ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.952— 2018

Государственная система обеспечения единства измерений

СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ. НОРМАЛЬНЫЙ БУТАН ЖИДКИЙ И ГАЗООБРАЗНЫЙ

Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 135 К до 600 К и давлениях до 70 МПа

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2018

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Главным научным метрологическим центром «Стандартные справочные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов» (ГНМЦ «ССД»)

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 4 декабря 2018 г. № 1058-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

© Стандартинформ, оформление, 2018

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 Нормативные ссылки 1
3 Общие положения 1
4 Расширенные неопределенности расчетных значений стандартных справочных данных по свойствам н-бутана 5
Приложение А (обязательное) Основные физические параметры и коэффициенты уравнений для определения значений стандартных справочных данных по свойствам н-бутана . . . 6
Приложение Б (обязательное) Таблицы контрольных стандартных значений теплофизических свойств н-бутана на кривой насыщения 9
Приложение В (обязательное) Таблица контрольных стандартных значений теплофизических свойств н-бутана в однофазной области 11
Библиография 14

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ. НОРМАЛЬНЫЙ БУТАН ЖИДКИЙ И ГАЗООБРАЗНЫЙ

Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 135 К до 600 К и давлениях до 70 МПа

State system for ensuring the uniformity of measurements. Standard reference data. Liquid and gaseous n-butane. Thermodynamic properties, dynamic viscosity and thermal conductivity at temperatures from 135 K up to 600 K and pressures up to 70 MPa

Дата введения — 2019—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на жидкий и газообразный н-бутан и устанавливает методы расчетного определения значений стандартных справочных данных по плотности ρ, энтальпии h, энтропии s, изобарной теплоемкости c_p, изохорной теплоемкости c_v, скорости звука ω, коэффициента динамической вязкости μ и коэффициента теплопроводности λ для н-бутана как в однофазных областях (газ, жидкость и флюид), так и на линии фазового перехода газ — жидкость (линии насыщения), а также значений давления насыщения p_s.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.566 Государственная система обеспечения единства измерений. Межгосударственная система данных о физических константах и свойствах веществ и материалов. Основные положения

ГОСТ Р 8.614 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная служба стандартных справочных данных. Основные положения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Общие положения

Стандартные справочные значения (ГОСТ Р 8.614, ГОСТ 8.566) ρ, h, s, c_p, c_v, ω и p_s рассчитаны по единому для жидкой и газовой фаз фундаментальному уравнению состояния (ФУС) — зависимости свободной энергии (функции Гельмгольца) F от плотности ρ и температуры T

Издание официальное

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

где f, f_0 и 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 ($T_{кр}$) н-бутана в критической точке приведены в таблице А.1 приложения А.

Уравнение для идеально-газовой составляющей свободной энергии имеет следующий вид

$$f_0 = \ln(\omega) + a_1 + a_2\tau^{-1} + a_3\ln(\tau^{-1}) + \sum_{i=4}^{7} a_i \ln\left[1 - \exp(-\delta_i\tau^{-1})\right]. \quad (2)$$

Коэффициенты $\{a_i\}$ и параметры $\{\delta_i\}$ уравнения (2) приведены в таблице А.3 приложения А.

Уравнение для неидеальной составляющей свободной энергии имеет следующий вид

$$f_r = \sum_{j=1}^{25} b_j \varphi_j, \quad (3)$$

где

$$\varphi_j = \begin{cases} \omega^{r_j}\tau^{-t_j}\exp\left[g_j\omega^{l_j}\right], & j \le 23 \\ \omega^{r_j}\tau^{-t_j}\exp\left[-\alpha_j(\omega-\varepsilon_j)^2 - \beta_j(\tau^{-1}-\gamma_j)^2\right], & j \ge 24. \end{cases} \quad (4)$$

В формулах (3) и (4) b_j — коэффициенты уравнения состояния, значения которых вместе с показателями степеней r_j, t_j, l_j и параметрами g_j, α_j, β_j, ε_j, γ_j приведены в таблице А.2 приложения А.

Плотность ω в однофазных областях при заданных значениях давления (p) и температуры (T) определяют из решения следующего уравнения

$$\pi = \omega\tau(1 + A_0)/z_{кр}, \quad (5)$$

где $\pi = p/p_{кр}$;

$z_{кр} = 10^3 p_{кр}/(\rho_{кр}RT_{кр})$.

Значения давления ($p_{кр}$) и фактора сжимаемости ($z_{кр}$) в критической точке, а также газовой постоянной (R) н-бутана приведены в таблице А.1 приложения А.

Плотности газовой ω'' и жидкой ω' фаз на линии насыщения при заданной температуре T определяются из условий фазового равновесия в результате решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \pi(\tau,\omega') - \pi(\tau,\omega'') = 0; \\ \phi_r(\tau,\omega') - \phi_r(\tau,\omega'') = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где $\phi_r(\tau,\omega)$ — безразмерная неидеальная составляющая изобарно-изотермического потенциала (потенциала Гиббса):

$$\phi_r = f_r + A_0 + \ln(\omega). \quad (7)$$

Давление на линии насыщения p_s определяют по формуле (5) для ω''.

Энтальпию, энтропию, изобарную и изохорную теплоемкости и скорость звука как в однофазных областях (для T и ω), так и на линии насыщения (для T, ω' или T, ω'') вычисляют по следующим по формулам:

$$h = h_0 + A_3RT; \quad (8)$$

$$s = s_0 + RA_4; \quad (9)$$

$$c_p = c_v + R(1 + A_2)^2/(1 + A_1); \quad (10)$$

$$c_v = c_{v0} + A_5R; \quad (11)$$

$$w = [10^3RTc_p(1 + A_1)/c_v]^{0,5}, \quad (12)$$

где h_0, s_0, c_{v0} — энтальпия, энтропия и изохорная теплоемкость в идеально-газовом состоянии.

Термодинамические свойства в идеально-газовом состоянии определяют по формулам, полученным из $f_0(t, \omega)$:

$$c_{v0} = R\left[a_3 + \sum_{i=4}^{7} a_i E_i D_i^2\right]; \quad (13)$$

$$h_0 = RT\left[1 + a_3 + a_2\Theta + \sum_{i=4}^{7} a_i E_i D_i + \frac{\Delta h_0}{RT}\right]; \quad (14)$$

$$s_0 = R\left\{a_3(1 - \ln\Theta) - a_1 + \sum_{i=4}^{7} a_i\left[E_i D_i - \ln(1 - E_i)\right] + \Delta s_0 / R - \ln\omega\right\}, \quad (15)$$

где $\Theta = \tau^{-1}$;

E_i и D_i — функции от Θ, имеющие следующий вид:

$$E_i = \exp(-\delta_i\Theta), \quad D_i = \delta_i\Theta/(1 - E_i). \quad (16)$$

Коэффициенты $\{a_i\}$ в формулах (13)—(15) и параметры $\{\delta_i\}$ в формуле (16), а также значения энтальпии Δh_0 и энтропии Δs_0 приведены в таблице А.3 приложения А.

Комплексы A_0—A_5 в формулах (5)—(12) определяют по следующим соотношениям, полученным из уравнения (3) для f_r с использованием известных дифференциальных уравнений термодинамики:

$$A_0 = \sum_{j=1}^{25} b_j\varphi_j X_j; \quad (17)$$

$$A_1 = \sum_{j=1}^{25} b_j\varphi_j\left[X_j(X_j + 1) + U_j\right]; \quad (18)$$

$$A_2 = \sum_{j=1}^{25} b_j\varphi_j\left[X_j(Y_j + 1)\right]; \quad (19)$$

$$A_3 = \sum_{j=1}^{25} b_j\varphi_j\left[X_j - Y_j\right]; \quad (20)$$

$$A_4 = -\sum_{j=1}^{25} b_j\varphi_j\left[Y_j + 1\right]; \quad (21)$$

$$A_5 = -\sum_{j=1}^{25} b_j\varphi_j\left[Y_j(Y_j + 1) + Q_j\right], \quad (22)$$

где

$$X_j = \begin{cases} r_j + g_j l_j \omega^{l_j}, j \le 23 \\ r_j - 2\alpha_j \omega\left(\omega - \varepsilon_j\right), j \ge 24 \end{cases}; \quad (23)$$

$$U_j = \begin{cases} g_j l_j^2 \omega^{l_j}, j \le 23 \\ -2\alpha_j \omega\left(2\omega - \varepsilon_j\right), j \ge 24 \end{cases}; \quad (24)$$

$$Y_j = \begin{cases} -t_j, j \le 23 \\ 2\beta_j \tau^{-1}\left(\tau^{-1} - \gamma_j\right) - t_j, j \ge 24 \end{cases}; \quad (25)$$

$$\begin{cases} 0, \ \le 23 \\ -2\beta_j \tau^{-1}\left(2\tau^{-1} - \gamma_j\right), \ \ge 24 \end{cases}. \quad (26)$$

Стандартные справочные значения коэффициента динамической вязкости н-бутана рассчитаны по следующей формуле [1]

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + B_\mu \cdot \omega) + \Delta\mu(\omega, \tau), \quad (27)$$

где μ_0, B_μ и $\Delta\mu$ — коэффициент динамической вязкости н-бутана в состоянии разреженного газа, второй вязкостный вириальный коэффициент и избыточная по отношению к μ_0 составляющая коэффициента динамической вязкости, соответственно;

Составляющие μ в (27) определяют по формулам:

$$\mu_0 = \frac{C_0 \cdot \sqrt{\tau}}{\Omega(\tau)}, \quad (28)$$

$$\Omega = \exp\left[\sum_{i=0}^{2} a_i \left(\ln \tau^{-1}\right)^i\right]. \quad (29)$$

Параметр C_0 в уравнении (28) и коэффициенты $\{a_i\}$ уравнения (29) приведены в таблице А.4.

$$B_\mu = C_1 \cdot \left[\sum_{i=0}^{6} b_i \tau^{-0,25i} + b_7 \tau^{-2,5} + b_8 \tau^{-5,5}\right]. \quad (30)$$

Параметр С1 и коэффициенты $\{b_i\}$ уравнения (30) приведены в таблице А.5.

$$\Delta\mu(\omega, \tau) = \sum_{i=1}^{7} c_i \omega^{r_i} \tau^{-t_i} + c_8 \omega^{-2/3} \tau^{-0,5} \left(\omega^\gamma \tau^{-1}\right)^2 + \sum_{i=9}^{10} c_i \omega \tau^{-1} \exp\left[-\beta_i (\omega - 1)^2 - \varepsilon_i \left|\tau^{-1} - 1\right|\right]. \quad (31)$$

Коэффициенты $\{c_i\}$, $\{\beta_i\}$ и $\{\varepsilon_i\}$, а также показатели степеней γ, $\{r_i\}$ и $\{t_i\}$ представлены в таблице А.6.

Стандартные справочные значения коэффициента теплопроводности н-бутана рассчитаны по следующей формуле

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda + \Delta\lambda_{кр}, \quad (32)$$

где λ_0, $\Delta\lambda$ и $\Delta\lambda_{кр}$ — коэффициент теплопроводности н-бутана в состоянии разреженного газа, избыточная по отношению к λ_0 составляющая коэффициента теплопроводности и аномальная составляющая коэффициента теплопроводности в околокритической области, соответственно

$$\lambda_0 = \sum_{i=0}^{2} a_i \tau_l^{\,i}; \quad (33)$$

$$\Delta\lambda = \sum_{i=1}^{5} \left(b_{1i} + b_{2i}\tau_l\right) \cdot \omega_l^i, \tag{34}$$

где $\tau_l = T/425{,}12$;

$\omega_l = \rho/227{,}8$.

$$\Delta\lambda_{кр} = \begin{cases} 0, \Delta\chi \le 0; \\ \dfrac{\rho c_p k_B R_0 T \left(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_0\right)}{6\pi\xi\mu(\tau,\omega)}, \Delta\chi > 0; \end{cases} \tag{35}$$

$$\Delta\chi = \left[\frac{\chi(\tau,\omega) - \chi(\tau_{ref},\omega)T_{ref}T^{-1}}{\Gamma}\right]; \tag{36}$$

$$\xi = \xi_0 \Delta\chi^{\nu/\gamma}; \tag{37}$$

$$\tilde{\Omega} = \frac{2}{\pi}\left[\left(1 - \frac{c_v}{c_p}\right)\text{arctg}\left(\xi/q_D\right) + \frac{c_v}{c_p}\left(\xi/q_D\right)\right]; \tag{38}$$

$$\tilde{\Omega}_0 = \frac{2}{\pi}\left\{1 - \exp\left[\frac{-1}{\left(\xi/q_D\right)^{-1} + \frac{1}{3}\left(\xi q_D^{-1}\omega^{-1}\right)^2}\right]\right\}; \tag{39}$$

$$\chi(\tau,\omega) = \frac{\omega z_c}{\tau\left[1 + A_1(\tau,\omega)\right]}. \tag{40}$$

Значения коэффициентов $\{a_i\}$ и $\{b_{1i}\}$, $\{b_{2i}\}$ формул (33), (34) приведены в таблицах А.7 и А.8 приложения А. Универсальные теоретически обоснованные постоянные $k_B = 1{,}380658 \cdot 10^{-2}$; $R_0 = 1{,}03$; $\nu = 0{,}63$; $\gamma = 1{,}239$. Значения подгоночных параметров для н-бутана ξ_0, Γ, q_D, T_{ref} приведены в таблице А.1 приложения А. В формулах (35), (38) и (40) теплоемкости c_p, c_v и расчетный комплекс A_1 определяют по формулам (10), (11) и (18) соответственно; коэффициент динамической вязкости $\mu(\tau, \omega)$ определяют по формулам (27)—(31).

Контрольные значения стандартных термодинамических и переносных (μ, λ) свойств н-бутана приведены в таблице Б.2 (линия насыщения) приложения Б и В.1 (однофазные области) приложения В.

4 Расширенные неопределенности расчетных значений стандартных справочных данных по свойствам н-бутана

Расширенные неопределенности (с доверительной вероятностью 95 %) расчетных значений термодинамических свойств и свойств переноса: плотности $\delta\rho = \Delta\rho/\rho$, скорости звука $\delta w = \Delta w/w$, изохорной $\delta c_v = \Delta c_v/c_v$ и изобарной $\delta c_p = \Delta c_p/c_p$ теплоемкостей, коэффициента динамической вязкости $\delta\mu = \Delta\mu/\mu$ и коэффициента теплопроводности $\delta\lambda = \Delta\lambda/\lambda$ определяются в соответствии с оценками, приведенными в [1].

Расширенные неопределенности контрольных значений стандартных справочных данных н-бутана представлены в таблицах Б.2 и В.1 (приложения Б и В), где для всех теплофизических свойств, кроме энтальпии, приведены относительные величины неопределенностей $\delta A = 100 \cdot \Delta A/A$, %; для энтальпии приведена абсолютная величина Δh, кДж/кг.

Приложение А
(обязательное)

Основные физические параметры и коэффициенты уравнений для определения значений стандартных справочных данных по свойствам н-бутана

Таблица А.1 — Основные физические параметры н-бутана

Физический параметр, размерность	Значение
Молярная масса M, кг/кмоль	58,1222
Газовая постоянная R, кДж/(кг · К)	0,14305157
Параметры в тройной точке: давление p_t, МПа температура T_t, К	 $0{,}653 \cdot 10^{-6}$ 134,895
Параметры в критической точке: давление $p_{кр}$, МПа температура $T_{кр}$, К плотность $\rho_{кр}$, кг/м^3 фактор сжимаемости $z_{кр}$	 3,796 425,125 228,0 0,273767622
Параметры для расчета $\Delta\lambda_{кр}$: ξ_0, нм Γ q_D, нм T_{ref}, К	 0,194 0,0496 0,87535 637,68

Таблица А.2 — Коэффициенты, показатели степеней и параметры уравнения для неидеальной составляющей ФУС н-бутана [см. уравнения (3) и (4)]

j	b_j	r_j	t_j	g_j	l_j	α_j	β_j	ε_j	γ_j
1	$0{,}25536998241635 \cdot 10^{1}$	1	0,5	0	0				
2	$-0{,}44585951806696 \cdot 10^{1}$	1	1	0	0				
3	0,82425886369063	1	1,5	0	0				
4	0,11215007011442	2	0	0	0				
5	$-0{,}35910933680333 \cdot 10^{-1}$	3	0,5	0	0				
6	$0{,}16790508518103 \cdot 10^{-1}$	4	0,5	0	0				
7	$0{,}32734072508724 \cdot 10^{-1}$	4	0,75	0	0				
8	0,95571232982005	1	2	–1	1				
9	$-0{,}10003385753419 \cdot 10^{1}$	1	2,5	–1	1				
10	$0{,}85581548803855 \cdot 10^{-1}$	2	2,5	–1	1				
11	$-0{,}25147918369616 \cdot 10^{-1}$	7	1,5	–1	1				
12	$-0{,}15202958578918 \cdot 10^{-2}$	8	1	–1	1				
13	$0{,}47060682326420 \cdot 10^{-2}$	8	1,5	–1	1				
14	$-0{,}97845414174006\ 10^{-1}$	1	4	–1	2				
15	$-0{,}48317904158760 \cdot 10^{-1}$	2	7	–1	2				
16	0,17841271865468	3	3	–1	2				

Окончание таблицы А.2

j	b_j	r_j	t_j	g_j	l_j	α_j	β_j	ε_j	γ_j
17	$0{,}18173836739334 \cdot 10^{-1}$	3	7	–1	2				
18	–0,11399068074953	4	3	–1	2				
19	$0{,}19329896666669 \cdot 10^{-1}$	5	1	–1	2				
20	$0{,}11575877401010 \cdot 10^{-2}$	5	6	–1	2				
21	$0{,}15253808698116 \cdot 10^{-3}$	10	0	–1	2				
22	$-0{,}43688558458471 \cdot 10^{-1}$	2	6	–1	3				
23	$-0{,}82403190629989 \cdot 10^{-2}$	6	13	–1	3				
24	$-0{,}28390056949441 \cdot 10^{-1}$	1	2	–1	2	10	150	0,85	1,16
25	$0{,}14904666224681 \cdot 10^{-2}$	2	0	–1	2	10	200	1	1,13

Таблица А.3 — Коэффициенты уравнений (2) и (13)—(16) для термодинамических свойств н-бутана в идеально-газовом состоянии, энтальпия Δh_0 и энтропия Δh_0

i	a_i	δ_i
1	12,54882924	0
2	–5,46976878	0
3	3,24680487	0
4	5,54913289	0,7748404445
5	11,4648996	3,3406025522
6	7,59987584	4,9705130961
7	9,66033239	9,9755537783
Δh_0 = 956,35 кДж/кг; Δs_0 = 5,3277 кДж/(кг · К)		

Таблица А.4 — Коэффициенты C_0 и a_i уравнений (28, 29) для μ_0 и Ω н-бутана

i	a_i
0	4,6147656002208
1	$4{,}5743185910390 \cdot 10^{-1}$
2	$3{,}0851104723224 \cdot 10^{-2}$
$C_0 = 1{,}0546549635209 \cdot 10^{3}$	

Таблица А.5 — Коэффициенты b_i и C_1 уравнения (30) для B_μ н-бутана

i	b_i
0	$-1{,}9572881000 \cdot 10^{1}$
1	$1{,}98887362343 \cdot 10^{2}$
2	$-8{,}3176420912 \cdot 10^{2}$
3	$1{,}83218450345 \cdot 10^{3}$
4	$-2{,}26510439059 \cdot 10^{3}$

Окончание таблицы А.5

i	b_i
5	$1{,}51348864395 \cdot 10^{3}$
6	$-4{,}32819866497 \cdot 10^{2}$
7	5,19698852489
8	$-3{,}86579291550 \cdot 10^{-2}$
$C_1 = 4{,}89736312734 \cdot 10^{-1}$	

Таблица А.6 — Коэффициенты c_i, β_i, ε_i, а также показатели степеней γ, r_i и t_i уравнения (31) для $\Delta\mu$ н-бутана

i	c_i	β_i	ε_i	t_i	r_i
1	2,3460864383872			2	2
2	$7{,}8632175809804 \cdot 10^{-1}$			5	2
3	$1{,}5823593499816 \cdot 10^{1}$			0	2,5
4	–9,4670516989296			0	3
5	1,051149627634			0	5
6	$-1{,}9355799491084 \cdot 10^{-2}$			4	7,5
7	$1{,}4895031937816 \cdot 10^{-4}$			5	10
8	$1{,}2280342363570 \cdot 10^{-3}$			0	0
9	1,2790911462043	30	220	0	0
10	$2{,}5581822924086 \cdot 10^{-1}$	5	400	0	0
$\gamma = 5{,}7$					

Таблица 7 — Коэффициенты a_i уравнения (33) для λ_0 н-бутана

i	a_i
0	1,62676
1	$9{,}75703 \cdot 10^{-1}$
2	$2{,}89887 \cdot 10^{1}$

Таблица А.8 — Коэффициенты b_{ji} уравнения (34) для $\Delta\lambda$ н-бутана

i	b_{ji}	
	$j = 1$	$j = 2$
1	$-3{,}04337 \cdot 10^{1}$	$4{,}18357 \cdot 10^{1}$
2	$1{,}65820 \cdot 10^{2}$	$-1{,}47163 \cdot 10^{2}$
3	$-1{,}48144 \cdot 10^{2}$	$1{,}33542 \cdot 10^{2}$
4	$5{,}25500 \cdot 10^{1}$	$-4{,}85489 \cdot 10^{1}$
5	–6,29367	6,44307

Приложение Б
(обязательное)

Таблицы контрольных стандартных значений теплофизических свойств н-бутана на кривой насыщения

Таблица Б.1 — Обозначения и размерности теплофизических свойств и их неопределенностей, представленных в таблицах Б.2 и В.1 (приложения В)

Наименование показателя	Обозначение	Размерность
Температура	T	К
Давление	p	МПа
Давление насыщения	p_s	МПа
Плотность	ρ	кг/м^3
Энтальпия	h	кДж/кг
Энтропия	s	кДж/(кг · К)
Изохорная теплоемкость	c_v	кДж/(кг · К)
Изобарная теплоемкость	c_p	кДж/(кг · К)
Скорость звука	w	м/с
Коэффициент динамической вязкости	μ	мкПа · с
Коэффициент теплопроводности	λ	мВт/(м · К)
Относительная неопределенность теплофизических свойств, исключая энтальпию	δA	%
Абсолютная неопределенность энтальпии	Δh	кДж/кг
Примечание — В таблице Б.2, где представлены контрольные стандартные значения теплофизических свойств (A) н-бутана на кривой насыщения, обозначения A' и A'' — свойства насыщенной жидкости и насыщенного пара, соответственно.		

Таблица Б.2 — Контрольные стандартные значения теплофизических свойств н-бутана на кривой насыщения

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_v'	c_v''
	δp_s	$\delta\rho'$	$\delta\rho''$	$\Delta h'$	$\Delta h''$	$\delta s'$	$\delta s''$	$\delta c_v'$	$\delta c_v''$
135,00	$0{,}67910 \cdot 10^{-6}$	734,86	$0{,}35165 \cdot 10^{-4}$	234,9	730,8	2,2929	5,9658	1,442	0,964
	0,02	0,02	0,02	0,5	0,1	0,04	0,01	1,0	2,0
150,00	$0{,}85728 \cdot 10^{-5}$	720,88	$0{,}39953 \cdot 10^{-3}$	264,6	747,7	2,5015	5,7224	1,442	1,015
	0,02	0,02	0,02	0,5	0,1	0,04	0,01	1,0	2,0
200,00	$0{,}19390 \cdot 10^{-2}$	673,99	$0{,}67923 \cdot 10^{-1}$	365,5	809,3	3,0818	5,3007	1,473	1,174
	0,02	0,02	0,02	0,3	0,1	0,03	0,01	1,0	2,0
250,00	$0{,}39153 \cdot 10^{-1}$	624,95	$0{,}11182 \cdot 10^{1}$	472,1	877,1	3,5565	5,1764	1,573	1,364
	0,02	0,02	0,02	0,2	0,1	0,02	0,01	1,0	2,0
300,00	0,25760	570,68	$0{,}65164 \cdot 10^{1}$	588,5	948,1	3,9790	5,1776	1,729	1,602
	0,02	0,02	0,02	0,1	0,1	0,02	0,01	1,0	2,0

Продолжение таблицы Б.2

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c_v'	c_v''
	δp_s	$\delta\rho'$	$\delta\rho''$	$\Delta h'$	$\Delta h''$	$\delta s'$	$\delta s''$	$\delta c_v'$	$\delta c_v''$
350,00	0,94418	505,18	$0{,}23389 \cdot 10^2$	719,7	1017,4	4,3787	5,2293	1,922	1,877
	0,40	0,40	0,40	0,2	0,2	0,09	0,02	3,0	2,0
400,00	$0{,}24954 \cdot 10^1$	408,48	$0{,}73077 \cdot 10^2$	875,8	1069,7	4,7854	5,2704	2,173	2,210
	0,40	0,40	0,40	0,7	0,4	0,05	0,03	3,0	2,0
424,00	$0{,}37262 \cdot 10^1$	284,03	$0{,}17321 \cdot 10^3$	989,0	1047,5	5,0509	5,1889	2,454	2,549
	0,50	5,68	14,15	7,1	16,5	0,34	0,76	5,0	5,0

Окончание таблицы Б.2

T	c_p'	c_p''	w'	w''	η'	η''	λ'	λ''
	$\delta c_p'$	$\delta c_p''$	$\delta w'$	$\delta w''$	$\delta\eta'$	$\delta\eta''$	$\delta\lambda'$	$\delta\lambda''$
135,00	1,973	1,107	1826,1	148,9	2350,5	3,34	176,6	4,86
	1,0	2,0	1,00	1,00	4,0	6,0	3,0	5,0
150,00	1,986	1,158	1729,8	156,5	1386,6	3,73	171,3	5,58
	1,0	2,0	1,00	1,00	4,0	6,0	3,0	5,0
200,00	2,062	1,319	1438,2	178,9	481,4	4,98	149,4	8,50
	1,0	2,0	0,50	1,00	4,0	6,0	3,0	5,0
250,00	2,213	1,523	1160,9	195,6	256,7	6,19	125,8	12,20
	1,0	2,0	0,50	1,00	4,0	6,0	3,0	5,0
300,00	2,451	1,811	890,9	202,2	157,0	7,38	104,0	16,79
	1,0	2,0	0,50	1,00	4,0	1,5	3,0	3,0
350,00	2,820	2,250	620,4	192,5	99,0	8,74	85,5	23,07
	3,0	2,0	0,50	1,00	4,0	1,5	3,0	3,0
400,00	3,838	3,623	318,4	154,8	56,5	11,37	70,6	35,15
	3,0	2,0	4,00	4,00	4,0	1,5	3,0	3,0
424,00	34,430	44,895	127,2	115,7	30,6	18,22	79,5	79,03
	5,0	5,0	4,00	4,00	4,0	1,5	5,0	5,0

Приложение В
(обязательное)

Таблица контрольных стандартных значений теплофизических свойств н-бутана в однофазной области

Таблица В.1 — Контрольные стандартные значения теплофизических свойств н-бутана в однофазной области

p	ρ	h	s	c_v	c_p	w	μ	λ
	$\delta\rho$	Δh	δs	δc_v	δc_p	δw	$\delta\mu$	$\delta\lambda$
T = 135,0 K								
0,1	734,90	235,0	2,2928	1,442	1,973	1826,5	2352,49	176,63
	0,02	0,5	0,04	1,0	1,0	1,00	6,0	5,0
T = 200,0 K								
0,1	674,06	365,7	3,0815	1,473	2,062	1438,8	481,85	149,48
	0,02	0,3	0,03	1,0	1,0	0,50	4,0	5,0
30,0	691,97	398,1	3,0250	1,497	2,030	1591,7	635,32	161,45
	0,10	1,5	0,09	1,0	1,0	0,50	4,0	3,0
70,0	711,03	442,5	2,9622	1,523	2,010	1756,1	866,54	174,87
	0,10	2,0	0,09	5,0	5,0	1,00	6,0	3,0
T = 300,0 K								
0,1	2,3998	955,3	5,3303	1,574	1,738	211,3	7,42	16,75
	0,02	0,1	0,01	2,0	2,0	1,00	0,5	5,0
30,0	609,32	613,9	3,8959	1,753	2,320	1153,4	216,26	123,15

Продолжение таблицы В.1

p	ρ	h	s	c_v	c_p	w	μ	λ
	$\delta\rho$	Δh	δs	δc_v	δc_p	δw	$\delta\mu$	$\delta\lambda$
	0,40	2,5	0,15	1,0	1,0	0,50	4,0	3,0
70,0	641,49	655,0	3,8202	1,780	2,271	1385,0	295,01	142,64
	0,40	4,2	0,18	5,0	5,0	0,50	6,0	3,0
T = 400,0 K								
0,1	1,7669	1149,9	5,8870	2,008	2,158	245,3	9,87	28,28
	0,20	0,1	0,01	0,5	0,5	0,20	0,5	5,0
30,0	523,31	866,1	4,6188	2,133	2,731	816,4	110,88	97,09
	0,40	0,8	0,09	3,0	3,0	2,00	4,0	3,0
70,0	576,84	900,1	4,5228	2,160	2,635	1112,7	160,97	119,42
	0,40	2,4	0,11	5,0	5,0	2,00	6,0	3,0
T = 500,0 K								
0,1	1,4052	1386,3	6,4130	2,416	2,563	274,1	12,22	42,99
	0,20	0,1	0,01	0,5	0,5	0,20	0,5	5,0
30,0	433,38	1159,2	5,2711	2,510	3,118	595,4	66,43	86,55
	0,40	0,1	0,06	3,0	3,0	2,00	6,0	3,0
70,0	516,86	1181,5	5,1491	2,534	2,985	929,8	107,46	109,03
	0,40	1,4	0,07	5,0	5,0	2,00	6,0	3,0
T = 600,0 K								
0,1	1,1680	1660,7	6,9123	2,770	2,916	299,8	14,50	60,89
	0,50	0,1	0,02	0,5	0,5	0,20	0,5	5,0
30,0	349,20	1486,3	5,8668	2,844	3,405	483,3	46,05	87,45
	1,00	0,7	0,08	3,0	3,0	2,00	8,0	3,0

Окончание таблицы В.1

p	ρ	h	s	c_v	c_p	w	μ	λ
	$\delta\rho$	Δh	δs	δc_v	δc_p	δw	$\delta\mu$	$\delta\lambda$
70,0	462,67	1495,4	5,7207	2,865	3,286	814,6	80,16	109,17
	1,00	2,1	0,12	5,0	5,0	2,00	6,0	3,0

Библиография

[1] Таблицы стандартных справочных данных, ГСССД 338—2018. Нормальный бутан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 135 до 600 К и давлениях до 70 МПа. — ФГУП «ВНИИМС» — М., 2018. — 52 с.

УДК 547.2146:006.354 ОКС 07.030

Ключевые слова: Государственная система обеспечения единства измерений, стандартные справочные данные, жидкий и газообразный н-бутан, термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности

БЗ 12—2018/20

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.С. Кабашова*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 05.12.2018. Подписано в печать 19.12.2018. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,86.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 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