22 при атмосферном давлении от принятых в настоящей работе:

опытных: *1*—Масиа, Брасеро [3.51]; *2*—Груздева, Шестовой [2.8]; *3*—Марквуда, Беннинга [2.33]; *4*—Геллера и др. [3.9]; *5*—Чернеевой [3.33]; табличных: *6*—Клецкого [0.18]; *7*—Алтунина [3.2]; *8*—Цветкова, Поляковой [3.31]

Краткий анализ экспериментальных работ Марквуда, Беннинга [2.33], Пауэлла с соавторами [2.35, 2.36], Масиа, Брасеро, Риенды [3.51], Таушера [1.63] и Груздева, Шестовой, Селина [2.8] сделан в гл. 2. Другие исследования теплопроводности сжатого газа и жидкости обсуждаются ниже.

В исследовании Л. И. Чернеевой [3.33] с целью исключения влияния конвекции опыты проведены при различных перепадах температур на двух измерительных ячейках (с зазорами 0,34 и 0,43 мм), которые были термостатированы при одинаковых температурах. Перепады температур в опытах были достаточно малы. Результаты измерений в целом удовлетворительно согласуются с данными других авторов и расхождения соответствуют оцененной погрешности эксперимента (±2,5%).

В двух сериях измерений теплопроводности жидкого фреона-22 под руководством Грассмана [3.42, 3.64] была применена экспериментальная установка из двух измерительных ячеек, одна из которых заполнена образцовым, другая — исследуемым веществом. В качестве образцового ис-

пользовали высоковязкое масло, теплопроводность которого была определена при $T=293$ К относительным методом по воде. Хотя авторы оценивают погрешность измерений $\pm 1\%$, она в двойном относительном методе будет равна утроенной погрешности λ_{H_2O}, т. е. $\sim 3\%$. И в самом деле, в перекрывающемся интервале температур опытные данные [3.64] выше результатов [3.42] на 4—2,5%. Гроссман, Джобст, Сейх в работах [3.43, 3.57] применили абсолютный вариант того же метода. Полученные ими опытные данные отличаются от измерений других авторов больше, и отклонения составляют 8—12%. Джалалян, Пураназамридхи в работах [3.39, 3.57] стационарным методом нагретой нити измерили теплопроводность жидкого фреона-22 с погрешностью, по оценке авторов, $\pm 2\%$. Но их измерительная ячейка устроена так, что измеренная эффективная разность температур может оказаться завышенной [3.8, 3.15], а это, в свою очередь, приведет к заниженным значениям λ. При низкой температуре обсуждаемые опытные данные ниже полученных в ОТИПП на 4—5%. В работе О. Б. Цветкова [3.30] теплопроводность жидких фреонов измерена методом регулярного теплового режима первого рода с погрешностью, по оценке автора, $\pm 1{,}5\%$. Однако полученная для жидкого фреона-22 температурная зависимость оказывается в интервале $T=313$—343 К необычно большой. По нашему мнению, столь резкое увеличение производной $(d\lambda_s/dT)$ вдали от критической температуры может быть вызвано либо выделением газов, растворенных во фреоне, либо «попаданием» в двухфазную область. В работе [3.28] применен классический вариант стационарного метода нагретой нити и полученные результаты вполне надежны. Кроме того, следует отметить, что измерения [3.28] показали заметное уменьшение производной $(\partial\lambda/\partial T)_p$ вблизи температуры кристаллизации фреона-22. В работах В. З. Геллера и др. [0.13, 3.9, 3.10] выполнены две независимые серии измерений абсолютным стационарным методом нагретой нити как вблизи линии насыщения, так и в широком интервале температуры и давления в газовой и жидкой фазах. Как показали хроматографические анализы, содержание примесей в исходном фреоне не превышало 0,1%. Погрешность опытных данных оценена авторами 1,2%, а в околокритической области — 3—5%. Полученные в двух сериях опытов значения согласуются между собой с отклонением в пределах оговоренной погрешности измерений.

Опытные данные о теплопроводности жидкого фреона-22 на линии насыщения были обработаны по следующей схеме.

Вначале температурную зависимость теплопроводности рассчитали на основании двух независимых серий экспериментов [0.13]. Для согласования с результатами других измерений и выявления наиболее вероятных значений λ_s все экс-

периментальные данные были разбиты на три группы. К первой отнесены результаты, вероятная погрешность которых составляет 1—2%, ко второй—2—3%, к третьей—3—5%. В первую группу вошли результаты [3.30] (за исключением интервала $T=310$—343 К) и [3.28] (полностью), во вторую — [1.63, 3.33], в третью — [3.39, 3.42, 3.43, 3.57, 3.64]. Данные [2.33, 3.58] исключены из рассмотрения, поскольку они существенно отличаются от остальных результатов. Не рассматривали также данные [2.35], которые даже с учетом поправки, полученной путем пересчета к достоверным значениям λ толуола, оказались завышенными на 6—7%. Затем рассчитывали отклонения от полученной предварительно зависимости $\lambda_s(T)$ и при усреднении результаты первой группы данных учитывали с весом 1, второй — 0,5, третьей — 0,25 (эту операцию проделывали, естественно, с учетом знаков отклонений). Полученное таким образом среднее отклонение учитывали соот-

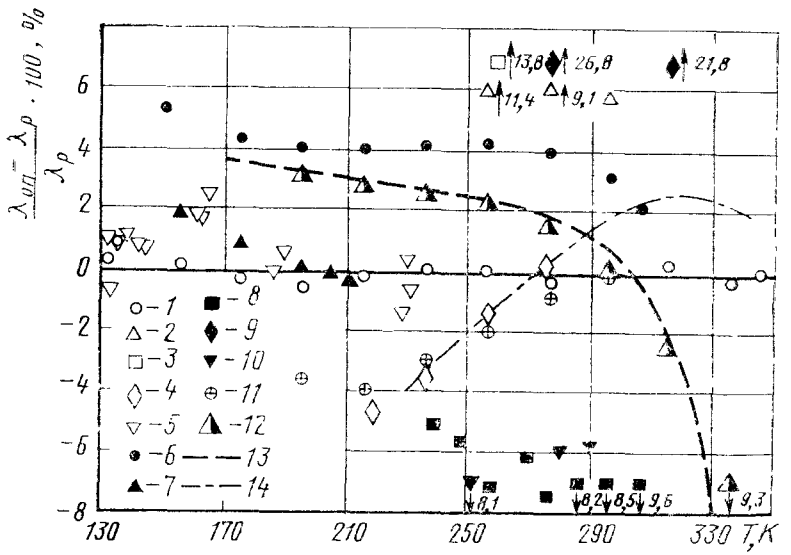


Рис. 31. Отклонение значений теплопроводности жидкого фреона-22 вдоль линии насыщения от принятых в настоящей работе:

экспериментальных: *1*—Геллера и др. [3.9]; *2*—Пауэла, Чаллонера [2.35]; *3*—Пауэла и др. [2.36]; *4*—Джалаляна [3.39]; *5*—Садыкова и др. [3.28]; *6*—Таушера [1.63]; *7*—Виймера [3.64]; *8*—Грассмана [3.43]; *9*—Марквуда, Беннинга [2.33]; *10*—Сейла [3.58]; *11*—Чернсевой [3.33]; *12*—Цветкова [3.30]; табличных: *13*—Клецкого [0.18]; *14*—Алтунина [3.3]

ветствующим коэффициентом при аналитическом отображении λ_s. Массив исходных данных был составлен из 113 экспериментальных точек в интервале $T=113$—360 К. Искомое

уравнение имело вид (0.46). Оптимальная аппроксимация достигнута при

$\lambda_{кр} = 362 \cdot 10^{-4}$ Вт/(м · К);

$c_1 = 0{,}53089$; $c_4 = -8{,}36907$;

$c_2 = -1{,}06620$; $c_5 = 6{,}92396$;

$c_3 = 4{,}58756$; $c_6 = -1{,}98931$.

Результаты сравнения вычисленных по уравнению значений λ_s с экспериментальными данными показаны на рис. 31. Зависимость теплопроводности жидкого фреона-22 от давления определена по обобщенному для рассматриваемой группы фреонов уравнению (0.45), коэффициенты которого приведены в табл. 5. Его можно использовать в области жидкого состояния при $\omega \geqslant 1{,}9$ и давлении до 60 МПа вплоть до кривой затвердевания.

Вычисление теплопроводности газа и жидкости при $\omega < 1{,}9$ проведено по уравнению (0.34) с индивидуальными коэффициентами (размерность $\lambda \cdot 10^4$—[Вт/(м · К)]):

$b_1 = 0{,}034072$; $b_3 = 0{,}028852$;

$b_2 = -0{,}000541$; $b_4 = -0{,}007593$.

Коэффициенты уравнения найдены обработкой 118 экспериментальных точек [2.8] в диапазоне $\varrho = 10$—900 кг/м^3.

Погрешность рассчитанных по рекомендуемой системе уравнений значений теплопроводности фреона-22 оценивается ±2% в однофазной области и 3—4% на линии насыщения, в околокритической области она может составлять 6—7%.

3.4. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Таблицы термодинамических свойств газообразного и жидкого фреона-22 рассчитаны по уравнениям, представленным в 3.2, и охватывают область $T = 233$—473 К и $p = 0{,}01$—20 МПа (табл. 37, 38).

В связи с тем, что термодинамические свойства жидкого фреона-22 при низких температурах изучены только на линии насыщения (см. 3.1), таблицы для линий кипения — конденсации составлены до нормальной температуры кипения $T_{н.т.к.}$. В однофазной области опытные данные имелись при $T > 273$ К и термодинамические таблицы составлены в интервале 273—473 К.

Рекомендуемые в этой книге таблицы переносных свойств фреона-22 (табл. 39, 40) охватывают ту же область состояний, что и термодинамические таблицы.

Термодинамические свойства фреона-22 на линиях кипения и конденсации

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\sigma \cdot 10^3$
233,15	0,1054	1416,0	4,89	231,8	464,4	2,000	3,000	1,124	0,580	232,6	17,84
235,15	0,1155	1409,8	5,33	233,8	465,1	2,014	3,000	1,131	0,586	231,3	17,52
237,15	0,1264	1403,4	5,79	235,9	465,8	2,029	3,000	1,136	0,591	229,9	17,19
238,15	0,1321	1400,0	6,04	236,9	466,1	2,036	3,000	1,139	0,594	229,2	17,03
239,15	0,1380	1397,2	6,29	238,0	466,5	2,043	3,000	1,141	0,596	228,5	16,87
241,15	0,1505	1390,8	6,83	240,1	467,1	2,057	3,000	1,144	0,602	227,0	16,54
243,15	0,1639	1384,3	7,40	242,1	467,8	2,071	3,001	1,147	0,608	225,6	16,22
245,15	0,1782	1377,7	8,00	244,2	468,4	2,085	3,001	1,149	0,615	224,2	15,90
247,15	0,1934	1371,3	8,64	246,3	469,0	2,098	3,001	1,151	0,621	222,7	15,58
248,15	0,2014	1368,0	8,98	247,4	469,3	2,105	3,001	1,152	0,625	222,0	15,42
249,15	0,2097	1364,7	9,33	248,4	469,7	2,112	3,001	1,152	0,628	221,2	15,26
251,15	0,2269	1358,1	10,05	250,5	470,3	2,125	3,001	1,153	0,635	219,7	14,95
253,15	0,2453	1351,4	10,82	252,7	470,9	2,138	3,002	1,153	0,642	218,2	14,63
255,15	0,2647	1344,7	11,63	254,8	471,5	2,150	3,002	1,154	0,649	216,7	14,32
257,15	0,2851	1338,0	12,49	256,9	472,1	2,163	3,001	1,154	0,657	215,2	14,00
258,15	0,2961	1334,6	12,93	258,0	472,4	2,169	3,001	1,154	0,661	214,4	13,85
259,15	0,3072	1331,2	13,39	259,1	472,7	2,175	3,001	1,154	0,665	214,4	13,69
261,15	0,3303	1324,5	14,35	261,2	473,3	2,187	3,001	1,155	0,673	212,1	13,38
263,15	0,3548	1317,7	15,36	263,4	473,9	2,199	3,000	1,155	0,681	210,6	13,08
265,15	0,3805	1310,8	16,43	265,5	474,5	2,210	3,000	1,156	0,689	209,0	12,77

Продолжение табл. 37

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\sigma \cdot 10^3$
267,15	0,4077	1304,0	17,55	267,7	475,1	2,221	2,999	1,157	0,698	207,4	12,46
268,15	0,4218	1300,5	18,13	268,8	475,4	2,227	2,999	1,158	0,702	206,6	12,31
269,15	0,4363	1297,1	18,73	269,9	475,7	2,232	2,998	1,159	0,707	205,8	12,16
271,15	0,4664	1290,2	19,97	272,1	476,3	2,243	2,998	1,161	0,716	204,2	11,86
273,15	0,4981	1283,2	21,28	274,3	476,9	2,251	2,997	1,163	0,725	202,6	11,56
275,15	0,5313	1276,2	22,65	276,5	477,5	2,261	2,996	1,166	0,735	201,0	11,28
277,15	0,5662	1269,1	24,10	278,7	478,0	2,274	2,994	1,169	0,744	199,3	10,98
278,15	0,5842	1265,6	24,84	279,8	478,3	2,279	2,994	1,171	0,749	198,5	10,83
279,15	0,6027	1262,0	25,61	281,0	478,6	2,284	2,993	1,173	0,754	197,6	10,68
281,15	0,6410	1254,9	27,20	283,2	479,2	2,294	2,992	1,177	0,764	196,0	10,39
283,15	0,6811	1247,7	28,87	285,5	479,8	2,303	2,991	1,182	0,775	194,2	10,10
285,15	0,7231	1240,4	30,62	287,8	480,3	2,313	2,989	1,188	0,785	192,5	9,80
287,15	0,7669	1233,0	32,45	290,2	480,9	2,322	2,988	1,193	0,796	190,7	9,51
288,15	0,7895	1229,3	33,40	291,3	481,1	2,327	2,987	1,197	0,802	189,9	9,37
289,15	0,8127	1225,6	34,38	292,4	481,4	2,331	2,986	1,200	0,808	189,0	9,23
291,15	0,8604	1218,1	36,39	294,8	481,9	2,341	2,984	1,207	0,819	187,2	8,94
293,15	0,9103	1210,6	38,50	297,2	482,5	2,350	2,983	1,215	0,831	185,3	8,66
295,15	0,9622	1202,8	40,70	299,5	483,0	2,358	2,981	1,223	0,843	183,5	8,37
297,15	1,0163	1195,1	43,03	301,9	483,5	2,367	2,979	1,231	0,856	181,6	8,09
298,15	1,0441	1191,1	44,23	303,2	483,8	2,372	2,978	1,236	0,863	180,6	7,95
299,15	1,0726	1187,2	45,45	304,4	484,0	2,376	2,977	1,241	0,869	179,6	7,81
301,15	1,1311	1179,2	48,00	306,8	484,5	2,385	2,975	1,251	0,883	177,7	7,54
303,15	1,1920	1171,1	50,66	309,3	484,9	2,393	2,973	1,261	0,897	175,7	7,26
305,15	1,2553	1162,9	53,45	311,8	485,4	2,402	2,971	1,273	0,911	173,6	6,99
307,15	1,3210	1154,5	56,38	314,3	485,8	2,410	2,969	1,285	0,927	171,5	6,72

Продолжение табл. 37

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\sigma \cdot 10^3$
308,15	1,3548	1150,3	57,90	315,6	486,0	2,415	2,968	1,291	0,934	170,5	6,58
309,15	1,3892	1146,0	59,45	316,8	486,2	2,419	2,967	1,297	0,942	169,4	6,45
311,15	1,4600	1137,4	62,66	319,4	486,6	2,427	2,965	1,311	0,959	167,2	6,19
313,15	1,5335	1128,6	65,04	322,0	487,0	2,436	2,963	1,325	0,971	165,0	5,92
315,15	1,6096	1119,6	69,59	324,6	487,3	2,444	2,960	1,339	0,995	162,7	5,66
317,15	1,6885	1110,5	73,32	327,3	487,6	2,452	2,958	1,355	1,015	160,4	5,40
318,15	1,7290	1105,9	75,25	328,6	487,8	2,456	2,957	1,363	1,025	159,2	5,27
319,15	1,7702	1101,2	77,23	330,0	487,9	2,461	2,956	1,372	1,036	157,9	5,14
321,15	1,8548	1091,2	81,36	332,7	488,2	2,469	2,953	1,389	1,058	155,5	4,89
323,15	1,9424	1082,1	85,70	335,4	488,4	2,477	2,951	1,408	1,082	152,9	4,64
325,15	2,033	1072,2	90,27	338,2	488,6	2,486	2,948	1,428	1,108	150,4	4,39
327,15	2,127	1062,0	95,10	341,0	488,7	2,494	2,946	1,449	1,136	147,7	4,14
328,15	2,175	1056,9	97,61	342,5	488,7	2,498	2,944	1,461	1,151	146,3	4,02
329,15	2,224	1051,6	100,19	343,9	488,8	2,503	2,943	1,472	1,166	144,9	3,90
331,15	2,324	1041,0	105,59	346,8	488,8	2,511	2,940	1,497	1,199	142,0	3,66
333,15	2,427	1030,1	111,32	349,7	488,8	2,519	2,937	1,524	1,237	139,1	3,42
335,15	2,534	1018,8	117,40	352,6	488,7	2,528	2,934	1,554	1,278	136,0	3,19
337,15	2,645	1007,2	123,85	355,7	488,5	2,536	2,930	1,587	1,324	132,9	2,96
338,15	2,701	1001,3	127,24	357,2	488,4	2,541	2,929	1,605	1,350	131,2	2,84
339,15	2,759	995,3	130,74	358,7	488,3	2,545	2,927	1,623	1,376	129,6	2,73
341,15	2,877	982,9	138,10	361,8	487,9	2,554	2,923	1,665	1,436	126,1	2,51
343,15	2,998	970,0	146,00	365,0	487,5	2,563	2,919	1,712	1,505	122,5	2,29
345,15	3,124	956,7	154,49	368,2	487,0	2,571	2,915	1,766	1,585	118,7	2,07
347,15	3,253	942,7	163,73	371,5	486,3	2,580	2,911	1,830	1,680	114,8	1,86
348,15	3,319	935,4	168,56	373,2	485,9	2,585	2,907	1,866	1,734	112,7	1,76

Продолжение табл. 37

T	p	v'	v''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\gamma \cdot 10^6$
349,15	3,387	927,9	173,63	374,9	485,5	2,590	2,906	1,907	1,794	110,6	1,66
351,15	3,524	912,4	184,51	378,4	484,6	2,599	2,901	2,000	1,932	106,2	1,45
353,15	3,666	895,8	196,46	382,0	483,4	2,607	2,896	2,117	2,106	101,4	1,26
355,15	3,813	878,0	209,72	385,7	482,0	2,619	2,890	2,268	2,330	96,3	1,07
357,15	3,964	858,6	224,59	389,7	480,4	2,629	2,883	2,472	2,627	90,7	0,89
358,15	4,041	848,2	232,75	391,7	479,5	2,634	2,879	2,602	2,815	87,7	0,80
359,15	4,119	837,1	241,50	393,8	476,4	2,640	2,875	2,790	3,041	82,6	0,71
361,15	4,280	812,7	261,14	397,3	476,0	2,652	2,867	3,202	3,656	77,7	0,54
363,15	4,415	783,9	284,65	403,3	472,9	2,665	2,856	3,961	4,662	69,6	0,38
365,15	4,615	747,3	314,13	409,2	469,0	2,680	2,844	5,565	6,575	59,8	0,24

Термодинамические свойства фреона-22 в однофазной области

$T = 273{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,38	0,9980	487,2	3,400	0,621	176,1	31,81	3,689
0,02	0,76	0,9959	487,0	3,333	0,623	175,9	31,80	3,716
0,03	1,15	0,9939	486,8	3,294	0,625	175,6	31,78	3,744
0,04	1,54	0,9919	486,6	3,265	0,627	175,4	31,76	3,773
0,05	1,92	0,9899	486,4	3,244	0,629	175,2	31,75	3,802
0,1	3,89	0,9796	485,4	3,174	0,638	174,0	31,68	3,949
0,2	7,94	0,9585	483,4	3,102	0,658	171,6	31,59	4,266
0,3	12,19	0,9367	481,3	3,057	0,679	169,1	31,54	4,617
0,4	16,66	0,9142	479,1	3,024	0,701	166,5	31,56	5,011
0,5	1283,25	0,0148	274,3	2,253	1,163	713,9	—0,163	2,789
0,6	1283,62	0,0178	274,3	2,253	1,163	714,6	—0,164	2,764
0,7	1284,00	0,0208	274,3	2,253	1,162	715,2	—0,165	2,759
0,8	1284,37	0,0237	274,4	2,253	1,162	715,9	—0,166	2,753
0,9	1285,75	0,0267	274,4	2,253	1,161	716,6	—0,167	2,748
1,0	1285,12	0,0296	274,4	2,253	1,161	717,2	—0,168	2,742
1,5	1286,96	0,0444	274,5	2,251	1,158	720,5	—0,173	2,716
2,0	1289,00	0,0591	274,6	2,250	1,155	723,8	—0,178	2,690
2,5	1290,58	0,0738	274,7	2,249	1,153	727,0	—0,183	2,665
3,0	1292,36	0,0884	274,7	2,248	1,151	730,3	—0,187	2,641
3,5	1294,11	0,1030	274,9	2,247	1,148	733,5	—0,192	2,617
4,0	1296,85	0,1175	275,0	2,246	1,146	736,7	—0,196	2,594
4,5	1298,55	0,1320	275,1	2,245	1,144	740,0	—0,201	2,571
5,0	1299,25	0,1465	275,2	2,244	1,142	743,1	—0,205	2,548
5,5	1300,91	0,1610	275,4	2,243	1,140	746,3	—0,209	2,526
6,0	1302,58	0,1754	275,5	2,242	1,138	749,5	—0,213	2,505
6,5	1304,20	0,1898	275,6	2,241	1,136	752,6	—0,217	2,484
7,0	1305,83	0,2041	275,7	2,240	1,134	755,8	—0,221	2,463
7,5	1307,41	0,2184	275,9	2,240	1,133	758,9	—0,225	2,443
8,0	1309,00	0,2327	276,0	2,239	1,131	762,0	—0,228	2,423
8,5	1310,55	0,2469	276,1	2,238	1,129	765,1	—0,232	2,404
9,0	1312,11	0,2612	276,2	2,238	1,128	768,2	—0,235	2,385
9,5	1313,63	0,2754	276,4	2,236	1,126	771,2	—0,239	2,366
10,0	1315,15	0,2895	276,7	2,235	1,125	774,3	—0,242	2,347
11,0	1318,12	0,3177	276,8	2,233	1,122	780,3	—0,249	2,312
12,0	1321,03	0,3458	277,1	2,231	1,120	786,3	—0,256	2,277
13,0	1325,89	0,3739	277,4	2,230	1,117	792,2	—0,262	2,243
14,0	1326,68	0,4018	277,7	2,228	1,115	798,1	—0,268	2,211
15,0	1329,42	0,4296	278,0	2,226	1,113	803,8	—0,273	2,179
16,0	1332,11	0,4575	278,3	2,225	1,111	809,6	—0,279	2,148
17,0	1334,74	0,4849	278,6	2,223	1,109	815,2	—0,284	2,119
18,0	1337,33	0,5125	278,9	2,222	1,108	820,8	—0,290	2,090
19,0	1339,87	0,5399	279,2	2,220	1,106	826,3	—0,295	2,062
20,0	1342,36	0,5672	279,6	2,219	1,105	831,8	—0,300	2,034

$T = 283{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^4$
0,01	0,37	0,9982	493,0	3,431	0,633	179,0	28,381	3,555
0,02	0,74	0,9965	492,8	3,364	0,635	178,8	28,367	3,578
0,03	1,11	0,9947	492,6	3,325	0,637	178,6	28,353	3,602
0,04	1,48	0,9929	492,5	3,296	0,639	178,4	28,340	3,626
0,05	1,85	0,9911	492,3	3,274	0,640	178,2	28,327	3,650
0,1	3,74	0,9822	491,4	3,206	0,649	177,1	28,267	3,774
0,2	7,62	0,9639	489,5	3,134	0,668	175,0	28,175	4,038
0,3	11,66	0,9450	487,6	3,090	0,687	172,7	28,122	4,328
0,4	15,88	0,9255	485,6	3,057	0,708	170,4	28,112	4,648
0,5	20,29	0,9053	483,6	3,030	0,730	167,9	28,148	5,004
0,6	24,92	0,8823	481,5	3,007	0,754	165,3	28,237	5,406
0,7	1247,8	0,0206	286,5	2,303	1,182	659,0	—0,106	2,976
0,8	1248,2	0,0235	285,5	2,303	1,181	659,7	—0,108	2,969
0,9	1248,6	0,0265	285,5	2,303	1,181	660,3	—0,110	2,962
1,0	1249,1	0,0294	285,6	2,303	1,180	660,9	—0,111	2,954
1,5	1251,2	0,0440	285,6	2,302	1,176	664,2	—0,118	2,919
2,0	1253,4	0,0586	285,7	2,300	1,173	667,3	—0,125	2,885
2,5	1255,5	0,0731	285,8	2,299	1,169	670,5	—0,131	2,851
3,0	1257,6	0,0876	285,9	2,298	1,166	673,6	—0,138	2,819
3,5	1259,6	0,1021	285,9	2,297	1,163	676,7	—0,144	2,789
4,0	1261,7	0,1165	286,0	2,297	1,159	679,7	—0,150	2,757
4,5	1263,6	0,1308	286,1	2,295	1,156	682,8	—0,156	2,728
5,0	1265,6	0,1451	286,2	2,294	1,154	685,7	—0,162	2,699
5,5	1267,6	0,1594	286,3	2,293	1,151	688,7	—0,167	2,671
6,0	1269,5	0,1736	286,4	2,292	1,148	691,7	—0,173	2,643
6,5	1271,4	0,1878	286,5	2,291	1,146	694,6	—0,178	2,616
7,0	1273,2	0,2019	286,6	2,290	1,143	697,5	—0,183	2,590
7,5	1275,1	0,2160	286,7	2,289	1,141	700,4	—0,188	2,565
8,0	1276,9	0,2301	286,8	2,288	1,139	703,2	—0,193	2,540
8,5	1278,7	0,2442	286,9	2,287	1,136	708,0	—0,198	2,515
9,0	1280,5	0,2582	287,0	2,286	1,134	708,8	—0,203	2,492
9,5	1282,3	0,2721	287,2	2,285	1,132	711,6	—0,207	2,468
0,0	1284,0	0,2861	287,3	2,284	1,130	714,4	—0,212	2,445
1,0	1287,4	0,3138	287,5	2,282	1,127	719,8	—0,221	2,401
2,0	1290,8	0,3415	287,8	2,280	1,123	725,1	—0,229	2,358
3,0	1294,0	0,3640	288,0	2,278	1,120	730,4	—0,237	2,317
4,0	1297,2	0,3964	288,3	2,276	1,117	735,5	—0,245	2,278
5,0	1300,4	0,4237	288,6	2,275	1,114	740,6	—0,253	2,240
6,0	1303,4	0,4609	288,7	2,273	1,111	745,6	—0,260	2,203
7,0	1306,4	0,4779	289,2	2,271	1,109	750,4	—0,267	2,167
8,0	1309,4	0,5049	289,5	2,270	1,107	755,3	—0,273	2,132
9,0	1312,3	0,5318	289,8	2,268	1,105	760,0	—0,280	2,099
0,0	1315,1	0,5586	290,1	2,266	1,103	764,6	—0,286	2,066

$T = 293{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^5$
0,01	0,35	0,9985	499,0	3,459	0,645	181,8	25,260	3,451
0,02	0,71	0,9969	498,9	3,391	0,647	181,7	25,250	3,451
0,03	1,07	0,9954	498,7	3,352	0,649	181,5	25,240	3,471
0,04	1,43	0,9938	498,5	3,324	0,650	181,3	25,230	3,491
0,05	1,79	0,9922	498,4	3,302	0,652	181,1	25,220	3,511
0,1	3,60	0,9844	497,6	2,233	0,660	180,1	25,176	3,615
0,2	7,33	0,9683	495,9	3,163	0,677	178,2	25,107	3,836
0,3	11,18	0,9519	494,1	3,119	0,695	176,1	25,068	4,076
0,4	15,18	0,9349	492,4	3,087	0,713	174,0	25,058	4,337
0,5	19,33	0,9174	490,6	3,061	0,733	171,8	25,081	4,624
0,6	23,67	0,8994	488,7	3,039	0,754	169,5	25,140	4,942
0,7	28,20	0,8807	486,8	4,019	0,777	167,1	25,238	5,297
0,8	32,96	0,8612	484,8	3,001	0,801	164,6	25,379	5,698
0,9	37,97	0,8409	482,7	2,984	0,828	161,9	25,572	6,155
1,0	30,90	0,1148	409,8	2,696	1,272	540,8	12,974	1,398
1,5	1213,6	0,0438	297,2	2,348	1,208	609,5	—0,041	3,206
2,0	1216,2	0,0583	297,2	2,347	1,203	612,9	—0,051	3,158
2,5	1218,7	0,0728	297,2	2,345	1,198	616,2	—0,060	3,113
3,0	1221,2	0,0872	297,3	2,344	1,193	619,4	—0,069	3,069
3,5	1223,6	0,1015	297,3	2,343	1,189	622,6	—0,077	3,026
4,0	1226,0	0,1157	297,4	2,342	1,184	625,8	—0,086	2,986
4,5	1228,4	0,1300	297,3	2,341	1,180	628,9	—0,094	2,946
5,0	1230,7	0,1441	297,5	2,339	1,176	631,9	—0,102	2,908
5,5	1233,0	0,1589	297,5	2,338	1,172	634,9	—0,109	2,871
6,0	1235,2	0,1723	297,6	2,337	1,169	637,9	—0,117	2,835
6,5	1237,5	0,1863	297,7	2,336	1,165	640,8	—0,124	2,801
7,0	1239,7	0,2003	297,8	2,335	1,162	643,7	—0,131	2,767
7,5	1241,8	0,2143	297,8	2,334	1,158	646,6	—0,138	2,734
8,0	1243,9	0,2282	297,9	2,333	1,155	649,4	—0,145	2,703
8,5	1246,0	0,2420	298,0	2,331	1,152	652,1	—0,151	2,672
9,0	1248,1	0,2558	298,1	2,330	1,149	654,8	—0,157	2,642
9,5	1250,1	0,2696	298,2	2,329	1,146	657,5	—0,163	2,612
10,0	1252,2	0,2833	298,3	2,328	1,144	660,2	—0,169	2,584
11,0	1256,1	0,3107	298,5	2,326	1,139	665,3	—0,181	2,528
12,0	1260,0	0,3379	298,7	2,324	1,134	670,4	—0,192	2,476
13,0	1263,7	0,3650	298,9	2,322	1,129	675,9	—0,202	2,426
14,0	1267,4	0,3919	299,1	2,320	1,125	680,1	—0,213	2,377
15,0	1271,0	0,4187	299,4	2,319	1,121	684,7	—0,222	2,331
16,0	1274,5	0,4454	299,6	2,317	1,118	689,2	—0,231	2,287
17,0	1278,0	0,4719	299,9	2,315	1,114	693,6	—0,240	2,244
18,0	1281,3	0,4984	300,2	2,313	1,111	697,9	—0,249	2,202
19,0	1284,6	0,5247	300,5	2,312	1,108	702,1	—0,257	2,162
20,0	1287,9	0,5509	300,8	2,309	1,105	706,2	—0,265	2,123

$T = 303{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,34	0,9986	505,3	3,483	0,657	184,7	22,468	3,315
0,02	0,69	0,9973	505,1	3,416	0,658	184,5	22,462	3,332
0,03	1,03	0,9959	505,0	3,377	0,658	184,3	22,455	3,349
0,04	1,38	0,9945	504,9	3,349	0,661	181,1	22,449	3,366
0,05	1,73	0,9931	504,7	3,327	0,663	184,0	22,443	3,383
0,1	3,48	0,9862	504,0	3,259	0,670	183,1	22,416	3,471
0,2	7,06	0,9721	502,6	3,189	0,686	181,3	22,377	3,656
0,3	10,65	0,9577	500,9	3,146	0,702	179,5	22,358	3,855
0,4	14,55	0,9429	499,3	3,114	0,718	177,6	22,361	4,070
0,5	18,49	0,9277	497,7	3,089	0,736	175,6	22,386	4,304
0,6	22,57	0,9120	496,0	3,067	0,754	173,5	22,435	4,559
0,7	26,81	0,8958	494,3	3,048	0,774	171,4	22,511	4,840
0,8	31,22	0,8791	492,5	3,031	0,795	169,2	22,616	5,150
0,9	35,83	0,8619	490,7	3,015	0,818	166,9	22,752	5,497
1,0	40,65	0,8439	488,8	3,000	0,842	164,4	22,924	5,888
1,5	1173,1	0,0439	309,3	2,392	1,256	555,6	0,064	3,612
2,0	1176,2	0,0583	309,2	2,391	1,249	559,5	0,050	3,543
2,5	1179,3	0,0727	309,2	2,389	1,241	563,3	0,037	3,478
3,0	1182,3	0,0870	309,2	2,388	1,235	570,0	0,024	3,415
3,5	1185,3	0,1013	309,2	2,386	1,228	570,6	0,012	3,356
4,0	1188,2	0,1155	309,2	2,385	1,222	574,2	0,002	3,299
4,5	1191,0	0,1296	309,2	2,384	1,216	577,6	—0,011	3,245
5,0	1193,8	0,1437	309,2	2,383	1,210	581,0	—0,022	3,193
5,5	1196,5	0,1577	309,2	2,381	1,205	584,3	—0,033	3,144
6,0	1199,2	0,1716	309,2	2,380	1,200	587,6	—0,043	3,096
6,5	1201,9	0,1855	309,3	2,378	1,195	590,7	—0,052	3,050
7,0	1204,4	0,1994	309,3	2,377	1,190	593,8	—0,062	3,006
7,5	1207,0	0,2132	309,3	2,376	1,186	596,9	—0,071	2,963
8,0	1209,5	0,2269	309,4	2,375	1,182	599,8	—0,080	2,922
8,5	1212,0	0,2406	309,4	2,374	1,177	602,7	—0,088	2,883
9,0	1214,4	0,2542	309,5	2,372	1,173	605,6	—0,097	3,844
9,5	1216,8	0,2679	309,5	2,371	1,170	608,4	—0,105	2,807
10,0	1219,1	0,2814	309,6	2,370	1,166	611,1	—0,113	2,771
11,0	1223,7	0,3084	309,7	2,368	1,159	616,4	—0,128	2,702
12,0	1228,2	0,3352	309,9	2,366	1,153	621,5	—0,142	2,636
13,0	1232,6	0,3618	310,1	2,364	1,146	626,4	—0,155	2,574
14,0	1236,8	0,3883	310,2	2,361	1,141	631,1	—0,168	2,516
15,0	1241,0	0,4147	310,4	2,359	1,136	635,6	—0,180	2,460
16,0	1245,0	0,4409	310,7	2,358	1,131	639,9	—0,192	2,406
17,0	1249,0	0,4669	310,9	3,356	1,126	644,1	—0,203	2,354
18,0	1252,8	0,4929	311,1	2,354	1,122	648,1	—0,214	2,305
19,0	1256,6	0,5187	311,4	3,352	1,118	651,9	—0,225	2,257
20,0	1260,3	0,5444	311,6	2,350	1,114	655,6	—0,235	2,211

T=313,15 К

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^4$
0,01	0,33	0,9988	511,8	3,506	0,668	187,4	19,999	3,207
0,02	0,67	0,9976	511,7	3,439	0,670	187,2	19,996	3,222
0,03	1,00	0,9964	511,5	3,400	0,671	187,1	19,993	3,236
0,04	1,34	0,9951	511,4	3,372	0,672	186,9	19,991	3,251
0,05	1,67	0,9939	511,3	3,351	0,674	186,8	19,988	3,265
0,1	3,36	0,9878	510,6	3,282	0,680	186,0	19,977	3,339
0,2	6,81	0,9753	509,2	4,212	0,694	184,3	19,965	3,495
0,3	10,35	0,9626	507,8	3,170	0,708	182,7	19,968	3,661
0,4	13,99	0,9496	506,4	3,139	0,723	180,9	19,985	3,839
0,5	17,74	0,9362	504,9	3,114	0,739	179,2	20,018	4,031
0,6	21,60	0,9225	503,4	3,093	0,755	177,3	20,068	4,238
0,7	25,59	0,9085	501,9	3,075	0,772	175,4	20,136	4,464
0,8	29,72	0,8940	500,3	3,058	0,790	173,5	20,223	4,709
0,9	34,00	0,8791	498,7	3,043	0,890	171,4	20,331	4,979
1,0	38,45	0,8637	497,0	3,029	0,829	169,3	20,460	5,277
1,5	64,06	0,7776	487,7	2,967	0,964	157,1	21,554	7,446
2,0	1132,3	0,0587	321,9	2,434	1,313	505,3	0,190	4,096
2,5	1136,2	0,0731	321,8	2,432	1,302	510,1	0,169	3,994
3,0	1140,0	0,0874	321,7	2,430	1,292	514,7	0,150	3,900
3,5	1143,7	0,1016	321,6	2,429	1,282	519,1	0,132	3,811
4,0	1147,3	0,1158	321,5	2,427	1,273	523,4	0,115	3,728
4,5	1150,8	0,1299	321,4	2,425	1,265	527,6	0,098	3,650
5,0	1154,2	0,1439	321,4	2,424	1,257	531,6	0,083	3,576
5,5	1157,5	0,1578	321,3	2,422	1,249	535,6	0,068	3,507
6,0	1160,7	0,1717	321,3	2,421	1,242	539,4	0,054	3,441
6,5	1163,9	0,1855	321,3	2,419	1,235	543,1	0,040	3,378
7,0	1167,0	0,1992	321,2	2,418	1,229	546,7	0,027	3,319
7,5	1170,1	0,2129	321,2	2,417	1,223	550,1	0,015	3,262
8,0	1173,1	0,2265	321,2	2,415	1,217	553,5	0,003	3,207
8,5	1176,0	0,2400	321,2	2,414	1,212	556,8	—0,008	3,155
9,0	1178,9	0,2535	321,2	2,413	1,206	560,0	—0,019	3,105
9,5	1181,7	0,2670	321,3	2,411	1,201	563,2	—0,030	3,057
10,0	1184,4	0,2804	321,3	2,410	1,196	566,2	—0,040	3,011
11,0	1189,8	0,3070	321,3	2,407	1,187	572,0	—0,060	2,924
12,0	1195,1	0,3335	321,4	2,405	1,179	577,5	—0,078	2,842
13,0	1200,1	0,3597	321,5	2,403	1,171	582,7	—0,095	2,766
14,0	1205,1	0,3858	321,6	2,400	1,164	587,7	—0,111	2,694
15,0	1209,8	0,4117	321,8	2,398	1,157	592,3	—0,127	2,626
16,0	1214,5	0,4375	321,9	2,396	1,151	596,7	—0,141	2,562
17,0	1219,0	0,4631	322,2	2,394	1,145	600,9	—0,155	2,501
18,0	1223,5	0,4886	322,3	2,392	1,139	604,9	—0,168	2,442
19,0	1227,8	0,5139	322,5	2,390	1,134	608,6	—0,182	2,386
20,0	1232,0	0,5391	322,7	2,388	1,129	612,1	—0,194	2,333

T=323,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,32	0,9989	518,5	3,528	0,680	190,1	17,836	3,107
0,02	0,64	0,9978	518,4	3,461	0,681	189,9	17,835	3,119
0,03	0,97	0,9967	518,3	3,422	0,682	189,8	17,835	3,131
0,04	1,29	0,9957	518,1	3,394	0,683	189,7	17,835	3,143
0,05	1,62	0,9946	518,0	3,372	0,685	189,5	17,835	3,156
0,1	3,26	0,9891	517,4	3,304	0,691	188,8	17,837	3,219
0,2	6,58	0,9780	516,2	3,235	0,703	187,3	17,848	3,350
0,3	9,99	0,9697	514,9	3,193	0,715	185,8	17,869	3,490
0,4	13,47	0,9552	513,6	3,163	0,728	184,2	17,900	3,638
0,5	17,06	0,9434	512,3	3,138	0,742	182,6	17,942	3,797
0,6	20,73	0,9314	510,9	3,117	0,756	181,0	17,996	3,967
0,7	24,51	0,0191	509,6	3,099	0,771	179,3	18,061	4,150
0,8	28,41	0,9064	508,2	3,083	0,786	177,5	18,139	4,348
0,9	32,42	0,8935	506,7	3,069	0,802	175,7	18,231	4,562
1,0	36,57	0,9902	505,2	3,055	0,820	173,8	18,337	4,795
1,5	59,81	0,8072	497,1	2,997	0,927	163,4	19,135	6,377
2,0	1082,7	0,0595	335,4	2,477	1,406	447,7	0,392	4,942
2,5	1087,9	0,0740	335,1	2,475	1,387	454,1	0,358	4,765
3,0	1092,8	0,0883	334,9	2,473	1,370	460,1	0,326	4,606
3,5	1097,6	0,1026	334,7	2,471	1,355	466,0	0,297	4,461
4,0	1102,2	0,1168	334,4	2,469	1,341	471,5	0,270	4,329
4,5	1106,6	0,1309	334,3	2,467	1,328	476,9	0,245	4,208
5,0	1110,9	0,1449	334,2	2,465	1,317	482,0	0,221	4,096
5,5	1115,0	0,1587	334,0	2,463	1,306	486,9	0,199	3,992
6,0	1119,1	0,1726	333,9	2,461	1,296	491,7	0,179	3,896
6,5	1123,0	0,1863	333,8	2,4605	1,286	496,2	0,159	3,806
7,0	1126,8	0,2000	333,7	2,458	1,277	500,6	0,141	3,722
7,5	1130,5	0,2135	333,6	2,456	1,269	504,9	0,124	3,643
8,0	1134,1	0,2270	333,6	2,455	1,261	508,9	0,107	3,568
8,5	1137,6	0,2405	333,5	2,453	1,254	512,9	0,091	3,498
9,0	1141,0	0,2539	333,4	2,452	1,247	516,7	0,076	3,431
9,5	1144,4	0,2672	333,4	2,450	1,240	520,5	0,062	3,368
10,0	1147,7	0,2804	333,4	2,447	1,234	524,0	0,049	3,308
11,0	1154,0	0,3068	333,3	2,446	1,222	530,0	0,023	3,196
12,0	1160,2	0,3329	333,3	2,443	1,212	537,2	0,039	3,093
13,0	1166,1	0,3588	333,3	2,441	1,202	543,1	0,022	2,998
14,0	1171,8	0,3845	333,4	2,438	1,193	548,6	0,043	2,910
15,0	1177,3	0,4100	333,4	2,436	1,184	553,8	0,062	2,828
16,0	1182,7	0,4354	333,5	2,433	1,176	558,6	0,080	2,751
17,0	1187,8	0,4606	333,6	2,431	1,169	563,1	0,097	2,679
18,0	1193,0	0,4856	333,7	2,427	1,162	567,3	0,113	2,610
19,0	1197,9	0,5105	333,9	2,427	1,155	471,2	0,128	2,545
20,0	1202,7	0,5352	334,0	2,424	1,149	574,8	0,143	2,483

T=333,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	α·10⁴
0,01	0,31	0,9990	525,4	3,549	0,691	192,8	15,951	3,012
0,02	0,63	0,9981	525,2	3,482	0,692	192,7	15,953	3,022
0,03	0,94	0,9971	525,1	3,442	0,693	192,5	15,955	3,033
0,04	1,25	0,9961	525,0	3,415	0,694	192,4	15,957	3,043
0,05	1,57	0,9952	524,9	3,393	0,695	192,3	15,960	3,054
0,1	3,15	0,9902	524,4	3,325	0,700	191,6	15,971	3,107
0,2	6,37	0,9803	523,2	3,256	0,711	190,2	15,999	3,219
0,3	9,65	0,9703	522,1	3,215	0,722	188,8	16,034	3,337
0,4	13,01	0,9600	520,9	3,185	0,734	187,4	16,077	3,462
0,5	16,44	0,9495	519,7	3,161	0,745	185,9	16,126	3,595
0,6	19,95	0,9389	518,5	3,140	0,758	184,4	16,183	3,736
0,7	23,55	0,9280	517,3	3,123	0,770	182,9	16,249	3,887
0,8	27,24	0,9169	516,0	3,107	0,784	181,3	16,322	4,048
0,9	31,03	0,9055	514,7	3,093	0,798	179,7	16,405	4,220
1,0	34,92	0,8939	513,4	3,080	0,812	178,0	16,497	4,406
1,5	56,34	0,8312	506,2	3,025	0,900	169,0	17,120	5,606
2,0	82,38	0,7579	497,8	2,977	1,031	158,2	18,120	7,621
2,5	1031,1	0,7569	349,6	2,519	1,519	391,6	0,656	6,085
3,0	1038,2	0,0902	349,1	2,516	1,486	400,2	0,595	5,758
3,5	1044,8	0,1046	348,7	2,513	1,459	408,3	0,542	5,479
4,0	1051,1	0,1188	348,4	2,511	1,434	415,9	0,494	5,237
4,5	1057,0	0,1329	348,0	2,508	1,413	423,1	0,451	5,024
5,0	1062,6	0,1469	347,7	2,506	1,394	429,9	0,412	4,836
5,5	1068,0	0,1608	347,4	2,504	1,377	436,4	0,377	4,667
6,0	1073,1	0,1745	347,2	2,502	1,362	442,5	0,345	4,514
6,5	1078,1	0,1882	347,0	2,500	1,348	448,4	0,315	4,376
7,0	1082,9	0,2018	346,8	2,498	1,335	454,0	0,287	4,250
7,5	1087,5	0,2153	346,6	2,496	1,324	459,4	0,262	4,133
8,0	1091,9	0,2267	346,4	2,494	1,313	464,6	0,238	4,026
8,5	1096,2	0,2420	346,3	2,492	1,303	469,5	0,216	3,927
9,0	1100,4	0,2553	346,1	2,490	1,294	474,2	0,195	3,834
9,5	1104,4	0,2685	346,0	2,489	1,285	478,8	0,175	3,748
10,0	1108,4	0,2816	345,9	2,487	1,277	483,2	0,156	3,667
11,0	1116,0	0,3077	345,7	2,484	1,262	491,4	0,122	3,519
12,0	1123,2	0,3335	345,6	2,481	1,248	499,1	0,091	3,386
13,0	1130,1	0,3591	345,5	2,478	1,236	536,1	0,063	3,267
14,0	1136,8	0,3844	345,4	2,475	1,225	512,7	0,038	3,158
15,0	1143,2	0,4096	345,4	2,472	1,215	518,7	0,014	3,059
16,0	1149,4	0,4346	345,4	2,469	1,205	524,3	—0,008	2,967
17,0	1155,3	0,4593	345,4	2,467	1,197	529,5	—0,029	2,881
18,0	1161,1	0,4839	345,5	2,464	1,188	534,2	—0,048	2,801
19,0	1166,7	0,5083	345,5	2,462	1,181	538,5	—0,067	2,726
20,0	1172,2	0,5326	345,6	2,460	1,173	542,5	—0,084	2,655

T=343,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^9$
0,01	0,30	0,9991	532,3	3,569	0,702	195,4	14,320	2,923
0,02	0,61	0,9983	532,2	3,502	0,703	195,3	14,323	2,932
0,03	0,91	0,9974	532,1	3,463	0,704	195,2	14,327	2,941
0,04	1,22	0,9965	532,0	3,435	0,705	195,0	14,330	2,950
0,05	1,52	0,9956	531,9	3,414	0,706	194,9	14,334	2,959
0,1	3,06	0,9912	531,5	3,346	0,710	194,3	14,352	3,005
0,2	6,17	0,9823	530,4	3,277	0,720	193,0	14,392	3,100
0,3	9,34	0,9733	529,4	3,236	0,730	191,7	14,437	3,201
0,4	12,58	0,9641	528,3	3,206	0,739	190,4	14,487	3,307
0,5	15,87	0,9547	527,2	3,182	0,750	199,1	14,542	3,418
0,6	19,24	0,9452	526,1	3,162	0,760	187,7	14,602	3,537
0,7	22,68	0,9336	525,0	3,145	0,771	186,4	14,667	3,662
0,8	26,19	0,9257	523,9	3,130	0,783	184,9	14,737	3,795
0,9	29,80	0,9157	522,7	3,116	0,795	183,5	14,814	3,936
1,0	33,47	0,9054	521,5	3,104	0,807	182,0	14,896	4,087
1,5	53,43	0,8509	515,1	3,051	0,879	174,0	15,408	5,024
2,0	76,82	0,7891	507,8	3,007	0,979	164,9	16,134	6,451
2,5	105,79	0,7162	499,1	2,965	1,142	154,2	17,181	8,962
3,0	970.08	0,0937	365,0	2,563	1,711	329,7	10,924	8,200
3,5	980,76	0,1082	364,1	2,559	1,641	342,0	0,966	7,446
4,0	990,33	0,1224	363,4	2,555	1,586	353,2	0,863	6,866
4,5	999,04	0,1365	362,8	2,552	1,542	363,5	0,777	6,401
5,0	1007,0	0,1505	362,2	2,548	1,506	372,9	0,702	6,020
5,5	1014,5	0,1643	361,7	2,546	1,476	381,8	0,638	5,699
6,0	1021,5	0,1780	361,3	2,543	1,450	390,1	0,582	5,425
6,5	1028,0	0,1916	360,9	2,540	1,427	397,9	0,531	5,187
7,0	1034,3	0,2051	360,5	2,538	1,408	405,3	0,486	4,978
7,5	1040,2	0,2185	360,2	2,535	1,390	412,2	0,446	4,792
8,0	1045,8	0,2318	359,9	2,533	1,374	418,9	0,409	4,626
8,5	1051,2	0,2450	359,6	2,531	1,360	425,2	0,375	4,477
9,0	1056,4	0,2582	359,4	2,529	1,347	431,2	0,344	4,341
9,5	1061,4	0,2712	359,1	2,527	1,335	436,9	0,315	4,217
10,0	1066,2	0,2842	358,9	2,525	1,324	442,4	0,289	4,103
11,0	1075,4	0,3100	358,6	2,521	1,305	452,6	0,241	3,900
12,0	1084,0	0,3355	358,3	2,518	1,288	462,0	0,199	3,725
13,0	1092,2	0,3607	358,1	2,514	1,273	470,6	0,162	3,571
14,0	1100,0	0,3857	357,9	2,511	1,259	478,6	0,129	3,434
15,0	1107,4	0,4105	357,8	2,508	1,247	485,9	0,099	3,312
16,0	1114,5	0,4351	357,6	2,505	1,236	492,5	0,071	3,201
17,0	1121,3	0,4595	357,6	2,502	1,226	498,7	0,046	3,099
18,0	1127,9	0,4837	357,5	2,500	1,217	504,3	0,023	3,006
19,0	1134,3	0,5077	357,5	2,497	1,208	509,4	0,014	2,920
20,0	1140,5	0,5315	357,5	2,494	1,199	514,0	0,019	2,839

T=353,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,30	0,9992	539,5	3,589	0,713	198,0	12,914	2,839
0,02	0,59	0,9984	539,4	3,522	0,714	197,9	12,917	2,847
0,03	0,89	0,9976	539,3	3,483	0,715	197,8	12,921	2,855
0,04	1,18	0,9968	539,2	3,455	0,716	197,7	12,926	2,863
0,05	1,48	0,9960	539,1	3,434	0,716	197,5	12,930	2,870
0,1	2,97	0,9921	538,6	3,366	0,720	197,0	12,953	2,910
0,2	5,99	0,9840	537,7	3,297	0,728	195,8	13,001	2,992
0,3	9,05	0,9759	536,7	3,257	0,737	194,6	13,052	3,078
0,4	12,17	0,9676	535,8	3,227	0,745	193,4	13,106	3,168
0,5	15,35	0,9592	534,8	3,209	0,754	192,2	13,163	3,263
0,6	18,59	0,9507	533,8	3,184	0,764	190,9	13,224	3,363
0,7	21,88	0,9420	532,8	3,167	0,773	189,7	13,288	3,468
0,8	25,24	0,9333	531,7	3,152	0,783	188,4	13,355	3,579
0,9	28,67	0,9243	530,7	3,138	0,793	187,1	13,426	3,696
1,0	32,18	0,9152	529,6	3,126	0,804	185,7	13,501	3,820
1,5	50,93	0,8673	523,9	3,075	0,864	178,7	13,938	4,568
2,0	79,33	0,8143	517,5	3,034	0,943	170,8	14,496	5,632
2,5	106,73	0,7542	510,1	2,996	1,058	162,0	15,213	7,280
3,0	129,32	0,6832	501,1	2,958	1,252	151,7	16,156	10,238
3,5	174,49	0,5907	489,0	2,914	1,717	138,8	17,460	17,649
4,0	908,81	0,1296	380,8	2,604	1,963	276,6	1,664	1,124
4,5	924,97	0,1433	379,4	2,599	1,814	293,3	1,413	9,544
5,0	938,54	0,1569	378,2	2,594	1,714	307,8	1,226	8,419
5,5	950,33	0,1704	377,2	2,590	1,642	320,6	1,081	7,608
6,0	960,83	0,1839	376,4	2,586	1,587	332,3	0,962	6,989
6,5	970,33	0,1973	375,7	2,582	1,543	343,0	0,864	6,497
7,0	979,04	0,2106	375,1	2,579	1,508	352,9	0,781	6,096
7,5	987,11	0,2238	374,5	2,576	1,478	362,1	0,709	5,761
8,0	994,63	0,2369	374,0	2,573	1,452	370,8	0,646	5,476
8,5	1001,7	0,2499	373,6	2,570	1,430	378,9	0,591	5,229
9,0	1008,3	0,2628	373,2	2,568	1,410	393,8	0,542	5,013
9,5	1014,7	0,2757	372,8	2,566	1,393	400,7	0,497	4,823
10,0	1020,7	0,2885	372,5	2,563	1,378	413,4	0,457	4,465
11,0	1032,0	0,3139	371,9	2,559	1,351	425,0	0,387	4,362
12,0	1042,4	0,3390	371,4	2,555	1,329	435,6	0,328	4,120
13,0	1052,1	0,3639	371,0	2,551	1,310	445,2	0,278	3,915
14,0	1061,2	0,3885	370,7	2,547	1,294	454,1	0,233	3,739
15,0	1069,8	0,4129	370,4	2,544	1,279	462,2	0,194	3,585
16,0	1078,0	0,4371	370,2	2,541	1,266	469,6	0,159	3,448
17,0	1085,9	0,4610	370,0	2,537	1,255	476,4	0,128	3,327
18,0	1093,3	0,4848	369,9	2,534	1,244	482,6	0,100	3,216
19,0	1100,6	0,5084	369,8	2,532	1,234	488,2	0,074	3,116
20,0	1107,5	0,5318	369,7	2,529	1,225	493,5	0,050	3,024

$T = 363{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^2$
0,01	0,29	0,9993	546,7	3,608	0,724	200,6	11,704	2,760
0,02	0,57	0,9986	546,6	3,542	0,725	200,5	11,708	2,767
0,03	0,86	0,9978	546,5	3,503	0,725	200,4	11,713	2,774
0,04	1,15	0,9971	546,4	3,475	0,726	200,3	11,718	2,781
0,05	1,44	0,9964	546,4	3,453	0,727	200,1	11,723	2,787
0,1	2,89	0,9928	545,9	3,386	0,730	199,6	11,748	2,822
0,2	5,81	0,9855	545,1	3,317	0,737	198,5	11,800	2,893
0,3	8,78	0,9781	544,2	3,277	0,744	197,4	11,853	2,967
0,4	11,80	0,9706	543,3	3,247	0,752	196,3	11,909	3,045
0,5	14,87	0,9631	542,4	3,224	0,760	195,2	11,967	3,126
0,6	17,99	0,9554	541,5	3,205	0,768	194,1	12,026	3,211
0,7	21,16	0,9476	540,6	3,188	0,776	192,9	12,088	3,300
0,8	24,38	0,9397	539,6	3,173	0,784	191,7	12,152	3,393
0,9	27,66	0,9317	538,6	3,160	0,793	190,5	12,219	3,492
1,0	31,01	0,9236	537,7	3,148	0,802	189,3	12,287	3,595
1,5	48,75	0,8812	532,5	3,099	0,853	183,0	12,667	4,204
2,0	68,58	0,8351	526,8	3,059	0,917	176,2	13,113	5,025
2,5	91,28	0,7843	520,4	3,024	1,003	168,7	13,639	5,193
3,0	118,18	0,7271	513,0	2,990	1,130	160,4	14,258	7,998
3,5	151,94	0,6597	504,0	3,955	1,347	151,0	14,986	11,20
4,0	199,64	0,5738	492,1	2,914	1,849	139,8	15,817	18,83
4,5	791,42	0,1628	402,5	2,662	3,624	194,1	37,007	31,99
5,0	836,62	0,1714	398,0	2,648	2,449	225,5	26,050	17,43
5,5	862,53	0,1826	395,4	2,640	2,078	247,8	2,062	12,93
6,0	882,63	0,1947	393,6	2,633	1,885	265,0	1,715	10,61
6,5	898,95	0,2071	392,1	2,627	1,763	281,7	1,467	9,161
7,0	912,82	0,2196	391,0	2,623	1,679	295,6	1,281	8,157
7,5	924,97	0,2322	380,1	2,618	1,616	308,1	1,132	7,413
8,0	935,82	0,2448	389,1	2,615	1,566	319,5	1,011	6,836
8,5	945,67	0,2574	388,4	2,611	1,527	330,1	0,910	6,372
9,0	954,72	0,2700	387,7	2,608	1,494	339,9	0,824	5,991
9,5	963,09	0,2825	387,1	2,605	1,467	349,0	0,750	5,670
10,0	970,91	0,2950	385,6	2,602	1,443	357,7	0,685	5,395
11,0	985,26	0,3198	385,7	2,597	1,404	373,5	0,576	4,949
12,0	908,05	0,3443	385,0	2,592	1,374	387,6	0,489	4,600
13,0	1000,7	0,3687	384,1	2,587	1,349	400,5	0,417	4,317
14,0	1020,6	0,3929	383,9	2,583	1,329	412,2	0,356	4,082
15,0	1030,7	0,4168	383,4	2,579	1,311	422,8	0,304	3,883
16,0	1040,1	0,4405	383,1	2,576	1,296	432,6	0,258	3,712
17,0	1049,1	0,4641	382,8	2,572	1,282	441,5	0,218	3,562
18,0	1057,6	0,4874	382,5	2,569	1,270	449,6	0,183	3,430
19,0	1065,7	0,5106	382,3	2,556	1,259	457,1	0,151	3,312
20,0	1073,5	0,5335	382,1	2,563	1,249	463,8	0,123	3,206

$T = 373{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,79	0,9993	554,0	3,628	0,734	203,1	10,667	2,686
0,02	0,58	0,9987	553,9	3,561	0,735	203,0	10,672	2,692
0,03	0,39	0,9980	553,9	3,522	0,736	202,9	10,677	2,698
0,04	1,12	0,9974	553,8	3,494	0,736	202,8	10,682	2,703
0,05	1,40	0,9967	553,7	3,472	0,737	202,7	10,688	2,709
0,1	2,81	0,9934	553,3	3,405	0,740	202,2	10,713	2,739
0,2	5,65	0,9868	552,5	3,337	0,746	201,2	10,766	2,802
0,3	8,53	0,9801	551,7	3,296	0,753	200,2	10,820	2,866
0,4	11,45	0,9733	550,9	3,267	0,755	199,2	10,875	2,933
0,5	14,42	0,9654	550,1	3,244	0,765	198,1	10,931	3,003
0,6	17,43	0,9595	549,2	3,225	0,772	197,1	10,989	3,076
0,7	20,48	0,9525	548,4	3,209	0,779	196,0	11,047	3,152
0,8	23,59	0,9453	547,5	3,194	0,786	195,0	11,107	3,232
0,9	26,74	0,9382	546,6	3,181	0,794	193,9	11,169	3,315
1,0	29,94	0,9307	545,7	3,169	0,802	192,8	11,231	3,402
1,5	46,81	0,8931	541,1	3,121	0,845	187,1	11,564	3,905
2,0	65,38	0,8526	535,9	3,083	0,897	181,7	11,931	4,556
2,5	86,15	0,8088	530,3	3,050	0,965	174,6	12,334	5,428
3,0	109,88	0,7609	624,0	3,019	1,057	167,7	12,772	6,654
3,5	137,89	0,7074	516,7	2,989	1,191	160,3	13,238	8,504
4,0	172,62	0,6458	508,0	2,957	1,411	152,1	13,710	11,63
4,5	219,84	0,5705	496,8	2,920	1,864	142,6	14,102	18,17
5,0	300,98	0,4630	479,5	2,868	3,496	132,0	13,941	42,00
5,5	625,52	0,2451	430,7	2,734	9,134	144,4	7,080	111,1
6,0	747,52	0,2237	417,2	2,696	3,285	184,1	3,993	28,96
6,5	793,82	0,2282	412,4	2,682	2,433	210,6	2,917	17,78
7,0	823,60	0,2369	409,5	2,672	3,088	231,6	2,320	13,37
7,5	845,96	0,2471	407,4	2,665	1,898	249,2	1,928	10,97
8,0	864,05	0,2580	405,8	2,659	1,775	264,7	1,647	9,449
8,5	879,35	0,2694	404,4	2,654	1,689	278,6	1,434	8,385
9,0	892,68	0,2810	403,3	2,650	1,624	291,1	1,265	7,596
9,5	904,53	0,2927	402,4	2,645	1,574	302,7	1,128	6,984
10,0	915,24	0,3045	401,5	2,642	1,534	313,4	1,014	6,494
11,0	934,08	0,3282	400,2	2,635	1,472	332,8	0,834	5,754
12,0	950,37	0,3519	399,0	2,629	1,428	349,9	0,698	5,218
13,0	964,83	0,3755	398,1	2,624	1,393	365,3	0,591	4,810
14,0	977,87	0,3990	397,4	2,619	1,366	379,1	0,504	4,486
15,0	989,81	0,4224	396,8	2,615	1,344	391,7	0,432	4,221
16,0	1000,8	0,4456	396,2	2,611	1,325	403,3	0,372	4,001
17,0	1011,1	0,4686	395,8	2,607	1,309	413,8	0,320	3,813
18,0	1020,8	0,4914	395,4	2,603	1,294	423,4	0,274	3,652
19,0	1030,0	0,5141	395,1	2,600	1,282	432,3	0,235	3,510
20,0	1038,7	0,5366	394,8	2,596	1,271	440,3	0,199	3,385

$T = 383{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,27	0,9994	561,5	3,647	0,745	205,6	9,782	2,615
0,02	0,54	0,9987	561,4	3,580	0,745	205,5	9,787	2,620
0,03	0,82	0,9982	561,3	3,541	0,746	205,4	9,792	2,626
0,04	1,09	0,9976	561,3	3,513	0,746	205,3	9,797	2,631
0,05	1,36	0,9970	561,2	3,492	0,747	205,2	9,802	2,636
0,1	2,73	0,9940	560,8	3,424	0,749	264,8	9,828	2,662
0,2	5,50	0,9879	560,1	3,356	0,755	203,8	9,879	2,717
0,3	8,30	0,9818	559,3	3,316	0,760	202,9	9,931	2,773
0,4	11,13	0,9756	558,6	3,287	0,766	201,9	9,984	2,832
0,5	14,00	0,9693	557,8	3,264	0,771	201,0	10,037	2,893
0,6	16,91	0,9630	557,0	3,245	0,777	200,0	10,091	2,956
0,7	19,86	0,8567	556,2	3,229	0,783	199,1	10,146	3,022
0,8	22,85	0,9502	555,4	3,215	0,789	198,1	10,201	3,090
0,9	25,89	0,9437	554,6	3,202	0,796	197,1	10,257	3,161
1,0	28,96	0,9371	553,8	3,190	0,802	196,1	10,314	3,236
1,5	45,08	0,9032	549,5	3,143	0,839	190,9	10,607	3,657
2,0	62,59	0,9673	544,9	3,107	0,883	185,6	10,913	4,184
2,5	81,84	0,8292	539,9	3,075	0,937	180,0	11,231	4,859
3,0	103,30	0,7882	534,3	3,046	1,007	174,1	11,556	5,748
3,5	127,70	0,7439	528,2	3,019	1,100	167,9	11,878	6,967
4,0	156,16	0,6953	521,2	2,991	1,233	161,3	12,178	8,731
4,5	190,67	0,6406	513,0	2,962	1,438	154,4	12,419	11,50
5,0	235,14	0,5772	503,0	2,930	1,798	147,2	12,507	16,41
5,5	299,01	0,4943	489,8	2,891	2,573	139,9	12,164	27,04
6,0	408,18	0,3990	470,4	2,836	4,454	135,7	10,457	52,23
6,5	561,85	0,3140	448,6	2,777	4,811	145,7	72,061	53,45
7,0	667,97	0,2849	436,1	2,742	3,463	166,5	49,876	32,68
7,5	726,83	0,2801	429,6	2,723	2,658	188,4	37,021	21,28
8,0	765,66	0,2836	425,6	2,711	2,247	208,2	29,154	15,70
8,5	794,04	0,2906	422,7	2,702	2,010	225,8	23,924	12,58
9,0	816,40	0,2992	420,7	2,695	1,859	241,5	20,201	10,61
9,5	834,90	0,3089	419,0	2,689	1,753	255,7	17,412	9,262
10,0	850,73	0,3191	417,6	2,684	1,676	268,8	15,240	8,281
11,0	876,99	0,3405	415,4	2,675	1,569	292,0	12,064	6,943
12,0	898,45	0,3625	413,7	2,668	1,498	312,3	0,984	6,069
13,0	916,72	0,3849	412,4	2,661	1,448	330,2	0,820	5,450
14,0	932,74	0,4074	411,3	2,656	1,410	346,4	0,692	4,986
15,0	947,05	0,4299	410,4	2,651	1,380	361,0	0,590	4,624
16,0	960,06	0,4524	409,7	2,646	1,356	374,3	0,507	4,333
17,0	972,01	0,4747	409,0	2,642	1,336	386,5	0,437	4,093
18,0	983,11	0,4970	408,5	2,637	1,319	397,9	0,378	3,891
19,0	993,50	0,5191	408,0	2,634	1,304	407,9	0,328	3,718
20,0	100,31	0,5411	407,6	2,630	1,291	417,3	0,283	3,568

T=393,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,27	0,9994	569,0	3,666	0,755	208,1	9,027	2,548
0,02	0,53	0,9989	568,9	3,599	0,755	208,0	9,032	2,553
0,03	0,79	0,9983	568,9	3,560	0,756	207,9	9,037	2,557
0,04	1,06	0,9978	568,8	3,532	0,757	207,8	9,041	2,562
0,05	1,33	0,9972	568,8	3,510	0,757	207,7	9,046	2,567
0,1	2,66	0,9945	568,4	3,443	0,759	207,3	9,070	2,590
0,2	5,35	0,9889	567,7	3,376	0,763	206,4	9,119	2,638
0,3	8,07	0,9833	567,0	3,335	0,768	205,5	9,168	2,688
0,4	10,82	0,9776	566,3	3,306	0,773	204,7	9,217	2,740
0,5	13,61	0,9719	565,6	3,284	0,778	203,8	9,267	2,793
0,6	16,43	0,9662	564,9	3,265	0,783	202,9	9,317	2,848
0,7	19,28	0,9604	564,1	3,249	0,788	202,0	9,367	2,906
0,8	22,17	0,9545	563,4	3,235	0,793	201,1	9,417	2,965
0,9	25,10	0,9486	562,6	3,222	0,799	200,2	9,468	3,026
1,0	28,06	0,9426	561,9	3,210	0,804	100,3	9,519	2,090
1,5	43,51	0,9121	557,9	3,164	0,835	194,6	9,775	3,447
2,0	60,12	0,8800	553,7	3,129	0,872	189,8	10,032	3,882
2,5	78,14	0,8464	549,2	3,098	0,917	184,9	10,288	4,418
3,0	97,87	0,8108	544,2	3,071	0,972	179,7	10,536	5,092
3,5	119,74	0,7732	538,9	3,046	1,041	174,5	10,768	5,959
4,0	144,37	0,7329	533,0	3,021	1,132	169,0	10,971	7,106
4,5	172,63	0,6895	526,4	2,996	1,256	163,5	11,125	8,681
5,0	205,95	0,6422	518,9	2,971	1,433	157,8	11,191	10,95
5,5	246,65	0,5899	510,2	2,943	1,701	152,2	11,109	14,40
6,0	298,73	0,5313	499,8	2,912	2,131	147,1	10,729	19,92
6,5	368,28	0,4670	487,3	2,876	2,783	144,0	9,801	28,08
7,0	456,24	0,4058	473,3	2,837	3,346	145,8	8,196	34,37
7,5	545,81	0,3635	460,9	2,803	3,310	153,7	6,473	32,29
8,0	619,39	0,3417	451,9	2,778	2,945	166,2	6,096	26,19
8,5	674,52	0,3333	445,6	2,760	2,561	181,2	4,066	20,41
9,0	715,54	0,3327	441,2	2,747	2,264	196,9	3,309	16,18
9,5	747,10	0,3364	437,9	2,737	2,054	212,1	2,753	13,29
10,0	772,38	0,3425	433,4	2,729	1,905	226,55	2,335	11,28
11,0	811,26	0,3587	431,8	2,717	1,713	252,75	1,760	8,767
12,0	840,72	0,3776	429,2	2,707	1,597	275,78	1,389	7,286
13,0	864,54	0,3978	427,3	2,699	1,520	296,16	1,129	6,317
14,0	884,63	0,4186	425,7	2,692	1,465	314,45	0,937	5,634
15,0	802,08	0,4399	424,5	2,686	1,424	330,98	0,790	5,126
16,0	917,67	0,4613	423,4	2,681	1,392	346,03	0,674	4,733
17,0	931,56	0,4827	422,6	2,676	1,366	359,79	0,579	4,419
18,0	944,35	0,5042	421,8	2,671	1,345	372,43	0,501	4,161
19,0	956,17	0,5257	421,2	2,667	1,327	384,05	0,435	3,947
20,0	967,18	0,5470	420,7	2,663	1,312	394,75	0,378	3,764

$T = 403{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,26	0,9995	576,7	3,685	0,765	210,5	8,384	2,484
0,02	0,52	0,9990	576,6	3,618	0,765	210,4	8,389	2,489
0,03	0,78	0,9985	576,5	3,579	0,766	210,3	8,393	2,493
0,04	1,03	0,9979	576,5	3,551	0,766	210,2	8,398	2,497
0,05	1,29	0,9975	576,4	3,530	0,766	210,2	8,402	2,501
0,1	2,59	0,9949	576,1	3,462	0,768	209,8	8,425	2,522
0,2	5,21	0,9898	575,4	3,395	0,772	204,0	8,470	2,565
0,3	7,86	0,9846	574,8	3,355	0,776	208,2	8,515	2,609
0,4	10,54	0,9794	574,1	3,326	0,780	207,3	8,560	2,655
0,5	13,24	0,9742	573,4	3,303	0,784	206,5	8,606	2,702
0,6	15,97	0,9689	572,8	3,284	0,789	205,7	8,651	2,751
0,7	18,74	0,9636	572,1	3,269	0,793	204,9	8,696	2,801
0,8	21,54	0,9583	571,4	3,254	0,797	204,1	8,741	2,853
0,9	24,36	0,9529	570,7	3,242	0,802	203,2	8,786	2,906
1,0	27,23	0,9475	570,0	3,230	0,807	202,4	8,831	2,961
1,5	42,07	0,9198	566,3	3,185	0,833	198,2	9,053	3,268
2,0	57,90	0,8910	562,4	3,150	0,864	193,8	9,269	3,631
2,5	74,90	0,8611	558,3	3,121	0,901	189,4	9,476	4,067
3,0	93,25	0,8299	553,9	3,095	0,946	184,9	9,668	4,595
3,5	113,24	0,7973	549,1	3,071	1,000	180,3	9,839	5,244
4,0	135,22	0,7631	544,0	3,049	1,067	175,7	9,981	6,053
4,5	159,65	0,7271	538,4	3,027	1,152	171,1	10,081	7,080
5,0	187,18	0,6891	532,4	3,004	1,262	166,4	10,123	8,413
5,5	218,72	0,6487	525,6	2,981	1,408	161,8	10,080	10,18
6,0	255,52	0,6058	518,1	2,957	1,604	157,6	9,910	12,55
6,5	299,22	0,5604	509,7	2,932	1,867	153,9	9,546	15,71
7,0	351,44	0,5137	500,3	2,905	2,193	151,7	8,906	19,51
7,5	411,95	0,4697	490,4	2,877	2,505	152,1	7,958	22,85
8,0	476,50	0,4331	480,8	2,850	2,666	155,7	6,837	24,02
8,5	538,35	0,4073	472,4	2,827	2,644	162,4	5,763	22,82
9,0	592,94	0,3916	465,5	2,808	2,511	171,5	4,842	20,36
9,5	638,89	0,3836	460,1	2,793	2,339	182,3	4,077	17,59
10,0	676,79	0,3812	455,9	2,780	2,169	194,2	3,453	15,05
10,5	734,13	0,3865	449,9	2,762	1,902	218,9	2,543	11,29
12,0	775,40	0,3992	445,8	2,748	1,729	242,6	1,949	8,961
13,0	807,12	0,4155	442,9	2,738	1,015	264,4	1,546	7,479
14,0	832,79	0,4357	440,7	2,730	1,536	284,2	1,260	6,477
15,0	854,38	0,4529	439,0	2,722	1,479	302,3	1,047	5,761
16,0	873,07	0,4728	437,6	2,716	1,436	318,8	0,883	5,226
17,0	889,60	0,4930	436,4	2,710	1,402	334,0	0,753	4,811
18,0	904,45	0,5134	435,5	2,705	1,375	347,9	0,648	4,480
19,0	918,98	0,5339	434,7	2,700	1,353	360,8	0,561	4,210
20,0	930,45	0,5545	433,9	2,696	1,334	372,7	0,488	3,985

$T = 413{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^8$
0,01	0,25	0,9995	584,4	3,703	0,775	212,9	7,839	2,424
0,02	0,50	0,9991	584,3	3,636	0,775	212,8	7,843	2,428
0,03	0,76	0,9986	584,3	3,598	0,775	212,7	7,847	2,431
0,04	1,01	0,9981	584,2	3,569	0,776	212,7	7,851	2,436
0,05	1,26	0,9976	584,1	3,548	0,776	212,6	7,855	2,439
0,1	2,53	0,9953	583,8	3,481	0,778	212,2	7,876	2,458
0,2	5,08	0,9906	583,2	3,414	0,781	211,5	7,917	2,496
0,3	7,66	0,9858	582,6	3,374	0,784	210,7	7,957	2,536
0,4	10,26	0,9811	582,0	3,345	0,788	210,0	7,998	2,577
0,5	12,89	0,9763	581,3	3,322	0,791	209,2	8,038	2,019
0,6	15,55	0,9714	580,7	3,304	0,795	208,5	8,078	2,662
0,7	18,23	0,9666	580,0	3,288	0,799	207,7	8,118	2,706
0,8	20,94	0,9617	579,4	3,274	0,802	207,0	8,158	2,752
0,9	23,68	0,9568	578,7	3,261	0,806	206,2	8,157	2,799
1,0	26,45	0,9516	578,0	3,250	0,810	205,4	8,236	2,848
1,5	40,75	0,9266	574,7	3,205	0,833	201,6	8,426	3,113
2,0	55,90	0,9006	571,0	3,171	0,859	197,6	8,606	3,421
2,5	72,02	0,8738	567,3	3,143	0,890	193,7	8,773	3,781
3,0	89,25	0,8462	563,2	3,118	0,926	189,7	8,922	4,205
3,5	107,76	0,8176	559,0	3,095	0,969	185,7	9,048	4,709
4,0	127,78	0,7880	554,5	3,074	1,021	181,7	9,148	5,310
4,5	149,58	0,7574	549,6	3,054	1,084	177,7	9,212	6,036
5,0	173,47	0,7256	544,5	3,034	1,161	173,7	9,239	6,920
5,5	199,91	0,6926	538,9	3,014	1,255	169,9	9,198	8,006
6,0	229,42	0,6584	532,9	2,994	1,372	166,2	9,089	9,345
6,5	262,62	0,6231	526,4	2,973	1,516	162,9	8,885	10,98
7,0	300,14	0,5871	519,4	2,952	1,689	160,3	8,553	12,92
7,5	342,35	0,5515	512,0	2,930	1,883	158,8	8,069	15,01
8,0	388,85	0,5179	504,3	2,908	2,070	159,0	7,419	16,88
8,5	438,00	0,4885	496,8	2,887	2,208	161,1	6,662	18,02
9,0	487,19	0,4650	489,7	2,867	2,272	165,2	5,879	18,17
9,5	533,98	0,4478	483,5	2,850	2,266	171,1	5,145	17,49
10,0	576,75	0,4365	478,1	2,834	2,211	178,4	4,490	16,28
11,0	648,18	0,4272	469,7	2,810	2,037	196,2	3,429	13,36
12,0	702,39	0,4301	463,8	2,792	1,861	216,6	2,638	10,77
13,0	743,86	0,4399	459,6	2,779	1,722	237,3	2,075	8,854
14,0	776,65	0,4538	459,5	2,768	1,620	257,3	1,669	7,503
15,0	803,51	0,4699	454,1	2,759	1,545	276,0	1,370	6,536
16,0	826,21	0,4875	452,2	2,752	1,488	293,4	1,144	5,824
17,0	845,87	0,5059	450,7	2,745	1,445	309,6	0,967	5,282
18,0	863,24	0,5249	449,4	2,739	1,410	324,6	0,827	4,856
19,0	878,82	0,5442	448,3	2,734	1,382	338,5	0,713	4,518
20,0	892,99	0,5638	447,4	2,727	1,360	351,4	0,619	4,239

T=423,15 K

p	t	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,24	0,9996	592,2	3,722	0,784	215,3	7,377	2,367
0,02	0,49	0,9991	592,1	3,656	0,785	215,2	7,380	2,370
0,03	0,74	0,9987	592,1	3,616	0,785	215,1	7,384	2,373
0,04	0,99	0,9983	592,0	3,588	0,786	215,1	7,388	2,377
0,05	1,23	0,9978	592,0	3,567	0,786	215,0	7,391	2,380
0,1	2,47	0,9957	591,7	3,500	0,787	214,6	7,409	2,397
0,2	4,96	0,9913	591,1	3,432	0,789	214,0	7,445	2,432
0,3	7,47	0,9869	590,5	3,392	0,792	213,3	7,481	2,468
0,4	19,01	0,9825	589,9	3,364	0,795	212,6	7,517	2,504
0,5	12,56	0,9781	589,8	3,341	0,798	211,9	7,552	2,542
0,6	15,15	0,9736	588,7	3,323	0,801	211,2	7,587	2,581
0,7	17,75	0,9692	588,1	3,307	0,804	210,5	7,622	2,620
0,8	20,38	0,9647	587,5	3,293	0,808	209,8	7,656	2,661
0,9	23,04	0,9602	586,8	3,280	0,811	209,1	7,690	2,703
1,0	25,72	0,9557	586,2	3,269	0,815	208,4	7,723	2,746
1,5	39,53	0,9327	583,0	3,225	0,834	204,9	7,884	2,977
2,0	54,07	0,9091	579,6	3,192	0,856	201,3	8,031	3,242
2,5	69,43	0,8850	576,1	3,166	0,882	197,7	8,164	3,544
3,0	85,71	0,8603	572,4	3,140	0,912	194,2	8,278	3,892
3,5	103,02	0,8349	568,6	3,118	0,947	190,6	8,370	4,293
4,0	121,52	0,8090	564,5	3,098	0,988	187,1	8,438	4,757
4,5	141,35	0,7824	560,2	3,079	1,036	183,6	8,476	5,297
5,0	162,72	0,7552	555,7	3,061	1,093	180,1	8,480	5,928
5,5	185,85	0,7273	550,9	3,042	1,160	176,8	8,444	6,667
6,0	211,01	0,6989	545,9	3,025	1,240	173,7	8,360	7,530
6,5	238,47	0,6699	540,6	3,007	1,332	170,8	8,217	8,534
7,0	268,51	0,6407	535,0	2,989	1,440	168,3	8,004	9,678
7,5	301,34	0,6117	529,1	2,971	1,561	166,4	7,707	10,93
8,0	336,94	0,5835	523,0	2,953	1,688	165,5	7,317	12,20
8,5	374,96	0,5571	516,8	2,935	1,811	165,7	6,837	13,33
9,0	414,57	0,5336	510,6	2,917	1,914	167,2	6,289	14,15
9,5	454,60	0,5136	504,8	2,901	1,984	170,1	5,711	14,53
10,0	493,79	0,4977	499,4	2,885	2,018	174,3	5,144	14,47
11,0	566,01	0,4776	490,0	2,859	1,998	185,9	4,127	13,39
12,0	627,05	0,4703	482,7	2,838	1,909	200,7	3,299	11,69
13,0	676,69	0,4722	477,3	2,821	1,798	217,7	2,645	9,970
14,0	716,77	0,4801	473,1	2,808	1,696	235,7	2,138	8,509
15,0	749,53	0,4919	469,9	2,797	1,612	253,6	1,752	7,366
16,0	776,89	0,5062	467,4	2,788	1,545	271,0	1,455	6,490
17,0	800,24	0,5221	465,4	2,780	1,492	287,0	1,224	6,817
18,0	820,56	0,5391	463,7	2,773	1,450	302,9	1,041	5,290
19,0	838,55	0,5569	462,3	2,767	1,416	317,5	0,893	4,870
20,0	854,71	0,5751	461,2	2,762	1,388	331,2	0,773	4,530

T=433,15 K

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^{1}$
0,01	0,24	0,9996	600,1	3,740	0,794	217,6	6,986	2,312
0,02	0,48	0,9992	600,0	3,674	0,794	217,6	6,989	2,315
0,03	0,72	0,9988	599,9	3,635	0,794	217,5	6,992	2,318
0,04	0,96	0,9984	599,9	3,607	0,794	217,4	6,995	2,321
0,05	1,20	0,9980	599,9	3,585	0,795	217,4	6,998	2,324
0,1	2,41	0,9960	599,9	3,518	0,796	217,1	7,014	2,340
0,2	4,84	0,9920	599,0	3,451	0,798	216,4	7,045	2,372
0,3	7,29	0,9879	598,5	3,411	0,800	215,8	7,076	2,404
0,4	9,76	0,9839	597,9	3,382	0,803	215,1	7,107	2,437
0,5	12,25	0,9798	597,3	3,360	0,805	214,5	7,137	2,472
0,6	14,77	0,9767	596,7	3,341	0,808	213,9	7,167	2,506
0,7	17,30	0,9716	596,2	3,326	0,811	213,2	7,196	2,542
0,8	19,86	0,9674	595,6	3,312	0,813	212,6	7,225	2,578
0,9	22,43	0,9330	595,0	3,300	0,816	211,9	7,254	2,615
1,0	25,04	0,9591	594,4	3,288	0,819	211,3	7,282	2,653
1,5	38,39	0,9381	591,3	3,244	0,835	208,1	7,414	2,858
2,0	52,39	0,9167	588,2	3,212	0,851	204,8	7,533	3,087
2,5	67,08	0,8948	584,9	3,185	0,876	201,6	7,635	3,344
3,0	82,55	0,8726	581,5	3,161	0,901	198,4	7,720	3,634
3,5	98,87	0,8500	577,9	3,140	0,930	195,2	7,785	3,961
4,0	116,13	0,8270	574,3	3,121	0,963	192,0	7,827	4,330
4,5	134,44	0,9036	570,4	3,103	1,002	189,0	7,845	4,747
5,0	153,93	0,7799	566,4	3,085	1,046	185,9	7,835	5,220
5,5	174,71	0,7559	562,2	3,069	1,096	183,0	7,795	6,755
6,0	196,92	0,7316	557,8	3,052	1,154	180,2	7,721	6,359
6,5	220,72	0,7071	553,3	3,036	1,220	177,7	7,609	7,037
7,0	246,34	0,6826	548,6	3,021	1,293	175,4	7,451	7,788
7,5	273,57	0,6583	543,1	3,005	1,375	173,5	7,243	8,599
8,0	302,73	0,6345	538,6	2,990	1,463	172,2	6,978	9,443
8,5	333,61	0,6118	533,5	2,974	1,553	171,7	6,655	10,266
9,0	365,93	0,5905	528,3	2,908	1,639	172,0	6,277	10,999
9,5	399,19	0,5714	523,2	2,944	1,715	173,4	5,859	11,567
10,0	432,77	0,5548	518,3	2,929	1,775	175,7	5,418	11,918
11,0	498,33	0,5300	509,3	2,904	1,840	183,2	4,551	11,942
12,0	558,18	0,5159	501,6	2,882	1,839	193,6	3,781	11,273
13,0	611,18	0,5107	495,3	2,863	1,794	206,5	3,130	10,233
14,0	856,06	0,5124	490,3	2,848	1,728	221,0	2,590	9,087
15,0	693,66	0,5191	486,3	2,835	1,657	236,7	2,149	8,015
16,0	725,76	0,5293	483,1	2,825	1,592	252,7	1,795	7,099
17,0	752,88	0,5421	480,5	2,816	1,536	268,5	1,612	6,347
18,0	776,52	0,5566	478,4	2,808	1,490	283,9	1,285	5,740
19,0	797,19	0,5723	476,7	2,801	1,451	298,6	1,101	5,248
20,0	815,57	0,5888	475,2	2,794	1,418	312,6	0,950	4,846

T=443,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,23	0,9996	608,1	3,759	0,807	219,9	6,656	2,259
0,02	0,47	0,9992	608,0	3,692	0,803	219,9	6,658	2,262
0,03	0,70	0,9989	607,9	3,653	0,803	219,8	6,661	2,265
0,04	0,94	0,9985	607,9	3,625	0,803	219,8	6,663	2,267
0,05	1,18	0,9981	607,8	3,604	0,804	219,7	6,666	2,271
0,1	2,36	0,9963	607,6	3,537	0,804	219,4	6,680	2,285
0,2	4,73	0,9925	607,0	3,469	0,806	218,8	6,706	2,314
0,3	7,12	0,9888	606,5	3,429	0,909	218,2	6,732	2,344
0,4	9,53	0,9851	605,9	3,401	0,810	217,7	6,758	2,374
0,5	11,96	0,9813	605,4	3,376	0,813	217,1	6,783	2,405
0,6	14,40	0,9775	604,8	3,360	0,815	216,5	6,808	2,437
0,7	16,87	0,9737	604,3	3,344	0,817	215,9	6,832	2,469
0,8	19,36	0,9699	603,7	3,331	0,819	215,3	6,856	2,501
0,9	21,86	0,9661	603,2	3,318	0,822	214,7	6,880	2,535
1,0	24,40	0,9623	602,6	3,307	0,824	214,1	6,902	2,570
1,5	37,33	0,9430	599,7	3,264	0,838	211,2	7,009	2,751
2,0	50,83	0,9234	596,7	3,231	0,854	208,2	7,101	2,952
2,5	64,93	0,9036	593,6	3,205	0,872	205,3	7,177	3,174
3,0	79,69	0,8835	590,5	3,182	0,893	202,4	7,237	3,419
3,5	95,16	0,8632	587,2	3,161	0,917	199,5	7,278	3,699
4,0	111,40	0,8426	583,8	3,143	0,945	196,7	7,299	3,990
4,5	128,50	0,8219	580,3	3,125	0,976	193,9	7,301	4,322
5,0	146,51	0,8009	576,7	3,109	1,010	191,2	7,279	4,688
5,5	165,51	0,7799	572,9	3,093	1,050	188,6	7,234	5,093
6,0	185,59	0,7587	569,1	3,078	1,094	186,1	7,164	5,539
6,5	206,83	0,7375	565,1	3,063	1,143	183,8	7,087	6,027
7,0	229,29	0,7165	561,0	3,049	1,197	181,7	6,939	6,555
7,5	255,02	0,6957	556,8	3,035	1,256	180,0	6,777	7,118
8,0	278,03	0,6753	552,5	3,021	1,320	178,6	6,579	7,704
8,5	304,26	0,6556	548,1	3,007	1,386	177,8	6,343	8,290
9,0	331,69	0,6370	543,7	2,994	1,452	177,7	6,068	8,848
9,5	359,78	0,6197	539,3	2,980	1,515	178,1	5,760	9,343
10,0	388,53	0,6040	535,0	2,968	1,573	179,4	5,426	9,741
11,0	446,20	0,5786	526,8	2,944	1,662	184,2	4,728	10,17
12,0	501,72	0,5613	519,1	2,922	1,708	191,8	4,057	10,10
13,0	553,01	0,5517	512,9	2,903	1,716	201,4	3,459	9,664
14,0	599,02	0,5485	507,5	2,887	1,696	212,9	2,940	8,997
15,0	639,47	0,5505	502,9	2,873	1,658	225,7	2,495	8,226
16,0	674,64	0,5566	499,2	2,861	1,611	239,4	2,119	7,453
17,0	705,15	0,5658	496,1	2,851	1,564	253,7	1,803	6,744
18,0	731,72	0,5773	493,5	2,842	1,520	268,1	1,542	6,125
19,0	755,06	0,5905	491,3	2,834	1,480	282,3	1,325	5,599
20,0	775,76	0,6265	489,5	2,827	1,446	296,1	1,146	5,157

$T = 453{,}15$ K

p	ρ	z	h	ν	c_p	w	β	$\gamma \cdot 10^5$
0,01	0,23	0,9997	616,1	3,777	0,812	222,3	6,378	2,209
0,02	0,46	0,9993	616,1	3,710	0,812	222,2	6,380	2,212
0,03	0,69	0,9990	616,0	3,671	0,812	222,2	6,382	2,214
0,04	0,92	0,9986	616,0	3,643	0,812	222,1	6,384	2,217
0,05	1,15	0,9983	615,9	3,622	0,812	222,0	6,386	2,220
0,1	2,30	0,9966	615,7	3,555	0,813	221,8	6,397	2,233
0,2	4,62	0,9931	615,2	3,487	0,815	221,2	6,419	2,260
0,3	6,96	0,9896	614,6	3,448	0,816	220,7	6,441	2,288
0,4	9,31	0,9862	614,7	3,419	0,818	229,2	6,462	2,315
0,5	11,68	0,9827	613,5	3,397	0,820	219,6	6,482	2,234
0,6	14,06	0,9792	613,0	3,378	0,822	219,1	6,502	2,373
0,7	16,47	0,9757	612,5	3,363	0,824	218,5	6,522	2,402
0,8	18,89	0,9722	611,9	3,349	0,826	218,0	6,541	2,132
0,9	21,32	0,9687	611,4	3,337	0,828	217,5	6,559	2,462
1,0	23,78	0,9652	610,9	3,326	0,830	216,9	6,577	2,493
1,5	36,34	0,9475	608,1	3,282	0,841	214,2	6,659	2,656
2,0	49,38	0,9295	605,3	3,250	0,855	211,5	6,727	2,833
2,5	62,95	0,9116	602,3	3,224	0,870	208,9	6,780	3,026
3,0	77,08	0,8932	599,4	3,202	0,888	206,2	6,817	3,236
3,5	91,82	0,9748	596,3	3,182	0,908	203,8	6,838	3,465
4,0	107,20	0,8564	593,1	3,161	0,930	201,1	6,842	3,713
4,5	123,28	0,8378	589,9	3,147	0,955	198,6	6,828	3,982
5,0	140,10	0,8191	586,6	3,131	0,984	196,1	6,797	4,275
5,5	157,70	0,8004	583,2	3,116	1,016	193,8	6,746	4,591
6,0	176,15	0,7817	579,8	3,102	1,050	191,5	6,677	4,933
6,5	195,48	0,7632	576,2	3,088	1,088	189,4	6,587	5,300
7,0	215,72	0,7447	572,6	3,075	1,130	187,5	6,476	5,690
7,5	236,90	0,7266	568,9	3,062	1,175	185,9	6,341	6,101
8,0	269,02	0,7088	565,2	3,049	1,222	184,5	6,181	6,526
8,5	282,04	0,6917	561,4	3,036	1,272	183,6	5,996	6,954
9,0	305,89	0,6753	557,5	3,025	1,323	183,1	5,783	7,372
9,5	330,44	0,6598	553,7	3,013	1,374	183,2	5,546	7,762
10,0	355,51	0,6456	549,9	3,001	1,422	183,8	5,288	8,107
11,0	406,34	0,6213	542,6	2,979	1,507	187,1	4,730	8,600
12,0	456,51	0,6033	535,7	2,959	1,569	192,6	4,165	8,791
13,0	504,41	0,5915	529,5	2,941	1,605	200,2	3,637	8,705
14,0	549,95	0,5853	524,1	2,924	1,618	209,3	3,165	8,406
15,0	589,55	0,5839	519,3	2,910	1,612	219,6	2,745	7,962
16,0	626,04	0,5866	515,2	2,897	1,591	231,1	2,376	7,434
17,0	658,55	0,5926	511,7	2,886	1,562	243,4	2,058	6,880
18,0	687,38	0,6010	508,7	2,876	1,530	256,3	1,782	6,341
19,0	712,98	0,6116	506,2	2,868	1,497	269,3	1,546	6,848
20,0	735,80	0,6238	504,1	2,861	1,465	282,4	1,345	5,406

$T = 463{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,23	0,9997	624,3	3,794	0,820	224,5	6,144	2,162
0,02	0,45	0,9994	624,2	3,728	0,821	224,5	6,146	2,164
0,03	0,67	0,9990	624,2	3,689	0,821	224,5	6,147	2,167
0,04	0,90	0,9987	624,1	3,661	0,821	224,4	6,149	2,169
0,05	1,13	0,9984	624,0	3,640	0,821	224,4	6,151	2,171
0,1	2,25	0,9968	623,8	3,573	0,822	224,1	6,159	2,184
0,2	4,52	0,9936	623,3	3,505	0,823	223,6	6,177	2,209
0,3	6,80	0,9904	622,8	3,466	0,824	223,1	6,194	2,234
0,4	9,10	0,9872	622,3	3,437	0,826	222,6	6,210	2,259
0,5	11,41	0,9840	621,8	3,415	0,827	222,1	6,226	2,286
0,6	13.74	0,9808	621,2	3,396	0,829	221,6	6,242	2,313
0,7	16,08	0,0776	620,7	3,381	0,830	221,1	6,264	2,339
0,8	18,44	0,9743	620,2	3,367	0,832	220,8	6,271	2,380
0,9	20,81	0,9711	619,7	3,350	0,834	220,1	6,285	2,395
1,0	23,20	0,9678	619,2	3,344	0,835	219,7	6,299	2,423
1,5	35,40	0,9515	616,5	3,301	0,845	217,2	6,358	2,570
2,0	48,03	0,9351	613,8	3,289	0,856	214,8	6,403	2,728
2,5	61,12	0,9186	611,0	3,243	0,869	212,3	6,435	2,897
3,0	74,69	0,9020	608,2	3,221	0,884	209,9	6,453	3,079
3,5	88,78	0,8853	605,3	3,202	0,901	207,6	6,456	3,274
4,0	103,41	0,8685	602,4	3,184	0,920	205,2	6,445	3,483
4,5	118,63	0,8518	599,4	3,168	0,941	203,0	6,419	3,706
5,0	134,46	0,8350	596,3	3,153	0,964	200,7	6,378	3,945
5,5	150,93	0,8183	593,2	3,138	0,990	198,6	6,322	4,198
6,0	168,08	0,8016	590,1	3,125	1,018	196,5	6,252	4,468
6,5	185,91	0,7851	586,9	3,112	1,048	194,6	6,186	4,753
7,0	204,47	0,7688	583,6	3,099	1,081	192,6	6,063	5,052
7,5	223,75	0,7527	580,3	3,087	1,116	191,3	5,944	5,363
8,0	243,74	0,7370	577,0	3,075	1,159	190,0	5,808	5,682
8,5	264,42	0,7219	573,6	3,064	1,191	189,0	5,653	6,004
9,0	285,73	0,7073	570,3	3,053	1,231	188,4	5,479	6,321
9,5	307,60	0,6935	566,9	3,042	1,271	188,2	5,287	6,624
10,0	329,90	0,6807	563,5	3,031	1,311	188,5	5,079	6,903
10,5	375,28	0,6582	557,0	3,011	1,386	190,7	4,627	7,352
11,0	420,62	0,6406	550,8	2,992	1,447	194,9	4,154	7,618
11,5	464,72	0,6282	545,0	2,975	1,493	200,9	3,696	7,696
12,0	506,66	0,6205	539,8	2,959	1,523	208,4	3,273	7,612
12,5	545,88	0,6170	535,0	2,945	1,538	217,0	2,892	7,400
13,0	582,06	0,6173	530,7	2,932	1,539	226,6	2,551	7,094
13,5	615,10	0,6206	527,2	2,920	1,530	237,1	2,247	6,726
14,0	645,07	0,6266	524,0	2,910	1,514	248,2	1,977	6,326
14,5	672,13	0,6348	521,2	2,900	1,492	259,9	1,737	5,922
15,0	696,55	0,6562	518,8	2,892	1,469	271,8	1,528	5,534

$T = 473{,}15$ K

p	φ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^6$
0,01	0,22	0,9997	632,5	3,812	0,829	226,8	5,948	2,116
0,02	0,44	0,9994	632,4	3,746	0,829	226,8	5,949	2,118
0,03	0,66	0,9991	632,4	3,707	0,829	226,7	5,950	2,120
0,04	0,88	0,9988	632,3	3,679	0,829	226,7	5,952	2,123
0,05	1,10	0,9985	632,3	3,658	0,829	226,6	5,953	2,125
0,1	2,21	0,9970	632,0	3,591	0,830	226,4	5,959	2,137
0,2	4,42	0,9941	631,5	3,523	0,831	226,0	5,972	2,160
0,3	6,65	0,9911	631,0	3,483	0,832	225,5	5,985	2,184
0,4	8,90	0,9882	630,6	3,455	0,833	225,1	5,997	2,207
0,5	11,16	0,9852	630,1	3,433	0,834	224,6	6,009	2,223
0,6	13,43	0,9822	629,5	3,415	0,836	224,2	6,020	2,256
0,7	15,71	0,9793	629,0	3,399	0,837	223,7	6,031	2,281
0,8	18,01	0,9763	628,5	3,385	0,838	223,3	6,041	2,306
0,9	20,33	0,9733	628,0	3,373	0,840	222,8	6,051	2,332
1,0	22,65	0,9703	627,5	3,362	0,841	222,4	6,060	2,358
1,5	34,52	0,9559	625,0	3,319	0,849	220,1	6,098	2,491
2,0	46,76	0,9402	622,3	3,288	0,859	217,9	6,124	2,633
2,5	59,40	0,9251	619,7	3,262	0,870	215,7	6,137	2,784
3,0	72,48	0,9099	617,0	3,240	0,882	213,5	6,138	2,943
3,5	85,99	0,8947	614,3	3,221	0,897	211,4	6,125	3,112
4,0	99,98	0,8797	611,5	3,204	0,912	209,2	6,100	3,289
4,5	114,45	0,8642	608,7	3,188	0,930	207,1	6,063	3,477
5,0	129,44	0,8490	605,9	3,173	0,949	205,1	6,014	3,675
5,5	144,96	0,8339	603,0	3,160	0,970	203,1	5,952	3,882
6,0	161,04	0,8190	600,1	3,146	0,993	201,2	5,879	4,100
6,5	177,68	0,8041	697,2	3,134	1,017	199,4	5,794	4,327
7,0	194,89	0,7895	594,2	3,122	1,044	197,8	5,697	4,563
7,5	212,68	0,7751	591,2	3,111	1,072	196,3	5,588	4,805
8,0	231,03	0,7611	588,2	3,099	1,101	195,0	5,465	5,052
8,5	249,93	0,7476	585,2	3,089	1,132	194,0	5,330	5,300
9,0	269,32	0,7345	582,2	3,078	1,164	193,4	5,181	5,545
9,5	289,15	0,7222	579,2	3,068	1,196	193,0	5,020	5,781
10,0	309,35	0,7105	576,2	3,058	1,228	193,1	4,845	6,003
11,0	350,45	0,6899	570,3	3,039	1,290	194,6	4,467	6,383
12,0	391,73	0,6733	564,7	3,022	1,347	197,9	4,067	6,648
13,0	432,30	0,6610	559,4	3,006	1,393	202,8	3,671	6,787
14,0	471,43	0,6528	554,4	2,990	1,430	209,1	3,297	6,810
15,0	508,52	0,6483	550,0	2,976	1,455	216,4	2,954	6,734
16,0	543,55	0,6470	545,9	2,964	1,470	224,7	2,644	6,580
17,0	676,06	0,6487	542,2	2,952	1,477	233,7	2,361	6,369
18,0	606,12	0,6528	538,9	2,942	1,475	253,6	2,111	6,101
19,0	633,74	0,6590	536,0	2,932	1,487	264,2	1,882	5,811
20,0	659,04	0,6671	533,4	2,923	1,454	275,2	1,676	5,508

Переносные свойства фреона-22 на линиях кипения и конденсации

T	p	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10$	$\lambda'' \cdot 10^6$	$a' \cdot 10^4$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
233,15	0,1054	338,7	10,19	0,2392	2,0839	115,0	6,66	0,0722	2,3181	3,311	0,887
235,15	0,1155	328,1	10,28	0,2327	1,9287	114,1	6,80	0,0715	2,1770	3,253	0,887
237,15	0,1264	318,6	10,37	0,2270	1,7910	113,1	6,94	0,0709	2,0179	3,200	0,887
238,15	0,1321	314,2	10,42	0,2244	1,7251	112,6	7,01	0,0706	1,9538	3,178	0,884
239,15	0,1380	309,8	10,47	0,2217	1,6645	112,2	7,08	0,0703	1,8887	3,151	0,881
241,15	0,1505	301,9	10,56	0,2171	1,5461	111,2	7,23	0,0698	1,7584	3,106	0,879
243,15	0,1639	294,5	10,66	0,2127	1,4406	110,2	7,37	0,0694	1,6380	3,061	0,879
245,15	0,1782	287,1	10,75	0,2084	1,3438	109,3	7,52	0,0690	1,5285	3,018	0,879
247,15	0,1931	280,2	10,85	0,2043	1,2558	108,3	7,67	0,0686	1,4295	2,976	0,879
248,15	0,2014	276,8	10,90	0,2023	1,2138	107,9	7,74	0,0684	1,3791	2,955	0,879
249,15	0,2097	273,4	10,95	0,2003	1,1736	107,4	7,82	0,0682	1,3347	2,933	0,879
251,15	0,2269	266,9	11,04	0,1965	1,0985	106,4	7,97	0,0679	1,2489	2,892	0,879
253,15	0,2453	260,4	11,15	0,1927	1,0305	105,5	8,12	0,0676	1,1689	2,849	0,881
255,15	0,2647	254,3	11,24	0,1891	0,9665	104,5	8,28	0,0673	1,0970	2,808	0,882
257,15	0,2854	248,3	11,34	0,1856	0,9079	103,6	8,43	0,0671	1,0273	2,766	0,883
258,15	0,2961	245,3	11,39	0,1838	0,8809	103,1	8,51	0,0669	0,9958	2,746	0,884
259,15	0,3072	242,5	11,45	0,1822	0,8551	102,7	8,59	0,0667	0,9648	2,725	0,886
261,15	0,3303	236,8	11,55	0,1788	0,8049	101,7	8,75	0,0665	0,9061	2,686	0,888
263,15	0,3548	231,4	11,66	0,1755	0,7591	100,8	8,91	0,0662	0,8518	2,649	0,891
265,15	0,3805	226,2	11,76	0,1726	0,7158	99,9	9,07	0,0659	0,8012	2,618	0,893
267,15	0,4077	221,3	11,87	0,1697	0,6764	98,9	9,24	0,0655	0,7543	2,589	0,896
268,15	0,4218	218,9	11,93	0,1683	0,6580	98,4	9,32	0,0653	0,7322	2,577	0,898
269,15	0,4363	216,5	11,98	0,1669	0,6396	97,9	9,41	0,0651	0,7106	2,564	0,900
271,15	0,4664	212,0	12,08	0,1643	0,6049	96,8	9,58	0,0646	0,6700	2,543	0,903
273,15	0,4981	208,0	12,21	0,1621	0,5738	95,7	9,75	0,0641	0,6320	2,528	0,907
275,15	0,5313	204,0	12,32	0,1599	0,5439	94,7	9,93	0,0636	0,5969	2,511	0,911

Продолжение табл. 39

T	p	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^6$	$\lambda'' \cdot 10^6$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
277,15	0,5662	200,0	12,43	0,1576	0,5158	93,8	10,10	0,0632	0,5631	2,493	0,915
278,15	0,5842	198,2	12,48	0,1566	0,5024	93,4	10,19	0,0630	0,5476	2,485	0,917
279,15	0,6027	196,0	12,54	0,1553	0,4897	93,0	10,28	0,0628	0,5323	2,475	0,919
281,15	0,6410	192,1	12,65	0,1534	0,4651	92,1	10,46	0,0623	0,5032	2,460	0,924
283,15	0,6811	188,4	12,74	0,1510	0,4420	91,2	10,65	0,0618	0,4762	2,442	0,928
285,15	0,7231	184,6	12,88	0,1488	0,4206	90,4	10,83	0,0613	0,4503	2,430	0,934
287,15	0,7669	180,9	13,00	0,1467	0,4006	89,5	11,02	0,0608	0,4264	2,416	0,939
288,15	0,7895	179,0	13,06	0,1456	0,3910	89,1	11,12	0,0605	0,4151	2,405	0,942
289,15	0,8127	177,2	13,12	0,1446	0,3816	88,7	11,21	0,0602	0,4037	2,397	0,946
291,15	0,8604	173,6	13,24	0,1425	0,3638	87,8	11,41	0,0596	0,3827	2,389	0,951
293,15	0,9103	170,0	13,37	0,1404	0,3473	86,6	11,61	0,0589	0,3628	2,380	0,957
295,15	0,9622	166,4	13,49	0,1383	0,3315	85,7	11,81	0,0582	0,3440	2,370	0,963
297,15	1,0163	162,8	13,63	0,1362	0,3168	84,9	12,02	0,0577	0,3263	2,361	0,970
298,15	1,0441	161,0	13,69	0,1352	0,3095	84,5	12,12	0,0574	0,3177	2,355	0,974
299,15	1,0726	159,2	13,76	0,1341	0,3028	84,1	12,23	0,0570	0,3096	2,349	0,977
301,15	1,1311	155,6	13,90	0,1320	0,2896	83,3	12,44	0,0564	0,2936	2,337	0,986
303,15	1,1920	152,0	14,04	0,1298	0,2771	82,4	12,66	0,0558	0,2787	2,326	0,994
305,15	1,2553	148,4	14,19	0,1276	0,2655	81,7	12,88	0,0552	0,2644	2,312	1,004
307,15	1,3210	144,9	14,34	0,1255	0,2543	80,9	13,11	0,0545	0,2509	2,302	1,014
308,15	1,3548	143,1	14,42	0,1244	0,2491	80,4	13,22	0,0541	0,2444	2,294	1,019
309,15	1,3892	141,3	14,50	0,1233	0,2439	80,0	13,34	0,0538	0,2381	2,286	1,024
311,15	1,4600	137,7	14,66	0,1211	0,2340	79,2	13,58	0,0531	0,2260	2,279	1,035
313,15	1,5335	134,2	14,83	0,1189	0,2280	78,4	13,82	0,0524	0,2176	2,271	1,048
315,15	1,6096	130,7	15,00	0,1167	0,2155	77,3	14,07	0,0515	0,2032	2,264	1,061
317,15	1,6885	127,4	15,18	0,1147	0,2070	76,5	14,32	0,0508	0,1924	2,257	1,075
318,15	1,7290	125,8	15,28	0,1137	0,2030	76,1	14,45	0,0504	0,1867	2,253	1,084
319,15	1,7702	124,2	15,37	0,1128	0,1990	75,7	14,58	0,0501	0,1822	2,249	1,092
321,15	1,8548	121,2	15,57	0,1111	0,1914	75,0	14,85	0,0494	0.1725	2,245	1,109

Продолжение табл. 39

T	p	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^6$	$\lambda'' \cdot 10^6$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
323,15	1,9424	118,4	15,78	0,1094	0,1841	71,2	15,13	0,0487	0,1632	2,247	1,128
325,15	2,033	115,8	16,00	0,1080	0,1772	71,5	15,42	0,0480	0,1542	2,250	1,150
327,15	2,127	113,5	16,22	0,1069	0,1706	72,7	15,71	0,0472	0,1454	2,262	1,173
328,15	2,175	112,4	16,34	0,1063	0,1674	72,3	15,86	0,0468	0,1412	2,271	1,186
329,15	2,224	111,3	16,46	0,1058	0,1643	71,9	16,01	0,0464	0,1370	2,279	1,199
331,15	2,321	109,2	16,72	0,1049	0,1583	71,1	16,33	0,0456	0,1290	2,299	1,228
333,15	2,127	107,2	16,99	0,1041	0,1525	70,3	16,66	0,0447	0,1210	2,324	1,262
335,15	2,534	105,0	17,28	0,1031	0,1472	69,4	17,00	0,0438	0,1133	2,351	1,299
337,15	2,645	102,7	17,58	0,1020	0,1421	68,5	17,35	0,0428	0,1059	2,377	1,342
338,15	2,701	101,4	17,74	0,1013	0,1394	68,0	17,53	0,0423	0,1021	2,393	1,366
339,15	2,759	100,1	17,90	0,1006	0,1369	67,6	17,72	0,0418	0,0985	2,403	1,390
341,15	2,877	97,4	18,25	0,0991	0,1322	66,7	18,11	0,0407	0,0913	2,431	1,447
343,15	2,998	94,7	18,63	0,0976	0,1276	65,8	18,52	0,0396	0,0843	2,464	1,514
345,15	3,124	92,1	19,04	0,0963	0,1233	64,9	18,95	0,0384	0,0774	2,506	1,592
347,15	3,253	89,4	19,48	0,0948	0,1190	63,9	19,41	0,0370	0,0706	2,560	1,686
348,15	3,319	88,0	19,71	0,0941	0,1169	63,4	19,65	0,0363	0,0673	2,590	1,739
349,15	3,387	86,6	19,96	0,0933	0,1150	62,9	19,89	0,0355	0,0639	2,625	1,800
351,15	3,524	83,8	20,50	0,0918	0,1111	62,0	20,4	0,0339	0,0572	2,703	1,941
353,15	3,666	80,9	21,10	0,0903	0,1074	61,0	21,0	0,0321	0,0508	2,812	2,116
355,15	3,813	77,9	21,70	0,0887	0,1035	59,6	21,6	0,0299	0,0442	2,964	2,341
357,15	3,961	74,7	22,40	0,0870	0,0997	58,3	22,3	0,0271	0,0378	3,167	2,639
358,15	4,041	73,1	22,80	0,0862	0,0983	57,6	22,7	0,0261	0,0347	3,302	2,827
359,15	4,119	71,4	23,20	0,0853	0,0961	57,0	23,1	0,0241	0,0315	3,495	3,054
361,15	4,280	67,7	24,20	0,0833	0,0927	55,3	24,0	0,0212	0,0251	3,920	3,686
363,15	4,445	63,6	25,40	0,0811	0,0892	53,3	25,0	0,0171	0,0188	4,726	4,737
365,15	4,615	58,8	26,80	0,0787	0,0853	51,0	26,3	0,0122	0,0127	6,416	6,700

Переносные свойства фреона-22 в однофазной области

p	T=273,15 K				T=283,15 K			
	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr
0,1	11,9	9,1	3,6890	0,830	12,3	9,8	4,0290	0,818
0,5	208,0	95,8	0,0642	2,525	12,6	10,3	0,6954	0,893
1,0	210,0	96,2	0,0645	2,531	189,2	91,5	0,0621	2,440
2,0	212,0	97,0	0,0651	2,521	191,6	92,3	0,0628	2,435
3,0	214,0	97,8	0,0658	2,518	194,0	93,2	0,0635	2,427
4,0	217,0	98,6	0,0664	2,522	196,4	94,1	0,0643	2,419
5,0	219,0	99,4	0,0670	2,524	198,7	95,0	0,0650	2,414
6,0	222,0	100,2	0,0676	2,526	201,0	95,8	0,0657	2,409
8,0	226,0	101,7	0,0687	2,526	206,0	97,4	0,0670	2,409
10,0	231,0	102,9	0,0696	2,526	210,0	98,7	0,0680	2,404
12,0	235,0	104,0	0,0703	2,531	214,0	99,9	0,0689	2,406
14,0	240,0	104,8	0,0708	2,553	218,0	100,7	0,0695	2,418
16,0	244,0	105,4	0,0712	2,572	223,0	101,4	0,0700	2,443
18,0	249,0	105,8	0,0714	2,608	227,0	101,9	0,0703	2,466
20,0	253,0	106,3	0,0717	2,630	231,0	102,3	0,0705	2,491

Продолжение табл. 40

p	T=293,15 K				T=303,15 K			
	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr
0,1	12,7	10,4	4,3760	0,807	13,1	11,0	4,736	0,797
0,5	12,0	10,9	0,773	0,804	13,4	11,5	0,847	0,854
1,0	179,2	86,8	2,298	2,494	13,8	12,3	0,369	0,945
2,0	172,7	87,7	0,0599	2,369	154,4	83,2	0,0566	2,818
3,0	175,2	88,6	0,0608	2,359	157,2	84,3	0,0627	2,303
4,0	180,0	90,6	0,0624	2,352	159,8	85,3	0,0588	2,289
5,0	182,4	91,5	0,0635	2,349	162,4	86,3	0,0597	2,278
6,0	185,0	93,2	0,0646	2,346	164,9	87,3	0,0607	2,267
8,0	187,0	93,2	0,0656	2,337	169,7	89,2	0,0624	2,249
10,0	191,4	93,7	0,0661	2,327	174,3	90,8	0,0639	2,238
12,0	195,8	95,9	0,0671	2,315	178,7	92,1	0,0650	2,230
14,0	200,0	96,9	0,0680	2,322	183,0	93,2	0,0660	2,249
16,0	204,0	97,7	0,0685	2,334	187,1	94,0	0,0668	2,251
18,0	208,0	98,2	0,0690	2,353	191,2	94,7	0,0674	2,265
20,0	212,0	98,7	0,0693	2,373	195,2	95,3	0,0679	2,292

Продолжение табл. 40

	$T=313{,}15$ K				$T=323{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	13,5	11,67	5,101	0,789	13,9	12,3	5,4686	0,784
0,5	13,8	12,16	0,927	0,839	14,2	12,8	1,009	0,824
1,0	14,2	12,86	0,404	0,914	14,5	13,4	0,448	0,888
2,0	135,8	78,8	0,0530	2,263	118,6	74,4	0,0488	2,241
3,0	139,1	79,9	0,0542	2,249	122,2	75,6	0,0505	2,214
4,0	142,2	81,0	0,0555	2,235	125,6	76,8	0,0520	2,193
5,0	145,1	82,2	0,0566	2,221	128,8	78,0	0,0533	2,175
6,0	147,9	83,2	0,0577	2,208	131,8	79,2	0,0546	2,158
8,0	153,1	85,2	0,0597	2,187	137,4	81,4	0,0569	2,129
10,0	158,0	87,0	0,0614	2,172	142,6	83,2	0,0587	2,115
12,0	162,7	88,4	0,0627	2,170	147,5	84,9	0,0604	2,106
14,0	167,1	89,6	0,0639	2,171	152,1	86,2	0,0616	2,105
16,0	171,4	90,6	0,0648	2,177	156,6	87,3	0,0627	2,109
18,0	175,5	91,4	0,0656	2,187	160,8	88,2	0,0636	2,118
20,0	179,5	92,0	0,0661	2,203	164,9	88,9	0,0643	2,131

Продолжение табл. 40

	$T=333{,}15$ K				$T=343{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	14,3	12,93	5,8570	0,776	14,7	13,56	6,2450	0,772
0,5	14,6	13,38	1,0920	0,811	15,0	13,99	1,1750	0,802
1,0	14,9	14,01	0,4941	0,864	15,3	14,59	0,5402	0,845
2,0	16,1	15,64	0,1841	1,060	16,3	16,08	0,2138	0,993
3,0	109,3	71,2	0,0462	2,281	94,7	66,6	0,0401	2,433
4,0	112,5	72,6	0,0482	2,222	99,1	68,0	0,0433	2,311
5,0	115,5	73,8	0,0498	2,182	102,1	69,4	0,0458	2,216
6,0	118,4	75,1	0,0514	2,147	106,4	70,7	0,0477	2,182
8,0	123,9	77,4	0,0540	2,102	112,8	73,2	0,0509	2,117
10,0	129,0	79,5	0,0562	2,072	118,3	75,3	0,0533	2,080
12,0	133,9	81,2	0,0579	2,057	122,8	77,3	0,0554	2,046
14,0	138,5	82,7	0,0594	2,052	127,1	78,9	0,0570	2,028
16,0	142,9	83,9	0,0606	2,052	131,3	80,3	0,0583	2,021
18,0	147,2	84,9	0,0615	2,060	135,4	81,4	0,0593	2,024
20,0	151,4	85,8	0,0624	2,084	139,3	82,3	0,0602	2,029

Продолжение табл. 40

	T=353,15 K				T=363,15 K			
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr
0,1	15,1	14,19	6,6380	0,767	15,5	14,82	7,037	0,764
0,5	14,3	14,61	1,2620	0,740	15,7	15,23	1,348	0,784
1,0	15,6	15,18	0,5867	0,828	16,0	15,78	0,634	0,813
2,0	16,3	16,56	0,2214	0,944	16,9	17,06	0,271	0,906
3,0	18,4	18,54	0,1145	1,242	18,4	18,78	0,141	1,107
4,0	82,2	61,0	0,0342	2,677	21,6	21,7	0,0588	1,838
5,0	88,8	63,5	0,0395	2,397	71,3	55,9	0,0473	2,168
6,0	93,2	65,4	0,0439	2,262	79,0	59,6	0,0358	2,499
8,0	100,4	68,3	0,0473	2,134	88,6	63,9	0,0436	2,171
10,0	106,6	70,6	0,0502	2,081	95,7	66,9	0,0477	2,064
12,0	112,3	72,6	0,0524	2,056	101,6	69,4	0,0506	2,012
14,0	117,2	74,3	0,0541	2,041	107,0	71,2	0,0525	1,997
16,0	122,0	75,9	0,0556	2,035	112,1	73,0	0,0542	1,990
18,0	126,2	77,4	0,0569	2,028	117,0	74,6	0,0555	1,992
20,0	130,4	78,7	0,0580	2,030	121,5	76,1	0,0568	1,994

Продолжение табл. 40

	T=373,15 K				T=383,15 K			
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr
0,1	15,9	15,4	7,4410	0,761	16,3	16,08	7,8610	0,758
0,5	16,1	15,8	1,4360	0,777	16,5	16,46	1,5250	0,771
1,0	16,4	16,4	0,6817	0,801	16,7	16,97	0,7306	0,790
2,0	17,2	17,6	0,2998	0,876	17,5	18,12	0,3279	0,851
3,0	18,5	19,1	0,1647	1,022	18,6	19,53	0,1877	0,962
4,0	20,8	21,4	0,0879	1,371	20,6	21,4	0,1111	1,187
5,0	26,5	26,3	0,0541	2,619	23,9	24,3	0,0575	1,768
6,0	59,1	50,2	0,0204	3,867	32,1	31,6	0,0174	4,524
8,0	76,2	58,7	0,0383	2,304	61,9	52,1	0,0303	2,670
10,0	85,2	62,8	0,0447	2,081	74,4	58,4	0,0410	2,135
12,0	91,9	65,8	0,0485	1,994	82,5	62,1	0,0461	1,990
14,0	97,5	68,1	0,0510	1,956	88,8	64,9	0,0493	1,929
16,0	102,6	70,1	0,0528	1,939	94,2	67,2	0,0516	1,901
18,0	107,4	71,9	0,0544	1,933	99,0	69,2	0,0534	1,887
20,0	112,1	73,5	0,0558	1,938	103,6	71,0	0,0548	1,884

Продолжение табл. 40

	$T=393{,}15$ K				$T=403{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	16,6	16,71	8,2730	0,756	17,0	17,34	8,7040	0,753
0,5	16,8	17,08	1,6130	0,767	17,2	17,70	1,7050	0,761
1,0	17,1	17,57	0,7788	0,781	17,4	18,18	0,8273	0,774
2,0	17,8	18,67	0,3561	0,823	18,1	19,23	0,3844	0,813
3,0	18,8	19,97	0,2099	0,917	19,1	20,4	0,2313	0,884
4,0	20,5	21,6	0,1321	1,074	20,5	21,9	0,1518	0,999
5,0	23,0	23,8	0,0807	1,385	22,6	23,8	0,1007	1,198
6,0	27,2	27,5	0,0432	2,108	25,6	26,4	0,0644	1,555
8,0	46,2	43,3	0,0237	3,142	36,5	36,1	0,0284	2,696
10,0	63,1	53,2	0,0361	2,260	52,0	47,4	0,0352	2,360
12,0	73,2	58,2	0,0433	2,009	63,9	54,0	0,0403	2,046
15,0	80,5	61,6	0,0475	1,914	72,3	58,3	0,0456	1,905
18,0	86,4	64,3	0,0503	1,870	78,9	61,4	0,0490	1,845
21,0	91,4	66,5	0,0524	1,849	84,3	63,9	0,0514	1,814
24,0	96,0	68,5	0,0540	1,839	89,1	66,0	0,0532	1,801

Продолжение табл. 40

	$T=413{,}15$ K				$T=423{,}15$ K			
	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
	17,4	17,97	9,1290	0,752	17,7	18,6	9,5720	0,751
	17,5	18,32	1,7970	0,758	17,9	18,9	1,8860	0,756
	17,8	18,78	0,8766	0,767	18,1	19,4	0,9250	0,762
	18,4	19,79	0,4121	0,799	18,7	20,4	0,4408	0,785
	19,3	20,9	0,2529	0,856	19,6	21,4	0,2738	0,834
	20,6	22,3	0,1709	0,943	20,7	22,7	0,1891	0,901
	22,4	23,9	0,1186	1,088	22,3	24,2	0,1361	1,007
	24,7	26,0	0,0766	1,303	24,3	26,0	0,0994	1,159
	32,2	32,6	0,0405	2,045	30,1	30,9	0,0543	1,644
	43,4	42,0	0,0329	2,285	38,2	38,2	0,0383	2,018
	55,2	49,7	0,0380	2,067	47,9	45,6	0,0381	2,005
	64,5	54,8	0,0436	1,907	57,2	51,3	0,0422	1,891
	71,7	58,4	0,0475	1,827	64,9	55,4	0,0461	1,810
	77,6	61,2	0,0503	1,788	71,2	58,6	0,0492	1,762
	82,7	63,6	0,0524	1,768	76,6	61,2	0,0516	1,737

Продолжение табл. 40

	T=433,15 K				T=443,15 K			
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr
0,1	18,1	19,2	10,0200	0,749	18,4	19,9	10,4800	0,747
0,5	18,3	19,6	1,9850	0,751	18,6	20,2	2,0770	0,749
1,0	18,5	20,0	0,9752	0,756	18,8	20,6	1,0250	0,753
2,0	19,0	20,9	0,4671	0,778	19,4	21,5	0,4953	0,769
3,0	19,8	22,0	0,2958	0,812	20,1	22,5	0,3162	0,798
4,0	20,9	23,1	0,2066	0,871	21,1	23,6	0,2242	0,845
5,0	22,3	24,5	0,1522	0,952	22,4	24,8	0,1676	0,912
6,0	24,0	26,0	0,1144	1,065	23,9	26,3	0,1293	0,994
8,0	28,8	30,2	0,0682	1,395	28,0	29,8	0,0812	1,240
10,0	35,2	35,9	0,0467	1,740	33,2	34,4	0,0563	1,518
12,0	42,8	42,3	0,0412	1,861	39,4	39,9	0,0466	1,687
14,0	51,0	48,0	0,0423	1,836	46,3	45,2	0,0445	1,737
16,0	58,6	52,6	0,0455	1,774	53,2	49,8	0,0458	1,721
18,0	65,2	56,0	0,0484	1,735	59,7	53,6	0,0482	1,693
20,0	70,8	58,9	0,0509	1,704	65,4	56,6	0,0504	1,671

Продолжение табл. 40

	T=453,15 K				T=463,15 K			
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr
0,1	18,8	20,5	10,9400	0,746	19,1	21,1	11,5500	0,746
0,5	19,0	20,8	2,1720	0,747	19,3	21,4	2,2680	0,746
1,0	19,2	21,2	1,0710	0,750	19,5	21,8	1,1250	0,747
2,0	19,7	22,1	0,5234	0,761	20,0	22,7	0,5521	0,754
3,0	20,4	23,0	0,3360	0,788	20,7	23,6	0,3574	0,775
4,0	21,3	24,1	0,2417	0,822	21,5	24,6	0,2586	0,804
5,0	22,5	25,3	0,1835	0,875	22,6	25,7	0,1982	0,848
6,0	23,9	26,6	0,1438	0,943	23,9	26,9	0,1572	0,904
8,0	27,5	29,7	0,0938	1,131	27,2	29,7	0,1057	1,056
10,0	32,0	33,6	0,0665	1,354	31,2	33,2	0,0768	1,232
12,0	37,2	38,3	0,0535	1,524	35,6	37,2	0,0611	1,385
14,0	42,8	43,0	0,0484	1,610	40,4	41,4	0,0536	1,486
16,0	48,9	47,4	0,0476	1,641	45,6	45,5	0,0508	1,542
18,0	54,9	51,3	0,0488	1,637	51,0	49,2	0,0504	1,569
20,0	60,6	54,5	0,0506	1,629	56,3	52,5	0,0513	1,575

Продолжение табл. 40

	T=473,15 K								Pr
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	
0,1	19,5	21,8	11,9100	0,742	8,0	26,9	29,9	0,1176	0,7
0,5	19,6	22,1	2,3740	0,741	10,0	30,5	33,0	0,0869	1,0
1,0	19,8	22,4	1,1760	0,744	12,0	34,5	36,5	0,0692	1,2
2,0	20,3	23,3	0,5801	0,748	14,0	38,7	40,3	0,0598	1,3
3,0	21,0	24,2	0,3786	0,765	16,0	43,2	44,0	0,0551	1,4
4,0	21,8	25,1	0,2753	0,792	18,0	47,9	47,5	0,0531	1,4
5,0	22,8	26,1	0,2125	0,829	20,0	52,7	50,7	0,0529	
6,0	24,0	27,3	0,1600	0,873					

Глава четвертая

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНА-23

4.1. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

В настоящее время фреон-23 (трифторметан) можно считать хорошо изученным веществом (табл. 41, 42). Между тем в справочных изданиях [0.8—0.10] информация о его термодинамических свойствах отсутствует, а в обзоре [0.34] приведены краткие сведения из журнальных статей, опубликованных до 1967 г.

Опытные данные в однофазной области. Из табл. 41 и рис. 32 видно, что плотность (сжимаемость) газа и жидкости при повышенном давлении измеряли в нескольких работах в интервале $T=203$—473 К, $p=0{,}1$—30 МПа. Однако часть опытных данных представлена в графической или аналитической форме [4.18, 4.32], и потому верхняя граница термодинамических таблиц настоящей работы — 20 МПа.

Хау, Мартин [4.25] впервые достаточно подробно исследовали p, v, T-зависимость фреона-23, и их опытные данные охватывают кривую насыщения, область жидкости и перегретого пара. Давление насыщения исследовали статическим методом в конденсационном термометре, однофазные области — методом безбалластного пьезометра постоянного объема. Температуру в опытах измеряли ртутным термометром, а давление — образцовым пружинным манометром. Рабочие объемы в установках определяли в ходе градуировочных опытов на воде. Анализ этой работы позволяет оценить погрешность измерения давления насыщения до 0,5%, а измерения удельного объема до 1%.

Вагнер [4.34] экспериментально исследовал p, v, T-зависимость перегретого пара фреона-23. Опыты были проведены по изохорам. Автор оценивает погрешность измерения дав-

ления 0,03 атм, температуры (измеренной хромель-алюмелевой термопарой)—0,1 К. В перекрывающейся области состояний расхождения опытных данных [4.25] и [4.34] достигают 0,5—1,2% [4.14].

Более тщательное и подробное исследование сжимаемости фреона-23 в газовой и жидкой фазах выполнено в МЭИ под руководством Д. С. Рассказова, Е. К. Петрова [4.3, 4.6, 4.14].

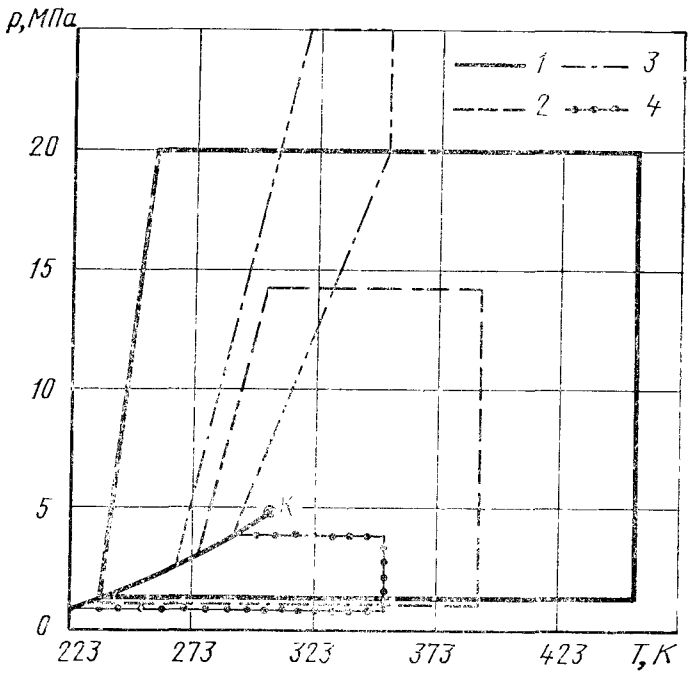


Рис. 32. Области экспериментального исследования термических свойств фреона-23 в работах:

1—Рассказова, Петрова, Ущмайкина [4.3, 4.6]; *2*—Хау, Мартина [4.25]; *3*—Томаса, Цандера [4.32]; *4*—Вагнера [4.34]

Для определения сжимаемости газа авторы этих работ использовали метод последовательных расширений на изотерме, но в отличие от классического метода Барнетта расширение вещества проводили в предварительно градуированный пьезометр (объемом V^{II}). Количество вещества в нем определяли взвешиванием после вымораживания фреона в отделяю-

Таблица 41

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-23 в однофазной области

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Источник
1956	Вандеркой, Девриз	c_v	300	0,0	г	—	[1.7]
1959	Хау, Мартин	ϱ	222—392	0,4—13,8	г; ж	79	[4.25]
1964	Дюмонд, Смит	B_1	273—333	0,1	г	6	[4.21]
1966	Томас, Цандер	ϱ	240—300	0,1—30	ж	График	[4.32]
1968	Вагнер	ϱ	203—353	0,2—3,3	г	84	[4.34]
1970	Хайяр, Маквуд	B_1	313—403	0,1	г	4	[3.45]
1970	Сатер, Коул	B_1	323—416	0,1	г	3	[3.61, 4.20]
1970	Ланге, Штейн	ϱ	243—368	0,7—4,5	г	25	[4.26]
1970	Венцель, Балабан	c_p	295—330	0,1—9	г	График	[4.35]
1971	Хейворт, Саттен	B_1	298—328	0,1	г	3	[3.46]
1975	Рассказов, Петров, Ушмайкин	ϱ	258—393	0,7—19,2	г	226	[4.3, 4.14]
1975	Рассказов, Крюков	δ_T	243—373	0,5—5,0	г	119	[4.4]
1975	Рассказов, Петров, Ушмайкин	ϱ	238—343	0,9—20,0	ж	98	[4.6, 4.14]
1975	Груздев, Шумская	c_p	299—453	0,1—2,0	г	48	[2.9]
1975	Тимошенко и др.	B_1, B_2	243—363	—	г	28	[4.13]
1976	Рамальхо и др.	ϱ	298	0,4—16,5	г	32	[4.18]
		B_1, B_2	273—473	—	г	15	

щуюся емкость. Расчетная формула для определения удельного объема имеет вид

$$v_{j-1} = \frac{V^{II}_{p,\,t}}{m^{II}_{j-1}}, \qquad (4.1)$$

где $V^{II}_{p,\,t}$ — объем градуированного пьезометра с учетом его деформации под действием температуры и давления; m^{II}_{j-1} — масса исследуемого вещества в градуированном пьезометре после перепусков ($j=1, 2, 3, \ldots, j$ — номер перепуска).

Зная массу m при последовательных расширениях вещества из объема основного пьезометра V^{I} в вакуумированный объем V^{II}, геометрическую константу прибора можно вычислить по соотношению

$$N = \frac{m^{II}_{j-1}}{m^{II}_{j}} = \frac{V^{I}+V^{II}}{V^{I}}. \qquad (4.2)$$

Тогда массу m в объеме V^{II} определяют из соотношения (4.2) без взвешивания после каждого перепуска.

Температуру в опытах измеряли 10-омным образцовым термометром сопротивления в комплекте с потенциометром класса точности 0,002. Температурный режим поддерживали стабильным, отклонения не превышали $\pm 0{,}005$ К. Погрешность измерения температуры не более 0,02 К. Давление измеряли грузопоршневыми манометрами класса точности 0,05. Для отделения исследуемого вещества от масляной системы измерения давления применяли дифференциальный ртутный манометр чувствительностью 2 мм вод. ст. Взвешивание выполняли на аналитических весах чувствительностью 0,1 мг.

Для определения плотности жидкого фреона-23 применен метод безбалластного пьезометра постоянного объема с мембранно-ртутным разделителем. Массу вещества в пьезометре определяли взвешиванием после вымораживания фреона-23 в отделяющуюся емкость. Температуру и давление измеряли теми же приборами, что и в работе [4.3]. Опыты проводили по изохорам. Максимальная погрешность измерения удельного объема находится в пределах 0,1—0,2%.

Чистота исследуемого фреона-23 по данным хроматографического анализа составляла 99,98% (влага 0,0042%; низкокипящие 0,01%). Перед проведением опытов фреон дополнительно очищали от низкокипящих примесей.

Для выявления возможных систематических погрешностей области исследования в работах [4.3, 4.6] перекрыты. Результаты измерений удельных объемов на двух различных установках согласуются с отклонением в пределах погрешности экспериментов.

Основная цель работы Ланге, Штейна [4.26] — изучение термических свойств газовых смесей с фреоном-23. Для чистого фреона-23 получено небольшое число точек (табл. 41). Измерения выполнены методом Барнетта (в так называемом классическом варианте) с использованием мембранного пульнидикатора давления чувствительностью 0,7 мбар. Исследуемый фреон-23 содержал 99,98% основного вещества.

Рамалхо с соавторами [4.18] применили модифицированный вариант метода Барнетта с тремя пьезометрами, два из которых имели объем 550 см³, а третий — 183 см³. Это позволяло проводить опыты с существенно отличающимися значениями геометрической константы измерительной ячейки ($N_I \approx 1{,}18$, $N_{II} \approx 1{,}36$). В статье [4.18] экспериментальные значения ϱ даны только на изотерме 298 К, для остальных изотерм сообщаются найденные по p, v, T-данным коэффициенты разложения

$$z = 1 + B^{(p)}\, p + C^{(p)}\, p^2 + \ldots \qquad (4.3)$$

Рекуррентная формула, связывающая коэффициенты разложения (4.3) с вириальными коэффициентами уравнения (0.7), приведена в книге [0.5]. В рассматриваемом случае

$$B^{(p)} = B_1\, RT;\ C^{(p)} = (B_2 - B_1^2)\, (RT)^2. \qquad (4.4)$$

Вычисленные по данным [4.18] с помощью соотношений (4.4) значения B_1 достаточно хорошо согласуются с найденными в работах МЭИ [4.3, 4.5, 4.13], но температурная зависимость B_2 явно искажена (рис. 33). Важно подчеркнуть, что согласующиеся в широком интервале температуры значения B_1 и B_2 получены по измерениям p, v, T-зависимости [4.3, 4.26], изотермического дроссель-эффекта [4.5] и показателя преломления [4.13]. Найденные по опытным p, v, T-данным Вагнера [4.34] значения B_1 оказались заниженными на 5—11% [4.5, 4.13]. В работе [4.5] отмечено также, что полученное по данным [4.34] термическое уравнение состояния дает практически независящие от давления значения $\delta_T = -(\partial h/\partial p)_T$, что не соответствует действительности. Таким образом, p, v, T-данные в работе [4.34] следует признать недостоверными.

Д. С. Рассказов, Л. А. Крюков [4.4] выполнили подробные измерения δ_T в газовой фазе методом проточного компенсационного калориметра с вентильным дроссельным устройством. В опытах использовали фреон-23 с содержанием 99,94—99,98% основного вещества (влага 0,0015%, низкокипящие 0,02—0,06%). По оценке авторов, погрешность опытных данных 0,7—1,2%. Результаты измерений аппроксимированы уравнениями

$$\delta_T / \delta_T^0 = 1 + \sum_{i=1}^{4} \sum_{j=0}^{7} a_{ij}\, p^i\, T^j, \qquad (4.5)$$

$$\delta_T^0 = \sum_{k=0}^{5} c_k / T^k, \qquad (4.6)$$

коэффициенты которых приведены в работе [4.5]. Там же даны рассчитанные по этим уравнениям таблицы значений δ_T, h, c_p в интервале $T = 253$—373 К, $p = 0{,}1$—5 МПа.

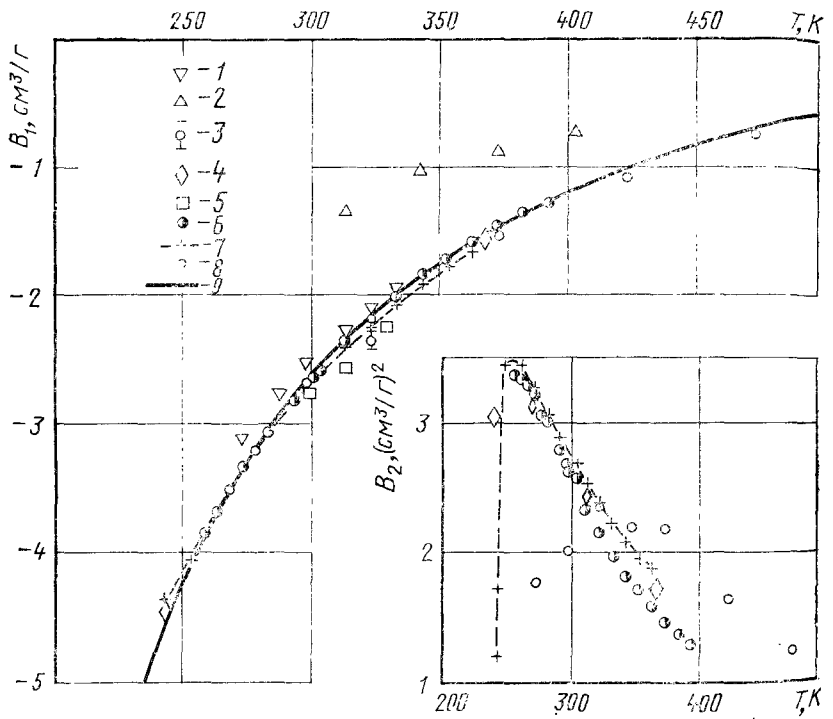


Рис. 33. Второй и третий вириальные коэффициенты фреона-23.

опытные данные: *1*—Дюмонда, Смита [4.21]; *2*—Хайяра, Маквуда [3.45]; *3*—Сатера, Коула [3.61]; *4*—Ланге, Штейна [4.26]; *5*—Хейворта, Саттена [3.46]; *6*—Рассказова и др. [4.3]; *7*—Тимошенко и др. [4.13]; *8*—Рамальхо и др. [4.18]; *9*—расчетные данные настоящей работы

Изобарную теплоемкость газообразного фреона-23 измеряли в двух работах (см. табл. 41), но числовые результаты приведены только в статье В. А. Груздева, А. И. Шумской [2.9]. Авторы этого исследования указывают на хорошее согласование опытных значений c_p в интервале $T = 300$—360 К с рассчитанными в работе [4.5]. Данные Баро [0.37] о тепло-

емкости в идеально газовом состоянии оказались завышенными, причем расхождение превышает суммарную погрешность эксперимента и расчета.

В настоящей работе исходные значения термодинамических функций в идеально газовом состоянии приняты по данным справочника [1.39].

Опытные данные на линиях равновесия жидкость — пар. Из табл. 42 видно, что давление насыщенного пара и ортобарическую плотность пара и жидкости измеряли неоднократно. В качестве опорных значений p_s нами приняты опытные данные МЭИ [4.3], полученные статическим методом на веществе высокой чистоты с погрешностью, по оценке авторов, 0,1—0,2%. Результаты сравнения с данными других авторов показаны на рис. 34.

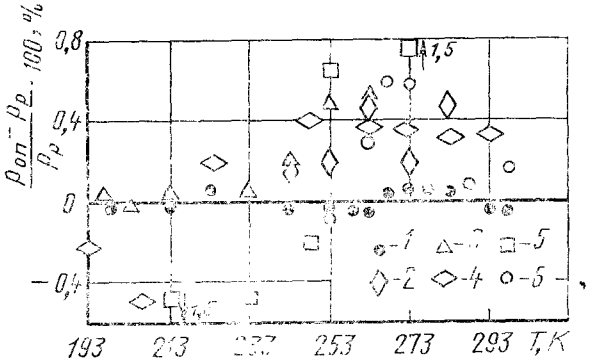


Рис. 34. Отклонение опытных значений давления насыщения фреона-23 от принятых в настоящей работе:

1—Рассказова, Петрова, Ушмайкина [4.3, 4.14]; *2*—Тимошенко и др. [4.12]; *3*—Вагнера [4.34]; *4*—Хау, Мартина [4.25]; *5*—Эльхардуса [4.23]; *6*—Томаса, Цандера [4.32]

Расхождения между разными группами опытных данных о плотности фреона-23 на линии насыщения сравнительно большие (рис. 35). В некоторых случаях они объяснимы. Измеренные в работе [4.25] методом пикнометра значения ρ' хорошо согласуются с опытными данными МЭИ и рекомендуемыми в настоящей работе, а полученные далекой экстраполяцией опытных изохор на кривую упругости отклоняются от расчетных на 4%. Значительные расхождения наблюдаются в широкой окрестности критической точки. В связи с этим большой интерес представляют опытные данные М. Шавандрина и др. [4.17], полученные методом квазистатических термограмм на веществе высокой чистоты

Таблица 42

Экспериментальные исследования термодинамических свойств фреона-23 на линиях равновесия жидкость — пар

Год	Авторы	Измеренная величина	Температура, К	Фаза	Число опытных точек	Источник
1959	Хау, Мартин	p_s, ϱ	141—298	ж	47	[4.25]
1962	Валентине, Бродел, Джиок	p_s	145—191	п	13	[4.33]
		c_p	123—189	ж	9	
		r	191	ж—п	3	
1964	Эльхардус, Маэстре	p_s	173—273	п	6	[4.23]
1966	Томас, Цандер	p_s, ϱ	253—299	ж	11	[4.32]
1968	Вагнер	p_s, ϱ	195—283	п	10	[4.34]
1975	Рассказов, Петров, Ушмайкин	p_s	198—298	п	15	[4.3]
1975	Тимошенко, Холодов, Ямпов	p_s	243—283	п	5	[4.12]
1975	Шавандрин, Рассказова, Чашкин	ϱ	158—299	ж	29	[4.17]
		ϱ	208—299	п	18	
1977	Холеева, Губочкина	ϱ	298,5—299	ж—п	График	[4.15]

9,98%) с погрешностью, по оценке авторов, 0,03—0,15%. олученные опытные данные аппроксимированы уравнением па (0.26) и для «параметра порядка» получены формулы

$$\tilde{\rho}' = 1{,}14125\ (1-\tau)^{0{,}355} - 0{,}12084\ (1-\tau)^{0{,}670}, \qquad (4.7)$$

$$\tilde{\rho}'' = 1{,}13007\ (1-\tau)^{0{,}355} - 0{,}10334\ (1-\tau)^{0{,}670}, \qquad (4.8)$$

де $\tilde{\rho} = \rho - \rho_{кр} - b(1-\tau)$; $\rho_{кр} = 0{,}5255$ г/см^3; $b = 0{,}54958$ г/см^3; $T_{кр} = 298{,}98$ К.

Рекомендуемые в экспериментальных и расчетно-теоретических работах значения критических параметров фреона-23 отличаются очень существенно (табл. 43). По нашему мне-

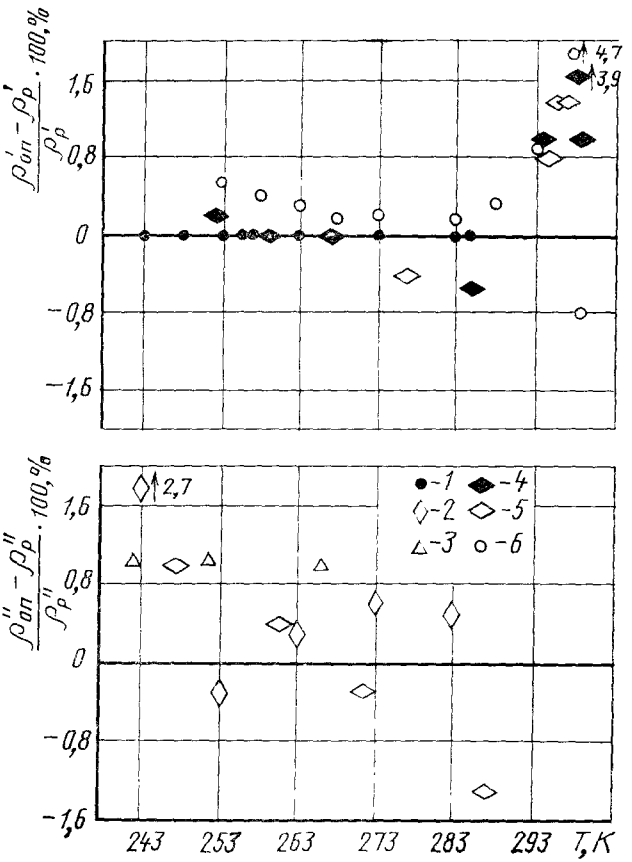


Рис. 35. Отклонение опытных значений плотности на линиях насыщения фреона-23 от принятых в настоящей работе:

1—Рассказова, Петрова, Ушмайкина [4.3, 4.6]; *2*—Тимошенко и др. [4.12]; *3*—Вагнера [4.34]; *4, 5*—Хау, Мартина [4.25]; *6*—Томаса, Цандера [4.32]

Таблица 43

Параметры узловых точек на линии равновесия жидкость — пар фреона-23

Год	Авторы	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	$\rho_{кр}$, кг/м³	$T_{н.т.к}$, К	T_0, К	Источник
1936	Руфф, Бреттшнейдер	305,9	—	516	188,7	113	[4.30]
1937	Хенне	—	—	—	190,9	110	[4.24]
1942	Зегер	288,15	4,75	516	183,1	—	[4.31]
1948	Уитней	300,15	—	550	—	—	[0.34]
1956	Планк	302,15	4,54	496	—	—	[0.45]
1957	Ридель	302,15	5,06	530	—	—	[4.29]
1959	Хау, Мартин	299,06	4,836	525	191,3	—	[4.25]
1962	Валентине, Бродел, Джнок	—	—	—	190,97	117,97	[4.33]
1964	Эльхардус, Маэстре	288,15	4,75	—	189,97	118,15	[4.23]
1965	Айземан	—	—	—	191,15	—	[4.22]
1965	Михель	—	—	—	191,05	—	[4.27]
1966	Морси	299,06	4,836	525	191,02	117,97	[4.28]
1967	Цикляс	299,05	—	516	—	—	[4.16]
1968	Вагнер	299,45	4,87	527	—	—	[4.34]
1970	Филипс, Мэрфи	—	—	—	191,05	—	[1.50]
1971	Мермин	300,15	—	550	—	—	[4.17]
1974	Фомичев, Хохлачев	299,06	—	525	—	—	[4.17]
1975	Шавандрин и др.	298,98	—	525,5	—	—	[4.17]
1977	Перельштейн, Парушин	299,45	4,818	528	—	—	[1.15]
1977	Ходеева, Губочкина	298,955	—	526	—	—	[4.15]

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

нию, более надежные результаты получены в экспериментальных работах [4.15, 4.17, 4.25]. Значения температуры в тройной и нормальной точке кипения приняты по данным Джиока с соавторами [4.33]. Эта работа, кстати, является до сих пор единственным исследованием, в котором получены опытные данные о теплоемкости и теплоте испарения жидкого фреона-23 (табл. 42).

Поверхностное натяжение рекомендуется определять по обобщенному уравнению (1.9) с коэффициентами

$$n=1{,}249,\ B=4{,}6109\cdot10^{-3}\ \text{Н/м}.$$

Уравнения состояния и таблицы. Известно несколько вариантов уравнений состояния типа (0.2)—(0.5), коэффициенты которых находили по p, v, T-данным Мартина, Хау [4.25], охватывающим область $\tau=0{,}74$—$1{,}3$, $\omega=0{,}03$—$1{,}9$.

Полагают, что уравнение (0.2) лучше подходит для расчетов при невысокой плотности [0.42]. Так, при $\omega\leqslant1{,}5$ уравнение (0.2) с одиннадцатью коэффициентами аппроксимирует опытные данные [4.25] со средним отклонением 0,45%, а при $\omega>1{,}5$ отклонения возрастают до 4,14%. В работе [4.26] отмечено, что добавление в правую часть уравнения (0,2) слагаемого $(A_6+B_6T)\exp(-av)$ [3.50] практически не изменяет среднего отклонения, но максимальное уменьшается до 1%.

Сравнительные расчеты по обобщенным уравнениям состояния (0.3) и (0.5), выполненные в работах [0.22, 0.23, 1.12], показали, что средние отклонения от опытных данных [4.25] остаются на уровне 1,2—1,4%.

Морси [0.42, 0.43, 4.28] использовал уравнение (0.4) и, применив машинную методику определения коэффициентов, уменьшил стандартное отклонение до 0,28%. По этому уравнению состояния в совокупности с интерполяционными формулами (0.11) и (0.14) были рассчитаны таблицы значений v, h, s на линии насыщения и h, $\lg p$-диаграмма в интервале $T=133$—453 К, $p\leqslant20$ МПа.

Дёринг, Лёффлер [0.39] также использовали уравнение (0.4), но коэффициенты определяли по опытным данным Вагнера [4.34] для перегретого пара. Поскольку результаты [4.34] весьма существенно отличаются от всех известных p, v, T-измерений (см. выше), то и справочные данные [0.39] утратили практическое значение.

Полученные в МЭИ опытные данные о термодинамических свойствах газообразного фреона-23 были использованы для получения нескольких локальных уравнений состояния типа (0.7) и расчета термодинамических таблиц. Так, Г. А. Спиридонов и др. [4.3] составили таблицы значений ρ, h, s, c_p, w в интервале $T=258$—393 К, $p=0{,}1$—15 МПа.

Другой вариант таблиц составлен в работе [4.13]. В настоящей работе применено единое для жидкости и газа термическое уравнение состояния.

4.2. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

При получении уравнения состояния фреона-23 применена машинная методика совместной обработки опытных данных о термических свойствах для жидкости и газа [4.3]. В качестве исходных приняты экспериментальные p, v, T-данные МЭИ [4.3, 4.6, 4.14], охватывающие область $T=233$—393 К, $p=0{,}7$—20 МПа в газовой и жидкой фазах и около 330 измеренных значений $z(\varrho, T)$ и $p_s(T)$. Полученное уравнение состояния имеет вид (0.15) с коэффициентами, указанными в табл. 44.

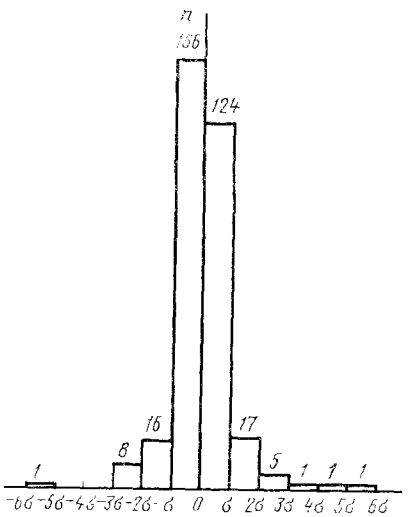


Рис. 36. Гистограмма отклонений расчетных значений сжимаемости фреона-23 по уравнению (0.15) от опытных данных [4.3, 4.6]

В табл. 45 приведены коэффициенты интерполяционных формул (0,18)—(0.21) для температурных зависимостей давления насыщенного пара и трех функций в идеально газовом состоянии (энтальпии, теплоемкости и энтропии).

Средняя квадратическая погрешность аппроксимации исходных опытных данных [4.3, 4.6] уравнением состояния составляет 0,18%, гистограмма отклонений представлена на рис. 36.

Расчет термодинамических свойств на линии насыщения (линиях кипения и конденсации) выполнен с использованием независимого уравнения кривой упругости. Средняя квадратическая погрешность аппроксимации исходных опытных данных о p_s, T_s-зависимости полиномом (0.21) составляет 0,04%.

Рассчитанные по уравнению состояния значения ϱ', ϱ'' и B_1 вполне удовлетворительно согласуются с наиболее надежными опытными данными (см. рис. 33, 35). Отклонения расчетных значений δ_T от экспериментальных достигает 5%

Таблица 44

Коэффициенты уравнения состояния (0.15) для фреона-23

(при размерности ρ—[г/см^3], $\bar{\tau}=T/100$)

i	Значения b_{ij} при j			
	0	1	2	3
1	$0,118261891\cdot10^{1}$	$-0,905353810\cdot10^{1}$	$0,699906826\cdot10^{1}$	$-0,474556397\cdot10^{1}$
2	$0,292086834\cdot10^{1}$	$-0,171728480\cdot10^{2}$	$0,147680242\cdot10^{2}$	$0,983951291\cdot10^{2}$
3	$0,286742894\cdot10^{0}$	$-0,478164350\cdot10^{1}$	$0,271065491\cdot10^{2}$	$0,616892171\cdot10^{1}$
4	$0,116222185\cdot10^{1}$	$-0,260959815\cdot10^{1}$	$-0,266431581\cdot10^{2}$	$-0,822805725\cdot10^{2}$
5	$0,633125551\cdot10^{0}$	$0,289659151\cdot10^{1}$	$0,153725797\cdot10^{2}$	$0,323704664\cdot10^{2}$
6	$-0,134528266\cdot10^{1}$	$0,285487378\cdot10^{1}$	$0,531991934\cdot10^{1}$	$-0,2927061\cdot10^{2}$

Продолжение

i	Значения b_{ij} при j			
	4	5	6	7
1	$-0,163433562\cdot10^{3}$	$-0,443533446\cdot10^{2}$	$0,725293982\cdot10^{2}$	$-0,728147824\cdot10^{1}$
2	$0,100907421\cdot10^{2}$	$-0,117687673\cdot10^{3}$	$-0,187312399\cdot10^{3}$	$0,565148313\cdot10^{3}$
3	$0,580641377\cdot10^{2}$	$0,102534046\cdot10^{3}$	$0,172624399\cdot10^{3}$	$-0,292705529\cdot10^{3}$
4	$-0,123143917\cdot10^{3}$	$-0,219968266\cdot10^{3}$	$-0,408125954\cdot10^{2}$	$-0,862026686\cdot10^{2}$
5	$0,341771583\cdot10^{1}$	$0,358257395\cdot10^{3}$	$-0,724264269\cdot10^{2}$	$0,135670187\cdot10^{3}$
6	$-0,104350620\cdot10^{2}$	$0,230834361\cdot10^{2}$	$-0,117554935\cdot10^{3}$	

Таблица 45

Коэффициенты вспомогательных интерполяционных уравнений (0.18)—(0.21) для фреона-23 (при $\bar{\tau}=T/100$)

j	A_{s_j}	α_j	β_j	γ_j
0	$-0,13014035\cdot10^{3}$	$0,12304738\cdot10^{2}$	$0,14214576\cdot10^{2}$	$0,55790852\cdot10^{2}$
1	$0,16664575\cdot10^{3}$	$-0,34681429\cdot10^{2}$	$-0,33622323\cdot10^{2}$	$-0,20198257\cdot10^{3}$
2	$-0,46097185\cdot10^{2}$	$0,20967974\cdot10^{3}$	$0,75219412\cdot10^{1}$	$0,69988531\cdot10^{3}$
3	$-0,74769300\cdot10^{1}$	$-0,34240717\cdot10^{3}$	$0,13114625\cdot10^{3}$	$-0,12195008\cdot10^{4}$
4	$-0,72273341\cdot10^{1}$	$0,22003892\cdot10^{3}$	$-0,14437032\cdot10^{3}$	$0,82729148\cdot10^{3}$
5	$0,79581601\cdot10^{1}$	—	—	—
6	$-0,12492154\cdot10^{1}$	—	—	—
7	$-0,25364268\cdot10^{0}$	—	—	—
8	$0,62947726\cdot10^{-1}$	—	—	—

в области пониженных давлений, но с повышением давления расхождения уменьшаются (табл. 46).

Таблица 46

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными [4.4] об изотермическом дроссель-эффекте фреона-23

T, К	p, МПа	$\delta_T^{оп}$, см³/г	$\delta_T^{р}$, см³/г	$\delta(\delta_T)$, %
252,98	1,32	23,02	23,24	—0,97
253,26	1,15	20,82	21,18	—1,7
253,09	1,01	19,24	19,94	—3,5
253,18	0,85	17,99	18,73	—4,0
253,14	0,58	16,26	17,13	—5,0
253,13	0,51	15,92	16,79	—5,2
273,15	2,34	22,70	25,11	—9,6
273,15	2,21	23,80	23,25	2,3
273,16	1,68	18,02	18,05	—0,17
273,15	1,50	16,76	17,00	—1,4
273,16	1,25	15,35	15,76	—2,6
273,16	1,07	14,55	15,04	—3,3
293,17	2,87	17,93	18,21	—1,6
293,16	2,85	17,83	18,10	—1,5
293,12	2,60	16,49	16,59	—0,6
293,15	2,19	14,54	14,77	—1,5
293,14	1,21	11,67	12,01	—2,9

Согласование рассчитанных по уравнению значений c_p с экспериментальными [2.9] хорошее. Основная масса данных имеет отклонение 1,5—2%, уменьшаясь до 0,3—0,8% с повышением температуры (табл. 47).

Таблица 47

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными [2.9] о изобарной теплоемкости c_p фреона-23

T, К	p, МПа	$c_p^{оп}$, кДж/(кг·К)	$c_p^{р}$, кДж/(кг·К)	δc_p, %
300,05	0,251	0,751	0,753	—0,32
300,35	0,932	0,810	0,820	—1,2
300,35	1,300	0,850	0,864	—1,6
300,35	1,671	0,894	0,915	—2,3
300,45	1,950	0,933	0,960	—2,9
323,15	1,675	0,875	0,893	—2,1
323,25	1,325	0,847	0,861	—1,6
323,25	1,036	0,826	0,837	—1,3
323,35	0,637	0,800	0,808	—0,9
323,35	0,259	0,778	0,787	—1,16
345,15	0,288	0,807	0,811	—0,5

T, К	p, МПа	$c_p^{оп}$, кДж/(кг·К)	$c_p^{р}$, кДж/(кг·К)	δc_p, %
345,15	1,019	0,842	0,850	—1,8
345,35	1,393	0,862	0,873	—1,3
345,35	1,663	0,876	0,890	—1,6
345,35	1,949	0,894	0,910	—1,8
374,35	1,969	0,907	0,917	—1,1
374,35	1,597	0,892	0,900	—0,9
374,35	1,199	0,876	0,883	—0,7
374,45	0,773	0,861	0,866	—0,5
374,45	0,288	0,845	0,848	—0,3
400,55	0,281	0,876	0,880	—0,4
400,55	0,717	0,889	0,893	—0,5
400,75	1,169	0,901	0,907	—0,7
400,75	1,566	0,913	0,919	—0,7

4.3. ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ О ВЯЗКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

В существующих справочных изданиях численные данные о вязкости фреона-23 отсутствуют, хотя к началу 60-х годов уже появилась экспериментальная информация о $\eta_г$ и $\eta_ж$ (табл. 48).

Таблица 48

Экспериментальные исследования вязкости фреона-23

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод	Источник
1953	Кауглин	236—334	0,1	г	6	КШ	[2.38]
1958	Мак-Куллум	363—473	0,1	г	5	КШ	[2.38]
1959	Кэмин, Витцель	303—363	0,1—2	г	24	КШ	[2.30]
1959	Цуи	363—423	0,1	г	3	КШ	[2.38]
1961	Вилберс	278—288	0,1	г	2	КШ	[2.38]
1970	Филипс, Мэрфи	190—247	$\sim p_s$	ж	7	Ка	[1.50]
1974	Иванченко	273—432	1—59	г, ж	93	Ка	[0.15]
1975	Рассказов, Бабиков, Филатов	203—453	0,2—40	г, ж	162	Ка	[4.7, 4.8, 4.9]
1977	Рассказов, Бабиков, Филатов	117—188	0,1	ж	10	Ка	[4.10]
1977	Сагайдакова	243—343	0,1—3,9	г, ж	12	Ка	[4.11]

Детальные исследования вязкости жидкого и газообразного фреона-23 в широком интервале температур и давлений выполнены недавно в работах С. И. Иванченко [0.15] и Д. С. Рассказова, Ю. М. Бабикова, Н. Я. Филатова [4.7—4.10].

В этих работах применены капиллярные вискозиметры: в работе ОТИПП — вискозиметр конструкции И. Ф. Голубева (V вариант), в работах МЭИ — модифицированный вискозиметр Ренкина. Результаты указанных исследований находятся в хорошем согласии друг с другом — расхождения не превышают их суммарной погрешности, за исключением нескольких опытных точек на изотерме 273 К, где отклонение составляет 6%. Следует также отметить, что экспериментальные данные о вязкости газообразного фреона-23 при низких давлениях, полученные в работах [2.30, 2.38, 4.11] и [4.7—4.9], весьма близки. Для определения вязкости газообразного фреона-23 при атмосферном давлении рекомендуется использовать уравнение (1.18) со следующими значениями констант:

$\eta_{T_{кр}} = 14{,}9$ мкПа · с;

$a_0 = 0{,}78981$; $a_2 = -0{,}15669$;

$a_1 = 0{,}31640$; $a_3 = 0{,}02565$.

При его получении в состав исходных η_T, T-данных были включены 30 экспериментальных значений η_T по измерениям, выполненным в работах [0.15, 2.30, 2.38, 4.7, 4.8, 4.9] в интервале температур 203—473 К.

Для расчета зависимости вязкости газообразного и жидкого фреона-23 от давления рекомендуется использовать в интервале $\omega = 0$—$1{,}9$ обобщенное уравнение (0.35), а при $\omega \geqslant 1{,}9$ — обобщенное уравнение (0.41), коэффициенты которых приведены в табл. 4.

Вязкость фреона-23 в опорной точке ($\tau = 0{,}7$ и $\pi = 0{,}7$), найденная по данным [0.15, 4.7—4.9], $\eta_{0.7} = 220$ мкПа · с.

Коэффициенты $\overline{b}_{\eta,i}$, $\overline{\alpha}_{\eta,i}$, $\overline{\beta}_{\eta,i}$ найдены на основании обработки согласующихся экспериментальных данных о вязкости трех фреонов, причем в общий массив исходных данных были включены ~ 200 опытных значений вязкости фреона-23 в интервале $T = 203$—453 К и $p = 0{,}1$—59 МПа, полученных в работах [0.15, 2.30, 4.7—4.9]. Результаты сравнения расчетных и опытных данных показаны на рис. 37.

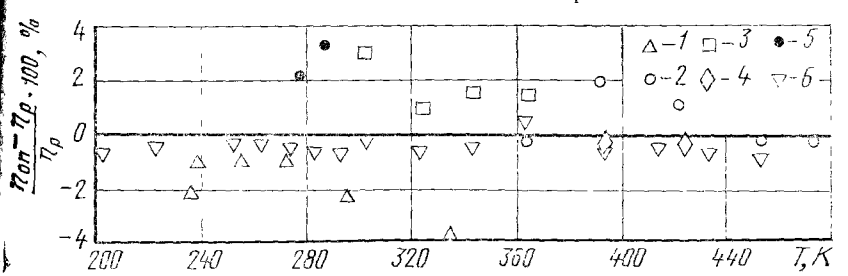


Рис. 37. Отклонение опытных значений вязкости газообразного фреона-23 при атмосферном давлении от принятых в настоящей работе:

1—Кауглина [2.38]; *2*—Мак-Куллума [2.38]; *3*—Кэмина, Витцеля [2.30]; *4*—Цун [2.38]; *5*—Вилберса [2.38]; *6*—Рассказова, Бабикова, Филатова [4.7, 4.9]

Теплопроводность фреона-23 изучена лишь в последние годы (табл. 49), и поэтому справочные таблицы отсутствуют.

Таблица 49

Экспериментальные исследования теплопроводности фреона-23

Год	Авторы	Температура, К	Давление, МПа	Фаза	Число опытных точек	Метод	Источник
1967	Таушер	148—268	$\sim p_s$	ж	8	НН	[1.63]
1975	Геллер, Передрий	193—435	0,1—59	г; ж	147	Н	[4.1]
1975	Геллер и др.	118—269	0,1—59	ж	75	Н	[0.13, 4.2]

К настоящему времени информация о температурной зависимости теплопроводности фреона-23 при атмосферном давлении состоит из 12 экспериментальных значений λ_T в интервале температур 283—435 К по измерениям [4.1], что и составило массив исходных данных для нахождения коэффициентов уравнения (1.20):

$$a_0 = -2{,}880 \cdot 10^{-3};\ a_1 = 5{,}425 \cdot 10^{-5},$$

где размерность λ_T — [Вт/(м · К)].

Для описания температурной зависимости теплопроводности жидкого фреона-23 вдоль кривой насыщения использованы данные Таушера [1.63] в интервале температур 148—268 К (восемь экспериментальных точек) и В. З. Геллера с сотрудниками [0.13, 4.2] в интервале 118—292 К (32 экспериментальные точки). Поскольку результаты указанных работ хорошо согласуются между собой (расхождения не превышают 2,5%) при обработке они были приняты равноточными. Коэффициенты рекомендуемого уравнения (0.46):

$\lambda_{кр} = 421 \cdot 10^{-4}$ Вт/(м · К);

$c_1 = 0{,}04288$; $c_4 = -1{,}29820$;
$c_2 = 1{,}86268$; $c_5 = 4{,}16977$;
$c_3 = -2{,}08484$; $c_6 = -1{,}825558$.

Для расчета зависимости теплопроводности газообразного и жидкого фреона-23 от давления рекомендуется использовать систему согласованных между собой уравнений: в интервале $\omega = 0—1{,}9$ — уравнение (0.34) с индивидуальными коэффициентами, а при $\omega \geqslant 1{,}9$ — обобщенное уравнение (0.45). Числовые значения коэффициентов $b_{\lambda, i}$ уравнения (0.34) найдены по опытным данным [4.1] в интервале значений плотности 10—230 кг/м³ (размерность $\lambda \cdot 10^4$—[Вт/(м × × К)]):

$b_1 = 0{,}051855$; $b_3 = 0{,}047425$;
$b_2 = -0{,}012754$; $b_4 = -0{,}0211362$.

Коэффициенты обобщенного уравнения (0.45) приведены в табл. 5 и получены по массиву λ-измерений для трех фреонов, в который было включено 96 опытных значений λ фреона-23 в интервале $T=118$—290 К и $p=p_s-59$ МПа [0.13]. Числовые значения коэффициентов уравнения (0.34) найдены по опытным данным [4.1] в интервале $\rho=0$—800 кг/м³. На рис. 38 показаны результаты сравнения расчетных с опытными данными.

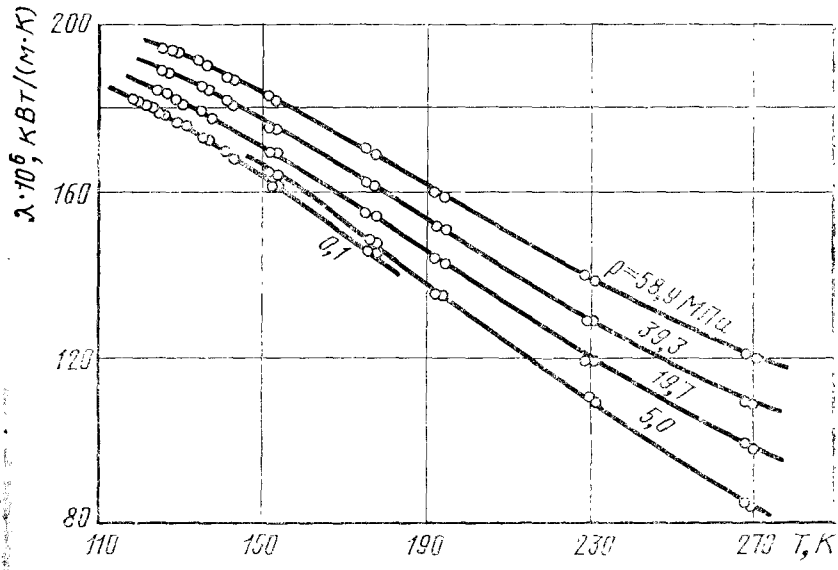


Рис. 38. Теплопроводность жидкого фреона-23 [0.13, 4.2] в низкотемпературной области

4.4. ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Термодинамические таблицы для газообразного и жидкого фреона-23 рассчитаны по уравнениям, представленным в 4.2, и охватывают область $T=233$—453 К и $p=0{,}01$—20 МПа (табл. 50—51).

Рекомендуемые в этой книге таблицы переносных свойств (табл. 52, 53) охватывают ту же область состояний, что и термодинамические таблицы.

Термодинамические свойства фреона-23 на линиях кипения и конденсации

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\sigma \cdot 10^4$
233,15	0,7077	1263,7	29,96	248,4	440,0	2,424	3,247	0,828	0,856	191,6	8,60
235,15	0,7615	1254,6	32,24	250,2	440,4	2,432	3,242	0,895	0,872	190,2	8,28
237,15	0,8184	1245,3	34,66	252,1	440,8	2,440	3,237	0,959	0,889	188,7	7,96
238,15	0,8481	1240,6	35,93	253,0	441,0	2,444	3,234	0,989	0,897	188,0	7,80
239,15	0,8785	1235,8	37,24	254,0	441,2	2,448	3,232	1,018	0,906	187,2	7,64
241,15	0,9418	1226,1	39,99	256,2	441,5	2,458	3,227	1,074	0,925	185,3	7,32
243,15	1,0085	1216,2	42,90	258,4	441,8	2,467	3,222	1,127	0,941	183,4	7,00
245,15	1,0787	1206,0	45,99	260,7	442,0	2,477	3,217	1,177	0,965	181,3	6,69
247,15	1,1525	1195,6	49,28	263,1	442,2	2,487	3,212	1,225	0,987	179,1	6,38
248,15	1,1908	1190,3	51,01	264,4	442,3	2,492	3,210	1,248	0,999	177,9	6,23
249,15	1,2300	1184,9	52,78	265,6	442,4	2,497	3,207	1,270	1,011	176,8	6,08
251,15	1,3113	1173,9	56,50	268,2	442,5	2,508	3,202	1,311	1,037	174,3	5,77
253,15	1,3966	1162,7	60,45	270,9	442,6	2,519	3,197	1,356	1,064	171,7	5,47
255,15	1,4860	1151,2	64,66	273,6	442,6	2,530	3,192	1,398	1,094	169,0	5,18
257,15	1,5795	1139,5	69,14	276,5	442,5	2,541	3,187	1,439	1,126	166,0	4,88

Продолжение табл. 50

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c'_p	c''_p	r	$\sigma \cdot 10^3$
258,15	1,6279	1133,4	71,49	277,9	442,5	2,547	3,181	1,459	1,143	164,6	4,74
259,15	1,6773	1127,3	73,92	279,4	442,4	2,553	3,182	1,480	1,161	163,0	4,59
261,15	1,7797	1114,9	79,01	282,4	442,3	2,564	3,177	1,521	1,199	159,9	4,31
263,15	1,8866	1102,1	84,45	285,4	442,0	2,576	3,171	1,563	1,211	156,6	4,03
265,15	1,9982	1088,8	90,28	288,5	441,7	2,588	3,166	1,607	1,288	153,2	3,75
267,15	2,115	1075,2	96,52	291,7	441,3	2,600	3,160	1,653	1,340	149,6	3,47
268,15	2,175	1068,2	99,81	293,3	441,1	2,606	3,157	1,677	1,368	147,8	3,34
269,15	2,237	1061,1	103,22	295,0	440,9	2,612	3,154	1,703	1,398	145,9	3,20
271,15	2,363	1046,4	110,44	298,3	440,3	2,624	3,148	1,756	1,463	142,0	2,94
273,15	2,496	1031,2	118,23	301,7	439,6	2,637	3,142	1,815	1,538	137,9	2,68
275,15	2,634	1015,3	126,68	305,2	438,8	2,650	3,135	1,881	1,624	133,6	2,42
277,15	2,777	998,7	135,87	308,9	437,9	2,662	3,128	1,956	1,725	129,0	2,17
278,15	2,851	990,1	140,77	310,7	437,3	2,669	3,124	1,998	1,782	126,6	2,05
279,15	2,927	981,3	145,91	312,6	436,8	2,676	3,121	2,043	1,845	124,2	1,92
281,15	3,083	962,9	156,95	316,4	435,5	2,689	3,113	2,147	1,989	119,1	1,69
283,15	3,245	943,4	169,17	320,4	434,0	2,703	3,104	2,273	2,167	113,6	1,45
285,15	3,414	922,5	182,81	324,5	432,3	2,717	3,095	2,431	2,392	107,8	1,23
287,15	3,590	899,9	198,21	328,8	430,3	2,732	3,085	2,636	2,686	101,5	1,01
288,15	3,681	887,9	206,69	331,1	429,2	2,739	3,080	2,764	2,869	98,1	0,91

Таблица 51

Термодинамические свойства фреона-23 в однофазной области

T=233,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,36	0,9982	454,7	3,890	0,643	184,2	28,62	4,31
0,02	0,73	0,9963	454,5	3,717	0,645	183,9	28,61	4,3
0,03	1,09	0,9945	454,3	3,668	0,647	183,7	28,60	4,3
0,04	1,46	0,9927	454,1	3,633	0,649	183,5	28,60	4,4
0,05	1,82	0,9908	453,9	3,606	0,651	183,3	28,59	4,4
0,1	3,68	0,9815	453,0	3,521	0,663	182,3	28,57	4,5
0,2	7,51	0,9623	451,1	3,433	0,687	180,1	28,53	4,9
0,3	11,50	0,9426	449,1	3,378	0,713	177,8	28,51	5,2
0,4	15,67	0,9221	447,0	3,338	0,742	175,5	28,52	5,7
0,5	20,05	0,9007	444,8	3,304	0,774	173,0	28,54	6,
0,6	24,67	0,8785	442,6	3,275	0,811	170,4	28,60	6,
0,7	29,57	0,8551	440,2	3,249	0,852	167,6	28,68	7,
0,8	1264,17	0,0229	248,5	2,424	0,826	747,5	—0,14	3,
0,9	1264,72	0,0257	248,5	2,423	0,825	749,4	—0,15	3,
1,0	1265,27	0,0285	248,5	2,423	0,824	751,2	—0,15	3,
1,5	1267,98	0,0427	248,5	2,422	0,817	760,5	—0,16	3
2,0	1270,62	0,0569	248,6	2,420	0,810	769,7	—0,18	3
2,5	1273,22	0,0709	248,7	2,419	0,803	778,8	—0,19	3
3,0	1275,76	0,0849	248,8	2,418	0,797	787,8	—0,20	3
3,5	1278,25	0,0989	248,8	2,416	0,791	796,8	—0,21	3
4,0	1280,69	0,1128	248,9	2,415	0,785	805,6	—0,22	3
4,5	1283,09	0,1267	249,0	2,414	0,780	814,4	—0,23	3
5,0	1285,44	0,1405	249,1	2,412	0,774	823,1	—0,24	3
5,5	1287,75	0,1543	249,2	2,411	0,769	831,7	—0,25	3
6,0	1290,02	0,1680	249,3	2,410	0,764	840,3	—0,26	3
6,5	1292,25	0,1817	249,4	2,409	0,759	848,8	—0,27	
7,0	1294,45	0,1953	249,5	2,407	0,754	857,2	—0,28	
7,5	1296,61	0,2089	249,6	2,406	0,749	865,6	—0,29	
8,0	1298,73	0,2225	249,7	2,405	0,745	873,9	—0,30	
8,5	1300,83	0,2360	249,8	2,404	0,740	882,2	—0,31	
9,0	1302,89	0,2495	250,0	2,403	0,736	890,4	—0,32	
9,5	1304,92	0,2629	250,1	2,402	0,732	898,6	—0,32	
10,0	1306,92	0,2764	250,2	2,400	0,727	906,8	—0,33	
11,0	1310,83	0,3031	250,4	2,398	0,719	923,0	—0,35	
12,0	1314,64	0,3297	250,7	2,396	0,712	939,0	—0,36	
13,0	1318,35	0,3562	251,0	2,394	0,705	954,9	—0,38	
14,0	1321,96	0,3825	251,2	2,392	0,698	970,6	—0,39	
15,0	1325,49	0,4087	251,5	2,390	0,691	986,3	—0,40	
16,0	1328,93	0,4349	251,8	2,388	0,684	1001,8	—0,42	
17,0	1332,30	0,4609	252,1	2,386	0,678	1017,3	—0,43	
18,0	1335,58	0,4868	252,4	2,384	0,672	1032,7	—0,44	
19,0	1338,80	0,5126	252,7	2,382	0,667	1048,0	—0,46	
20,0	1341,95	0,5383	253,0	2,380	0,661	1063,2	—0,47	

$T=243{,}15$ K

	p	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha\cdot10^2$
01	0,35	0,9984	461,2	3,830	0,656	187,7	25,04	4,136
02	0,69	0,9969	461,1	3,747	0,658	187,5	25,04	4,160
03	1,04	0,9953	460,9	3,698	0,659	187,3	25,04	4,184
04	1,39	0,9937	460,7	3,664	0,661	187,1	25,04	4,208
05	1,75	0,9921	460,6	3,637	0,663	186,9	25,04	4,232
	3,52	0,9841	459,7	3,552	0,672	186,0	25,02	4,356
	7,16	0,9678	458,0	3,464	0,692	184,1	25,01	4,622
	10,92	0,9511	456,3	3,411	0,714	182,2	25,01	4,915
	14,83	0,9338	454,5	3,371	0,737	180,1	25,02	5,238
	18,90	0,9160	452,6	3,339	0,762	178,0	25,04	5,597
	23,15	0,8976	450,6	3,311	0,790	175,8	25,08	6,000
	27,60	0,8785	448,6	3,287	0,821	173,6	25,13	6,455
	32,27	0,8586	446,5	3,264	0,856	171,2	25,21	6,975
	37,20	0,8379	444,3	3,243	0,895	168,6	25,30	7,576
	42,44	0,8161	442,0	3,223	0,940	166,0	25,42	8,281
	1219,55	0,0426	258,4	2,465	1,117	593,2	0,02	4,250
	1222,89	0,0566	258,4	2,464	1,108	600,6	0,01	4,168
	1226,14	0,0706	258,4	2,462	1,099	608,0	—0,00	4,091
	1229,30	0,0845	258,4	2,460	1,091	615,1	—0,02	4,018
	1232,38	0,0984	258,4	2,459	1,083	622,1	—0,03	3,949
	1235,39	0,1121	258,4	2,457	1,076	629,0	—0,04	3,884
	1238,32	0,1259	258,4	2,455	1,068	635,7	—0,05	3,822
	1241,19	0,1395	258,4	2,454	1,061	642,4	—0,06	3,764
	1243,99	0,1531	258,5	2,452	1,055	648,9	—0,08	3,708
	1246,73	0,1667	258,5	2,451	1,048	655,3	—0,08	3,655
	1249,42	0,1802	258,6	2,449	1,042	661,5	—0,10	3,604
	1252,05	0,1936	258,6	2,448	1,037	667,7	—0,10	3,555
	1254,63	0,2070	258,7	2,447	1,031	673,8	—0,11	3,509
	1257,15	0,2204	258,7	2,445	1,025	679,8	—0,12	3,464
	1259,64	0,2337	258,8	2,444	1,020	685,7	—0,13	3,421
	1262,07	0,2470	258,9	2,443	1,015	691,6	—0,14	3,380
	1264,46	0,2602	258,9	2,441	1,010	697,3	—0,15	3,340
	1266,81	0,2734	259,0	2,440	1,006	703,0	—0,16	3,302
	1271,39	0,2996	259,2	2,437	0,997	714,1	—0,17	3,230
	1275,83	0,3257	259,4	2,435	0,988	724,9	—0,18	3,162
	1280,12	0,3517	259,5	2,432	0,980	735,5	—0,20	3,099
	1284,29	0,3775	259,7	2,430	0,973	745,8	—0,21	3,040
	1288,34	0,4032	260,0	2,428	0,965	755,9	—0,22	2,984
	1292,28	0,4288	260,2	2,425	0,959	765,8	—0,23	2,932
	1296,12	0,4542	260,4	2,423	0,952	775,4	—0,24	2,882
	1299,85	0,4796	260,6	2,421	0,946	784,9	—0,25	2,835
	1303,50	0,5048	260,9	2,419	0,940	794,2	—0,26	2,791
	1307,06	0,5299	261,1	2,417	0,935	803,3	—0,27	2,749

$T=253{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha\cdot10$
0,01	0,33	0,9986	468,0	3,860	0,669	191,1	22,06	3,9
0,02	0,67	0,9973	467,8	3,777	0,670	190,9	22,06	3,9
0,03	1,00	0,9959	467,7	3,728	0,672	190,8	22,06	4,0
0,04	1,34	0,9946	467,5	3,694	0,673	190,6	22,06	4,0
0,05	1,67	0,9932	467,4	3,667	0,675	190,4	22,06	4,0
0,1	3,37	0,9863	466,6	3,582	0,683	189,6	22,05	4,1
0,2	6,84	0,9723	465,1	3,496	0,700	187,9	22,05	4,3
0,3	10,42	0,9580	463,5	3,443	0,718	186,2	22,06	4,6
0,4	14,11	0,9433	461,9	3,404	0,737	184,5	22,07	4,8
0,5	17,92	0,9282	460,3	3,373	0,757	182,7	22,08	5,1
0,6	21,87	0,9128	458,6	3,346	0,779	180,8	22,11	5,4
0,7	25,96	0,8968	456,8	3,323	0,803	178,9	22,15	5,7
0,8	30,23	0,8804	455,0	3,301	0,829	176,9	22,19	6,1
0,9	34,67	0,8635	453,2	3,282	0,858	174,8	22,25	6,5
1,0	39,32	0,8459	451,2	3,263	0,890	172,6	22,32	7,0
1,5	1163,68	0,0429	270,9	2,518	1,353	495,8	0,20	5,1
2,0	1168,15	0,0570	270,7	2,516	1,338	504,0	0,18	5,0
2,5	1172,44	0,0709	270,6	2,514	1,324	511,9	0,16	4,9
3,0	1176,58	0,0848	270,5	2,512	1,312	519,6	0,14	4,7
3,5	1180,58	0,0986	270,4	2,510	1,300	527,0	0,12	4,6
4,0	1184,45	0,1123	270,4	2,508	1,288	534,2	0,10	4,4
4,5	1188,19	0,1260	270,3	2,506	1,278	541,3	0,09	4,
5,0	1191,82	0,1396	270,3	2,504	1,268	548,2	0,07	4,
5,5	1195,35	0,1531	270,2	2,502	1,259	554,9	0,06	4,
6,0	1198,78	0,1665	270,2	2,501	1,250	561,5	0,04	4,
6,5	1202,11	0,1799	270,2	2,499	1,242	567,9	0,03	4,
7,0	1205,36	0,1932	270,1	2,497	1,234	574,2	0,02	4,
7,5	1208,53	0,2064	270,1	2,495	1,227	580,3	0,01	3.
8,0	1211,62	0,2196	270,1	2,494	1,220	586,4	—0,00	3
8,5	1214,64	0,2328	270,1	2,492	1,213	592,3	—0,02	3
9,0	1217,59	0,2459	270,2	2,491	1,207	598,1	—0,02	3
9,5	1220,47	0,2589	270,2	2,489	1,201	603,8	—0,04	3
10,0	1223,30	0,2719	270,2	2,488	1,195	609,4	—0,04	3
11,0	1228,77	0,2978	270,3	2,485	1,184	620,3	—0,06	3
12,0	1234,03	0,3235	270,3	2,482	1,173	630,9	—0,08	2
13,0	1239,10	0,3490	270,4	2,479	1,164	641,1	—0,09	2
14,0	1243,99	0,3744	270,6	2,476	1,155	651,1	—0,11	2
15,0	1248,71	0,3996	270,7	2,474	1,147	660,8	—0,12	2
16,0	1253,28	0,4247	270,8	2,471	1,139	670,2	—0,13	2
17,0	1257,71	0,4496	271,0	2,468	1,132	679,3	—0,14	
18,0	1262,01	0,4744	271,2	2,466	1,125	688,3	—0,16	
19,0	1266,19	0,4992	271,3	2,464	1,118	697,0	—0,17	
20,0	1270,25	0,5237	271,5	2,461	1,112	705,5	—0,18	

$T=263{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha\cdot10^3$
0,01	0,32	0,9988	474,8	3,889	0,682	194,4	19,53	3,816
0,02	0,64	0,9976	474,7	3,806	0,683	194,3	19,53	3,833
0,03	0,96	0,9965	474,6	3,758	0,685	194,1	19,53	3,849
0,04	1,29	0,9953	474,4	3,723	0,686	194,0	19,53	3,866
0,05	1,61	0,9941	474,3	3,696	0,687	193,8	19,53	3,882
0,1	3,24	0,9881	473,6	3,612	0,694	193,1	19,53	3,967
0,2	6,56	0,9760	472,3	3,526	0,709	191,6	19,54	4,145
0,3	9,96	0,9637	470,9	3,474	0,724	190,1	19,54	4,335
0,4	13,46	0,9511	469,4	3,436	0,739	188,6	19,55	4,540
0,5	17,05	0,9382	468,0	3,405	0,756	187,0	19,57	4,759
0,6	20,76	0,9259	466,5	3,379	0,774	185,4	19,59	4,996
0,7	24,57	0,9116	464,9	3,357	0,793	183,7	19,61	5,253
0,8	28,51	0,8978	463,4	3,336	0,814	182,0	19,64	5,532
0,9	32,59	0,8836	461,7	3,318	0,836	180,3	19,67	5,838
1,0	36,82	0,8691	460,1	3,300	0,860	178,4	19,71	6,173
1,5	60,83	0,7891	450,8	3,225	1,021	168,3	20,03	8,529
2,0	1103,52	0,0580	285,3	2,575	1,557	420,8	0,41	6,478
2,5	1109,70	0,0721	285,0	2,572	1,530	430,4	0,37	6,204
3,0	1115,55	0,0861	284,7	2,570	1,507	439,6	0,34	5,963
3,5	1121,10	0,0999	284,5	2,567	1,486	448,4	0,31	5,748
4,0	1126,38	0,1136	284,3	2,564	1,467	456,8	0,28	5,555
4,5	1131,43	0,1273	284,1	2,562	1,450	465,0	0,25	5,380
5,0	1136,27	0,1408	283,9	2,560	1,434	472,8	0,23	5,222
5,5	1140,91	0,1543	283,8	2,557	1,420	480,5	0,21	5,076
6,0	1145,38	0,1676	283,6	2,555	1,407	487,0	0,19	4,943
6,5	1149,69	0,1809	283,5	2,553	1,394	495,0	0,17	4,820
7,0	1153,85	0,1941	283,4	2,551	1,383	502,0	0,15	4,705
7,5	1157,87	0,2073	283,3	2,549	1,372	508,8	0,13	4,599
8,0	1161,77	0,2204	283,2	2,547	1,362	515,4	0,12	4,500
8,5	1165,55	0,2334	283,1	2,545	1,353	521,8	0,10	4,407
9,0	1169,23	0,2463	283,1	2,543	1,344	528,1	0,09	4,320
9,5	1172,80	0,2592	283,0	2,541	1,336	534,3	0,07	4,237
10,0	1176,27	0,2721	283,0	2,540	1,328	540,3	0,06	4,160
11,0	1182,95	0,2976	282,9	2,536	1,313	551,9	0,04	4,017
12,0	1189,32	0,3229	282,9	2,533	1,300	563,2	0,02	3,889
13,0	1195,39	0,3480	282,9	2,530	1,288	573,9	—0,01	3,772
14,0	1201,21	0,3730	282,9	2,527	1,277	584,4	—0,02	3,666
15,0	1206,80	0,3978	282,9	2,524	1,267	594,4	—0,04	3,568
16,0	1212,17	0,4224	283,0	2,521	1,257	604,2	—0,06	3,478
17,0	1217,34	0,4469	283,1	2,518	1,248	613,6	—0,07	3,395
18,0	1222,34	0,4712	283,2	2,515	1,240	622,8	—0,08	3,317
19,0	1227,17	0,4955	283,3	2,512	1,233	631,7	—0,10	3,245
20,0	1231,85	0,5195	283,4	2,510	1,226	640,4	—0,11	3,178

T=273,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,31	0,9990	481,9	3,917	0,696	197,7	17,37	3,675
0,02	0,62	0,9979	481,7	3,835	0,697	197,6	17,38	3,688
0,03	0,93	0,9969	481,6	3,786	0,698	197,4	17,38	3,702
0,04	1,24	0,9959	481,5	3,752	0,699	197,3	17,38	3,716
0,05	1,55	0,9948	481,4	3,725	0,700	197,2	17,38	3,730
0,1	3,12	0,9896	480,8	3,641	0,706	196,5	17,38	3,801
0,2	6,30	0,9791	479,5	3,555	0,718	195,2	17,38	3,949
0,3	9,55	0,9684	478,3	3,504	0,731	193,9	17,39	4,106
0,4	12,88	0,9575	477,0	3,466	0,745	192,5	17,40	4,272
0,5	16,29	0,9464	475,7	3,436	0,759	191,1	17,41	4,449
0,6	19,78	0,9351	474,3	3,411	0,774	189,7	17,42	4,637
0,7	23,37	0,9236	473,0	3,389	0,789	188,3	17,44	4,839
0,8	27,05	0,9119	471,6	3,369	0,806	186,8	17,46	5,055
0,9	30,83	0,8999	470,2	3,351	0,824	185,3	17,48	5,287
1,0	34,73	0,8877	468,7	3,335	0,843	183,7	17,51	5,537
1,5	56,26	0,8219	460,8	3,265	0,960	175,3	17,69	7,161
2,0	82,70	0,7455	451.5	3,204	1,149	165,4	17,99	9,920
2,5	1031,29	0,0747	301,7	2,637	1,814	347,8	0.76	8,837
3,0	1040,82	0,0889	301,1	2,633	1,756	360,2	0,68	8,196
3,5	1049,51	0,1028	300,5	2,629	1,708	371,7	0,61	7,675
4,0	1057,52	0,1166	300,0	2,625	1,668	382,5	0,56	7,241
4,5	1064,97	0,1303	299,6	2,622	1,633	392,7	0,50	6,873
5,0	1071,93	0,1438	299,2	2,619	1,604	402,4	0,46	6,555
5,5	1078,48	0,1572	298,9	2,616	1,578	411,6	0,42	6,277
6,0	1084,67	0,1705	298,5	2,613	1,554	420,4	0,38	6,032
6,5	1090,55	0,1837	298,3	2,610	1,534	428,8	0,35	5,814
7,0	1096,14	0,1969	298,0	2,608	1,515	437,0	0,32	5,617
7,5	1101,48	0,2099	297,8	2,605	1,498	444,8	0,29	5,439
8,0	1106,60	0,2229	297,6	2,603	1,482	452,4	0,27	5,277
8,5	1111,50	0,2358	297,4	2.600	1,468	459,7	0,25	5,129
9,0	1116,23	0,2486	297,2	2,598	1,455	466,9	0,22	4,993
9,5	1120,78	0,2613	297,0	2,596	1,443	473,8	0,20	4,867
10,0	1125,17	0,2740	296,9	2.594	1,431	480,5	0,18	4,750
11,0	1133,53	0,2992	296,7	2,590	1,411	493,4	0,15	4,539
12,0	1141,39	0,3241	296,5	2,586	1,393	505,7	0,12	4,355
13,0	1148,81	0,3489	296,3	2,582	1,377	517,5	0,09	4,192
14,0	1155,84	0,3734	296,2	2,578	1,362	528,7	0,07	4,046
15,0	1162,51	0,3978	296,2	2,575	1,349	539,6	0,04	3.914
16,0	1168,93	0,4220	296,1	2,572	1,337	550,0	0,02	3,794
17,0	1175,04	0,4459	296,1	2.569	1,326	560,0	0,00	3,685
18,0	1180,91	0,4699	296,1	2,565	1,316	569,8	—0,01	3,585
19,0	1186,54	0,4937	296,1	2,562	1,307	579,2	—0,03	3,493
20,0	1191,97	0,5173	296.2	2,560	1,299	588,3	—0,04	3,408

$T = 283{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,30	0,9991	489,0	3,945	0,709	200,9	15,52	3,543
0,02	0,60	0,9982	488,9	3,862	0,710	200,8	15,52	3,555
0,03	0,89	0,9973	488,8	3,811	0,711	200,6	15,52	3,567
0,04	1,19	0,9964	488,7	3,779	0,712	200,5	15,52	3,578
0,05	1,49	0,9955	488,5	3,752	0,713	200,4	15,52	3,590
0,1	3,00	0,9909	488,0	3,669	0,719	199,8	15,52	3,650
0,2	6,06	0,9817	486,9	3,583	0,729	198,7	15,53	3,774
0,3	9,18	0,9723	485,7	3,532	0,740	197,5	15,53	3,904
0,4	12,36	0,9628	484,6	3,495	0,752	196,3	15,54	4,042
0,5	15,60	0,9532	483,4	3,466	0,764	195,0	15,55	4,186
0,6	18,91	0,9434	482,2	3,441	0,776	193,8	15,56	4,339
0,7	22,30	0,9335	481,0	3,419	0,789	192,5	15,57	4,500
0,8	25,77	0,9234	479,7	3,400	0,803	191,2	15,59	4,671
0,9	29,31	0,9132	478,5	3,383	0,818	189,9	15,60	4,852
1,0	32,94	0,9027	477,2	3,367	0,833	188,5	15,62	5,045
1,5	52,63	0,8476	470,3	3,301	0,924	181,4	15,73	6,232
2,0	75,68	0,7859	462,5	3,245	1,052	173,4	15,89	8,000
2,5	104,03	0,7147	453,4	3,193	1,259	164,1	16,11	10,979
3,0	142,43	0,6264	441,7	3,137	1,684	152,6	16,40	17,419
3,5	952,39	0,1093	319,6	2,699	2,175	286,2	1,27	12,826
4,0	967,80	0,1229	318,4	2,693	2,033	302,4	1,10	11,186
4,5	981,01	0,1364	317,4	2,688	1,932	316,8	0,97	10,028
5,0	992,65	0,1498	316,5	2,683	1,856	329,9	0,86	9,158
5,5	1003,10	0,1631	315,7	2,678	1,795	342,0	0,78	8,474
6,0	1012,60	0,1762	315,1	2,674	1,745	353,3	0,70	7,920
6,5	1021,34	0,1893	314,5	2,670	1,704	363,9	0,64	7,459
7,0	1029,43	0,2022	314,0	2,667	1,668	373,9	0,58	7,067
7,5	1037,00	0,2151	313,5	2,664	1,638	383,4	0,53	6,731
8,0	1044,09	0,2279	313,1	2,660	1,611	392,4	0,49	6,437
8,5	1050,79	0,2406	312,7	2,657	1,587	401,1	0,45	6,178
9,0	1057,14	0,2532	312,4	2,655	1,565	409,4	0,41	5,947
9,5	1063,17	0,2657	312,1	2,652	1,546	417,4	0,38	5,740
10,0	1068,92	0,2782	311,8	2,649	1,529	425,1	0,35	5,552
11,0	1079,69	0,3030	311,3	2,644	1,498	439,8	0,30	5,226
12,0	1089,64	0,3275	310,9	2,639	1,472	453,6	0,25	4,951
13,0	1098,89	0,3518	310,6	2,635	1,450	466,6	0,21	4,715
14,0	1107,54	0,3759	310,3	2,631	1,430	479,0	0,18	4,509
15,0	1115,68	0,3998	310,1	2,627	1,413	490,8	0,14	4,328
16,0	1123,37	0,4236	309,9	2,623	1,397	502,1	0,12	4,167
17,0	1130,67	0,4472	309,8	2,619	1,383	513,0	0,09	4,023
18,0	1137,61	0,4706	309,6	2,616	1,371	523,4	0,07	3,893
19,0	1144,24	0,4938	309,6	2,613	1,359	533,5	0,04	3,774
20,0	1150,58	0,5170	309,5	2,609	1,349	543,2	0,02	3,666

$T = 293{,}15$ K

p	φ	z	h	s	c_p	w	μ	$\lambda \cdot 10^3$
0,01	0,29	0,9992	496,2	3,971	0,723	204,0	13,91	3,421
0,02	0,58	0,9984	496,1	3,889	0,724	203,9	13,91	3,431
0,03	0,86	0,9976	496,0	3,840	0,725	203,8	13,92	3,441
0,04	1,15	0,9968	495,9	3,806	0,726	203,7	13,92	3,451
0,05	1,44	0,9960	495,8	3,779	0,727	203,6	13,92	3,461
0,1	2,90	0,9920	495,3	3,695	0,731	203,1	13,92	3,512
0,2	5,84	0,9839	494,3	3,611	0,741	202,0	13,92	3,617
0,3	8,83	0,9757	493,3	3,560	0,750	200,9	13,93	3,726
0,4	11,88	0,9673	492,2	3,523	0,760	199,9	13,94	3,840
0,5	14,98	0,9589	491,2	3,494	0,770	198,8	13,94	3,960
0,6	18,13	0,9504	490,1	3,469	0,781	197,7	13,95	4,085
0,7	21,35	0,9418	489,0	3,448	0,792	196,5	13,96	4,217
0,8	24,63	0,9331	487,9	3,430	0,804	195,4	13,97	4,355
0,9	27,97	0,9242	486,7	3,413	0,816	194,2	13,98	4,500
1,0	31,39	0,9152	485,6	3,397	0,828	193,1	13,99	4,652
1,5	49,63	0,8682	479,5	3,334	0,901	186,9	14,06	5,556
2,0	70,31	0,8171	472,9	3,282	0,996	180,2	14,15	6,790
2,5	94,44	0,7604	465,3	3,236	1,129	172,7	14,25	8,594
3,0	123,85	0,6958	456,6	3,190	1,337	164,3	14,36	11,522
3,5	162,63	0,6182	445,7	3,141	1,730	154,4	14,44	17,274
4,0	224,63	0,5115	429,9	3,078	2,958	141,7	14,30	33,834
4,5	847,47	0,1525	340,6	2,770	3,067	222,8	2,31	23,880
5,0	878,15	0,1636	337,8	2,758	2,544	246,1	1,84	17,402
5,5	900,75	0,1754	335,8	2,749	2,279	265,1	1,54	14,178
6,0	918,96	0,1876	334,2	2,742	2,113	281,4	1,32	12,189
6,5	934,35	0,1998	332,9	2,736	1,998	295,9	1,16	10,816
7,0	947,75	0,2122	331,9	2,730	1,911	309,1	1,03	9,801
7,5	959,68	0,2245	330,9	2,725	1,843	321,3	0,93	9,013
8,0	970,45	0,2368	330,1	2,721	1,788	332,6	0,84	8,380
8,5	980,29	0,2491	329,4	2,717	1,743	343,2	0,76	7,859
9,0	989,37	0,2613	328,8	2,713	1,704	353,2	0,70	7,419
9,5	997,81	0,2735	328,2	2,709	1,670	362,8	0,64	7,043
10,0	1005,71	0,2856	327,7	2,706	1,641	371,8	0,59	6,717
11,0	1020,14	0,3097	326,9	2,699	1,593	388,8	0,51	6,177
12,0	1033,10	0,3337	326,1	2,694	1,553	404,5	0,43	5,745
13,0	1044,90	0,3574	325,5	2,688	1,521	419,2	0,36	5,391
14,0	1055,74	0,3809	325,0	2,683	1,493	433,0	0,31	5,093
15,0	1065,79	0,4043	324,6	2,679	1,470	446,1	0,27	4,839
16,0	1075,17	0,4275	324,2	2,674	1,449	458,4	0,23	4,618
17,0	1083,97	0,4505	323,9	2,670	1,431	470,2	0,19	4,425
18,0	1092,26	0,4734	323,7	2,666	1,415	481,5	0,16	4,253
19,0	1100,11	0,4961	323,5	2,662	1,400	492,4	0,13	4,100
20,0	1107,56	0,5187	323,3	2,659	1,387	502,8	0,10	3,962

T=303,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,28	0,9993	503,6	3,997	0,737	207,1	12,52	3,307
0,02	0,56	0,9986	503,5	3,914	0,738	207,0	12,52	3,316
0,03	0,84	0,9979	503,4	3,866	0,739	206,9	12,52	3,324
0,04	1,11	0,9972	503,3	3,831	0,740	206,8	12,52	3,333
0,05	1,39	0,9965	503,2	3,805	0,741	206,7	12,52	3,341
0,1	2,80	0,9929	502,8	3,721	0,745	206,2	12,52	3,385
0,2	5,64	0,9857	501,8	3,637	0,753	205,3	12,53	3,474
0,3	8,52	0,9785	500,9	3,586	0,761	204,3	12,54	3,567
0,4	11,44	0,9712	499,9	3,550	0,770	203,3	12,54	3,663
0,5	14,41	0,9638	499,0	3,521	0,779	202,4	12,55	3,763
0,6	17,43	0,9563	498,0	3,497	0,788	201,4	12,55	3,867
0,7	20,49	0,9488	497,0	3,476	0,797	200,4	12,56	3,976
0,8	23,61	0,9411	496,0	3,458	0,807	199,4	12,57	4,089
0,9	26,78	0,9334	495,0	3,441	0,817	198,3	12,57	4,207
1,0	30,01	0,9256	493,9	3,426	0,828	197,3	12,58	4,330
1,5	47,07	0,8851	488,5	3,365	0,887	191,9	12,62	5,038
2,0	65,99	0,8419	482,7	3,316	0,961	186,2	12,67	5,949
2,5	87,33	0,7952	476,3	3,273	1,056	180,0	12,72	7,169
3,0	111,98	0,7442	469,2	3,233	1,186	173,3	12,76	8,889
3,5	141,48	0,6872	461,0	3,193	1,379	166,0	12,77	11,514
4,0	178,79	0,6215	451,3	3,151	1,702	157,9	12,69	16,039
4,5	231,10	0,5409	438,8	3,101	2,387	148,8	12,39	25,844
5,0	326,48	0,4254	419,0	3,030	5,044	138,3	11,25	64,434
5,5	667,34	0,2289	370,7	2,867	7,851	159,4	5,02	90,076
6,0	760,77	0,2191	360,7	2,832	3,663	195,1	3,17	32,422
6,5	804,90	0,2243	356,2	2,815	2,843	219,5	2,43	21,614
7,0	835,10	0,2328	353,3	2,803	2,470	239,2	1,99	16,829
7,5	858,41	0,2427	351,2	2,794	2,251	256,2	1,69	14,065
8,0	877,57	0,2532	349,5	2,787	2,104	271,2	1,47	12,239
8,5	893,93	0,2641	348,1	2,780	1,997	284,8	1,30	10,930
9,0	908,25	0,2753	346,9	2,774	1,914	297,3	1,16	9,939
9,5	921,02	0,2865	345,8	2,769	1,849	308,9	1,04	9,158
0,0	932,57	0,2979	344,9	2,764	1,796	319,7	0,95	8,525
0,5	952,88	0,3207	343,4	2,756	1,712	339,7	0,79	7,553
1,0	970,40	0,3435	342,2	2,748	1,650	357,8	0,67	6,836
1,5	985,86	0,3663	341,2	2,742	1,601	374,4	0,57	6,283
2,0	999,74	0,3890	340,3	2,736	1,562	389,9	0,49	5,839
2,5	1012,35	0,4116	339,6	2,730	1,529	404,3	0,43	5,474
3,0	1023,92	0,4341	339,0	2,725	1,501	417,9	0,37	5,167
3,5	1034,64	0,4564	338,5	2,720	1,477	430,8	0,32	4,905
4,0	1044,62	0,4786	338,1	2,715	1,456	443,0	0,28	4,678
4,5	1053,97	0,5008	337,7	2,711	1,437	454,7	0,24	4,478
5,0	1062,78	0,5227	337,4	2,707	1,421	465,8	0,20	4,301

T=313,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^6$
0,01	0,27	0,9994	511,1	4,022	0,752	210,1	11,31	3,201
0,02	0,54	0,9987	511,0	3,939	0,752	210,0	11,31	3,208
0,03	0,81	0,9981	510,9	3,891	0,753	209,9	11,31	3,215
0,04	1,08	0,9975	510,9	3,856	0,754	209,8	11,31	3,223
0,05	1,35	0,9969	510,8	3,830	0,754	209,7	11,31	3,230
0,1	2,71	0,9937	510,3	3,746	0,758	209,3	11,31	3,267
0,2	5,45	0,9873	509,5	3,662	0,765	208,5	11,32	3,344
0,3	8,22	0,9809	508,6	3,612	0,772	207,6	11,32	3,423
0,4	11,04	0,9745	507,7	3,576	0,780	206,7	11,32	3,505
0,5	13,89	0,9679	506,8	3,547	0,788	205,8	11,33	3,589
0,6	16,78	0,9614	505,9	3,523	0,796	205,0	11,33	3,677
0,7	19,72	0,9547	505,0	3,503	0,804	204,1	11,34	3,767
0,8	22,69	0,9480	504,1	3,485	0,812	203,1	11,34	3,861
0,9	25,71	0,9412	503,2	3,469	0,821	202,2	11,35	3,959
1,0	28,78	0,9344	502,3	3,454	0,830	201,3	11,36	4,060
1,5	44,86	0,8992	497,4	3,394	0,880	196,6	11,38	4,627
2,0	62,38	0,8622	492,2	3,348	0,939	191,6	11,41	5,327
2,5	81,70	0,8228	486,7	3,308	1,011	186,3	11,43	6,208
3,0	103,31	0,7809	480,6	3,271	1,103	180,8	11,43	7,352
3,5	127,93	0,7357	474,0	3,236	1,223	175,0	11,41	8,895
4,0	156,68	0,6865	466,6	3,201	1,390	168,9	11,34	11,080
4,5	191,45	0,6321	458,1	3,165	1,637	162,5	11,18	14,385
5,0	235,67	0,5705	448,1	3,125	2,041	155,9	10,84	19,853
5,5	296,28	0,4992	435,6	3,079	2,785	149,6	10,16	29,952
6,0	387,62	0,4162	419,3	3,022	4,222	145,5	8,80	49,169
6,5	518,99	0,3368	400,0	2,957	5,477	150,2	6,62	63,309
7,0	632,71	0,2975	385,9	2,909	4,346	168,6	4,66	44,075
7,5	701,29	0,2876	378,3	2,883	3,332	190,0	3,48	29,170
8,0	746,15	0,2883	373,6	2,865	2,795	209,4	2,77	21,665
8,5	779,05	0,2934	370,2	2,853	2,402	226,7	2,30	17,420
9,0	805,00	0,3006	367,7	2,843	2,277	242,2	1,97	14,721
9,5	826,47	0,3091	365,7	2,834	2,133	256,3	1,72	12,856
10,0	844,82	0,3183	364,0	2,827	2,026	269,3	1,52	11,486
11,0	875,12	0,3380	361,4	2,815	1,875	292,7	1,22	9,601
12,0	899,79	0,3586	359,3	2,805	1,773	313,5	1,01	8,356
13,0	920,63	0,3797	357,7	2,796	1,698	332,2	0,86	7,464
14,0	938,73	0,4010	356,4	2,788	1,641	349,4	0,73	6,791
15,0	954,79	0,4225	355,3	2,781	1,595	365,3	0,63	6,261
16,0	969,23	0,4439	354,4	2,775	1,557	380,2	0,55	5,831
17,0	982,39	0,4653	353,6	2,769	1,526	394,1	0,48	5,474
18,0	994,48	0,4867	352,9	2,764	1,499	407,3	0,42	5,172
19,0	1005,67	0,5080	352,3	2,759	1,475	419,9	0,36	4,913
20,0	1016,11	0,5293	351,8	2,754	1,455	431,8	0,32	4,688

T=323,15 К

p	ϱ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,26	0,9994	518,7	4,046	0,766	213,0	10,24	3,101
0,02	0,52	0,9989	518,7	3,964	0,767	213,0	10,24	3,107
0,03	0,78	0,9983	518,6	3,915	0,767	212,9	10,24	3,114
0,04	1,04	0,9978	518,5	3,881	0,768	212,8	10,25	3,120
0,05	1,31	0,9972	518,4	3,854	0,768	212,7	10,25	3,126
0,1	2,62	0,9944	518,0	3,771	0,772	212,4	10,25	3,159
0,2	5,27	0,9887	517,2	3,687	0,778	211,6	10,25	3,225
0,3	7,95	0,9830	516,4	3,637	0,784	210,8	10,26	3,292
0,4	10,67	0,9773	515,6	3,601	0,791	210,0	10,26	3,362
0,5	13,41	0,9715	514,8	3,573	0,798	209,2	10,26	3,434
0,6	16,19	0,9657	514,0	3,549	0,805	208,4	10,27	3,509
0,7	19,01	0,9598	513,2	3,529	0,812	207,6	10,27	3,585
0,8	21,86	0,9539	512,3	3,511	0,819	206,8	10,28	3,664
0,9	24,74	0,9479	511,5	3,495	0,827	206,0	10,28	3,745
1,0	27,67	0,9419	510,6	3,481	0,834	205,1	10,28	3,829
1,5	42,90	0,9111	506,2	3,422	0,876	200,9	10,30	4,293
2,0	59,29	0,8790	501,6	3,377	0,925	196,6	10,31	4,845
2,5	77,06	0,8454	496,7	3,339	0,982	192,1	10,32	5,511
3,0	96,51	0,8101	491,4	3,305	1,051	187,4	10,31	6,330
3,5	118,01	0,7729	485,8	3,273	1,136	182,6	10,28	7,356
4,0	142,11	0,7335	479,7	3,243	1,242	177,6	10,21	8,671
4,5	169,56	0,6916	473,1	3,212	1,380	172,6	10,09	10,402
5,0	201,43	0,6468	465,7	3,181	1,564	167,7	9,89	12,742
5,5	239,30	0,5989	457,5	3,149	1,818	162,9	9,57	15,982
6,0	285,36	0,5479	448,3	3,114	2,172	158,7	9,07	20,487
6,5	342,28	0,4949	437,8	3,077	2,644	155,9	8,31	26,374
7,0	411,33	0,4435	426,5	3,037	3,156	155,8	7,30	32,403
7,5	488,07	0,4004	415,3	2,999	3,462	159,9	6,12	35,091
8,0	561,17	0,3715	405,7	2,967	3,382	169,2	4,99	32,395
8,5	621,80	0,3562	398,4	2,942	3,080	182,1	4,06	27,128
9,0	669,33	0,3504	393,1	2,923	2,771	196,4	3,35	22,296
9,5	706,80	0,3503	389,0	2,908	2,524	210,8	2,82	18,645
10,0	737,16	0,3535	385,8	2,896	2,337	224,7	2,42	15,979
11,0	784,09	0,3656	381,2	2,877	2,083	250,2	1,86	12,501
12,0	819,63	0,3815	377,8	2,863	1,923	273,9	1,50	10,385
13,0	848,20	0,3994	375,3	2,852	1,812	293,5	1,24	8,973
14,0	872,13	0,4183	373,3	2,842	1,731	312,2	1,04	7,963
15,0	892,74	0,4378	371,6	2,833	1,669	329,5	0,89	7,203
16,0	910,87	0,4577	370,3	2,826	1,619	345,5	0,77	6,608
17,0	927,08	0,4778	369,1	2,819	1,578	360,5	0,67	6,128
18,0	941,75	0,4981	368,2	2,812	1,544	374,6	0,59	5,733
19,0	955,16	0,5184	367,3	2,806	1,515	387,9	0,52	5,399
20,0	967,54	0,5387	366,6	2,801	1,490	400,6	0,45	5,115

T=333,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,25	0,9995	526,5	4,070	0,780	216,0	9,31	3,007
0,02	0,51	0,9990	526,4	3,987	0,781	215,9	9,31	3,013
0,03	0,76	0,9985	526,3	3,939	0,781	215,8	9,31	3,018
0,04	1,01	0,9980	526,3	3,905	0,782	215,8	9,31	3,024
0,05	1,27	0,9975	526,2	3,878	0,782	215,7	9,31	3,029
0,1	2,54	0,9950	525,8	3,795	0,785	215,3	9,32	3,057
0,2	5,11	0,9899	525,1	3,711	0,791	214,6	9,32	3,115
0,3	7,70	0,9848	524,4	3,661	0,797	213,9	9,32	3,173
0,4	10,32	0,9797	523,6	3,625	0,802	213,2	9,32	3,233
0,5	12,97	0,9746	522,9	3,597	0,808	212,5	9,33	3,295
0,6	15,64	0,9694	522,1	3,574	0,815	211,8	9,33	3,359
0,7	18,35	0,9642	521,3	3,554	0,821	211,0	9,34	3,424
0,8	21,09	0,9589	520,6	3,536	0,827	210,3	9,34	3,491
0,9	23,85	0,9536	519,8	3,521	0,834	209,6	9,34	3,559
1,0	26,65	0,9483	519,0	3,506	0,840	208,8	9,34	3,630
1,5	41,16	0,9212	515,0	3,449	0,876	205,1	9,35	4,014
2,0	56,60	0,8931	510,8	3,406	0,917	201,2	9,36	4,460
2,5	73,13	0,8641	506,4	3,369	0,964	197,3	9,35	4,981
3,0	90,94	0,8339	501,8	3,337	1,018	193,3	9,34	5,596
3,5	110,24	0,8025	496,9	3,307	1,081	189,2	9,30	6,330
4,0	131,33	0,7699	491,7	3,279	1,157	185,1	9,24	7,217
4,5	154,57	0,7359	486,2	3,252	1,248	181,0	9,15	8,299
5,0	180,41	0,7005	480,3	3,225	1,359	177,0	9,01	9,631
5,5	209,44	0,6638	473,9	3,199	1,496	173,1	8,80	11,280
6,0	242,35	0,6258	467,1	3,171	1,665	169,7	8,51	13,311
6,5	279,87	0,5871	459,7	3,144	1,870	166,9	8,12	15,751
7,0	322,61	0,5485	451,9	3,115	2,107	165,0	7,60	18,504
7.5	370,60	0,5115	443,8	3,086	2,352	164,6	6,97	21,221
8,0	422,67	0,4784	435,7	3,058	2,560	166,2	6,24	23,272
8,5	476,19	0,4512	428,0	3,032	2,680	170,2	5,49	24,015
9,0	527,76	0,4310	421,1	3,008	2,691	176,8	4,76	23,285
9,5	574,65	0,4179	415,2	2,988	2,616	185,4	4,10	21,520
10,0	615,68	0,4105	410,3	2,971	2,499	195,6	3,54	19,362
11,0	681,30	0,4081	403,0	2,944	2,255	217,6	2,70	15,428
12,0	730,49	0,4152	397,8	2,924	2,063	239,7	2,12	12,601
13,0	768,92	0,4274	394,0	2,909	1,924	260,5	1,72	10,650
14,0	800,17	0,4422	391,1	2,896	1,821	279,8	1,43	9,264
15,0	826,42	0,4588	388,7	2,885	1,742	297,8	1,21	8,240
16,0	849,04	0,4763	386,8	2,876	1,681	314,6	1,04	7,455
17,0	868,91	0,4945	385,2	2,868	1,631	330,3	0,90	6,835
18,0	886,63	0,5132	383,8	2,860	1,589	345,1	0,79	6,332
19,0	902,64	0,5321	382,7	2,853	1,555	359,0	0,69	5,916
20,0	917,23	0,5511	381,7	2,847	1,525	372,3	0,61	5,565

$T = 343{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,25	0,9996	534,4	4,093	0,794	218,8	8,49	2,919
0,02	0,49	0,9991	534,3	4,011	0,795	218,8	8,49	2,924
0,03	0,74	0,9987	534,2	3,962	0,795	218,7	8,49	2,929
0,04	0,98	0,9982	534,2	3,928	0,796	218,6	8,49	2,934
0,05	1,23	0,9978	534,1	3,901	0,796	218,6	8,49	2,938
0,1	2,47	0,9955	533,8	3,818	0,799	218,3	8,50	2,963
0,2	4,95	0,9910	533,1	3,735	0,804	217,6	8,50	3,013
0,3	7,46	0,9864	532,4	3,685	0,809	217,0	8,50	3,064
0,4	10,00	0,9818	531,7	3,649	0,814	216,3	8,50	3,116
0,5	12,56	0,9772	531,0	3,621	0,820	215,7	8,50	3,169
0,6	15,14	0,9726	530,3	3,598	0,825	215,0	8,51	3,224
0,7	17,75	0,9680	529,6	3,578	0,830	214,4	8,51	3,280
0,8	20,38	0,9633	528,9	3,561	0,836	213,7	8,51	3,337
0,9	23,04	0,9586	528,2	3,545	0,842	213,0	8,51	3,395
1,0	25,73	0,9539	527,5	3,531	0,848	212,4	8,52	3,455
1,5	39,59	0,9299	523,8	3,475	0,879	209,0	8,52	3,778
2,0	54,22	0,9052	520,0	3,433	0,914	205,6	8,52	4,144
2,5	69,73	0,8798	516,0	3,398	0,952	202,1	8,51	4,562
3,0	86,24	0,8537	511,8	3,367	0,996	198,6	8,49	5,040
3,5	103,88	0,8268	507,5	3,339	1,046	195,1	8,46	5,593
4,0	122,82	0,7992	503,0	3,313	1,103	191,6	8,40	6,233
4,5	143,26	0,7708	498,2	3,288	1,169	188,2	8,33	6,978
5,0	165,43	0,7417	493,3	3,264	1,246	184,9	8,22	7,848
5,5	189,59	0,7119	488,0	3,240	1,334	181,7	8,07	8,861
6,0	216,01	0,6816	482,5	3,217	1,437	178,8	7,87	10,034
6,5	245,00	0,6511	476,7	3,194	1,555	176,3	7,62	11,370
7,0	276,77	0,6207	470,7	3,171	1,688	174,4	7,30	12,846
7,5	311,44	0,5910	464,4	3,147	1,830	173,2	6,91	14,390
8,0	348,84	0,5628	458,0	3,124	1,973	173,0	6,46	15,873
8,5	388,43	0,5370	451,7	3,102	2,103	174,0	5,96	17,108
9,0	429,24	0,5145	445,6	3,081	2,204	176,4	5,44	17,905
9,5	470,01	0,4960	439,8	3,060	2,266	180,3	4,91	18,144
10,0	509,44	0,4817	434,5	3,042	2,285	185,7	4,40	17,832
10,5	580,50	0,4650	425,6	3,011	2,225	200,1	3,50	16,081
11,0	639,05	0,4608	418,8	2,986	2,106	217,5	2,80	13,879
11,5	686,37	0,4648	413,6	2,967	1,986	235,9	2,27	11,932
12,0	725,05	0,4738	409,6	2,951	1,883	254,1	1,88	10,387
12,5	757,31	0,4861	406,5	2,938	1,799	271,7	1,58	9,190
13,0	784,81	0,5003	403,9	2,927	1,731	288,4	1,35	8,256
13,5	808,70	0,5159	401,7	2,917	1,676	304,3	1,16	7,515
14,0	829,77	0,5323	400,0	2,908	1,629	319,3	1,02	6,915
14,5	848,61	0,5494	398,4	2,900	1,590	333,6	0,89	6,420
15,0	865,65	0,5670	397,1	2,893	1,557	347,2	0,79	6,006

$T=353{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha\cdot10^3$
0,01	0,24	0,9996	542,4	4,116	0,808	221,7	7,77	2,836
0,02	0,48	0,9992	542,3	4,033	0,809	221,6	7,77	2,840
0,03	0,72	0,9988	542,2	3,985	0,809	221,6	7,77	2,844
0,04	0,96	0,9984	542,2	3,951	0,810	221,5	7,77	2,849
0,05	1,19	0,9980	542,1	3,924	0,810	221,4	7,77	2,853
0,1	2,39	0,9960	541,8	3,841	0,812	221,1	7,77	2,874
0,2	4,81	0,9919	541,2	3,758	0,817	220,6	7,77	2,918
0,3	7,24	0,9878	540,5	3,708	0,822	220,0	7,77	2,963
0,4	9,70	0,9837	539,9	3,673	0,826	219,4	7,78	3,008
0,5	12,17	0,9796	539,2	3,645	0,831	218,8	7,78	3,054
0,6	14,67	0,9754	538,6	3,622	0,836	218,2	7,78	3,102
0,7	17,19	0,9713	537,9	3,602	0,841	217,6	7,78	3,150
0,8	19,73	0,9673	537,3	3,585	0,846	217,0	7,78	3,199
0,9	22,29	0,9629	536,6	3,570	0,851	216,4	7,78	3,250
1,0	24,87	0,9587	536,0	3,556	0,856	215,8	7,79	3,301
1,5	38,16	0,9373	532,6	3,500	0,883	212,8	7,79	3,575
2,0	52,09	0,9155	529,1	3,459	0,913	209,7	7,79	3,880
2,5	66,74	0,8932	525,5	3,425	0,946	206,7	7,77	4,221
3,0	82,18	0,8704	521,7	3,395	0,982	203,6	7,75	4,604
3,5	98,51	0,8472	517,9	3,368	1,023	200,6	7,72	5,034
4,0	115,83	0,8234	513,8	3,344	1,068	197,5	7,67	5,518
4,5	134,25	0,7993	509,7	3,320	1,118	194,6	7,60	6,068
5,0	153,90	0,7747	505,3	3,298	1,175	191,8	7,52	6,680
5,5	174,90	0,7498	500,8	3,277	1,238	189,1	7,40	7,370
6,0	197,40	0,7248	496,2	3,256	1,309	186,7	7,25	8,140
6,5	221,51	0,6997	491,3	3,236	1,388	184,5	7,07	8,988
7,0	247,35	0,6748	486,4	3,216	1,474	182,7	6,85	9,903
7,5	274,96	0,6504	481,2	3,196	1,565	181,5	6,59	10,86
8,0	304,31	0,6269	476,1	3,176	1,660	180,8	6,28	11,82
8,5	335,22	0,6046	470,8	3,157	1,754	180,8	5,95	12,73
9,0	367,39	0,5841	465,7	3,138	1,841	181,7	5,58	13,51
9,5	400,35	0,5658	460,6	3,120	1,916	183,5	5,19	14,10
10,0	433,51	0,5500	455,7	3,103	1,973	186,3	4,79	14,44
11,0	498,01	0,5267	446,9	3,072	2,028	194,9	4,02	14,33
12,0	556,75	0,5139	439,5	3,045	2,012	206,8	3,34	13,43
13,0	607,85	0,5100	433,4	3,023	1,956	221,1	2,77	12,17
14,0	651,42	0,5125	428,5	3,005	1,886	236,5	2,32	10,90
15,0	688,51	0,5195	424,6	2,990	1,818	252,3	1,96	9,77
16,0	720,36	0,5296	421,3	2,977	1,756	268,0	1,68	8,82
17,0	748,03	0,5419	418,7	2,965	1,702	283,2	1,45	8,04
18,0	772,39	0,5557	416,4	2,955	1,656	297,9	1,26	7,39
19,0	794,07	0,5706	414,5	2,946	1,616	312,1	1,11	6,84
20,0	813,57	0,5862	412,8	2,938	1,581	325,7	0,98	6,39

T=363,15 K

	p	z	h	s	c_p	w	μ	α·10³
,01	0,23	0,9996	550,5	4,138	0,822	224,5	7,13	2,757
,02	0,46	0,9993	550,5	4,056	0,823	224,4	7,13	2,761
,03	0,70	0,9989	550,4	4,008	0,823	224,4	7,13	2,765
,04	0,93	0,9985	550,3	3,973	0,824	224,3	7,13	2,769
,05	1,16	0,9982	550,3	3,947	0,824	224,3	7,13	2,772
,1	2,33	0,9964	550,0	3,864	0,826	224,0	7,13	2,791
,2	4,67	0,9927	549,4	3,780	0,830	223,4	7,13	2,830
,3	7,03	0,9890	548,8	3,731	0,834	222,9	7,13	2,869
,4	9,41	0,9853	548,2	3,696	0,838	222,4	7,13	2,909
,5	11,81	0,9816	547,6	3,668	0,843	221,8	7,14	2,949
,6	14,23	0,9779	547,0	3,645	0,847	221,3	7,14	2,990
,7	16,66	0,9742	546,4	3,626	0,851	220,8	7,14	3,032
,8	19,12	0,9704	545,8	3,609	0,856	220,2	7,14	3,075
,9	21,59	0,9667	545,2	3,593	0,860	219,7	7,14	3,119
,0	24,08	0,9629	544,6	3,580	0,865	219,1	7,14	3,163
,5	36,85	0,9439	541,4	3,525	0,889	216,4	7,14	3,398
,0	50,17	0,9245	538,2	3,484	0,915	213,7	7,14	3,655
,5	64,07	0,9048	534,9	3,451	0,943	211,0	7,12	3,939
,0	78,63	0,8847	531,5	3,422	0,974	208,3	7,10	4,251
,5	93,89	0,8644	528,0	3,396	1,007	205,6	7,07	4,595
,0	109,93	0,8438	524,4	3,373	1,044	203,0	7,03	4,974
,5	126,80	0,8230	520,6	3,351	1,084	200,4	6,97	5,392
,0	144,58	0,8019	516,8	3,330	1,128	198,0	6,90	5,851
,5	163,35	0,7808	512,9	3,310	1,176	195,7	6,80	6,353
,0	183,17	0,7596	508,8	3,291	1,229	193,6	6,69	6,899
,5	204,10	0,7385	504,7	3,273	1,286	191,8	6,55	7,487
,0	226,20	0,7176	500,4	3,255	1,347	190,2	6,38	8,110
,5	249,47	0,6971	496,1	3,237	1,412	189,0	6,19	8,758
,0	273,90	0,6773	491,7	3,219	1,479	188,2	5,97	9,414
,5	299,43	0,6583	487,2	3,202	1,546	188,0	5,73	10,056
,0	325,90	0,6404	482,8	3,186	1,612	188,2	5,46	10,654
,5	353,14	0,6238	478,5	3,170	1,674	189,1	5,17	11,178
,0	380,86	0,6088	474,2	3,154	1,730	190,7	4,88	11,598
,0	436,50	0,5844	466,1	3,125	1,813	196,0	4,26	12,044
,0	490,22	0,5676	458,8	3,099	1,852	204,0	3,68	11,940
,0	539,92	0,5583	452,5	3,076	1,852	214,4	3,14	11,407
,0	584,55	0,5554	447,1	3,057	1,827	226,6	2,68	10,642
,0	623,98	0,5574	442,6	3,040	1,788	239,9	2,30	9,813
,0	658,63	0,5633	438,9	3,025	1,745	253,6	1,98	9,018
,0	689,15	0,5720	435,7	3,012	1,702	267,5	1,72	8,302
,0	716,19	0,5828	433,0	3,001	1,662	281,3	1,50	7,675
,0	740,34	0,5951	430,7	2,991	1,626	294,8	1,32	7,133
,0	762,08	0,6086	428,7	2,982	1,593	308,0	1,17	6,664

T=373,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^6$
0,01	0,23	0,9997	558,8	4,161	0,836	227,2	6,56	2,683
0,02	0,45	0,9993	558,7	4,078	0,836	227,2	6,56	2,687
0,03	0,68	0,9990	558,7	4,030	0,837	227,1	6,56	2,690
0,04	0,90	0,9987	558,6	3,996	0,837	227,1	6,56	2,693
0,05	1,13	0,9984	558,6	3,969	0,838	227,0	6,56	2,697
0,1	2,26	0,9967	558,3	3,886	0,839	226,8	6,56	2,713
0,2	4,54	0,9934	557,7	3,803	0,843	226,3	6,56	2,747
0,3	6,84	0,9901	557,2	3,754	0,847	225,8	6,56	2,782
0,4	9,15	0,9868	556,6	3,718	0,850	225,3	6,56	2,817
0,5	11,47	0,9834	556,1	3,691	0,854	224,8	6,56	2,852
0,6	13,82	0,9801	555,5	3,668	0,858	224,3	6,56	2,888
0,7	16,17	0,9767	554,9	3,649	0,862	223,8	6,56	2,925
0,8	18,55	0,9734	554,4	3,632	0,866	223,4	6,56	2,963
0,9	20,94	0,9700	553,8	3,617	0,870	222,9	6,57	3,000
1,0	23,35	0,9666	553,2	3,603	0,874	222,4	6,57	3,039
1,5	35,65	0,9495	550,3	3,549	0,895	219,9	6,56	3,241
2,0	48,41	0,9323	547,4	3,509	0,918	217,5	6,56	3,461
2,5	61,68	0,9148	544,3	3,476	0,943	215,0	6,54	3,700
3,0	75,47	0,8971	541,2	3,448	0,969	212,6	6,52	3,958
3,5	89,84	0,8792	538,0	3,423	0,997	210,3	6,50	4,240
4,0	104,82	0,8611	534,7	3,401	1,028	208,0	6,46	4,54
4,5	120,47	0,8430	531,3	3,380	1,061	205,8	6,41	4,87
5,0	136,81	0,8248	527,9	3,360	1,096	203,7	6,34	5,23
5,5	153,89	0,8065	524,4	3,341	1,135	201,7	6,27	5,61
6,0	171,75	0,7884	520,8	3,324	1,176	199,9	6,17	6,02
6,5	190,42	0,7703	517,1	3,306	1,219	198,3	6,06	6,45
7,0	209,91	0,7525	513,4	3,290	1,265	197,0	5,93	6,90
7,5	230,24	0,7351	509,6	3,273	1,314	195,9	5,79	7,37
8,0	251,39	0,7182	505,8	3,258	1,364	195,2	5,62	7,84
8,5	273,31	0,7018	502,0	3,242	1,414	194,8	5,43	8,30
9,0	295,94	0,6863	498,1	3,227	1,465	194,8	5,23	8,7
9,5	319,16	0,6717	494,3	3,213	1,514	195,3	5,02	9,17
10,0	342,85	0,6582	490,6	3,199	1,560	196,2	4,79	9,5
11,0	390,94	0,6350	483,3	3,172	1,640	199,7	4,30	10,0
12,0	438,68	0,6173	476,5	3,147	1,696	205,3	3,82	10,2
13,0	484,56	0,6554	470,4	3,125	1,726	233,0	3,36	10,1
14,0	527,46	0,5990	464,9	3,105	1,732	222,4	2,93	9,8
15,0	566,74	0,5973	460,2	3,087	1,722	233,1	2,56	9,3
16,0	602,29	0,5995	456,1	3,072	1,701	244,7	2,23	8,8
17,0	634,27	0,6049	452,6	3,058	1,674	256,9	1,96	8,2
18,0	663,02	0,6127	449,5	3,046	1,646	269,3	1,72	7,7
19,0	688,94	0,6224	446,9	3,035	1,617	281,8	1,52	7,2
20,0	712,42	0,6335	444,6	3,025	1,590	294,1	1,35	6,7

$T = 383{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,22	0,9997	567,2	4,183	0,850	229,9	6,05	2,613
0,02	0,44	0,9994	567,1	4,100	0,850	229,9	6,05	2,616
0,03	0,66	0,9991	567,1	4,052	0,850	229,9	6,05	2,619
0,04	0,88	0,9988	567,0	4,018	0,851	229,8	6,05	2,622
0,05	1,10	0,9985	567,0	3,991	0,851	229,8	6,05	2,625
0,1	2,20	0,9970	566,7	3,908	0,853	229,5	6,05	2,640
0,2	4,42	0,9940	566,2	3,825	0,856	229,1	6,05	2,670
0,3	6,65	0,9910	565,7	3,776	0,859	228,7	6,05	2,700
0,4	8,90	0,9880	565,2	3,741	0,863	228,2	6,05	2,731
0,5	11,16	0,9850	564,7	3,713	0,866	227,8	6,05	2,763
0,6	13,43	0,9820	564,1	3,691	0,870	227,3	6,05	2,794
0,7	15,71	0,9790	563,6	3,671	0,873	226,9	6,05	2,827
0,8	18,02	0,9760	563,1	3,654	0,877	226,4	6,06	2,860
0,9	20,33	0,9729	562,5	3,639	0,880	226,0	6,06	2,893
1,0	22,66	0,9699	562,0	3,626	0,884	225,5	6,06	2,926
1,5	34,54	0,9546	559,3	3,572	0,903	223,3	6,05	3,102
2,0	46,81	0,9391	556,5	3,533	0,923	221,1	6,04	3,291
2,5	59,50	0,9235	553,7	3,501	0,944	218,9	6,03	3,494
3,0	72,63	0,9078	550,8	3,473	0,967	216,8	6,01	3,712
3,5	86,24	0,8926	547,9	3,449	0,991	214,7	5,99	3,946
4,0	100,35	0,8761	544,9	3,427	1,017	212,7	5,95	4,195
4,5	114,98	0,8602	541,9	3,407	1,045	210,8	5,91	4,462
5,0	130,16	0,8442	538,7	3,389	1,074	209,0	5,85	4,746
5,5	145,92	0,8284	535,6	3,371	1,106	207,3	5,79	5,046
6,0	162,27	0,8126	532,3	3,354	1,139	205,7	5,71	5,363
6,5	179,23	0,7971	529,1	3,338	1,173	204,3	5,62	5,693
7,0	196,81	0,7817	525,8	3,322	1,210	203,2	5,51	6,036
7,5	214,99	0,7667	522,4	3,307	1,248	202,2	5,40	6,387
8,0	233,78	0,7521	519,0	3,292	1,286	201,6	5,26	6,742
8,5	253,14	0,7380	515,6	3,278	1,325	201,2	5,12	7,094
9,0	273,02	0,7245	512,2	3,264	1,366	201,1	4,96	7,437
9,5	293,36	0,7117	508,9	3,251	1,405	201,4	4,79	7,763
10,0	314,09	0,6997	505,5	3,238	1,443	202,0	4,61	8,063
11,0	356,29	0,6786	499,0	3,213	1,512	204,5	4,23	8,556
12,0	398,69	0,6615	492,8	3,190	1,568	208,6	3,83	8,865
13,0	440,31	0,6489	487,0	3,169	1,608	214,4	3,44	8,970
14,0	480,26	0,6407	481,7	3,149	1,632	221,8	3,07	8,883
15,0	517,87	0,6366	477,0	3,132	1,641	230,4	2,72	8,647
16,0	552,78	0,6361	472,8	3,116	1,638	240,1	2,41	8,312
17,0	584,90	0,6388	469,1	3,101	1,627	250,5	2,14	7,925
18,0	614,29	0,6440	465,8	3,089	1,611	261,4	1,90	7,522
19,0	641,14	0,6513	462,9	3,077	1,593	272,7	1,69	7,125
20,0	665,71	0,6603	460,4	3,066	1,573	284,0	1,52	6,750

$T=393{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha\cdot10^3$
0,01	0,21	0,9997	575,7	4,204	0,863	232,6	5,59	2,546
0,02	0,43	0,9995	575,7	4,122	0,863	232,6	5,59	2,549
0,03	0,64	0,9992	575,6	4,074	0,864	232,6	5,59	2,551
0,04	0,86	0,9989	575,6	4,040	0,864	232,5	5,59	2,554
0,05	1,07	0,9986	575,5	4,013	0,864	232,5	5,59	2,557
0,1	2,15	0,9973	575,3	3,930	0,866	232,3	5,60	2,570
0,2	4,31	0,9946	574,8	3,847	0,869	231,9	5,60	2,597
0,3	6,48	0,9919	574,3	3,798	0,872	231,5	5,60	2,624
0,4	8,66	0,9892	573,8	3,763	0,875	231,0	5,60	2,651
0,5	10,86	0,9864	573,3	3,735	0,878	230,6	5,60	2,679
0,6	13,06	0,9837	572,9	3,713	0,881	230,2	5,60	2,707
0,7	15,28	0,9810	572,4	3,694	0,884	229,8	5,60	2,736
0,8	17,52	0,9782	571,9	3,677	0,887	229,4	5,60	2,765
0,9	19,76	0,9755	571,4	3,662	0,891	229,0	5,60	2,794
1,0	22,02	0,9728	570,9	3,648	0,894	228,6	5,60	2,824
1,5	33,50	0,9590	568,3	3,595	0,911	226,6	5,60	2,978
2,0	45,33	0,9451	565,8	3,556	0,929	224,6	5,59	3,142
2,5	57,51	0,9312	563,2	3,525	0,948	222,7	5,57	3,316
3,0	70,06	0,9171	560,5	3,498	0,968	220,8	5,56	3,501
3,5	83,01	0,9031	557,8	3,475	0,989	218,9	5,53	3,698
4,0	96,37	0,8890	555,0	3,453	1,011	217,2	5,50	3,906
4,5	110,15	0,8750	552,2	3,434	1,034	215,5	5,46	4,126
5,0	124,38	0,8610	549,4	3,416	1,059	213,9	5,41	4,357
5,5	139,06	0,8471	546,5	3,399	1,085	212,4	5,36	4,599
6,0	154,21	0,8334	543,6	3,383	1,113	211,1	5,29	4,852
6,5	169,82	0,8198	540,6	3,367	1,141	209,9	5,21	5,113
7,0	185,91	0,8065	537,6	3,352	1,171	208,9	5,13	5,382
7,5	202,46	0,7934	534,6	3,338	1,201	208,1	5,03	5,655
8,0	219,47	0,7808	531,6	3,324	1,232	207,5	4,92	5,931
8,5	236,90	0,7685	528,5	3,311	1,264	207,1	4,81	6,205
9,0	254,73	0,7568	525,5	3,298	1,296	207,0	4,68	6,473
9,5	272,92	0,7456	522,5	3,286	1,328	207,2	4,54	6,731
10,0	291,42	0,7350	519,5	3,274	1,359	207,7	4,40	6,974
11,0	329,06	0,7160	513,6	3,250	1,418	209,6	4,09	7,397
12,0	367,07	0,7002	507,9	3,229	1,469	212,8	3,76	7,708
13,0	404,78	0,6879	502,5	3,208	1,511	217,4	3,44	7,888
14,0	441,56	0,6791	497,5	3,190	1,541	223,3	3,11	7,932
15,0	476,85	0,6738	493,0	3,172	1,560	230,3	2,81	7,856
16,0	510,26	0,6716	488,8	3,157	1,569	238,4	2,52	7,685
17,0	541,58	0,6723	485,0	3,142	1,570	247,3	2,27	7,446
18,0	570,73	0,6755	481,7	3,129	1,565	256,8	2,04	7,168
19,0	597,74	0,6808	478,6	3,117	1,556	266,8	1,83	6,872
20,0	622,74	0,6879	476,0	3,106	1,545	277,0	1,65	6,574

$T = 403{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,21	0,9998	584,4	4,226	0,876	235,3	5,19	2,483
0,02	0,42	0,9995	584,4	4,144	0,876	235,3	5,19	2,485
0,03	0,63	0,9993	584,3	4,095	0,877	235,2	5,19	2,488
0,04	0,84	0,9990	584,3	4,061	0,877	235,2	5,19	2,490
0,05	1,05	0,9988	584,2	4,035	0,877	235,2	5,19	2,492
0,1	2,09	0,9975	584,0	3,952	0,879	235,0	5,19	2,504
0,2	4,20	0,9951	583,5	3,869	0,881	234,6	5,19	2,528
0,3	6,31	0,9926	583,1	3,820	0,884	234,2	5,19	2,552
0,4	8,44	0,9902	582,6	3,785	0,887	233,8	5,19	2,577
0,5	10,57	0,9877	582,2	3,757	0,890	233,5	5,19	2,602
0,6	12,72	0,9852	581,7	3,735	0,893	233,1	5,19	2,627
0,7	14,88	0,9828	581,2	3,716	0,895	232,7	5,19	2,652
0,8	17,05	0,9803	580,8	3,699	0,898	232,4	5,19	2,678
0,9	19,23	0,9778	580,3	3,684	0,901	232,0	5,19	2,704
1,0	21,42	0,9753	579,8	3,671	0,904	231,6	5,19	2,730
1,5	32,54	0,9629	577,5	3,618	0,919	229,8	5,18	2,865
2,0	43,95	0,9504	575,1	3,580	0,935	228,0	5,18	3,008
2,5	55,68	0,9379	572,6	3,548	0,952	226,3	5,16	3,159
3,0	67,71	0,9254	570,2	3,522	0,970	224,6	5,15	3,319
3,5	80,08	0,9129	567,6	3,499	0,988	223,0	5,12	3,486
4,0	92,79	0,9004	565,1	3,478	1,008	221,4	5,09	3,662
4,5	105,85	0,8880	562,5	3,459	1,028	219,9	5,06	3,846
5,0	119,27	0,8756	559,9	3,442	1,049	218,5	5,02	4,037
5,5	133,06	0,8634	557,2	3,425	1,071	217,3	4,97	4,237
6,0	147,22	0,8513	554,6	3,410	1,094	216,1	4,91	4,443
6,5	161,74	0,8394	551,9	3,395	1,118	215,1	4,85	4,654
7,0	176,64	0,8278	549,2	3,381	1,143	214,2	4,77	4,870
7,5	191,90	0,8164	546,4	3,368	1,168	213,6	4,69	5,089
8,0	207,50	0,8053	543,7	3,355	1,194	213,1	4,60	5,309
8,5	223,44	0,7946	540,9	3,342	1,220	212,8	4,51	5,527
9,0	239,68	0,7843	538,2	3,330	1,246	212,7	4,40	5,742
9,5	256,20	0,7745	535,4	3,318	1,272	212,8	4,29	5,949
10,0	272,96	0,7652	532,7	3,307	1,298	213,2	4,17	6,147
11,0	307,02	0,7484	527,4	3,285	1,348	214,8	3,92	6,503
12,0	341,46	0,7341	522,2	3,264	1,393	217,4	3,65	6,787
13,0	375,83	0,7225	517,2	3,245	1,433	221,2	3,37	6,985
14,0	409,65	0,7138	512,5	3,227	1,464	226,0	3,10	7,088
15,0	442,51	0,7080	508,2	3,210	1,488	231,9	2,83	7,101
16,0	474,07	0,7050	504,1	3,195	1,503	238,7	2,58	7,034
17,0	504,07	0,7044	500,4	3,181	1,512	246,4	2,34	6,904
18,0	532,40	0,7062	497,0	3,168	1,516	254,6	2,12	6,727
19,0	558,99	0,7100	494,0	3,155	1,514	263,4	1,92	6,521
20,0	583,88	0,7155	491,2	3,144	1,510	272,6	1,75	6,299

T=413,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^6$
0,01	0,20	0,9998	593,2	4,247	0,889	237,9	4,82	2,423
0,02	0,41	0,9996	593,2	4,165	0,889	237,9	4,82	2,425
0,03	0,61	0,9993	593,1	4,117	0,890	237,9	4,82	2,427
0,04	0,82	0,9991	593,1	4,083	0,890	237,8	4,82	2,429
0,05	1,02	0,9989	593,0	4,056	0,890	237,8	4,82	2,431
0,1	2,04	0,9978	592,8	3,973	0,891	237,6	4,82	2,442
0,2	4,09	0,9955	592,4	3,890	0,894	237,3	4,82	2,463
0,3	6,16	0,9933	592,0	3,841	0,896	236,9	4,82	2,485
0,4	8,23	0,9911	591,5	3,806	0,899	236,6	4,82	2,507
0,5	10,31	0,9888	591,1	3,779	0,901	236,3	4,82	2,529
0,6	12,40	0,9866	590,7	3,757	0,904	235,9	4,82	2,551
0,7	14,49	0,9844	590,2	3,737	0,907	235,6	4,82	2,574
0,8	16,60	0,9821	589,8	3,721	0,909	235,3	4,82	2,597
0,9	18,72	0,9799	589,3	3,706	0,912	234,9	4,82	2,620
1,0	20,85	0,9776	588,9	3,693	0,915	234,6	4,82	2,643
1,5	31,64	0,9664	586,7	3,641	0,928	232,9	4,82	2,763
2,0	42,68	0,9552	584,4	3,602	0,943	231,3	4,81	2,889
2,5	53,98	0,9439	582,2	3,572	0,958	229,8	4,80	3,020
3,0	65,56	0,9327	579,8	3,546	0,973	228,3	4,78	3,158
3,5	77,41	0,9215	577,5	3,523	0,990	226,8	4,76	3,302
4,0	89,55	0,9104	575,1	3,503	1,007	225,4	4,73	3,453
4,5	101,98	0,8994	572,7	3,484	1,024	224,1	4,70	3,608
5,0	114,71	0,8884	570,3	3,467	1,043	222,9	4,66	3,770
5,5	127,74	0,8776	567,9	3,451	1,062	221,8	4,62	3,936
6,0	141,06	0,8669	565,4	3,436	1,082	220,8	4,57	4,107
6,5	154,69	0,8565	562,9	3,422	1,102	220,0	4,51	4,282
7,0	168,69	0,8462	560,5	3,409	1,123	219,3	4,45	4,459
7,5	182,80	0,8362	558,0	3,396	1,144	218,7	4,38	4,638
8,0	197,27	0,8266	555,4	3,383	1,166	218,3	4,30	4,817
8,5	212,01	0,8172	552,9	3,371	1,188	218,0	4,22	4,994
9,0	226,98	0,8082	550,4	3,360	1,210	218,0	4,14	5,169
9,5	242,17	0,7996	547,9	3,349	1,232	218,1	4,04	5,339
10,0	257,55	0,7914	545,5	3,338	1,254	218,5	3,94	5,502
11,0	288,74	0,7765	540,6	3,317	1,296	219,9	3,73	5,801
12,0	320,27	0,7637	535,8	3,297	1,336	222,1	3,51	6,052
13,0	351,82	0,7531	531,2	3,279	1,371	225,3	3,27	6,242
14,0	383,04	0,7450	526,8	3,262	1,402	229,5	3,04	6,357
15,0	413,69	0,7392	522,7	3,246	1,426	234,5	2,80	6,425
16,0	443,24	0,7358	518,8	3,231	1,445	240,4	2,58	6,421
17,0	471,73	0,7345	515,2	3,217	1,459	247,0	2,37	6,362
18,0	498,93	0,7353	511,9	3,204	1,467	254,2	2,17	6,259
19,0	524,74	0,7380	508,9	3,192	1,471	262,0	1,98	6,124
20,0	549,13	0,7423	506,1	3,181	1,472	270,2	1,81	5,967

$T = 423{,}15$ K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,20	0,9998	602,1	4,269	0,902	240,5	4,49	2,365
0,02	0,40	0,9996	602,1	4,186	0,902	240,5	4,49	2,367
0,03	0,60	0,9994	602,1	4,138	0,902	240,5	4,49	2,369
0,04	0,80	0,9992	602,0	4,104	0,902	240,4	4,49	2,371
0,05	1,00	0,9990	602,0	4,077	0,903	240,4	4,49	2,373
0,1	1,99	0,9980	601,8	3,995	0,904	240,3	4,49	2,382
0,2	4,00	0,9959	601,4	3,911	0,906	239,9	4,49	2,402
0,3	6,01	0,9939	601,0	3,863	0,908	239,6	4,49	2,421
0,4	8,03	0,9919	600,6	3,828	0,911	239,3	4,49	2,441
0,5	10,05	0,9899	600,1	3,800	0,913	239,0	4,49	2,461
0,6	12,09	0,9878	599,7	3,778	0,915	238,7	4,49	2,481
0,7	14,13	0,9858	599,3	3,759	0,918	238,4	4,49	2,501
0,8	16,18	0,9838	598,9	3,742	0,920	238,1	4,49	2,521
0,9	18,24	0,9817	598,5	3,728	0,923	237,8	4,49	2,542
1,0	20,31	0,9797	598,1	3,715	0,925	237,5	4,49	2,563
1,5	30,79	0,9695	596,0	3,663	0,937	235,0	4,48	2,669
2,0	41,49	0,9594	593,9	3,625	0,950	234,5	4,48	2,780
2,5	52,41	0,9493	591,7	3,594	0,964	233,1	4,46	2,896
3,0	63,57	0,9392	589,6	3,569	0,978	231,8	4,45	3,016
3,5	74,96	0,9292	587,4	3,547	0,992	230,5	4,43	3,141
4,0	86,59	0,9193	585,2	3,527	1,007	229,3	4,40	3,271
4,5	98,47	0,9094	583,0	3,509	1,023	228,2	4,37	3,404
5,0	110,60	0,8997	580,7	3,492	1,039	227,1	4,34	3,542
5,5	122,97	0,8901	578,4	3,476	1,056	226,2	4,30	3,683
6,0	135,58	0,8807	576,2	3,462	1,073	225,3	4,26	3,827
6,5	148,44	0,8714	573,9	3,448	1,090	224,6	4,21	3,973
7,0	161,53	0,8624	571,6	3,435	1,108	224,0	4,15	4,121
7,5	174,85	0,8536	569,3	3,423	1,127	223,5	4,09	4,269
8,0	188,39	0,8451	567,0	3,411	1,145	223,2	4,03	4,418
8,5	202,13	0,8369	564,7	3,399	1,164	223,0	3,96	4,565
9,0	216,06	0,8290	562,4	3,388	1,183	223,0	3,88	4,710
9,5	230,16	0,8214	560,1	3,377	1,202	223,2	3,81	4,851
10,0	244,41	0,8142	557,8	3,367	1,220	223,5	3,72	4,987
11,0	273,26	0,8011	553,3	3,347	1,257	224,8	3,54	5,239
12,0	302,40	0,7897	548,9	3,329	1,291	226,8	3,35	5,457
13,0	331,57	0,7802	544,6	3,311	1,323	229,6	3,15	5,632
14,0	360,53	0,7728	540,6	3,295	1,352	233,2	2,95	5,760
15,0	389,03	0,7673	536,7	3,279	1,376	237,6	2,75	5,839
16,0	416,85	0,7638	533,0	3,265	1,396	242,8	2,55	5,869
17,0	443,80	0,7623	529,6	3,251	1,411	248,6	2,36	5,855
18,0	469,73	0,7626	526,3	3,238	1,423	255,0	2,18	5,803
19,0	494,56	0,7645	523,4	3,226	1,430	261,9	2,01	5,720
20,0	518,21	0,7680	520,6	3,215	1,435	269,3	1,85	5,614

T=433,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,19	0,9998	611,2	4,290	0,914	243,1	4,19	2,310
0,02	0,39	0,9996	611,2	4,207	0,914	243,1	4,19	2,312
0,03	0,58	0,9994	611,1	4,159	0,915	243,1	4,19	2,314
0,04	0,78	0,9993	611,1	4,125	0,915	243,0	4,19	2,316
0,05	0,97	0,9991	611,0	4,098	0,915	243,0	4,19	2,317
0,1	1,95	0,9982	610,9	4,016	0,916	242,9	4,19	2,326
0,2	3,90	0,9963	610,5	3,933	0,918	242,6	4,19	2,343
0,3	5,86	0,9945	610,1	3,884	0,920	242,3	4,19	2,361
0,4	7,83	0,9926	609,7	3,849	0,922	242,0	4,19	2,379
0,5	9,81	0,9908	609,3	3,822	0,924	241,7	4,19	2,396
0,6	11,80	0,9889	608,9	3,799	0,927	241,4	4,19	2,414
0,7	13,79	0,9871	608,5	3,780	0,929	241,2	4,19	2,433
0,8	15,79	0,9852	608,1	3,764	0,931	240,9	4,19	2,451
0,9	17,79	0,9834	607,8	3,749	0,933	240,6	4,19	2,469
1,0	19,81	0,9816	607,4	3,736	0,935	240,3	4,19	2,488
1,5	29,99	0,9724	605,4	3,684	0,947	239,0	4,18	2,583
2,0	40,37	0,9632	603,4	3,647	0,959	237,7	4,18	2,682
2,5	50,94	0,9541	601,4	3,617	0,971	236,4	4,16	2,784
3,0	61,72	0,9450	599,4	3,592	0,983	235,2	4,15	2,890
3,5	72,69	0,9360	597,3	3,570	0,996	234,1	4,13	2,999
4,0	83,88	0,9271	595,2	3,550	1,010	233,0	4,11	3,112
4,5	95,26	0,9184	593,2	3,532	1,024	232,0	4,08	3,227
5,0	106,86	0,9097	591,1	3,516	1,038	231,1	4,05	3,345
5,5	118,65	0,9012	589,0	3,501	1,052	230,3	4,01	3,466
6,0	130,65	0,8928	586,9	3,487	1,067	229,6	3,98	3,589
6,5	142,85	0,8846	584,7	3,473	1,083	229,0	3,93	3,713
7,0	155,23	0,8767	582,6	3,461	1,098	228,5	3,88	3,838
7,5	167,81	0,8689	580,5	3,449	1,114	228,1	3,83	3,963
8,0	180,55	0,8614	578,3	3,437	1,130	227,9	3,78	4,088
8,5	193,46	0,8542	576,2	3,426	1,146	227,8	3,72	4,211
9,0	206,52	0,8472	574,1	3,415	1,163	227,8	3,65	4,333
9,5	219,71	0,8406	571,9	3,405	1,179	228,0	3,58	4,451
10,0	233,03	0,8343	569,8	3,395	1,195	228,4	3,51	4,566
11,0	259,93	0,8227	565,7	3,376	1,227	229,5	3,37	4,780
12,0	287,06	0,8127	561,6	3,358	1,257	231,4	3,19	4,968
13,0	314,23	0,8043	557,7	3,341	1,286	234,0	3,02	5,127
14,0	341,24	0,7976	553,9	3,326	1,312	237,2	2,85	5,256
15,0	367,92	0,7926	550,2	3,311	1,335	241,1	2,67	5,353
16,0	394,06	0,7894	546,7	3,297	1,354	245,7	2,50	5,387
17,0	419,54	0,7878	543,4	3,283	1,371	250,9	2,33	5,390
18,0	444,21	0,7878	540,4	3,271	1,381	256,6	2,16	5,370
19,0	467,99	0,7893	537,5	3,259	1,394	262,9	2,01	5,333
20,0	490,81	0,7922	534,8	3,248	1,401	269,5	1,86	5,260

T=443,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\alpha \cdot 10^3$
0,01	0,19	0,9998	620,4	4,311	0,926	245,7	3,92	2,258
0,02	0,38	0,9997	620,4	4,228	0,926	245,6	3,92	2,260
0,03	0,57	0,9995	620,3	4,180	0,927	245,6	3,92	2,261
0,04	0,76	0,9993	620,3	4,146	0,927	245,6	3,92	2,263
0,05	0,95	0,9992	620,2	4,119	0,927	245,6	3,92	2,264
0,1	1,90	0,9983	620,1	4,037	0,928	245,4	3,92	2,272
0,2	3,81	0,9965	619,7	3,954	0,930	245,2	3,92	2,288
0,3	5,73	0,9950	619,3	3,905	0,932	244,9	3,92	2,304
0,4	7,65	0,9933	619,0	3,870	0,934	244,7	3,92	2,320
0,5	9,58	0,9916	618,6	3,843	0,936	244,4	3,92	2,336
0,6	11,52	0,9899	618,2	3,821	0,938	244,1	3,92	2,352
0,7	13,46	0,9882	617,9	3,802	0,940	243,9	3,92	2,369
0,8	15,41	0,9866	617,5	3,785	0,942	243,6	3,92	2,385
0,9	17,36	0,9849	617,1	3,771	0,944	243,4	3,92	2,402
1,0	19,33	0,9832	616,8	3,757	0,946	243,1	3,92	2,418
1,5	29,24	0,9749	614,9	3,706	0,956	241,9	3,91	2,503
2,0	39,32	0,9666	613,0	3,669	0,967	240,8	3,90	2,591
2,5	49,57	0,9584	611,1	3,639	0,978	239,6	3,89	2,682
3,0	59,99	0,9502	609,2	3,614	0,989	238,6	3,88	2,776
3,5	70,59	0,9422	607,3	3,592	1,001	237,6	3,86	2,872
4,0	81,36	0,9342	605,3	3,573	1,013	236,6	3,84	2,970
4,5	92,31	0,9263	603,4	3,556	1,025	235,8	3,81	3,071
5,0	103,43	0,9186	601,4	3,540	1,038	235,0	3,79	3,174
5,5	114,72	0,9110	599,5	3,525	1,051	234,3	3,75	3,278
6,0	126,18	0,9036	597,5	3,511	1,064	233,7	3,72	3,384
6,5	137,80	0,8964	595,5	3,498	1,078	233,2	3,68	3,490
7,0	149,57	0,8893	593,5	3,486	1,092	232,8	3,64	3,597
7,5	161,50	0,8825	591,5	3,474	1,106	232,5	3,59	3,704
8,0	173,37	0,8759	589,6	3,463	1,120	232,3	3,54	3,810
8,5	185,76	0,8695	587,6	3,452	1,134	232,3	3,49	3,915
9,0	198,08	0,8634	585,6	3,442	1,148	232,4	3,43	4,018
9,5	210,51	0,8576	583,6	3,432	1,162	232,6	3,37	4,119
10,0	223,03	0,8520	581,7	3,422	1,176	233,0	3,31	4,217
11,0	248,28	0,8419	577,8	3,404	1,204	234,1	3,18	4,400
12,0	273,71	0,8331	574,0	3,386	1,231	235,9	3,04	4,565
13,0	299,17	0,8257	570,4	3,370	1,256	238,3	2,89	4,705
14,0	324,51	0,8198	566,8	3,355	1,280	241,2	2,73	4,819
15,0	349,57	0,8154	563,4	3,341	1,301	244,8	2,58	4,904
16,0	374,22	0,8125	560,1	3,327	1,320	248,9	2,42	4,960
17,0	398,33	0,8110	557,0	3,314	1,336	253,6	2,27	4,988
18,0	421,78	0,8109	554,0	3,302	1,350	258,8	2,13	4,990
19,0	444,51	0,8122	551,2	3,290	1,361	264,5	1,99	4,969
20,0	466,43	0,8148	548,6	3,280	1,370	270,6	1,85	4,928

T=453,15 K

p	ρ	z	h	s	c_p	w	μ	$\varkappa \cdot 10^4$
0,01	0,19	0,9998	629,7	4,331	0,938	248,2	3,68	2,208
0,02	0,37	0,9997	629,7	4,249	0,938	248,2	3,68	2,210
0,03	0,56	0,9995	629,6	4,201	0,938	248,1	3,68	2,211
0,04	0,74	0,9994	629,6	4,166	0,939	248,1	3,68	2,212
0,05	0,93	0,9992	629,6	4,140	0,939	248,1	3,68	2,214
0,1	1,86	0,9985	629,4	4,057	0,940	248,0	3,68	2,221
0,2	3,73	0,9969	629,0	3,974	0,942	247,7	3,68	2,235
0,3	5,60	0,9954	628,7	3,926	0,943	247,5	3,68	2,250
0,4	7,48	0,9939	628,3	3,891	0,945	247,3	3,68	2,264
0,5	9,36	0,9924	628,0	3,864	0,947	247,0	3,68	2,279
0,6	11,25	0,9908	627,6	3,842	0,949	246,8	3,68	2,293
0,7	13,15	0,9893	627,3	3,823	0,951	246,6	3,68	2,308
0,8	15,05	0,9878	627,0	3,806	0,952	246,4	3,67	2,323
0,9	16,96	0,9863	626,6	3,792	0,954	246,1	3,67	2,338
1,0	18,87	0,9847	626,2	3,779	0,956	245,9	3,67	2,353
1,5	28,53	0,9772	624,5	3,727	0,966	244,8	3,67	2,430
2,0	38,33	0,9697	622,7	3,690	0,975	243,8	3,66	2,508
2,5	48,28	0,9623	620,9	3,661	0,985	242,8	3,64	2,589
3,0	58,38	0,9549	619,1	3,636	0,996	241,8	3,63	2,673
3,5	68,63	0,9477	617,3	3,615	1,006	240,9	3,61	2,758
4,0	79,03	0,9405	615,5	3,596	1,017	240,1	3,59	2,844
4,5	89,58	0,9335	613,6	3,578	1,028	239,4	3,57	2,933
5,0	100,28	0,9266	611,8	3,563	1,040	238,7	3,55	3,023
5,5	111,11	0,9198	610,0	3,548	1,051	238,1	3,52	3,113
6,0	122,09	0,9132	608,1	3,535	1,063	237,6	3,48	3,205
6,5	133,20	0,9068	606,3	3,522	1,075	237,2	3,45	3,297
7,0	144,44	0,9006	604,4	3,510	1,087	236,9	3,41	3,389
7,5	155,81	0,8945	602,5	3,498	1,100	236,7	3,37	3,481
8,0	167,28	0,8887	600,7	3,487	1,112	236,6	3,33	3,573
8,5	178,86	0,8831	598,8	3,477	1,125	236,6	3,28	3,663
9,0	190,54	0,8777	597,0	3,467	1,137	236,8	3,23	3,751
9,5	202,31	0,8726	595,2	3,457	1,150	237,0	3,18	3,838
10,0	214,14	0,8678	593,4	3,448	1,162	237,4	3,12	3,922
11,0	237,98	0,8589	589,8	3,430	1,187	238,6	3,01	4,087
12,0	261,96	0,8513	586,2	3,414	1,211	240,3	2,88	4,224
13,0	285,95	0,8448	582,8	3,398	1,234	242,5	2,75	4,[illegible]18
14,0	309,82	0,8397	579,4	3,383	1,255	245,2	2,62	4,[illegible]52
15,0	333,48	0,8359	576,2	3,369	1,274	248,5	2,48	4,[illegible]34
16,0	356,78	0,8334	573,1	3,356	1,292	252,4	2,34	4,[illegible]02
17,0	379,64	0,8321	570,2	3,343	1,308	256,7	2,21	4,[illegible]29
18,0	401,96	0,8322	567,3	3,332	1,322	261,4	2,08	4,[illegible]13
19,0	423,67	0,8334	564,7	3,320	1,333	266,6	1,95	4,[illegible]39
20,0	444,71	0,8357	562,1	3,310	1,343	272,2	1,83	4,[illegible]17

Таблица 52

Переносные свойства фреона-23 на линиях кипения и конденсации

T	p	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^2$	$\lambda'' \cdot 10^2$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr'	Pr''
233,15	0,7077	164,3	11,68	0,1300	0,390	103,2	11,31	0,0987	0,441	1,318	0,884
235,15	0,7615	160,2	11,80	0,1277	0,366	101,8	11,54	0,0907	0,410	1,391	0,892
237,15	0,8184	156,1	11,92	0,1253	0,344	100,4	11,77	0,0841	0,382	1,490	0,901
238,15	0,8481	154,0	11,98	0,1241	0,334	99,3	11,89	0,0810	0,369	1,533	0,904
239,15	0,8785	152,0	12,05	0,1230	0,323	98,6	12,01	0,0784	0,356	1,569	0,909
241,15	0,9418	147,9	12,17	0,1206	0,304	97,2	12,26	0,0739	0,331	1,633	0,918
243,15	1,0085	143,9	12,30	0,1183	0,287	95,8	12,52	0,0700	0,309	1,691	0,928
245,15	1,0787	139,8	12,44	0,1159	0,270	94,5	12,78	0,0665	0,288	1,741	0,939
247,15	1,1525	135,7	12,57	0,1135	0,255	93,2	13,06	0,0636	0,268	1,785	0,950
248,15	1,1908	133,7	12,61	0,1123	0,248	92,5	13,20	0,0623	0,261	1,804	0,948
249,15	1,2300	131,8	12,72	0,1112	0,241	91,8	13,34	0,0610	0,250	1,823	0,963
251,15	1,3113	128,9	12,86	0,1098	0,228	90,5	13,64	0,0586	0,233	1,873	0,978
253,15	1,3966	125,8	13,01	0,1082	0,215	89,1	13,95	0,0565	0,217	1,915	0,992
255,15	1,4860	122,6	13,17	0,1065	0,204	87,8	14,27	0,0545	0,202	1,954	1,209
257,15	1,5795	119,3	13,34	0,1047	0,1929	86,1	14,61	0,0526	0,1877	1,994	1,028
258,15	1,6279	117,6	13,42	0,1038	0,1877	85,5	14,78	0,0517	0,1808	2,01	1,038

Продолжение табл. 52

T	p	$\eta' \cdot 10^6$	$\eta'' \cdot 10^6$	$\nu' \cdot 10^6$	$\nu'' \cdot 10^6$	$\lambda' \cdot 10^6$	$\lambda'' \cdot 10^6$	$a' \cdot 10^6$	$a'' \cdot 10^6$	Pr′	Pr″
259,15	1,6773	115,9	13,51	0,1028	0,1827	84,8	14,96	0,0508	0,1743	2,02	1,048
261,15	1,7797	112,4	13,68	0,1008	0,1732	83,5	15,33	0,0492	0,1618	2,05	1,070
263,15	1,8866	108,8	13,87	0,0987	0,1643	82,2	15,71	0,0477	0,1499	2,07	1,096
265,15	1,9982	105,2	14,07	0,0966	0,1558	80,9	16,12	0,0462	0,1386	2,09	1,124
267,15	2,115	101,6	14,28	0,0945	0,1479	79,6	16,54	0,0448	0,1279	2,11	1,157
268,15	2,175	99,8	14,39	0,0934	0,1441	79,0	16,76	0,0441	0,1228	2,12	1,174
269,15	2,237	97,9	14,50	0,0923	0,1404	78,3	16,99	0,0433	0,1177	2,13	1,193
271,15	2,363	94,3	14,73	0,0901	0,1334	77,0	17,46	0,0419	0,1081	2,15	1,234
273,15	2,496	90,7	14,98	0,0879	0,1267	75,3	17,97	0,0403	0,0988	2,18	1,282
275,15	2,634	87,1	15,25	0,0858	0,1204	74,0	18,50	0,0388	0,0899	2,21	1,338
277,15	2,777	83,5	15,53	0,0836	0,1143	72,7	19,08	0,0372	0,0814	2,25	1,405
278,15	2,851	81,7	15,69	0,0826	0,1114	72,0	19,38	0,0363	0,0773	2,27	1,442
279,15	2,927	80,0	15,84	0,0815	0,1086	71,3	19,69	0,0355	0,0732	2,29	1,484
281,15	3,083	76,5	16,19	0,0795	0,1031	69,8	20,4	0,0338	0,0652	2,35	1,581
283,15	3,245	73,1	16,56	0,0775	0,0979	68,3	21,1	0,0319	0,0576	2,43	1,701
285,15	3,414	69,7	16,98	0,0756	0,0929	66,8	21,9	0,0298	0,0501	2,54	1,854
287,15	3,590	66,4	17,45	0,0737	0,0881	65,1	22,8	0,0274	0,0427	2,69	2,06
288,15	3,681	64,7	17,72	0,0728	0,0857	64,2	23,3	0,0261	0,0393	2,78	2,18

Переносные свойства фреона-23 в однофазной области

p	$T=233{,}15$ K				$T=243{,}15$ K			
	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^3$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^3$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	11,54	9,76	4,0000	0,785	12,04	10,30	4,350	0,786
0,5	11,61	10,79	0,6950	0,833	12,10	11,27	0,782	0,818
1,0	165,0	103,3	0,0991	1,316	12,30	12,48	0,313	0,926
2,0	167,3	104,4	0,1014	1,298	146,5	96,9	0,0715	1,675
3,0	169,6	105,5	0,1038	1,281	149,0	98,1	0,0731	1,658
4,0	171,8	106,6	0,1060	1,265	151,4	99,3	0,0747	1,641
5,0	174,1	107,7	0,1082	1,251	153,7	100,5	0,0763	1,622
6,0	176,2	108,7	0,1103	1,238	156,0	101,7	0,0778	1,608
8,0	180,5	110,6	0,1143	1,216	160,5	103,8	0,0805	1,586
10,0	184,7	112,3	0,1182	1,196	164,7	105,6	0,0829	1,568
12,0	188,8	113,6	0,1215	1,182	168,8	107,1	0,0850	1,556
14,0	192,8	114,7	0,1243	1,173	172,8	108,2	0,0866	1,553
16,0	196,8	115,5	0,1271	1,165	176,8	109,2	0,0881	1,553
18,0	201,0	116,1	0,1294	1,163	180,6	109,9	0,0894	1,554
20,0	205,0	116,6	0,1314	1,162	184,4	110,5	0,0904	1,561

Продолжение табл. 53

p	$T=253{,}15$ K				$T=263{,}15$ K			
	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^3$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^3$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	12,54	10,84	4,7100	0,790	13,03	11,38	5,0600	0,795
0,5	12,59	11,77	0,8680	0,810	13,08	12,26	0,9510	0,807
1,0	12,76	12,86	0,3670	0,886	13,23	13,28	0,4190	0,858
2,0	127,4	89,6	0,0573	1,904	109,2	82,4	0,0480	2,06
3,0	129,7	90,9	0,0589	1,871	112,7	83,8	0,0498	2,03
4,0	131,5	92,2	0,0604	1,838	115,8	85,2	0,0516	1,992
5,0	134,2	93,5	0,0619	1,819	118,7	86,6	0,0531	1,967
6,0	136,8	94,8	0,0632	1,805	121,3	88,0	0,0546	1,940
8,0	141,7	97,0	0,0656	1,782	126,0	90,5	0,0572	1,896
10,0	146,2	99,0	0,0677	1,765	130,1	92,6	0,0593	1,865
12,0	150,6	100,7	0,0696	1,753	133,6	94,5	0,0611	1,838
14,0	154,7	102,0	0,0710	1,752	137,9	96,0	0,0626	1,834
16,0	158,7	103,1	0,0722	1,753	142,1	97,2	0,0638	1,837
18,0	162,6	103,9	0,0732	1,760	146,1	98,2	0,0648	1,845
20,0	166,4	104,6	0,0740	1,770	149,9	99,0	0,0655	1,858

Продолжение табл. 53

	$T=273{,}15$ K				$T=283{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	
0,1	13,53	11,92	5,4100	0,802	14,02	12,47	5,7800	
0,5	13,57	12,77	1,0330	0,806	14,06	13,27	1,1130	
1,0	13,71	13,71	0,4680	0,844	14,18	14,16	0,5160	
2,0	14,34	16,15	0,1700	1,020	14,71	16,34	0,2050	
3,0	93,5	76,7	0,0420	2,14	15,97	19,72	0,0822	
4,0	97,2	78,2	0,0443	2,07	77,6	70,6	0,0359	
5,0	101,0	79,7	0,0463	2,04	82,5	72,2	0,0392	
6,0	104,4	81,1	0,0481	2,00	86,8	73,7	0,0417	
8,0	110,6	83,8	0,0511	1,956	94,3	76,6	0,0455	
10,0	115,9	86,2	0,0535	1,925	100,7	79,1	0,0484	
12,0	120,7	88,2	0,0555	1,905	106,3	81,3	0,0507	
14,0	124,8	89,9	0,0571	1,891	111,4	83,2	0,0525	
16,0	128,6	91,3	0,0584	1,884	115,9	84,7	0,0540	
18,0	131,9	92,4	0,0595	1,877	119,1	86,0	0,0551	
20,0	134,8	93,4	0,0603	1,875	123,8	87,0	0,0560	

Продолжение табл. 53

	$T=293{,}15$ K				$T=303{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	
0,1	14,50	13,01	6,1400	0,814	14,99	13,55	6,5000	
0,5	14,55	13,78	1,1950	0,813	15,03	14,30	1,2740	
1,0	14,66	14,63	0,5630	0,830	15,13	15,10	0,6080	
2,0	15,12	16,61	0,2370	0,907	15,54	16,93	0,2670	
3,0	16,07	19,32	0,1167	1,112	16,32	19,26	0,1450	
4,0	18,43	24,5	0,0369	2,22	17,76	22,7	0,0746	
5,0	63,6	68,1	0,0305	2,37	22,1	30,5	0,01852	
6,0	69,6	71,5	0,0368	2,06	50,8	59,3	0,0213	
8,0	78,6	75,7	0,0436	1,858	64,0	68,6	0,0371	
10,0	85,8	78,6	0,0476	1,792	72,2	73,1	0,0436	
12,0	92,1	80,9	0,0504	1,769	79,0	76,3	0,0476	
14,0	97,7	82,8	0,0525	1,763	85,0	78,7	0,0504	
16,0	102,8	84,4	0,0542	1,764	90,4	80,7	0,0525	
18,0	107,5	85,8	0,0555	1,773	95,4	82,4	0,0542	
20,0	111,9	87,1	0,0567	1,782	100,0	83,9	0,0555	

Продолжение табл. 53

	T=313,15 K				T=323,15 K			
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^4$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^4$	Pr
0,1	15,47	14,09	6,8600	0,832	15,95	14,63	7,2300	0,842
0,5	15,51	14,81	1,3530	0,825	15,99	15,33	1,4320	0,832
1,0	15,60	15,58	0,6520	0,831	16,08	16,06	0,6960	0,835
2,0	15,98	17,29	0,2950	0,868	16,42	17,67	0,3220	0,860
3,0	16,64	19,36	0,1699	0,948	17,00	19,56	0,1928	0,913
4,0	17,74	22,1	0,1015	1,115	17,90	21,9	0,1241	1,015
5,0	19,70	26,2	0,0545	1,534	19,28	24,9	0,0790	1,211
6,0	25,0	34,6	0,0211	3,06	21,6	29,3	0,0473	1,600
8,0	49,9	58,8	0,0282	2,37	35,5	46,0	0,0242	2,62
10,0	60,3	66,5	0,0388	1,840	49,5	58,6	0,0340	1,974
12,0	67,6	71,0	0,0445	1,690	57,8	65,0	0,0412	1,711
14,0	72,4	73,5	0,0481	1,617	64,2	69,3	0,0459	1,603
16,0	79,3	76,7	0,0508	1,611	69,7	72,4	0,0491	1,558
18,0	84,4	78,8	0,0529	1,604	74,8	75,0	0,0516	1,539
20,0	89,1	80,6	0,0545	1,609	79,4	77,1	0,0535	1,535

Продолжение табл. 53

	T=333,15 K				T=343,15 K			
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^4$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^3$	$a \cdot 10^4$	Pr
0,1	16,43	15,18	7,6100	0,850	16,91	15,72	7,9600	0,860
0,5	16,46	15,85	1,5120	0,839	16,94	16,37	1,5890	0,849
1,0	16,55	16,55	0,7390	0,844	17,01	17,05	0,7810	0,846
2,0	16,86	18,08	0,3480	0,856	17,30	18,50	0,3730	0,855
3,0	17,38	19,82	0,2140	0,893	17,78	20,1	0,2340	0,880
4,0	18,15	21,9	0,1441	0,959	18,45	22,0	0,1624	0,925
5,0	19,24	24,4	0,0995	1,072	19,37	24,1	0,1169	1,002
6,0	20,8	27,6	0,0684	1,255	20,6	26,8	0,0863	1,105
8,0	27,7	37,7	0,0348	1,883	24,8	33,9	0,0492	1,445
0,0	39,9	50,3	0,0327	1,982	33,0	43,7	0,0375	1,727
2,0	49,4	58,6	0,0389	1,738	42,2	52,5	0,0390	1,693
4,0	56,2	64,0	0,0439	1,600	49,4	58,8	0,0431	1,581
6,0	61,8	67,9	0,0476	1,529	55,1	63,4	0,0467	1,503
8,0	66,7	71,0	0,0504	1,493	59,9	66,9	0,0495	1,458
0,0	71,2	73,5	0,0525	1,479	64,3	69,8	0,0518	1,434

Продолжение табл. 53

	T=353,15 K				T=363,15 K			
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr
0,1	17,38	16,26	8,3800	0,868	17,85	16,80	8,7300	0,878
0,5	17,41	16,89	1,6700	0,857	17,87	17,41	1,7490	0,865
1,0	17,48	17,54	0,8240	0,853	17,94	18,04	0,8660	0,817
2,0	17,75	18,93	0,3980	0,856	18,19	19,38	0,4220	0,859
3,0	18,18	20,5	0,2540	0,871	18,59	20,8	0,2720	0,869
4,0	18,79	22,2	0,1795	0,904	19,14	22,4	0,1952	0,892
5,0	19,58	24,1	0,1333	0,958	19,85	24,2	0,1484	0,925
6,0	20,6	26,3	0,1018	1,025	20,7	26,1	0,1159	0,975
8,0	23,7	32,0	0,0633	1,230	23,2	30,9	0,0763	1,110
10,0	29,1	39,4	0,0461	1,456	27,1	36,9	0,0560	1,271
12,0	36,6	47,3	0,0422	1,558	32,8	43,5	0,0479	1,397
14,0	43,6	53,9	0,0439	1,525	39,0	49,7	0,0465	1,435
16,0	49,4	59,0	0,0466	1,472	44,7	54,9	0,0478	1,420
18,0	54,3	63,0	0,0492	1,429	49,5	59,2	0,0497	1,391
20,0	58,6	66,2	0,0515	1,399	53,8	62,7	0,0516	1,368

Продолжение табл. 53

	T=373,15 K				T=383,15 K			
p	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr	$\eta \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^6$	$a \cdot 10^6$	Pr
0,1	18,31	17,34	9,1400	0,886	18,77	17,89	9,5300	0,895
0,5	18,34	17,94	1,8310	0,873	18,80	18,46	1,9100	0,882
1,0	18,40	18,55	0,9090	0,867	18,86	19,06	0,9510	0,875
2,0	18,64	19,83	0,4460	0,863	19,08	20,3	0,4700	0,867
3,0	19,01	21,2	0,2900	0,869	19,43	21,6	0,3070	0,871
4,0	19,51	22,7	0,2110	0,882	19,89	23,0	0,2250	0,881
5,0	20,2	24,3	0,1621	0,911	20,5	24,5	0,1753	0,898
6,0	20,9	26,1	0,1292	0,942	21,2	26,1	0,1412	0,925
8,0	23,0	30,2	0,0881	1,038	22,9	29,8	0,0991	0,988
10,0	26,0	35,2	0,0658	1,152	25,4	34,2	0,0755	1,071
12,0	30,3	40,8	0,0548	1,260	28,8	39,0	0,0624	1,158
14,0	35,6	46,4	0,0508	1,329	33,1	44,0	0,0561	1,229
16,0	40,8	51,5	0,0503	1,347	37,7	48,7	0,0538	1,268
18,0	45,5	55,8	0,0511	1,342	42,1	52,9	0,0534	1,283
20,0	49,7	59,5	0,0525	1,329	46,2	56,5	0,0539	1,288

Продолжение табл. 53

	$T=393{,}15$ K				$T=403{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	19,23	18,43	9,9000	0,903	19,69	18,97	10,3300	0,912
0,5	19,26	18,99	1,9920	0,890	19,71	19,52	2,0700	0,901
1,0	19,32	19,56	0,9940	0,883	19,77	20,1	1,0380	0,889
2,0	19,52	20,8	0,4940	0,872	19,97	21,2	0,5169	0,880
3,0	19,85	22,0	0,3240	0,874	20,3	22,4	0,3410	0,880
4,0	20,3	23,3	0,2390	0,881	20,7	23,7	0,2530	0,881
5,0	20,8	24,8	0,1883	0,888	21,2	25,0	0,1998	0,883
6,0	21,4	26,3	0,1532	0,906	21,8	26,5	0,1645	0,900
8,0	23,0	29,6	0,1095	0,957	23,2	29,6	0,1195	0,936
10,0	25,1	33,5	0,0846	1,018	25,0	33,0	0,0931	0,984
12,0	27,9	37,7	0,0699	1,087	27,3	36,8	0,0774	1,032
14,0	31,4	42,1	0,0619	1,149	30,3	40,7	0,0679	1,090
16,0	35,4	46,4	0,0580	1,197	33,7	44,7	0,0627	1,134
18,0	39,4	50,4	0,0564	1,224	37,2	48,4	0,0600	1,165
20,0	43,2	54,0	0,0554	1,252	40,8	51,9	0,0589	1,187

Продолжение табл. 53

	$T=413{,}15$ K				$T=423{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	20,1	19,51	10,7300	0,918	20,6	20,0	11,1200	0,931
0,5	20,2	20,0	2,1500	0,911	20,6	20,6	2,2500	0,911
1,0	20,2	20,6	1,0800	0,897	20,7	21,1	1,1230	0,907
2,0	20,4	21,7	0,5390	0,887	20,8	22,2	0,5630	0,890
3,0	20,7	22,9	0,3590	0,880	21,1	23,3	0,3750	0,885
4,0	21,1	24,1	0,2670	0,881	21,5	24,5	0,2810	0,882
5,0	21,5	25,4	0,2120	0,884	21,9	25,7	0,2240	0,884
6,0	22,1	26,7	0,1749	0,896	22,4	27,0	0,1856	0,890
8,0	23,4	29,6	0,1287	0,922	23,6	29,7	0,1377	0,910
10,0	25,0	32,7	0,1012	0,956	25,1	32,6	0,1093	0,940
12,0	27,0	36,1	0,0844	0,999	26,8	35,7	0,0914	0,969
14,0	29,5	39,7	0,0739	1,042	29,0	38,9	0,0798	1,008
16,0	32,4	43,3	0,0676	1,081	31,5	42,2	0,0725	1,043
18,0	35,6	46,8	0,0639	1,117	34,3	45,5	0,0681	1,072
20,0	38,8	50,0	0,0619	1,142	37,2	48,6	0,0653	1,100

Продолжение табл. 53

	$T=433{,}15$ K				$T=443{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	21,0	20,6	11,5300	0,934	21,5	21,1	11,9700	0,946
0,5	21,1	21,1	2,3300	0,923	21,5	21,6	2,4100	0,921
1,0	21,1	21,6	1,1660	0,913	21,5	22,1	1,2090	0,912
2,0	21,3	22,7	0,5860	0,901	21,7	23,2	0,6100	0,905
3,0	21,5	23,7	0,3910	0,890	22,0	24,2	0,4080	0,899
4,0	21,9	24,9	0,2940	0,888	22,3	25,3	0,3070	0,892
5,0	22,3	26,0	0,2340	0,893	22,7	26,4	0,2460	0,890
6,0	22,7	27,2	0,1951	0,898	23,1	27,6	0,2060	0,889
8,0	23,9	29,8	0,1461	0,906	24,1	30,0	0,1543	0,899
10,0	25,2	32,5	0,1167	0,926	25,4	32,5	0,1239	0,919
12,0	26,8	35,4	0,0981	0,952	26,8	35,2	0,1045	0,937
14,0	28,7	38,4	0,0858	0,980	28,5	38,0	0,0915	0,960
16,0	30,9	41,4	0,0776	1,010	30,5	40,8	0,0826	0,987
18,0	33,4	44,4	0,0722	1,042	32,7	43,6	0,0766	1,014
20,0	36,0	47,3	0,0688	1,065	35,0	46,3	0,0725	1,032

Продолжение табл. 53

	$T=453{,}15$ K				$T=463{,}15$ K			
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	21,9	21,7	12,4160	0,948	22,4	22,2	12,8100	0,961
0,5	21,9	22,2	2,5000	0,936	22,4	22,7	2,5900	0,946
1,0	22,0	22,7	1,2580	0,927	22,4	23,2	1,3050	0,932
2,0	22,1	23,6	0,6310	0,913	22,6	24,1	0,6570	0,921
3,0	22,4	24,7	0,4250	0,904	22,8	25,1	0,4410	0,912
4,0	22,7	25,7	0,3200	0,897	23,1	26,1	0,3330	0,904
5,0	23,0	26,8	0,2570	0,891	23,4	27,2	0,2690	0,899
6,0	23,4	27,9	0,2150	0,892	23,8	28,2	0,2250	0,894
8,0	24,4	30,2	0,1624	0,898	24,7	30,4	0,1710	0,897
10,0	25,6	32,6	0,1310	0,912	25,8	32,7	0,1388	0,906
12,0	26,9	35,1	0,1106	0,928	27,0	35,1	0,1178	0,916
14,0	28,4	37,7	0,0970	0,946	28,4	37,5	0,1033	0,931
16,0	30,2	40,4	0,0876	0,966	29,9	39,9	0,0930	0,947
18,0	32,1	43,0	0,0809	0,986	31,6	42,4	0,0857	0,965
20,0	34,3	45,5	0,0762	1,012	33,6	44,8	0,0805	0,986

Продолжение табл. 53

	$T=473{,}15$ K								
p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr	p	$\eta\cdot10^6$	$\lambda\cdot10^6$	$a\cdot10^6$	Pr
0,1	22,8	22,8	13,2900	0,964	8,0	25,0	30,6	0,1805	0,88
0,5	22,8	23,3	2,7000	0,948	10,0	26,0	32,8	0,1470	0,90
1,0	22,9	23,7	1,3530	0,943	12,0	27,0	35,0	0,1253	0,90
2,0	23,0	24,6	0,6830	0,927	14,0	28,3	37,2	0,1101	0,91
3,0	23,2	25,6	0,4630	0,915	16,0	29,7	39,5	0,0993	0,92
4,0	23,5	26,6	0,3490	0,905	18,0	31,2	41,7	0,0909	0,92
5,0	23,8	27,6	0,2810	0,900	20,0	33,0	44,0	0,0851	0,93
6,0	24,2	28,6	0,2370	0,895					

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К введению

0.1. Алешин Ю. П., Арефьева Л. Н., Луговцев В. В. Скорость звука и показатель изоэнтропы фреонов-12, 13, 12В1, 13В1, 22 и аммиака. — В кн.: Термодинамические свойства важнейших рабочих веществ холодильных машин. Труды ВНИХИ. М., 1976, с. 7—12.

0.2. Алтунин В. В., Спиридонов Г. А. Методика аналитического расчета термодинамических функций сжатых газов на произвольной изотерме диаграммы состояний. — Теплоэнергетика, 1969, № 6.

0.3. Алтунин В. В., Сахабетдинов М. А. Сравнительный анализ некоторых уравнений вязкости газов и жидкостей. — В кн.: Теплофизические свойства жидкостей. М., Наука, 1973, с. 123—130.

0.4. Алтунин В. В. Применение ЭЦВМ для построения точных уравнений состояния чистых веществ по данным массовых измерений термодинамических свойств. — В кн.: Уравнение состояния газов и жидкостей. М., Наука, 1975, с. 117—134.

0.5. Алтунин В. В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. М., Изд-во стандартов, 1975.

0.6. Анисимов М. А. Исследования критических явлений в жидкостях. — Успехи физических наук, 1974, т. 114, № 2, с. 249—294.

0.7. Бадылькес И. С. — В кн.: Холодильная техника. Энциклопедический справочник. М., Госторгиздат, 1960. Т. 1.

0.8. Богданов С. Н., Иванов О. П., Куприянова А. В. Свойства рабочих веществ, теплоносителей и материалов, используемых в холодильной технике/ЛГУ, Л., 1972.

0.9. Богданов С. Н., Иванов О. П., Куприянова А. В. Холодильная техника. Свойства веществ. Справочник. Л., Машиностроение, 1976.

0.10. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 2-е изд. М., Наука, 1972.

0.11. Васьков Е. Т., Панайоти В. И. Термодинамические свойства фреона-21. Л., изд-во ЛТИХП, 1968, 26 с.

0.12. Геллер В. З., Горыкин С. Ф., Кронберг А. В. Расчет вязкости некоторых жидких фреонов метанового и этанового рядов. — Холодильная техника и технология, 1973, вып. 18, с. 117—121.

0.13. Теплопроводность фреонов 12, 13, 14, 22, 23, 12В1, 13В1 в широкой области параметров состояния. — Теплофизические свойства фреонов/Госстандарт; ГСССД, 1977, вып. 1. Авт.: Геллер В. З., Горыкин С. Ф., Згадзай Р. Б., Войтенко А. К., Передрий В. Г.

0.14. Жоховский М. К. Об уравнении p—T-кривой плавления. — Измерительная техника, 1976, № 4, с. 49—52.

0.15. Иванченко С. И. Исследование динамической вязкости фреонов метанового и этанового рядов. Автореферат канд. дисс./ОТИПП. Одесса, 1974.

0.16. Кессельман П. М., Каменецкий В. Р., Якуб Е. С. Свойства переноса реальных газов. Киев, Вища школа, 1976.

0.17. Классификатор фреонов и их свойств. М., Изд-во стандартов, 1974.

0.18. Клецкий А. В. Теплофизические свойства фреона-22. М., Изд-во стандартов, 1970.

0.19. Клецкий А. В. Структура взаимосогласованных уравнений состояния хладоагентов. — В кн.: Машины и аппараты холодильной, криогенной техники и кондиционирования воздуха. Л., 1976, с. 169—174.

0.20. Клецкий А. В., Сагайдакова Н. Г. Обзор данных по вязкости фреона-22 и аппроксимация их функций температуры и давления — В кн.: Теплофизические свойства жидкостей. М., Наука, 1976, с. 117—120.

0.21. Клименко А. П., Краснощекий С. И., Колесник В. М. Термодинамические свойства фреонов в идеально газовом состоянии. — Холодильная техника и технология, 1973, вып. 18, с. 110—114.

0.22. Клименко А. П., Краснощекий С. И, Колесник В. М. Применение обобщенного уравнения Старлинга — Хана для расчета на ЭВМ термодинамических свойств фреонов и их смесей — Холодильная техника, 1976, № 8, с. 26—28.

0.23. Краснощекий С. И., Колесник В. М. Применение обобщенного уравнения БВР для расчета на ЭЦВМ p—v—T-зависимостей индивидуальных фреонов. — Химическая технология, 1973, № 5, с. 23—26.

0.24. Кронберг А. В. Уравнение вязкости жидких фреонов Ф-21, 22 и 23. — Холодильная техника и технология, 1974, вып. 20, с. 98—99.

0.25. Курылев Е. С., Оносовский В. В. Применение уравнения состояния, предложенного Старлингом, для определения параметров рабочих веществ холодильных машин. — Холодильная техника, 1975. № 4, с. 31—33.

0.26. Москвичева В. Н., Огуречников Л. А., Петин Ю. М. Математическое моделирование теплофизических свойств фреонов. — Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1976, вып. 3, с. 27—34.

0.27. Осипов О. А., Минкин В. И., Гарновский А. Д. Справочник по дипольным моментам. 3-е изд. М., Высшая школа, 1971.

0.28. Перельштейн И. И. Таблицы и диаграммы термодинамических свойств фреонов 12, 13, 22/ВНИХИ. М., 1971.

0.29. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Методика определения термодинамических свойств основных хладоагентов по экспериментальным данным. — Холодильная техника, 1976, № 1, с. 27—30.

0.30. Ривкин С. Л. Исследование теплофизических свойств обычной и тяжелой воды. Автореферат докт. дисс./ВТИ. М., 1965.

0.31. К вопросу о связи вязкости жидкостей с их термическими свойствами. — Инженерно-физический журнал, 1971, т. 21, с. 405—410. Авт.: Ривкин С. Л., Левин А. Я., Израилевский Л. Б., Харитонов К. Г.

0.32. Сахабетдинов М. А. Разработка и исследование метода ортогональных разложений применительно к обработке опытных данных по теплофизическим свойствам веществ на ЦВМ. Автореферат канд. дисс./МЭИ. М., 1977.

0.33. Скрипов В. П., Муратов Г. Н. Данные по поверхностному натяжению жидкостей и обработка их методом термодинамического подобия. — ЖФХ, 1977, т. 51, № 6, с. 1369—1372.

0.34. Тумановская В. Ф., Колотова Б. Е. Фреоны, свойства и применение. М., Химия, 1970.

0.35. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Полякова Н. А. Теплопроводность фреонов в широком интервале температур и давлений. — Холодильная техника, 1974, № 11, с. 39—43.

0.36. Чайковский В. Ф., Геллер В. З., Горыкин С. Ф. Комплексное исследование теплофизических свойств наиболее важных и перспективных фреонов в жидкой и газовой фазах.— В кн.: Теплофизические свойства жидкостей. М., Наука, 1976, с. 108—117.

0.37. Barho W. Die Molwärme der Fluor-Chlor-Derivate des Methans im Zustand idealer Gase.— Kältetechnik, 1965, Bd. 17, S. 219—222.

0.38. Basu R. S., Sengers J. V. Thermal conductivity of steam in the critical region. Proc. seventh sympos. on thermophys. prop. N.—Y., 1977.

0.39. Döring R., Löffler H. J. Thermodynamische Eigenschaften von Trifluormetan.— Kältetechnik, 1968, Bd. 20, S. 342—348.

0.40. Gordon D. T., Hamilton J. F., Fontaine W. E. An empirical equation for predicting the viscosity of liquid refrigerants.— ASHRAE Trans., 1969, v. 75, N 1, p. 40—52.

0.41. Küper P., Löffler H. J. Eine neue Dampftafel für das Kältemittel 22.— Kältetechnik, 1971, Bd. 25, S. 47—51.

0.42. Morsy T. E. Eine neue zusfandgleichung für Trifluoromethan.— Kältetechnik, 1965, Bd. 17, S. 272—275.

0.43. Morsy T. E. Extended Benedict-Weber-Rubin Equation of state.— J. Chem. Eng. Data, 1970, v. 15, p. 256—265.

0.44. Nischiumi H., Saito S. An improved generalized BWR equation of state applicable to low reduced temperatures.— J. Chem. Eng. Japan., 1975, v. 8, p. 356—360.

0.45. Plank R. Handbuch der Kältetechnik. Bd. 4. Die Kältemittel. Brl., Springer Verlag, 1956. S. 364—382, 465—467.

0.46. Rombusch U. K., Giesen H. Neue Mollier H-lg P Diagramme für die Kältemittel R 11, 12, 13 und R 21.— Kältetechnik, 1966, Bd. 18, N 2, S. 37—40.

0.47. Seshadri D. N. Modified equation of state for gases.— Indian J. Technology, 1975, v. 13, p. 19—24.

0.48. Starling K. E. Thermo data refined for LPG. Part 1. Equation of state and computer prediction.— Hydrocarbon processing, 1971, v. 51, p. 101—104.

0.49. Starling K. E., Han M. S. Thermo data refined for LPG. Part 14. Mixtures.— Hydrocarbon processing, 1972, v. 5, p. 129—132.

0.50. Tauscher W. A. Correlation for gas thermal conductivity of halogenated methans.— AIChE Journal, 1971, v. 17, p. 1511—1512.

0.51. Thermophysical properties of refrigerants. Chlorodifluoromethane. Japanese Assoc. Refrig., 1975.

К главе 1

1.1. Алтунин В. В. Метод расчета термодинамических свойств смесей реальных газов по ограниченному количеству исходных опытных данных. — Теплоэнергетика, 1963, № 4, с. 78—84.

1.2. Алтунин В. В. Поверхностное натяжение фреонов 21, 22 и 23. — Теплофизические свойства фреонов/Госстандарт СССР; ГСССД. 1977, вып. 1.

1.3. Геллер В. З. Вязкость фреона-21, 22 и 23. — Холодильная техника и технология, 1975, вып. 22, с. 41—44.

1.4. Геллер В. З. Обобщение экспериментальных данных по теплопроводности фреонов-21, 22 и 23. — Инженерно-физический журнал, 1977, т. 33, № 1, с. 75—83.

1.5. Голубев И. Ф. Вязкость газов и газовых смесей. М., Физматгиз, 1959.

1.6. Голубев И. Ф., Гнездилов Н. Е. Вязкость газовых смесей. М., Изд-во стандартов, 1971.

1.7. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. М., Изд-во АН СССР, 1962, Т. 1—2. Авт.: Гурвич Л. В., Хачкурузов Г. А., Медведев В. А. и др.

1.8. Дорохов А. Р., Кирияненко А. А., Соловьев А. Н. Поверхностное натяжение фреонов. — ПМТФ, 1969, № 1, с. 93—96.

1.9. Жоховский М. К. О некоторых закономерностях в плавлении веществ и их значении для шкалы высоких давлений. — Измерительная техника, 1958, № 2, с. 16—21.

1.10. Жоховский М. К. Скачок объема при плавлении под давлением. — ЖФХ, 1963, т. 37, с. 2635—2639.

1.11. Заалишвили Ш. Д., Белоусова З. С., Колыско Л. Э. Второй вириальный коэффициент паров и их смесей. V. Система хлороформ — бензол. — ЖФХ, 1965, т. 39, с. 447—450.

1.12. Клименко А. П., Краснокий С. И., Колесник В. М. Применение обобщенных уравнений для расчета на ЭВМ термодинамических свойств фреонов. — Холодильная техника и технология. 1976, вып. 24, с. 75—79.

1.13. Лапидус И. И., Нисельсон Л. А., Сейфер А. Л. Основные термодинамические свойства и характеристики галоидозамещенных моносилана и метана. — Теплофизические характеристики веществ Госстандарт СССР; ГСССД, 1968, вып. 1. с, 103—135.

1.14. Перельштейн И. И. Обобщенные уравнения состояния и кривой давления пара для фреонов. — Холодильная техника, 1967. № 3, с. 27—33.

1.15. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Обобщенные температурные зависимости для давления насыщенных паров и плотности кипящей жидкости. — В кн.: Термодинамические свойства важнейших рабочих веществ холодильных машин. Труды ВНИХИ. М., 1976, с. 13—26.

1.16. Филиппов Л. П. Теплопроводность 50 органических жидкостей. — Вестник МГУ. Сер. физ.-мат. и естеств. наук, 1954, вып. 8, № 12, с. 45—48.

1.17. Филиппов Л. П. Методы расчета и прогнозирования свойств жидкостей и газов на основе теории термодинамического подобия — В кн.: Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. Вып. 2. М., 1977.

1.18. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Полякова Н. А. Теплопроводность газообразных фреонов при атмосферном давлении. — В кн.: Машины и аппараты холодильной, криогенной техники и кондиционирования воздуха. Л., изд-во ЛТИХП, 1976, с. 179—182.

1.19. Aihara A.— J. Chem. Soc. Japan, 1949, v. 70, p. 384—386.

1.20. Babb S. E. Parameters in the Simon equation relating pressure and melting temperature.— Rev. Modern. Phys., 1963, v. 35, p. 400—413.

1.21. Bates O., Hazzard G., Palmer G. Thermal conductivity of liquids.— Ind. Eng. Chem., 1941, v. 33, p. 275—366.

1.22. Beckmann E., Liesche O. Ebulioskopisches verhaben von Lösungsmitteln bei verchiedenen. Drucken.— Z. Phys. Chem., 1914, Bd. 88, S. 23—34.

1.23. Braune H., Linke R. Über die innere Reibung einiger Gase und Dampfe III.— Z. Phys. Chem., 1930, Bd. A 148, S. 195—215.

1.24. Bridgman P. W. The phase diagramm of eleven substances with especial reference to the melting curve.— Phys. Rev., 1914, v. 3, p. 153—203.

1.25. Bridgman P. W.— Proc. Amer. Acad., 1941, v. 74, p. 12—28.

1.26. Coop I. E. The dielectric constants of ether-chloroform mixtures.—Trans. Farad. Soc., 1937, v. 33, p. 583—590.

1.27. Dolezalek F., Schulze A. Zur Theorie der binären Gemische und Konzentrierten Lösungen. IV.— Z. phys. chem., 1913, Bd. 83, S. 45—50.

1.28. Drucker C., Jumeno E., Kangro W. Dampfdrucke flüssiger Stoffe bei niedrigen Temperaturen.— Z. Phys. Chem., 1915, Bd. 90, S. 513—552.

1.29. Djalalian W. Meassurement of the thermalconductivity of liquid refrigerants at low temperatures.— Bull. Inst. Intern. Froid. Annexe 2 Turin, 1964, p. 153—165.

1.30. Eucken A. Über das Wärmeleitvermögen, die spezifische Wärme und die innere Reibung der Gase.— Phys. Z., 1913, Bd. 14, S. 324—332.

1.31. Fort R. J., Moore W. R. Adiabatic compressibilities of binary liquid mixtures.— Trans. Farad. Soc., 1965, v. 61, p. 2102—2111.

1.32. Francis P. G., Mc. Glashan M. L. Second virial coefficients of vapour mixtures.— Trans. Farad. Soc., 1955, v. 51, p. 593—599.

1.33. Gelles E., Pitzer K. S. Thermodynamic functions of the halogenated methanes.— J. Amer. Chem. Soc., 1953, v. 75, p. 5259—5267.

1.34. Harrison D., Moelwyn-Hughes E. A. The heat capacities of certain liquids.— Proc. Roy. Soc., 1957, v. 239 A, p. 230—246.

1.35. Held E., Drunen F. The measurement of the thermal conductivity of liquids.— Proc. VII Intern. Congr. Appl. Mech., 1948, v. 3, p. 79—90.

1.36. Herz W., Rathman W. Physikalische Konstanten einiger als Lösungsmittel wichtiger chlorierter Kohlen-Wasserstoffe.— Chem. Ztg., 1912, Bd. 36, S. 1417—1418.

1.37. Herz W., Neukirch E. Zur Kenntnis Kritischer Grössen.— Z. Phys. Chem., 1923, Bd. 104, S. 433—450.

1.38. Hutchinson E. On the measurement of the thermal conductivity of liquids.— Trans. Farad. Soc., 1945, v. 41, p. 87—90.

1.39. JANAF thermochemical tables. 2-nd/USA; Nat. Bur. Standards. 1973.

1.40. Kudchadker A. P., Alani C. H., Zwolinski B. J. The critical constants of organic substances.— Chem. Rev., 1968, v. 68, p. 659—735.

1.41. Kuenan J. P., Robson W. G. Observations on mixtures with minimum or maximum vapor pressure.—Phil. Mag., 1902. v. 4, p. 116—132.

1.42. Lambert J. D. et al. Virial coefficients some of organic vapours.— Proc. Roy. Soc., 1949, v. A 196, p. 113—135.

1.43. Lambert J. D., Staines E. N., Woods S. D. Thermal conductivities of organic vapours.— Proc. Roy. Soc., 1950, v. A 200, p. 262—271.

1.44. Landolt—Börnstein. 6 Auflage. Bd. 2, Teil 5a, Springer Verlag, 1969, S. 195.

1.45. Mason H. Thermal conductivity of some industrial liquids from 0 to 100°C.— Trans. ASME, 1954, v. 5, p. 817—821.

1.46. Mathews J. H. The accurate measurement of heats of vaporization of liquids.— J. Amer. Chem. Soc., 1926, v. 48, p. 562—576.

1.47. Miller Ch. C. The Stokes—Einstein laws for diffusion in solution.— Proc. Roy. Soc., 1924, v. A 106, p. 724—749.

1.48. Pal A. K., Barua A. K. Intermolecular potentials and viscosities of some polar organic vapours.— Brit. J. Appl. Phys. (2), 1968, v. 1, p. 71—76.

1.49. Phillips T. W., Murphy K. P. Liquid viscosity of halogenated refrigerants.— ASHRAE Trans., 1971, v. 77, part. II, p. 146—156.

1.50. Phillips T. W., Murphy K. P. Liquid viscosity of halocarbons—J. Chem. Eng. Data, 1970, v. 15, p. 304—307.

1.51. Rappanecker K. Über die Reibungskoeffizienten von Dämpfen und ihre Abhängigkeit von der Temperatur.— Z. phys. Chem., 1910. Bd. 72, S. 695—722.

1.52. Rex A. Über die Löslichkeit der Halogenderivate der Kohlenwasserstoffe in Wasser.— Z. phys. Chem., 1906. Bd. 55, S. 355—377.

1.53. Riedel L. Messung der Wärmeleitfähigkeit von organischen Flüssigkeiten, insbesondere von Kältemitteln.— Forsch. Geb. Ing.-Wes., 1940, Bd. 11, S. 340—347.

1.54. Ideal gas thermodynamic Properties of eight Chloro- and fluoromethanes.— J. Phys. Chem. Ref. Data, 1974, v. 3, p. 117—140. Aut.: Rodgers A. S., Chao J., Wilhoit R. C., Zwolinski B.

1.55. Scatchard G., Raymond C. L. Vapor-liquid equilibrium. II Chloroform—Ethanol mixtures.— J. Amer. Chem. Soc., 1938, v. 60, p. 1278—1287.
1.56. Schmidt G. C. Binäre Gemische.— Z. Phys. Chem., 1926, Bd. 121, S. 221—253.
1.57. Schulze A. Über das Gleichgewicht in kondensierten systemen.—Z. phys. Chem, 1921, Bd. 97, S. 388—416.
1.58. Seshadri D. N., Viswanath D. S., Kuloor N. R. Thermodynamic properties of chloroform.— J. Indian Inst. Sci., 1968, v. 50, N 3, p. 179—199.
1.59. Smyth C. P., Morgan S. O. The temperature dependence of the polarization in certain liquid mixtures.— J. Amer. Chem. Soc., 1928, v. 50, p. 1547—1560.
1.60. Staveley L. A., Tupman W. I., Hart K. R. Some thermodynamic properties of the systems acetone + chloroform.— Trans. Farad. Soc., 1955, v. 51, p. 323—343.
1.61. Stull D. R. Vapor pressure of pure substances organic compounds.— Ind. Eng. Chem., 1947, v. 39, p. 517—540.
1.62. Suhrmann R. Über die Druckabhängigkeit der Däpfing einer um ihre vertikale Achse schwingenden Scheibe.— Z. Phys., 1923, Bd. 14, S. 56—62.
1.63. Tauscher W. A. Messung der Wärmeleitfähigkeit flüssiger Kältemittel mit einem instationären Hitzdrathverfahren.— Kältetechnik, 1967, Bd. 19, S. 288—292.
1.64. Thorpe E., Rodger J. W. On the relations between the viscosity of liquids and their chemical nature.— Phil. Trans. Roy. Soc., 1897, v. A 189, p. 71—107.
1.65. Titani T. The viscosity of vapours of organic compounds.— Bull. Chem. Soc. Japans 1933, v. 8, p. 255—267.
1.66. Tsakalotes D. E. Sur la hydrates des acides gras d'apres les mesures de viscosite de leurs solutions.— Compt. rend., 1908, v. 146, s. 1146—1149.
1.67. Vines R. G., Bennett L. A. The thermal conductivity of organic vapors.— J. Chem. Phys., 1954, v. 22, p. 360—366.
1.68. Vogel H. Über die Viscosität einiger Gase und ihre Temperaturabhängigkeit bei tiefen Temperaturen.— Ann. Physik, 1914, Bd. 43, S. 1235—1272.
1.69. Weber R. Untersuchungen über die Wärmeleitung in Flüssigkeiten.— Ann. Physik, 1895, Bd. 11, S. 1047—1060.
1.70. Williams J. W., Daniels F. The specific heats of binary mixtures.— J. Amer. Chem. Soc., 1925, v. 47, p. 1490—1503.
1.71. Wright R. Densities of saturated vapours.— J. Phys. Chem., 1932, v. 36, p. 2793—2795.

К главе 2

2.1. Алтунин В. В., Спиридонов Г. А., Каскин В. С. Уравнение состояния и термодинамические свойства фреона-21.— Теплоэнергетика, 1969, № 1, с. 79—82.
2.2. Теплопроводность газов и жидкостей. М., Изд-во стандартов, 1970. Авт.: Варгафтик Н. Б., Филиппов Л. П., Тарзиманов А. А., Юрчак Р. П.
2.3. Вукалович М. П., Алтунин В. В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. М., Атомиздат, 1965.
2.4. Геллер В. З., Иванченко С. И., Кронберг А. В. Исследование коэффициентов динамической вязкости фреонов метанового ряда.— Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 148—161.
2.5. Геллер В. З., Передрий В. Г. Исследование теплопроводности фреона-21 и фреона-14.—Холодильная техника и технология, 1974, вып. 19, с. 102—106.

2.6. Геллер З. И., Никульшин Р. К., Пятницкая Н. И. Вязкость бромированных фреонов. — Холодильная техника, 1969, № 4, с. 60—65.

2.7. Груздев В. А., Шестова А. И. Теплопроводность жидкого и газообразного фреона-21. — В кн.: Исследование теплофизических свойств веществ. Новосибирск, Наука, 1970, с. 144—149.

2.8. Груздев В. А., Шестова А. И., Селин В. В. Теплопроводность фреонов. —В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск, Наука, 1969, с. 62—74.

2.9. Груздев В. А., Шумская Л. И. Экспериментальное исследование теплоемкости паров фреонов: Ф-11, Ф-12, Ф-13, Ф-21, Ф-22 и Ф-23.— Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 108—130.

2.10. Экспериментальное исследование p, v, T-зависимости фреона-21.— Теплоэнергетика, 1968, № 11, с. 80—83. Авт.: Калафати Д. Д., Рассказов Д. С., Петров Е. К., Каскин В. С.

2.11. Экспериментальное исследование p, v, T-зависимости фреона-21.— В. кн.: Тр. Всес. научн.-техн. конф. по термодинамике, т. 2. Теплофизические свойства веществ, 1969, с. 289—291. Авт.: Калафати Д. Д., Рассказов Д. С., Петров Е. К., Каскин В. С.

2.12. Лавров В. А., Шелудяков Е. П., Соловьев А. Н. Исследование теплоемкости c_p жидкой фазы фреона-21 и фреона-114В на линии насыщения. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск, Наука, 1969, с. 24—35.

2.13. Рассказов Д. С., Бабиков Ю. М., Филатов Н. Я. Экспериментальное исследование вязкости некоторых фреонов метанового ряда. — Труды МЭИ, 1975, вып. 234, с. 90—96.

2.14. Цветков О. Б. Исследование теплопроводности жидких фреонов. — Инженерно-физический журнал, 1965, т. 9, № 6, с. 810—815.

2.15. Экспериментальное исследование скорости звука в парах и жидкостях. — В кн.: Исследование теплофизических свойств веществ. Новосибирск, Наука, 1967, с. 159—180. Авт.: Шелудяков Е. Л., Комаров С. Г., Колотов Н. Л., Соловьев А. Н.

2.16. Шелудяков Е. П., Колотов Н. Л., Соловьев А. И. Исследование скорости звука во фреонах на низких частотах методом стоячих волн в резонаторе. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск, Наука, 1969, с. 96—120.

2.17. Шелудяков Е. П., Буждан Я. М., Колотов Я. Л. Термодинамические свойства фреона-21.—Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1971, вып. 4, с. 100—124.

2.18. Шелудяков Е. П., Шиляков А. А. Уравнение состояния фреона-21 и фреона-114В2.—Холодильная техника, 1971, № 3, с. 35—38.

2.19. Шиляков А. А., Шелудяков Е. П., Соловьев А. Н. Экспериментальное исследование плотности фреона-21 и фреона-114В2 методом пьезометра постоянного объема. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск, Наука, 1969, с. 6—24.

2.20. Шумская А. И., Груздев В. А. Изобарная теплоемкость паров фреонов. — В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск, Наука, 1969, с. 35—43.

2.21. Шиляков А. А. Экспериментальное исследование термических свойств и критических параметров фреонов Ф-21 и Ф-114В2. Автореферат канд. дисс./СО АН СССР. Новосибирск, 1971.

2.22. ASHRAE handbook of fundamentals, 1968, v. 15, p. 213—224.

2.23. Benning A. F., Mc Harness R. C. Thermodynamic properties of fluorochloromethanes and — ethanes. Orthobaric densities and critical constants of three fluorochloromethanes and trifluorotrichloroethane.— Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 6, p. 814—816.

2.24. Benning A. F., Mc Harness R. C. Vapor Pressure of three fluorochloromethanes and trifluorotrichloroethane.— Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 4, p. 497—503.

2.25. Benning A. F., Mc Harness R. C. *p—v—T* relations of three fluorochloromethanes and thifluorotrichloroethane.— Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 5, p. 698—701.

2.26. Benning A. F., Mc Harness R. C. Orthobaric densities and critical constants of three fluorochloromethanes and trifluorotrichloroethane.— Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 6, p. 814—816.

2.27. Heat capacity of the liquid and vapor of three fluorochloromethanes and trifluorotrichloroethane.— Ind. Eng. Chem., 1940, v. 32, N 7, p. 976—980. Aut.: Benning A. F., Mc Harness R. C., Markwood W. H., Smith W. I.

2.28. Challoner A., Powell R. The thermal conductivities of liquids.— Proc. Roy. Soc., 1956, Ser. A 238, p. 1212—1218.

2.29. Gallant R. W.— In: Physical properties of hydrocarbons.— Hydrocarbon processing, 1965, 2, p. 113—120.

2.30. Kamien C., Witzell O. Effect of pressure and temperature on the viscosity of refrigerants in the vapor phase.—ASHRAE Trans., 1959, v. 65, p. 663—674.

2.31. Liley P. The thermal conductivity of 46 gases at atmosphere pressure.— Proc. fourth simposium on thermophysical properties. April 1—4, N.-Y., 1968, p. 323.

2.32. Makita T. The viscosity of freons under pressure.— Rev. Phys. Chem. (Japan), 1954, v. 24, N 2, p. 74—80.

2.33. Markwood W., Benning A. Thermal conductances and heat transmission coefficients of freon refrigerants.— J. ASHRAE, 1943, N 2, p. 95—99.

2.34. Masia A., Bracero V., Rienda B. Variacion de la conductividad calorifica con la presion en ocho derivados halogendos del metano.—Anal. real soc. esp fis. guim., 1964, v. A 60, N 1—2, p. 89—108.

2.35. Powell R., Challoner A. New measurements of the thermal conductivities of several liquid refrigerants of the fluorochloro derivative types.—In: Proc. X Internat. Congr. Refrig, Kopengagen, v. 1. 1959, p. 382—387.

2.36. The thermal conductivities of some liquid refrigerants.— Bull. Inst. Internat. du Froid. Paris, 1966, Annexe 2, p. 79—88. Aut.: Powell R., Jolliffee B., Tye R., Longton A.

2.37. Rombusch U. K., Giesen H. Dampftafel des Kältemittels R 21 (Monofluordichlormethan $CHFCl_2$) — Kältetechnik, 1968, Bd. 20. S. 93—94.

2.38. Witzell O., Jonson J. The Viscosity of liquid and vapor refrigerants.—ASHRAE Trans., 1965, v. 71, p. 30—36.

2.39. Woodline H. Chimie et industrie genie chemique. 1969, v. 5, s. 101, s. 612.

2.40. Ziebland H. The thermal conductivity of toluene. New determinations and an appraisal of recent experimental work.— Internat J. Heat Mass Transfer, 1961, v. 2, p. 273—279.

К главе 3

3.1. Алтунин В. В., Гадецкий О. Г. Уравнение состояния и термодинамические свойства жидкого и газообразного фреона-22.—Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД. 1973, вып. 7, с. 115—135.

3.2. Алтунин В. В. Применение новой методики обработки измерений для обобщения экспериментальных данных по вязкости фреона-22.— Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 130—141.

3.3. Алтунин В. В. Теплофизические свойства фреона 22 на линиях равновесия жидкость — пар. — Теплофизические свойства фреонов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1977, вып. 1.

3.4. Алтунин В. В., Бондаренко В. Ф., Кузнецов Д. О. Современное состояние исследований термодинамических эффектов смешения сжатых газов/ГСССД, 1977 (Сер.: обзорная информация).

3.5. Бутырская С. Т. Исследование коэффициента динамической вязкости фреона-22.—В кн.: Теплофизические свойства жидкостей. М., Наука, 1970, с. 73—76.

3.6. Бутырская С. Т. Экспериментальное исследование коэффициента динамической вязкости фреонов 22, 114, 115 и С-318 в жидком и газообразном состоянии. Автореферат канд. дисс./ЛТИХП. Л., 1971.

3.7. Геллер З. И., Никульшин Р. К., Пятницкая Н. И. Вязкость жидких фреонов на линии насыщения. — Холодильная техника и технология, 1970, вып. 10, с. 22—29.

3.8. Геллер В. З. Исследование теплофизических свойств Мангышлакской нефти и ее фракций. Автореферат канд. дисс./МЭИ. М., 1968.

3.9. Геллер В. З., Иваниенко С. И., Передрий В. Г. Экспериментальное исследование коэффициентов динамической вязкости и теплопроводности дифторхлорметана.— Изв. вузов. Нефть и газ, 1973, № 8, с. 61—65.

3.10. Геллер В. З. Исследование теплопроводности некоторых фреонов метанового ряда. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 162—176.

3.11. Исследование коэффициента вязкости некоторых ожиженных газов вблизи кривой насыщения. — Газовая промышленность, 1976, № 3, с. 32—33. Авт.: Геллер В. З., Карбанов Е. М., Гунчук Б. В., Захаржевский В. Я., Лапардин Н. И.

3.12. Исследование коэффициента вязкости некоторых фреонов на линии насыщения. — Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1977, вып. 11, с. 39—46. Авт.: Гунчук Б. В., Карбанов Е. М., Лапардин Н. И., Захаржевский В. Я.

3.13. Дорохов А. Р., Кириянеико А. А., Соловьев А. Н. Поверхностное натяжение фреонов. —В кн.: Теплофизические свойства фреонов. Новосибирск, Наука, 1969, с. 43—61.

3.14. Железный В. П. Экспериментальное исследование поверхностного натяжения фреонов-22 и 12В1. — Холодильная техника и технология, 1976, вып. 24, с. 68—71.

3.15. Зенкевич В. Б. Экспериментальное исследование теплофизических свойств жидких топлив и масел. Автореферат канд. дисс./МЭИ. М., 1961.

3.16. Клецкий А. В. Кривая упругости фреона-22. — Инженерно-физический журнал, 1964, т. 7, с. 40—43.

3.17. Клецкий А. В. Экспериментальное исследование кривой давления пара и удельных объемов фреона 22. — Холодильная техника, 1964, № 4, с. 37—40.

3.18. Клецкий А. В. Термодинамические свойства фреона 22.—Холодильная техника, 1964, № 6, с. 70—72.

3.19. Клецкий А. В. Диаграмма $h - \lg P$ для фреона 22. —Холодильная техника, 1965, № 3, с. 71—72.

3.20. Клецкий А. В., Бутырская С. Т. Коэффициент динамической вязкости фреона 22.—Холодильная техника, 1973, № 6, с. 31—33.

3.21. Клецкий А. В., Цуратова Т. Н. Плотность и уравнение состояния жидкого фреона-22.—Теплофизические свойства веществ и материалов Госстандарт СССР; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 79—83.

3.22. Латутина Л. М. Экспериментальное исследование $p-v-T$ зависимости фреона-22.—Холодильная техника, 1966, № 12, с. 25—28.

3.23. Латутина Л. М. Термодинамические исследования дифторхлорметана акустическим и пьезометрическим методами. Автореферат канд. дисс./МИФИ. М., 1967.

3.24. Латышев В. П., Гиттельсон Е. П. Летучесть паров фреонов 12, 22 и 142. — Холодильная техника, 1968, № 8, с. 32—34.

3.25. Новиков И. И., Лагутина Л. М. Экспериментальное исследование скорости распространения звука в насыщенных и перегретых парах дифторхлорметана. — ПМТФ, 1967, № 2, с. 147—149.

3.26. Передрий В. Г. Исследование теплопроводности фреонов метанового и этанового рядов. Автореферат канд. дисс./ОТИПП. Одесса. 1975.

3.27. Перельштейн И. И. Скорость звука и показатель изоэнтропы в перегретых парах фреона 12, 13 и 22.—Холодильная техника, 1973, № 3, с. 21—28.

3.28. Экспериментальное исследование коэффициента теплопроводности некоторых фреонов метанового ряда. — Тр. Казанского хим.-технол. ин-та, 1971, вып. 47, с. 35—39. Авт.: Садыков А. Х., Габдрахманов Р. Г., Брыков В. П., Мухамедзянов Г. Х.

3.29. Ткачев А. Г., Бутырская С. Т., Агаев Н. А. Исследование вязкости фреонов 22, 114, 115 и С 318.—Холодильная техника, 1971, № 4, с. 39—42.

3.30. Цветков О. Б. Теплопроводность жидких фреонов ряда метана и этана. — Холодильная техника, 1965, № 4, с. 28—31.

3.31. Цветков О. Б., Полякова Н. А. Теплопроводность фреона-22.—Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 177—182.

3.32. Чайковский В. Ф., Геллер В. З., Бондарь Г. Е. Экспериментальное исследование коэффициента динамической вязкости фреона-22 при низких температурах. — Теплофизические свойства фреонов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1977, вып. 1.

3.33. Чернеева Л. И. Исследование теплопроводности фреона-22.— Холодильная техника, 1953, № 3, с. 60—63.

3.34. Baehr H. D., Duicu T. N., Pollak R. A canonical equation of state for gaseous R 22 with enthalpy, entropy and pressure as variables.— In: Some tnermophysical properties of refrigerants and insulants. Paris, 1973, p. 15—20.

3.35. Benning A. F., Markwood W. H. The visosities of freon refrigerants.— Refr. Engng., 1939, v. 37, p. 243—247.

3.36. Bier K., Ernst G., Maurer G. Flow apparatus for measuring the heat capacity and the Joule—Thomson coefficient of gases.— J. Chem. Thermod., 1974, v. 6, p. 1027—1037.

3.37. Booth H. S., Swinehart C. F. The critical constants and vapor pressures at high pressure of some gaseous fluorides of group IV.— J. Amer. Chem. Soc., 1935, v. 57, p. 1337—1342.

3.38. Donaldson A. B. On the estimation of thermal conductivity of organic vapors. Data for some freons.— Ind. Eng. Chem. (fundamentals), 1975, v. 14, p. 325—328.

3.39. Djalalian W. H. Messungen der Wärmeleitzahl von Flüssigkeiten mit einer stationären Hitzdrathmethode.— Kältetechnik, 1966, Bd. 18, S. 410—415.

3.40. Ernst G., Büsser J. Ideal and real gas state heat capacities c_p of C_3H_8, i — C_4H_{10}. C_2F_5Cl, CH_2ClCF_3, CF_2ClCFC_2 and CHF_2Cl — J. Chem. Thermod., 1970, v. 2, p. 787—791.

3.41. Gelles E., Pitzer K. Thermodynamic functions of the halogenated methanes.— J. Amer. Chem. Soc., 1953, v. 75, p. 5259—5267.

3.42. Grassman P., Straumann W. Widmer F., Jobst W. Measurements of thermal conductivities of liquids by an unsteady state method.— In: Progress in Internat. res. on thermod. transp. prop. Princeton. 1962, p. 447—453.

3.43. Grassman P., Jobst W. A nan-steady-state method for the thermal conductivity of liquid and gases.— In: Proc. XI Internat. congr. of refr. Münich, 1963; London, Pergamon Press, 1965, v. I, p. 301—305.

3.44. Hajjar R. F., Mac Wood G. E. Second virial coefficients and the force constants ε_0 and r_0 of six halogensubstituted methans.— J. Chem. Phys., 1968, v. 49, p. 4567—4570.

3.45. Hajjar R. F., Mac Wood C. E. Determination of the second virial coefficients of six fluorochloromethans by a gas balance method in the range 40 to 130°C.— J. Chem. Eng. Data, 1970, v. 15, p. 3—6.

3.46. Haworth W. S., Sutton L. E. The second density virial coefficients of some polar gases.— Trans. Farad. Soc., 1971, v. 67, p. 2907—2914.

3.47. Kokernak R. P., Feldman C. L.— ASHRAE Journal, 1971, v. 13, N 7, p. 59—61.

3.48. Kumagai A., Iwasaki H. Compressibility factor of chlorodifluoromethane.— Preprint of 13 th High pressure conference of Japan, 1971, p. 146—148.

3.49. Latto B., Hesoun P., Ashrani S. C. Absolute viscosity and molecular parameters for R 13, R 500, R 12 and R 22.— In: Proc. fifth sympos. on thermophys. prop. N.—Y., 1970, p. 177—185.

3.50. Martin J. J. Equations of state.— Ind. Eng. Chem., 1967, v. 59, p. 34—52.

3.51. Masia A. P., Bracero A. V., Rienda B. J. Variacion de la conductividad calorifica con la presion en ocho deviados halogenados del metano.— Anales real soc. esp. fis. quim., v. A 60, N 1—2, 1964, p. 89—108.

3.52. Meyer K. J. Über den Zusammenhang zwischen der Schallgeschwindigkeit und der Wärmeleitfähigkeit bei flussigen fluor-chlor-derivaten des Methans und Athans.— Kältetechnik, 1969, Bd. 21, S. 270—275.

3.53. Miyahara Y., Richardson E. G.— J. Acoust Soc. Amer., 1956, v. 28. N 6, p. 1016—1018.

3.54. Morsy T. E. Die specifische Wärme von Tetrafluomethan, Difluormonochlormethan, Tetrafluodichloräthan und Pentafluormonochloräthan in der Gasphase.— Kältetechnik, 1966, Bd. 18, S. 373—374.

3.55. Neilson E. F., White D. The heat capacity, heat of fusion, heat of transition and heat of vaporization of Chlorodiffluoromethane between 16 K and the boiling point.— J. Amer. Chem. Soc., 1957, v. 79, p. 5618—5621.

3.56. Oguchi K., Matsushita Y., Sagara T., Watanabe K., Tanishita T. Pressure-volume-temperature properties of R 22 in liquid and gaseous states.— Preprint XIV Congress internat. du froid. Moskow, 1975, Sec. B I.

3.57. Puranasamriddhi D. Messung der Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten und Flüssigkeitsgemischen.— Kältetechnik, 1966, Bd. 18, S. 445—450.

3.58. Sale P. Mesure de la conductivite thermique de fluides frigorines par la methode.— Bull. Inst. Internat. Froid. Annexe 2. Paris, 1964, p. 145—151.

3.59. Srichand M., Tirunarayanan M. A., Ramachandran A. Studies of the viscosity of mixtures of R 12 and R 22 vapors.— ASHRAE journal., 1970, v. 12, p. 61—66.

3.60. Steinle H. Über die Oberflächenspannung von Kältemitteln, Kältemaschinenölen und deren Gemischen.— Kältetechnik, 1960, Bd. 12, S. 334—339.

3.61. Suther H., Cole R. H. Dielectric and pressure virial coefficients of imperfect gases. III. $CClF_2H$.— J. Chem. Phys., 1971, v. 54, p. 4988—4989.

3.62. Tanishita I., Oguchi K. et al. Pressure-volume-Temperature properties of R-503.— In: Some thermophysical properties of refrigerant and insulants. Paris, 1973, p. 25—31.

3.63. Weissman H. B., Meister A. G., Cleveland F. E. Infrared spectral data and assignments for $CHCl_2F$ and $CHClF_2$ and potential energy constants and calculated thermodynamic properties.— J. Chem Phys., 1958, v. 29, 72—77.

3.64. Widmer F. Messung der Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten, insbesordere Kältemitteln nach einem instationaren Verfahren.— Kältetechnik, 1962, Bd. 14, p. 38.

3.65. Yakobson V.— Kholod. Tekh., 1960, v. 37, p. 55—58.

3.66. Zander M. Pressure-volume-temperature behavior of chlorodifluoromethane in the gaseous and liquid states.— In: Proc. fourth sympos. thermophys. prop. N.—Y., 1968, p. 114—123.

К главе 4

4.1. Геллер В. З., Передрий В. Г. Исследование теплопроводности фреонов Ф-13 и Ф-23.—Изв. вузов. Энергетика, 1975, № 2, с. 113—116.

4.2. Геллер В. З. Теплопроводность некоторых жидких фреонов при низких температурах.— Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1976, вып. 9, с. 147—161.

4.3. Рассказов Д. С., Петров Е. К., Спиридонов Г. А., Ушмайкин Э. Р. Исследование *p, v, T*-зависимости фреона-23.—Там же, 1975, вып. 8, с. 4—16.

4.4. Рассказов Д. С., Крюков Л. А. Экспериментальное исследование изотермического дроссель-эффекта фреона-23.—Там же, с. 84—99.

4.5. Рассказов Д. С., Спиридонов Г. А., Крюков Л. А. Экспериментальное исследование калорических свойств фреона-23.—Там же, с. 100—108.

4.6. Рассказов Д. С., Петров Е. К., Ушмайкин Э. Р. Экспериментальное исследование плотности фреона-23 в жидкой фазе.— Тр. Мос. энергетич. ин-та, 1975, вып. 234, с. 52—58.

4.7. Рассказов Д. С., Бабиков Ю. М., Филатов Н. Я. Экспериментальное исследование вязкости фреона-23.—Там же, 1974, вып. 179, с. 62—69.

4.8. Рассказов Д. С., Бабиков Ю. М., Филатов Н. Я. Экспериментальное исследование вязкости фреона-23.—Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 142—148.

4.9. Рассказов Д. С., Бабиков Ю. М., Филатов Н. Я. Экспериментальное исследование вязкости некоторых фреонов метанового ряда.— Тр. Мос. энергетич. ин-та, 1975, вып. 234, с. 90—96.

4.10. Рассказов Д. С., Бабиков Ю. М., Филатов Н. Я. Экспериментальное исследование вязкости фреонов при атмосферном давлении.— Там же, 1977, вып. 336, с. 54—57.

4.11. Сагайдакова Н. Г. Экспериментальное исследование вязкости фреонов-12 В1, 13 В1 и 502 в широком диапазоне параметров состояния. Автореферат канд. дисс./ЛТИХП. Л., 1977.

4.12. Тимошенко Н. И., Холодов Е. П., Ямнов А. Л. Показатель преломления, поляризуемость и плотность фреона-23.—Теплофизические свойства веществ и материалов/Госстандарт СССР; ГСССД, 1975, вып. 8, с. 17—26.

4.13. Тимошенко Н. И., Холодов Е. П., Татаринова Т. А. Вириальные коэффициенты и термодинамические свойства фреона-23 из данных рефрактометрических измерений.— Там же, с. 27—40.

4.14. Ушмайкин Э. Р. Экспериментальное исследование плотности фреонов-13 и 23. Автореферат канд. дисс./МЭИ. М., 1976.

4.15. Ходеева С. М., Губочкина Н. В. Пограничные кривые жидкость — газ вблизи критических точек фреона-13 и 23.—ЖФХ, 1977, т. 51, с. 1708—1711.

4.16. Циклис Д. С., Прохоров В. М. Фазовые равновесия в системах, содержащих соединения фтора.— ЖФХ, 1967, т. 41, с. 2135—2199.

4.17. Шавандрин Л. М., Рассказова Т. Ю., Чашкин Ю. Р. Исследование параметров температура — плотность пограничной кривой фреона-23 методом квазистатических термограмм.— Тр. по химии и хим. технологии, 1975, вып. 4, с. 100—104.

4.18. Belzile J. L., Kaliguine S., Ramalho R. S. PVT study of trifluoromethane by the Burnett method.— Canad. J. Chem. Eng., 1976, v. 54, p. 446—450.
4.19. Buckingham A. D., Graham C. The density dependence of the refractivity of gases.— Proc. Roy. Soc., 1974, v. A 337, p. 1609—1615.
4.20. Copeland T. G., Cole R. H. Dielectric and pressure virial coefficients of imperfect gases.— J. Chem. Phys., 1976, v. 64, p. 1741—1746.
4.21. Dymond J. H., Smith E. B. Second virial coefficient of gases.— Trans. Farad. Soc., 1964, v. 60, p. 1368—1374.
4.22. Eiseman B. J. *Multicomponent Refrigerants.— Bull* Inst. Internat. du Froid, 1965, v. 45, p. 181—193.
4.23. Elchardus E., Maestre M. Les fluides frigorigenes fluores.— La revue generate du froid, 1964, Annexe 55, N 8, p. 949—970.
4.24. Henne A. I. Trifluoroiorm.—J. Chem. Soc., 1937, v. 59, p. 1200—1202.
4.25. Hou Y. C., Martin J. J. Physical and thermodynamic properties of trifluoromethane.— AJChE Journal, 1959, v. 5, p. 125—129.
4.26. Lange H. B., Stein F. P. Volumetric behavior of a polar — nonpolar gas mixture.— J. Chem. Eng. Data, 1970, v. 15, p. 56—61.
4.27. Michel Alais. L'aplication de l'effet Peltier aux refrigerateurs menagers et aux techniques du chauffage et du conditionnement.— La revue generale du froid. 1965, Annexe 56, No 8, p. 963—967.
4.28. Morsy T. L. Trifluormethan (R 23). Thermodynamische Eigenschaften und Dampftafel.— Kältetechnik, 1966, Bd. 18, S. 203—206, 317—319.
4.29. Riedel L. Die Berechnung unbekanter thermischer Dater mit Hilfe des erweiterten Korrespondenzprinzips.— Kältetechnik, 1957, Bd. 9, S. 127—134.
4.30. Ruff O., Bretschneider O., Luchsinger W., Mittschitsky G. Vom Jodoform bis fluoroform.— Ber. dtsch. Chem. Ges., 1936, v. 69 A, S. 299—309.
4.31. Seger G. Die thermischen Eigenschaften aller-Fluor-Chlor-Derivate des Methans.— Beihefte Z. ver. deutsch. Chem., 1942, Nr 43.
4.32. Thomas W., Zander M. Die Füllmenge verflüssigter Gase in Behältern.— PTB—Mitt., 1966, v. 76, Nr 5, S. 425—428.
4.33. Valentine R. E., Brodale G. E., Giauque W. F. Trifluormethane. Entropy, low temperature heat capacity, heats of fusion and vaporization and vapor pressure.— J. Phys. Chem., 1962, v. 66, p. 392—395.
4.34. Wagner W. Thermodynamische Eigenschaften von Trifluormethane (R 23).— Kältetechnik, 1968, Bd. 20, S. 238—240.
4.35. Wenzel L. A., Balaban S. M. Effect pressure on heat capacity N_2—CHF_3 system.— Ind. Eng. Chem. (fundamentals), 1970, v. 9, p. 568—574.

СОДЕРЖАНИЕ

От редактора 3

Обозначение величин и размерности 5

Введение 6

Глава первая. Теплофизические свойства фреона-20 . . . 25

1.1. Обзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 25

1.2. Обзор опубликованных данных о вязкости и теплопроводности 34

1.3. Таблицы теплофизических свойств фреона-20 на линиях кипения и конденсации 38

Глава вторая. Теплофизические свойства фреона-21 . . . 41

2.1. Обзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 41

2.2. Система уравнений для расчета термодинамических свойств 49

2.3. Обзор опубликованных данных о вязкости и теплопроводности 52

2.4. Таблицы теплофизических свойств 61

Термодинамические свойства фреона-21 на линиях кипения и конденсации 62

Термодинамические свойства фреона-21 в однофазной области 65

Переносные свойства фреона-21 на линиях кипения и конденсации 85

Переносные свойства фреона-21 в однофазной области . . 86

Глава третья. Теплофизические свойства фреона-22 . . . 91

3.1. Обзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 91

3.2. Система уравнений для расчета термодинамических свойств 114

3.3. Обзор опубликованных данных о вязкости и теплопроводности 117

3.4. Таблицы теплофизических свойств 131

Термодинамические свойства фреона-22 на линиях кипения и конденсации 132

Термодинамические свойства фреона-22 в однофазной области 136

Переносные свойства фреона-22 на линиях кипения и конденсации 157

Переносные свойства фреона-22 в однофазной области . . 160

Глава четвертая. Теплофизические свойства фреона-23 . . 165

4.1. Обзор опубликованных данных о термодинамических свойствах 165
4.2. Система уравнений для расчета термодинамических свойств 176
4.3. Обзор опубликованных данных о вязкости и теплопроводности 180
4.4. Таблицы теплофизических свойств 183
Термодинамические свойства фреона-23 на линиях кипения и конденсации 184
Термодинамические свойства фреона-23 в однофазной области 186
Переносные свойства фреона-23 на линиях кипения и конденсации 209
Переносные свойства фреона-23 в однофазной области . . 211

Список литературы 217

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНОВ

Т.1. Фреоны метанового ряда

К. Е. № 7

Редактор С. Я. Рыско
Технический редактор Г. А. Макарова
Корректор А. Г. Старостин

Сдано в наб. 15.02.80 Подп. в печ. 14.07.80 Т—11845 Формат 60×90¹/₁₆
Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная Печать высокая
14,5 п. л. 16,85 уч.-изд. л. Тир. 3000 Зак. № 226 Цена 1 руб. 20 коп. Изд № 4060/7

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов
123557, Москва, Новопресненский пер., 3.
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6.