ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.981— 2019

Государственная система обеспечения единства измерений

СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Этан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 91 К до 675 К и давлениях до 100 МПа

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно—исследовательский институт метрологической службы» (ФГУП «ВНИИМС»)

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 7 ноября 2019 г. № 1095—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, 2019

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 этана 5
Приложение А (обязательное) Основные физические параметры и коэффициенты уравнений для определения значений стандартных справочных данных по свойствам этана 6
Приложение Б (обязательное) Таблицы контрольных стандартных значений теплофизических свойств этана на кривой насыщения 10
Приложение В (обязательное) Таблицы контрольных стандартных значений теплофизических свойств этана в однофазной области 12
Библиография 14

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Этан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 91 К до 675 К и давлениях до 100 МПа

State system for ensuring the uniformity of measurements. Standard reference data. Liquid and gaseous ethane. Thermodynamic properties, dynamic viscosity and thermal conductivity at temperatures from 91 K up to 675 K and pressures up to 100 MPa

Дата введения — 2020—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на жидкий и газообразный этан 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 w, коэффициента динамической вязкости μ и коэффициента теплопроводности λ для этана 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, w 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

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

Издание официальное

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 ($T_{кр}$) этана в критической точке приведены в таблице А.1 приложения А.

Уравнение для идеально—газовой составляющей свободной энергии имеет следующий вид

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

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

$$f_r = \sum_{j=1}^{44} b_j\varphi_j, \quad (3)$$

где

$$\varphi_j = \begin{cases} \omega^{r_j}\tau^{-t_j}\exp\left[g_j\omega^{l_j}\right], & j \le 39 \\ \omega^{r_j}\tau^{-t_j}\exp\left[-\alpha_j\left(\omega-\varepsilon_j\right)^2 - \beta_j\left(\tau^{-1}-\gamma_j\right)^2\right], & j \ge 40. \end{cases} \quad (4)$$

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) этана 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:

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

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

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

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

Энтальпию, энтропию, изобарную, 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 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 $f_0(\tau, \omega)$:

$$c_{v0} = R\left[\alpha_3 + \sum_{i=4}^{7}\alpha_i E_i D_i^2\right]; \quad (13)$$

$$h_0 = RT\left[1 + a_3 + a_2\theta + \sum_{i=4}^{7} a_i E_i D_i + \frac{\tilde{h}_{00}T_0}{T} + \frac{h_0^0}{RT}\right]; \quad (14)$$

$$s_0 = R\left\{a_3\left(1 - \ln\theta\right) - a_1 + \sum_{i=4}^{7} a_i\left[E_i D_i - \ln\left(1 - E_i\right)\right] + \tilde{s}_{00} - \ln\omega\right\}, \quad (15)$$

где $\theta = \tau^{-1}$;

E_i и D_i — функции от θ, имеющие следующий вид

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

Коэффициенты $\{a_i\}$ в выражениях (13) — (15) и параметры $\{\delta_i\}$ в (16), а также значения безразмерных энтальпии $\tilde{h}_{00}$ и энтропии $\tilde{s}_{00}$ при температуре T_0 и h_0^0 — теплоты сублимации равновесного кристалла при T = 0 К [1] приведены в таблице А.3 приложения А.

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

$$A_0 = \sum_{j=1}^{44} b_j\varphi_j X_j; \quad (17)$$

$$A_1 = \sum_{j=1}^{44} b_j\varphi_j\left[X_j\left(X_j + 1\right) + U_j\right]; \quad (18)$$

$$A_2 = \sum_{j=1}^{44} b_j\varphi_j\left[X_j\left(Y_j + 1\right)\right]; \quad (19)$$

$$A_3 = \sum_{j=1}^{44} b_j\varphi_j\left[X_j - Y_j\right]; \quad (20)$$

$$A_4 = -\sum_{j=1}^{44} b_j\varphi_j\left[Y_j + 1\right]; \quad (21)$$

$$A_5 = -\sum_{j=1}^{44} b_j\varphi_j\left[Y_j\left(Y_j + 1\right) + Q_j\right], \quad (22)$$

где

$$X_j = \begin{cases} r_j + g_j l_j \omega^{l_j}, & j \le 39 \\ r_j - 2\alpha_j\omega\left(\omega - \varepsilon_j\right), & j \ge 40 \end{cases}; \quad (23)$$

$$U_j = \begin{cases} g_j l_j^2 \omega^{l_j}, & j \le 39 \\ -2\alpha_j\omega\left(2\omega - \varepsilon_j\right), & j \ge 40 \end{cases}; \quad (24)$$

$$Y_j = \begin{cases} -t_j, & j \le 39 \\ 2\beta_j\tau^{-1}\left(\tau^{-1} - \gamma_j\right) - t_j, & j \ge 40 \end{cases}; \quad (25)$$

$$Q_j = \begin{cases} 0\ , & j \le 39 \\ -2\beta_j\tau^{-1}\left(2\tau^{-1} - \gamma_j\right)\ , & j \ge 40 \end{cases}. \quad (26)$$

Стандартные справочные значения коэффициента динамической вязкости этана рассчитаны по следующему уравнению

$$\mu = \sum_{j=1}^{14} b_j \varphi_j, \tag{27}$$

где

$$\varphi_j = \begin{cases} \omega^{r_j} \tau^{-t_j} \exp\left[g_j \omega \right], & j \le 12 \\ \omega^{r_j} \tau^{-t_j} \exp\left[-\alpha_j (\omega - 1)^2 - \beta_j \left| \tau^{-1} - 1 \right| \right], & j \ge 13 \end{cases}. \tag{28}$$

В формулах (27), (28) b_j — коэффициенты уравнения динамической вязкости, значения которых вместе с показателями степеней r_j, t_j и параметрами g_j, α_j, β_j приведены в таблице А.4 приложения А.

Стандартные справочные значения коэффициента теплопроводности этана рассчитаны по следующему уравнению

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda + \Delta\lambda_{кр}, \tag{29}$$

где λ_0, $\Delta\lambda$ и $\Delta\lambda_{кр}$ — соответственно, коэффициент теплопроводности этана в разреженном состоянии, избыточная по отношению к λ_0 составляющая коэффициента теплопроводности и неаналитическая (аномальная) составляющая коэффициента теплопроводности. Значения λ_0 и $\Delta\lambda$ определяются по уравнениям из [1]; значения $\Delta\lambda_{кр}$ (в отличие от [1]) определяются по упрощенной кроссоверной модели:

$$\lambda_0 = \sum_{i=-4}^{4} a_i \tau^{i/2}; \tag{30}$$

$$\Delta\lambda = \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=0}^{2} b_{ij} \tilde{\rho}^i \theta^{-j}, \tag{31}$$

где $\tilde{\rho} = \rho / M, \theta = T / (\varepsilon / k)$.

$$\Delta\lambda_{кр} = \begin{cases} 0, \Delta\chi \le 0; \\ \dfrac{\rho c_p k_B R_0 T \left(\tilde{\Omega} - \tilde{\Omega}_0 \right)}{6\pi\xi\mu(\tau, \omega)}, \Delta\chi > 0; \end{cases} \tag{32}$$

$$\Delta X = \left[\frac{X(\tau, w) - X\left(\tau_{ref} \cdot w\right) T_{ref} \cdot T^{-1}}{\Gamma} \right]; \tag{33}$$

$$\xi = \xi_0 \Delta\chi^{\nu/\gamma}; \tag{34}$$

$$\tilde{\Omega} = \frac{2}{\pi} \left[\left(1 - \frac{c_v}{c_p} \right) \operatorname{arctg}(\xi / q_D) + \frac{c_v}{c_p} (\xi / q_D) \right]; \tag{35}$$

$$\tilde{\Omega}_0 = \frac{2}{\pi} \left\{ 1 - \exp\left[\frac{-1}{(\xi / q_D)^{-1} + \frac{1}{3} \left(\xi q_D^{-1} \omega^{-1} \right)^2} \right] \right\}; \tag{36}$$

$$\chi(\tau, \omega) = \frac{\omega z_c}{\tau \left[1 + A_1(\tau, \omega) \right]}. \tag{37}$$

Значения коэффициентов $\{a_i\}$ и $\{b_{ij}\}$ уравнений (30, 31) приведены в таблицах А.5, А.6. 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 этана ξ_0, Г, q_D, T_{ref} и (ε/k) приведены в таблице А.1 приложения А. В выражениях (32), (35) — (37) теплоемкости c_p, c_v и расчетный комплекс A_1 определяются по формулам (10), (11) и (18), соответственно; коэффициент динамической вязкости $\mu(\tau, \omega)$ определяется по формулам (27, 28).

Рассчитанные стандартные справочные значения термодинамических и переносных (μ, λ) свойств этана на линии насыщения приведены в таблице Б.2 приложения Б, а в однофазных областях — в таблице В.1 приложения В.

Расширенные неопределенности (с доверительной вероятностью 95 %) расчетных значений термодинамических свойств: 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 определяются в соответствии с оценками, приведенными в [1].

Для околокритической области авторы работы [1] вместо $\delta\rho$ приводят значения $\delta p = \Delta p/p$, поэтому значения $\delta\rho$ определяются в соответствии с теорией переноса ошибок по формуле

$$\delta\rho = \left(\frac{1+A_0}{1+A_1}\right)\cdot\delta p. \tag{38}$$

Расширенные неопределенности расчетных значений энтальпии Δh и энтропии $\delta s = \Delta s/s$ определяются в соответствии с теорией переноса ошибок через $\delta\rho$ по следующим выражениям:

$$\Delta h = 0{,}1 + RT\left|\left(\frac{\partial A_3}{\partial\omega}\right)_\tau\right|\omega\delta\rho/100,\ \text{кДж/кг}; \tag{39}$$

$$\delta s = \left\{0{,}01\cdot s_0(\tau) + R\left|\omega\left(\frac{\partial A_4}{\partial\omega}\right)_\tau - 1\right|\delta\rho\right\}s^{-1},\%\,. \tag{40}$$

В формулах (39) — (40) A_3 и A_4 есть расчетные комплексы (20) — (21); $s_0(\tau)$ рассчитывается по формуле (15), но без учета $\ln(\omega)$.

4 Расширенные неопределенности расчетных значений стандартных справочных данных по свойствам этана

Расширенные неопределенности (с доверительной вероятностью 95 %) расчетных значений свойств переноса: 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 расчетных значений стандартных справочных данных этана представлены в таблицах Б.2 приложения Б и В.1 приложения 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 этана

Таблица А.1 — Основные физические параметры этана

Физический параметр, размерность	Значение
Молярная масса M, кг/кмоль	30,06904
Газовая постоянная R, кДж/(кг·К)	0,27651272
Параметры в тройной точке:	
давление p_t, МПа	$1{,}14 \cdot 10^{-6}$
температура T_t, К	90,368
Параметры в критической точке:	
давление $p_{кр}$, МПа	4,8722
температура $T_{кр}$, К	305,322
плотность $\rho_{кр}$, кг/м^3	206,18
фактор сжимаемости $z_{кр}$	0,279901586
Параметры потенциала Леннарда—Джонса:	
энергетический ε/k, К	264,7
Параметры для расчета $\Delta\lambda_{кр}$:	
ξ_0, нм	0,19
Г	0,0541
q_D, нм	0,40
T_{ref}, К	457,983

Таблица А.2 — Коэффициенты, показатели степеней и параметры уравнения для неидеальной составляющей ФУС этана [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	0,83440745735241	1	0,25	0	0	—	—	—	—
2	$-0{,}14287360607171 \cdot 10^{1}$	1	1	0	0	—	—	—	—
3	0,34430242210927	2	0,25	0	0	—	—	—	—
4	–0,42096677920265	2	0,75	0	0	—	—	—	—
5	$0{,}12094500886549\ 10^{-1}$	4	0,75	0	0	—	—	—	—
6	–0,57976201597341	1	2	–1	1	—	—	—	—
7	$-0{,}33127037870838\ 10^{-1}$	1	4,25	–1	1	—	—	—	—
8	–0,11751654894130	2	0,75	–1	1	—	—	—	—
9	–0,11160957833067	2	2,25	–1	1	—	—	—	—
10	$0{,}62181592654406\ 10^{-1}$	3	3	–1	1	—	—	—	—
11	$0{,}98481795434443\ 10^{-1}$	6	1	–1	1	—	—	—	—
12	$-0{,}98268582682358\ 10^{-1}$	6	1,25	–1	1	—	—	—	—
13	$-0{,}23977831007049\ 10^{-3}$	7	2,75	–1	1	—	—	—	—
14	$0{,}69885663328821\ 10^{-3}$	9	1	–1	1	—	—	—	—

Окончание таблицы А.2

j	b_j	r_j	t_j	g_j	l_j	α_j	β_j	ε_j	γ_j
15	$0{,}19665987803305\ 10^{-4}$	10	2	–1	1	—	—	—	—
16	$-0{,}14586152207928\ 10^{-1}$	2	2,5	–1	2	—	—	—	—
17	$0{,}46354100536781\ 10^{-1}$	4	5,5	–1	2	—	—	—	—
18	$0{,}60764622180645\ 10^{-2}$	4	7	–1	2	—	—	—	—
19	$-0{,}26447330147828\ 10^{-2}$	5	0,5	–1	2	—	—	—	—
20	$-0{,}42931872689904\ 10^{-1}$	5	5,5	–1	2	—	—	—	—
21	$0{,}29987786517263\ 10^{-2}$	6	2,5	–1	2	—	—	—	—
22	$0{,}52919335175010\ 10^{-2}$	8	4	–1	2	—	—	—	—
23	$-0{,}10383897798198\ 10^{-2}$	9	2	–1	2	—	—	—	—
24	$-0{,}54260348214694\ 10^{-1}$	2	10	–1	3	—	—	—	—
25	–0,21959362918493	3	16	–1	3	—	—	—	—
26	0,35362456650354	3	18	–1	3	—	—	—	—
27	–0,12477390173714	3	20	–1	3	—	—	—	—
28	0,18425693591517	4	14	–1	3	—	—	—	—
29	–0,16192256436754	4	18	–1	3	—	—	—	—
30	$-0{,}82770876149064\ 10^{-1}$	5	12	–1	3	—	—	—	—
31	$0{,}50160758096437\ 10^{-1}$	5	19	–1	3	—	—	—	—
32	$0{,}93614326336655\ 10^{-2}$	6	7	–1	3	—	—	—	—
33	$-0{,}27839186242864\ 10^{-3}$	11	15	–1	3	—	—	—	—
34	$0{,}23560274071481\ 10^{-4}$	14	9	–1	3	—	—	—	—
35	$0{,}39238329738527\ 10^{-2}$	3	26	–1	4	—	—	—	—
36	$-0{,}76488325813618\ 10^{-3}$	3	28	–1	4	—	—	—	—
37	$-0{,}49944304440730\ 10^{-2}$	4	28	–1	4	—	—	—	—
38	$0{,}18593386407186\ 10^{-2}$	8	22	–1	4	—	—	—	—
39	$-0{,}61404353331199\ 10^{-3}$	10	13	–1	4	—	—	—	—
40	$-0{,}23312179367924\ 10^{-2}$	1	0	–1	2	15	150	1	1,05
41	$0{,}29301047908760\ 10^{-2}$	1	3	–1	2	15	150	1	1,05
42	$-0{,}26912472842883\ 10^{-3}$	3	3	–1	2	15	150	1	1,05
43	$0{,}18413834111814\ 10^{3}$	3	0	–1	2	20	275	1	1,22
44	$-0{,}10397127984854\ 10^{2}$	2	3	–1	2	20	400	1	1,16

Т а б л и ц а А.3 — Коэффициенты уравнений (2) и (13) — (16) для термодинамических свойств этана в идеально-газовом состоянии, энтальпия сублимации при T = 0 К, безразмерные энтальпия и энтропия при T_0 = 298,15 К

i	a_i	δ_i
1	9,212802589	—
2	–4,682248550	—
3	3,003039265	—
4	1,117433359	1,4091052332
5	3,467773215	4,0099170712

Окончание таблицы А.3

i	a_i	δ_i
6	6,941944640	6,5967098342
7	5,970850948	13,9798102659
h_0^0 = 968,426 кДж/кг $\tilde{h}_{00}$ = 4,79067 $\tilde{s}_{00}$ = 27,5600		

Т а б л и ц а А.4 — Коэффициенты, показатели степеней и параметры уравнения для коэффициента динамической вязкости этана [см. уравнения (27) и (28)]

j	b_j	r_j	t_j	g_j	α_j	β_j
1	9,6634694892149	0	–1	0	—	—
2	–2,2985582151676 10^{-1}	0	–3	0	—	—
3	6,6687966976352	1	0	0	—	—
4	–4,6983342709702	1	1	0	—	—
5	1,9688847427047 10^{1}	2	0	0	—	—
6	–9,5399537393789	2	1	0	—	—
7	6,3640646131666 10^{-2}	7	0	0	—	—
8	7,9981217444542 10^{-3}	8	1	0	—	—
9	7,0489675750657 10^{-8}	17	3	0	—	—
10	–2,2734655865556 10^{1}	3	0	–1	—	—
11	2,2124096051632 10^{1}	3	2	–1	—	—
12	–3,0986358885564 10^{-1}	3	5	–1	—	—
13	6,4034200732045 10^{-1}	1	1	0	90	100
14	7,0437620805249 10^{-1}	1	1	0	50	250

Т а б л и ц а А.5 — Коэффициенты a_i уравнения (30) для λ_0 этана

I	λ_0
–4	0,427991755 10^{1}
–3	–0,562964648 10^{2}
–2	0,314495616 10^{3}
–1	–0,968080570 10^{3}
0	0,175632364 10^{4}
1	–0,186476233 10^{4}
2	0,107359347 10^{4}
3	–0,258465947 10^{3}
4	0,213968254 10^{2}

Т а б л и ц а А.6 — Коэффициенты b_{ij} уравнения (31) для $\Delta\lambda$ этана

i	b_{ij}		
	$j = 0$	$j = 1$	$j = 2$
1	1,1795365	–1,5320900	2,0159682
2	3,1188977	–4,7166037	0,0
3	$-8{,}3572937\ 10^{-1}$	1,4575942	0,0
4	$8{,}5729762\ 10^{-2}$	$-1{,}6354312\ 10^{-1}$	0,0
5	$-3{,}5751570\ 10^{-3}$	$7{,}9301012\ 10^{-3}$	$-1{,}6496369\ 10^{-4}$
6	$4{,}9626960\ 10^{-5}$	$-1{,}3652796\ 10^{-4}$	$6{,}6052581\ 10^{-6}$

Приложение Б
(обязательное)

Таблицы контрольных стандартных значений теплофизических свойств этана 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	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) этана на кривой насыщения, обозначения A' и A'' — свойства насыщенной жидкости и насыщенного пара, соответственно.		

Таблица Б.2 — Контрольные стандартные значения теплофизических свойств этана на кривой насыщения

T	p_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	c'_v	c''_v
	δp_s	$\delta\rho'$	$\delta\rho''$	$\Delta h'$	$\Delta h''$	$\delta s'$	$\delta s''$	$\delta c'_v$	$\delta c''_v$
91,00	$0{,}13473\cdot10^{-5}$	650,83	$0{,}53543\cdot10^{-4}$	476,0	1070,0	2,5793	9,1072	1,600	0,893
	0,02	0,02	0,03	0,6	0,1	0,06	0,01	2,0	0,2
100,00	$0{,}11081\cdot10^{-4}$	640,95	$0{,}40074\cdot10^{-3}$	496,6	1080,6	2,7961	8,6357	1,541	0,911
	0,02	0,02	0,03	0,5	0,1	0,05	0,01	2,0	0,2
150,00	$0{,}96380\cdot10^{-2}$	585,17	0,23373	611,3	1141,7	3,7247	7,2608	1,442	1,027
	0,02	0,02	0,03	0,3	0,1	0,03	0,01	2,0	0,2
200,00	0,21723	523,98	$0{,}41705\cdot10^{1}$	732,0	1199,9	4,4159	6,7553	1,444	1,179
	0,02	0,02	0,03	0,2	0,1	0,02	0,01	2,0	0,2
250,00	$0{,}13008\cdot10^{1}$	448,05	$0{,}23591\cdot10^{2}$	867,8	1240,2	5,0106	6,5000	1,533	1,448
	0,02	0,02	0,03	0,1	0,1	0,02	0,01	2,0	0,2
300,00	$0{,}43573\cdot10^{1}$	303,51	$0{,}11450\cdot10^{3}$	1058,1	1207,8	5,6684	6,1674	1,912	2,089
	0,02	0,02	0,12	0,1	0,3	0,01	0,02	5,0	5,0
305,00	$0{,}48392\cdot10^{1}$	241,96	$0{,}17075\cdot10^{3}$	1107,7	1161,2	5,8264	6,0019	2,470	2,623
	0,02	0,87	1,67	1,4	2,8	0,08	0,16	5,0	5,0

Окончание таблицы Б.2

T	c_p'	c_p''	w'	w''	η'	η''	λ'	λ''
	$\delta c_p'$	$\delta c_p''$	$\delta w'$	$\delta w''$	$\delta\eta'$	$\delta\eta''$	$\delta\lambda'$	$\delta\lambda''$
91,00	2,321	1,169	2004,1	181,5	1258,0	2,87	—	—
	2,0	0,2	0,15	0,04	4,0	6,0	—	—
100,00	2,283	1,187	1938,4	189,9	890,0	3,16	239,4	2,81
	2,0	0,2	0,15	0,04	4,0	6,0	3,0	5,0
150,00	2,333	1,312	1575,5	228,8	269,3	4,72	201,7	6,15
	2,0	0,2	0,15	0,04	4,0	6,0	3,0	5,0
200,00	2,512	1,537	1196,0	252,3	138,8	6,26	150,4	10,62
	2,0	0,2	0,15	0,02	4,0	6,0	3,0	5,0
250,00	2,994	2,160	788,3	248,8	78,3	8,01	105,8	16,93
	2,0	0,2	0,15	0,02	4,0	6,0	4,0	4,0
300,00	10,022	13,299	274,9	200,5	34 ,7	13,39	72,5	46,79
	5,0	5,0	2,00	2,00	4,0	1,5	5,0	5,0
305,00	164,093	247,460	175,1	178,8	25,7	17,94	106,8	122,80
	5,0	5,0	2,00	2,00	4,0	1,5	5,0	5,0

Приложение В
(обязательное)

Таблицы контрольных стандартных значений теплофизических свойств этана в однофазной области

Т а б л и ц а В.1 — Контрольные стандартные значения теплофизических свойств этана в однофазной области

p	ρ	h	s	c_v	c_p	w	μ	λ
	δρ	Δh	δs	δc_v	δc_p	δw	δμ	δλ
T = 91,0 K								
0,1	650,87	476,1	2,5790	1,600	2,321	2004,5	1258,97	—
	0,02	0,6	0,06	3,0	3,0	0,15	6,0	—
T = 200,0 K								
0,1	1,8557	1205,4	6,9892	1,149	1,457	257,9	6,26	10,42
	0,03	0,1	0,01	0,2	0,2	0,04	6,0	5,0
50,0	566,40	787,1	4,2366	1,504	2,308	1550,2	200,46	191,27
	0,30	3,3	0,19	5,0	5,0	1,00	6,0	3,0
100,0	593,30	848,8	4,1146	1,557	2,255	1772,9	259,78	—
	1,00	16,3	0,68	5,0	5,0	1,00	6,0	—
T = 300,0 K								
0,1	1,2144	1364,7	7,6309	1,479	1,764	312,2	9,29	21,82
	0,03	0,1	0,01	0,2	0,2	0,02	0,5	2,0
50,0	475,51	1029,8	5,2170	1,702	2,577	1097,3	95,23	131,33
	1,00	3,5	0,30	5,0	5,0	1,00	4,0	4,0
100,0	521,82	1083,1	5,0617	1,749	2,461	1405,6	134,34	—
	1,00	8,7	0,37	5,0	5,0	1,00	6,0	—
T = 400,0 K								
0,1	0,90674	1561,7	8,1947	1,901	2,181	355,2	12,16	36,84
	0,04	0,1	0,01	0,2	0,2	0,02	0,5	2,0
50,0	386,53	1305,4	6,0074	2,052	2,931	808,2	57,61	101,33
	1,00	0,7	0,18	2,0	2,0	1,00	4,0	4,0
100,0	457,76	1344,9	5,8125	2,088	2,781	1159,1	88,90	—
	1,00	4,9	0,24	5,0	5,0	1,00	6,0	—
T = 500,0 K								
0,1	0,72420	1800,8	8,7264	2,315	2,594	393,1	14,83	54,17
	0,04	0,1	0,01	0,5	0,5	0,10	0,5	2,0
50,0	310,39	1613,2	6,6931	2,425	3,209	675,7	42,21	92,36
	1,00	0,3	0,12	2,0	2,0	1,00	4,0	4,0
100,0	402,26	1639,4	6,4684	2,455	3,105	1013,4	67,56	—
	1,00	3,1	0,17	5,0	5,0	1,00	6,0	—
T = 600,0 K								
0,1	0,60305	2079,2	9,2330	2,689	2,967	427,6	17,26	72,75
	0,10	0,1	0,01	0,5	0,5	0,10	0,5	3,0
50,0	254,44	1945,3	7,2980	2,773	3,429	635,8	36,11	99,38
	1,00	0,4	0,09	2,0	2,0	1,00	6,0	4,0

Окончание таблицы В.3

p	ρ	h	s	c_v	c_p	w	μ	λ
	$\delta\rho$	Δh	δs	δc_v	δc_p	δw	$\delta\mu$	$\delta\lambda$
100,0	355,97	1964,7	7,0608	2,800	3,396	934,4	56,50	—
	1,00	2,2	0,13	5,0	5,0	1,00	6,0	—
T = 675,0 K								
0,1	0,53589	2311,3	9,5973	2,942	3,219	451,9	18,89	87,04
	0,10	0,1	0,01	0,5	0,5	0,10	6,0	3,0
50,0	223,82	2208,5	7,7111	3,011	3,589	633,1	34,18	109,63
	1,00	0,4	0,08	2,0	2,0	1,00	6,0	5,0
100,0	326,93	2226,9	7,4722	3,036	3,592	902,3	51,61	—
	1,00	1,9	0,11	5,0	5,0	1,00	6,0	—

Библиография

[1] ГСССД 318—2017 Таблицы стандартных справочных данных. Этан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 91 до 675 К и давлениях до 100 МПа. — М:, ФГУП «ВНИИМС», 2017. — 59 с.

УДК 547.2146:006.354 ОКС 07.030

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

БЗ 11—2019/64

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 08.11.2019. Подписано в печать 26.12.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во 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