ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.1014— 2022

Государственная система обеспечения единства измерений

СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Хлор жидкий и газообразный. Плотность при температурах от 172,17 К до 440 К и давлениях до 20 МПа

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Общество с ограниченной ответственностью «Предприятие устойчивого развития»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 180 «Стандартные справочные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 октября 2022 г. № 1145-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Общие положения 1
3 Расчет плотности на линии насыщения и давления насыщенных паров 2
4 Неопределенности рассчитанных значений плотности и давления насыщенных паров 2
Приложение А (обязательное) Основные физические параметры и коэффициенты уравнений для определения значений стандартных справочных данных по свойствам хлора 3
Приложение Б (обязательное) Вычисление плотности в однофазных областях итерационным методом 5
Приложение В (обязательное) Стандартные справочные данные плотности хлора в однофазных областях 6
Приложение Г (обязательное) Стандартные справочные данные плотности и давления хлора на линии насыщения 9
Библиография 10

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Хлор жидкий и газообразный. Плотность при температурах от 172,17 К до 440 К и давлениях до 20 МПа

State system for ensuring the uniformity of measurements. Standard reference data. Chlorine, liquid and gaseous. Density at temperatures from 172,17 K to 440 K and pressures up to 20 MPa

Дата введения — 2023—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на хлор, параметры состояния которого соответствуют газообразной, жидкой и сверхкритической областям. Стандарт устанавливает методы расчетного определения значений стандартных справочных данных по плотности ρ как в однофазных областях (газ, жидкость и флюид), так и на линии фазового перехода газ — жидкость (линии насыщения), а также значений давления на линии насыщения p_s.

2 Общие положения

В настоящем стандарте приведены основные параметры, применяемые при расчетах. Остальные параметры приведены в [1].

Стандартные справочные данные значений плотности ρ хлора рассчитаны по единому для жидкой и газовой фаз фундаментальному уравнению состояния (ФУС) — зависимости свободной энергии (функции Гельмгольца) F от плотности ρ и температуры T [1]:

$$\frac{F(T,\rho)}{RT} = \frac{f_0(T,\rho) + f_r(T,\rho)}{RT} = f_0(\tau,\omega) + f_r(\tau,\omega) = f(\tau,\omega), \quad (1)$$

где f, f_0, f_r — безразмерные полная свободная энергия, идеально-газовая и неидеальная составляющие свободной энергии, соответственно;

ω — относительная плотность, $\omega = \rho/\rho_{кр}$;

τ — относительная температура, $\tau = T/T_{кр}$.

Значения плотности ($\rho_{кр}$) и температуры ($T_{кр}$) хлора в критической точке приведены в таблице А.1 приложения А.

Уравнение для идеально-газовой составляющей свободной энергии имеет вид:

$$f_0(\tau,\omega) = \ln\omega + 2{,}5\ln\tau + C_{II} + C_I\tau + \sum_{i=1}^{3} m_i \ln\left[1 - \exp\left(-\frac{u_i\tau}{T_{кр}}\right)\right]. \quad (2)$$

Коэффициенты C_{II}, C_I, m_i, u_i уравнения (2) приведены в таблице А.2 приложения А.

Уравнение для неидеальной составляющей свободной энергии имеет следующий вид:

$$f_r(\tau,\omega) = \sum_{i=1}^{5} b_i\omega^{d_i}\tau^{-t_i} + \sum_{i=6}^{10} b_i\omega^{d_i}\tau^{-t_i}\exp\left(-\omega^{l_i}\right) + \sum_{i=11}^{15} b_i\omega^{d_i}\tau^{-t_i}\exp\left[-\eta_i(\omega-\varepsilon_i)^2 - \beta_i\left(\tau^{-1}-\gamma_i\right)^2\right]. \quad (3)$$

Издание официальное

В формуле (3) b_i — коэффициенты уравнения состояния, значения которых вместе с показателями степеней d_i, t_i, l_i и параметрами η_i, ε_i, β_i, γ_i приведены в таблице А.3 приложения А.

Плотность ω в однофазных областях при заданных значениях давления p и температуры T определяют из решения следующего уравнения в итерационном процессе:

$$\pi = \frac{\omega\tau\left(1+A_0\right)}{z_{кр}}, \tag{4}$$

где $z_{кр} = 10^3 \dfrac{p_{кр}}{\rho_{кр} RT}$.

Значения давления ($p_{кр}$) и фактора сжимаемости ($z_{кр}$) в критической точке, а также индивидуальной газовой постоянной R хлора приведены в таблице А.1 приложения А. Вид комплекса A_0 и подробный алгоритм расчета плотности в однофазных областях приведены в приложении Б.

Рассчитанные стандартные справочные данные плотности хлора в однофазных областях со значениями относительной неопределенности приведены в приложении В.

3 Расчет плотности на линии насыщения и давления насыщенных паров

Плотность жидкой ω' фазы на линии насыщения при заданной температуре T определяют по уравнению [1]:

$$\omega' = 1 + \sum_{i=1}^{4} n_i \left(1-\tau^{-1}\right)^{t_i}. \tag{5}$$

Параметры n_i и t_i в уравнении (5) представлены в таблицах А.4 и А.5 приложения А.

Давление на линии насыщения p_s определяется из уравнения [1]:

$$\pi_s(\tau) = \exp\left[\tau \sum_{i=1}^{6} n_i \left(1-\tau^{-1}\right)^{t_i}\right]. \tag{6}$$

Коэффициенты n_i, t_i в уравнении (6) приведены в таблице А.5 приложения А.

Рассчитанные стандартные справочные данные плотности и давления хлора на линии насыщения со значениями относительной неопределенности приведены в таблице Г.1 приложения Г.

4 Неопределенности рассчитанных значений плотности и давления насыщенных паров

Значения плотности в жидком однофазном состоянии установлены с точностью 0,15 %, в газообразном состоянии — 0,25 %, во флюидной области — 0,2 %.

Неопределенность расчета значений плотности насыщенной жидкости — 1 %.

Неопределенность вычисленных значений давления насыщенных паров составляет 1 % в диапазоне температур T < 205 К, 0,5 % в диапазоне от 205 К до 270 К и 3 % для более высоких температур.

Приложение А
(обязательное)

Основные физические параметры и коэффициенты уравнений для определения значений стандартных справочных данных по свойствам хлора

Таблица А.1 — Свойства и критические параметры хлора [1]

Молярная масса М, г/моль	70,906
Индивидуальная газовая постоянная R, кДж/(кг*К)	0,177260
Критическая плотность $\rho_{кр}$, кг/м^3	571,50236
Критическая температура $T_{кр}$, К	416,8654
Критическое давление $p_{кр}$, МПа	7,635
Критический коэффициент сжимаемости $z_{кр}$	0,27330273

Количество цифр после запятой в значениях R, $\rho_{кр}$ и $z_{кр}$ получено в ходе численного машинного расчета и не отображает реальную точность.

Таблица А.2 — Коэффициенты для расчета формулы (2) [1]

i	m_i	u_i	C_I	C_{II}
1	1,0256	800	3,839904988	-3,953901622
2	0,067756	3000	—	—
3	0,14068	8200	—	—

Таблица А.3 — Коэффициенты для расчета формулы (3) [1]

i	n_i	t_i	d_i	l_i	η_i	β_i	γ_i	ε_i
1	0,0245017	1,0	4	—	—	—	—	—
2	0,9132904	0,196	1	—	—	—	—	—
3	–1,72309	1,0	1	—	—	—	—	—
4	–0,3359344	1,08	2	—	—	—	—	—
5	0,1200495	0,39	3	—	—	—	—	—
6	–1,214889	1,64	1	2	—	—	—	—
7	–0,10167	3,2	3	2	—	—	—	—
8	0,6196819	1,32	2	1	—	—	—	—
9	–0,6578512	2,163	2	2	—	—	—	—
10	–0,009159452	0,93	7	1	—	—	—	—
11	1,909418	0,872	1	—	0,969	1,22	1,142	0,88
12	–0,07163412	2,08	1	—	1,89	6,8	1,22	0,73
13	–0,1893345	1,6	3	—	1,32	3,5	1,552	0,28
14	–0,5698469	1,37	2	—	1,012	1,276	1,135	0,863
15	–0,8964496	1,05	2	—	0,98	1,6	0,754	0,554

Таблица А.4 — Коэффициенты для расчета формулы (5) [1]

i	n_i	t_i
1	0,9662	0,234
2	1,7744	0,68
3	–0,23081	1,3
4	0,47213	3,35

Таблица А.5 — Коэффициенты для расчета формулы (6) [1]

i	n_i	t_i
1	–6,1289	1,0
2	1,5112	1,5
3	–1,4523	2,0
4	–5,6038	5,94
5	3,9923	7,0
6	–1,2651	14,8

Приложение Б
(обязательное)

Вычисление плотности в однофазных областях итерационным методом

Определение относительной плотности ω в любой области параметров, определяющих состояние веществ (однофазная область, линия насыщения), используя уравнение:

$$\pi = \frac{\omega\left(1+A_0\right)}{\tau z_{кр}} \tag{Б.1}$$

по методу Ньютона в следующем итерационном процессе:

1) Определяют ω на k-м итерационном шаге (начиная с $k = 1$) с помощью выражений:

$$\Delta\omega^{(k)} = \frac{\pi z_{кр}\tau - \left(1+A_0^{(k-1)}\right)\omega^{(k-1)}}{1+A_1^{(k-1)}}, \tag{Б.2}$$

$$\omega^{(k)} = \omega^{(k-1)} + \Delta\omega^{(k)}. \tag{Б.3}$$

Комплексы $A_0^{(k-1)}$ и $A_1^{(k-1)}$ рассчитывают по формулам (Б.7) и (Б.8) при плотности на итерационном шаге $(k-1)$, т. е. при $\omega^{(k-1)}$:

$$X_i = \begin{cases} d_i, \ i \le 5; \\ d_i - l_i\omega^{l_i}, \ 6 \le i \le 10; \\ d_i - 2\eta_i\omega\left(\omega - \varepsilon_i\right), \ 11 \le i \le 15; \end{cases} \tag{Б.4}$$

$$U_i = \begin{cases} 0, \ i \le 5; \\ -l_i^2\omega^{l_i}, \ 6 \le i \le 10; \\ -2\eta_i\omega\left(2\omega - \varepsilon_i\right), \ 11 \le i \le 15; \end{cases} \tag{Б.5}$$

$$\varphi_i = \begin{cases} \left(\omega^{(k-1)}\right)^{d_i}\tau^{t_i}, \ i \le 5, \\ \left(\omega^{(k-1)}\right)^{d_i}\tau^{t_i}\exp\left(-(\omega^{(k-1)})^{l_i}\right), \ 6 \le i \le 10, \\ \left(\omega^{(k-1)}\right)^{d_i}\tau^{t_i}\exp\left[-\eta_i\left(\omega^{(k-1)} - \varepsilon_i\right)^2 - \beta_i\left(\tau - \gamma_i\right)^2\right], \ 11 \le i \le 15; \end{cases} \tag{Б.6}$$

$$A_0^{(k-1)} = \sum_{i=1}^{15} n_i\varphi_i X_i; \tag{Б.7}$$

$$A_1^{(k-1)} = \sum_{i=1}^{15} n_i\varphi_i\left[X_i\left(X_i+1\right) + U_i\right]. \tag{Б.8}$$

Показатели степеней d_i, t_i, l_i и параметры η_i, ε_i, β_i, γ_i приведены в таблице А.3 приложения А.

2) Критерий завершения итерационного процесса:

$$\left|\frac{\Delta\omega^{(k)}}{\omega^{(k)}}\right| \le 10^{-6}. \tag{Б.9}$$

При невыполнении критерия (Б.9) необходимо продолжить итерационный процесс, начиная с пункта 1), в обратном случае перейти к пункту 3).

3) Вычисляют плотность ρ в кг/м^3:

$$\rho = \omega^{(k)}\rho_{кр}. \tag{Б.10}$$

Приложение В
(обязательное)

Стандартные справочные данные плотности хлора в однофазных областях

Таблица В.1 — Плотность хлора в однофазной среде в диапазоне давлений от 0,1 до 0,8 МПа [1]

T, К	ρ, кг/м^3 при *p*, МПа				
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
172,17	1744,51	1744,61	1744,81	1745,01	1745,21
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
175	1736,91	1737,02	1737,22	1737,42	1737,63
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
220	1616,08	1616,23	1616,51	1616,80	1617,08
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
270	3,2145	6,5495	1477,08	1477,52	1477,97
	0,25	0,25	0,15	0,15	0,15
320	2,6916	5,4386	11,1130	17,056	23,309
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
370	2,3191	4,6674	9,4556	14,374	19,432
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
420	2,0388	4,0945	8,2578	12,493	16,804
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

Таблица В.2 — Плотность хлора в однофазной среде в диапазоне давлений от 1 до 5 МПа [1]

T, К	ρ, кг/м^3 при *p*, МПа				
	1	2	3	4	5
172,17	1745,40	1746,40	1747,38	1748,37	1749,34
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
175	1737,83	1738,84	1739,89	1740,85	1741,85
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
220	1617,37	1618,79	1620,19	1621,59	1622,98
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
270	1478,41	1480,62	1482,80	1484,95	1487,08
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
320	29,924	1324,68	1328,63	1332,48	1336,23
	0,25	0,15	0,15	0,15	0,15
370	24,642	53,528	89,718	1128,35	1138,77
	0,25	0,25	0,25	0,15	0,15
420	21,193	44,466	70,454	100,193	135,56
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

Таблица В.3 — Плотность хлора в однофазной среде в диапазоне давлений от 6 до 10 МПа [1]

T, К	ρ, кг/м^3 при *p*, МПа				
	6	7	8	9	10
172,17	1750,32	1751,29	1752,25	1753,21	1754,17
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
175	1742,84	1743,83	1744,81	1745,79	1746,77
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
220	1624,36	1625,73	1627,08	1628,43	1629,77
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
270	1489,18	1491,25	1493,30	1495,32	1497,33
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
320	1339,88	1343,44	1346,92	1350,32	1353,65
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
370	1148,25	1156,98	1165,08	1172,67	1179,80
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
420	180,56	247,30	—	—	—
	0,25	0,25	—	—	—

Таблица В.4 — Плотность хлора в однофазной среде в диапазоне давлений от 11 до 15 МПа [1]

T, К	ρ, кг/м^3 при *p*, МПа				
	11	12	13	14	15
172,17	1755,12	1756,07	1757,01	1757,95	1758,89
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
175	1747,74	1748,70	1749,67	1750,62	1751,58
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
220	1631,10	1632,42	1633,74	1635,04	1636,34
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
270	1499,31	1501,26	1503,20	1505,11	1507,01
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
320	1356,90	1360,09	1363,21	1366,27	1369,28
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
370	1186,56	1192,97	1199,09	1204,94	1210,56
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
420	—	—	973,57	990,30	1004,97
	—	—	0,20	0,20	0,20

Таблица В.5 — Плотность хлора в однофазной среде в диапазоне давлений от 16 до 20 МПа [1]

T, К	ρ, кг/м^3 при *p*, МПа				
	16	17	18	19	20
172,17	1759,82	1760,75	1761,67	1762,59	1763,51
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
175	1752,53	1753,47	1754,41	1755,35	1756,28
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
220	1637,63	1638,90	1640,18	1641,44	1642,69
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
270	1508,89	1510,74	1512,58	1514,40	1516,20
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
320	1372,23	1375,12	1377,97	1380,77	1383,52
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
370	1215,95	1221,15	1226,17	1231,03	1235,73
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
420	1018,07	1029,97	1040,88	1050,98	1060,40
	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Приложение Г
(обязательное)

Стандартные справочные данные плотности и давления хлора на линии насыщения

Таблица Г.1 — Давление насыщения и плотность хлора на линии насыщения [1]

T, K	p_{sat}, МПа	δp_{sat}, %	ρ', кг/м^3	$\delta\rho'$, %
172,17	0,0013795	1,0	1744,16	1,0
175	0,0017852	1,0	1736,53	1,0
220	0,039967	0,5	1615,74	1,0
270	0,33124	0,5	1477,15	1,0
320	1,343	3,0	1322,08	1,0
370	3,669	3,0	1124,53	1,0
410	6,910	3,0	844,26	1,0

Библиография

[1] ГСССД 400—2022 Таблицы стандартных справочных данных. Хлор жидкий и газообразный. Плотность при температурах от 172,17 К до 440 К и давлениях до 20 МПа

УДК 536.71:006.354 ОКС 17.060

Ключевые слова: Государственная система обеспечения единства измерений, стандартные справочные данные, жидкий и газообразный хлор, плотность

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 20.10.2022. Подписано в печать 27.10.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru