

---

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

## 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 ([www.gost.ru](http://www.gost.ru))*

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



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  $\rho$ , энтальпии  $h$ , энтропии  $s$ , изобарной теплоемкости  $c_p$ , изохорной теплоемкости  $c_v$ , скорости звука  $w$ , коэффициента динамической вязкости  $\mu$  и коэффициента теплопроводности  $\lambda$  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)  $\rho$ ,  $h$ ,  $s$ ,  $c_p$ ,  $c_v$ ,  $w$  и  $p_s$  рассчитаны по единому для жидкой и газовой фаз фундаментальному уравнению состояния (ФУС) — зависимости свободной энергии (функции Гельмгольца)  $F$  от плотности  $\rho$  и температуры  $T$

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

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

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

$\tau$  — 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

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

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

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

В формулах (3) и (4)  $b_j$  — коэффициенты уравнения состояния, значения которых вместе с показателями степеней  $r_j$ ,  $t_j$ ,  $l_j$  и параметрами  $g_j$ ,  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$ ,  $\varepsilon_j$ ,  $\gamma_j$  приведены в таблице А.2 приложения А.

Плотность  $\omega$  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  $\pi = p/\rho_{кр}$ ;

$$z_{кр} = 10^3 \rho_{кр} / (\rho_{кр} R T_{кр}).$$

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  $\omega''$  и жидкой  $\omega'$  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  $\omega'$ .

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

$$h = h_0 + A_3 RT; \quad (8)$$

$$s = s_0 + R A_4; \quad (9)$$

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

$$c_v = c_{v0} + A_5 R; \quad (11)$$

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

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  $f_0(\tau, \omega)$ :

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

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

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

где  $\theta = \tau^{-1}$ ;

$E_i$  и  $D_i$  — функции от  $\theta$ , имеющие следующий вид

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

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

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

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

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

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

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

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

где

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

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

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

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

Стандартные справочные значения коэффициента динамической вязкости этана рассчитаны по следующему уравнению

$$\mu = \sum_{j=1}^{14} b_j \varphi_j, \quad (27)$$

где

$$\varphi_j = \begin{cases} \omega^{r_j} \tau^{-t_j} \exp[g_j \omega], & j \leq 12 \\ \omega^{r_j} \tau^{-t_j} \exp[-\alpha_j (\omega - 1)^2 - \beta_j |\tau^{-1} - 1|], & j \geq 13 \end{cases} \quad (28)$$

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

Стандартные справочные значения коэффициента теплопроводности этана рассчитаны по следующему уравнению

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda + \Delta\lambda_{кр}, \quad (29)$$

где  $\lambda_0$ ,  $\Delta\lambda$  и  $\Delta\lambda_{кр}$  — соответственно, коэффициент теплопроводности этана в разреженном состоянии, избыточная по отношению к  $\lambda_0$  составляющая коэффициента теплопроводности и неаналитическая (аномальная) составляющая коэффициента теплопроводности. Значения  $\lambda_0$  и  $\Delta\lambda$  определяются по уравнениям из [1]; значения  $\Delta\lambda_{кр}$  (в отличие от [1]) определяются по упрощенной кроссоверной модели:

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

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

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

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

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

$$\xi = \xi_0 \Delta\chi^{\nu/\gamma}; \quad (34)$$

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

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

$$\chi(\tau, \omega) = \frac{\omega Z_c}{\tau [1 + A_1(\tau, \omega)]}. \quad (37)$$

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  $\xi_0$ ,  $\Gamma$ ,  $q_D$ ,  $T_{ref}$  и  $(\varepsilon/k)$  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).



Расчитанные стандартные справочные значения термодинамических и переносных ( $\mu$ ,  $\lambda$ ) 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

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

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

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

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

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  $\Delta h$ , кДж/кг.

**Приложение А**  
**(обязательное)**

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

Т а б л и ц а 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:<br>давление $p_t$ , МПа<br>температура $T_t$ , К   | $1,14 \cdot 10^{-6}$<br>90,368             |
| Параметры в критической точке:<br>давление $p_{кр}$ , МПа<br>температура $T_{кр}$ , К<br>плотность $\rho_{кр}$ , кг/м <sup>3</sup><br>фактор сжимаемости $z_{кр}$ | 4,8722<br>305,322<br>206,18<br>0,279901586 |
| Параметры потенциала Леннарда—Джонса:<br>энергетический $\epsilon/k$ , К  | 264,7                                      |
| Параметры для расчета $\Delta\lambda_{кр}$ :<br>$\xi_0$ , нм<br>$\Gamma$<br>$q_D$ , нм<br>$T_{ref}$ , К   | 0,19<br>0,0541<br>0,40<br>457,983          |

Т а б л и ц а А.2 — Коэффициенты, показатели степеней и параметры уравнения для неидеальной составляющей ФУС этана [см. уравнения (3) и (4)]

| $j$ | $b_j$                             | $r_j$ | $t_j$ | $g_j$ | $l_j$ | $\alpha_j$ | $\beta_j$ | $\epsilon_j$ | $\gamma_j$ |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|-----------|--------------|------------|
| 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   | $0,12094500886549 \cdot 10^{-1}$  | 4     | 0,75  | 0     | 0     | —          | —         | —            | —          |
| 6   | $-0,57976201597341$               | 1     | 2     | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |
| 7   | $-0,33127037870838 \cdot 10^{-1}$ | 1     | 4,25  | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |
| 8   | $-0,11751654894130$               | 2     | 0,75  | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |
| 9   | $-0,11160957833067$               | 2     | 2,25  | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |
| 10  | $0,62181592654406 \cdot 10^{-1}$  | 3     | 3     | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |
| 11  | $0,98481795434443 \cdot 10^{-1}$  | 6     | 1     | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |
| 12  | $-0,98268582682358 \cdot 10^{-1}$ | 6     | 1,25  | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |
| 13  | $-0,23977831007049 \cdot 10^{-3}$ | 7     | 2,75  | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |
| 14  | $0,69885663328821 \cdot 10^{-3}$  | 9     | 1     | -1    | 1     | —          | —         | —            | —          |

Окончание таблицы А.2

| $j$ | $b_j$                             | $r_j$ | $t_j$ | $g_j$ | $l_j$ | $\alpha_j$ | $\beta_j$ | $\varepsilon_j$ | $\gamma_j$ |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|-----------|-----------------|------------|
| 15  | $0,19665987803305 \cdot 10^{-4}$  | 10    | 2     | -1    | 1     | —          | —         | —               | —          |
| 16  | $-0,14586152207928 \cdot 10^{-1}$ | 2     | 2,5   | -1    | 2     | —          | —         | —               | —          |
| 17  | $0,46354100536781 \cdot 10^{-1}$  | 4     | 5,5   | -1    | 2     | —          | —         | —               | —          |
| 18  | $0,60764622180645 \cdot 10^{-2}$  | 4     | 7     | -1    | 2     | —          | —         | —               | —          |
| 19  | $-0,26447330147828 \cdot 10^{-2}$ | 5     | 0,5   | -1    | 2     | —          | —         | —               | —          |
| 20  | $-0,42931872689904 \cdot 10^{-1}$ | 5     | 5,5   | -1    | 2     | —          | —         | —               | —          |
| 21  | $0,29987786517263 \cdot 10^{-2}$  | 6     | 2,5   | -1    | 2     | —          | —         | —               | —          |
| 22  | $0,52919335175010 \cdot 10^{-2}$  | 8     | 4     | -1    | 2     | —          | —         | —               | —          |
| 23  | $-0,10383897798198 \cdot 10^{-2}$ | 9     | 2     | -1    | 2     | —          | —         | —               | —          |
| 24  | $-0,54260348214694 \cdot 10^{-1}$ | 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  | $-0,82770876149064 \cdot 10^{-1}$ | 5     | 12    | -1    | 3     | —          | —         | —               | —          |
| 31  | $0,50160758096437 \cdot 10^{-1}$  | 5     | 19    | -1    | 3     | —          | —         | —               | —          |
| 32  | $0,93614326336655 \cdot 10^{-2}$  | 6     | 7     | -1    | 3     | —          | —         | —               | —          |
| 33  | $-0,27839186242864 \cdot 10^{-3}$ | 11    | 15    | -1    | 3     | —          | —         | —               | —          |
| 34  | $0,23560274071481 \cdot 10^{-4}$  | 14    | 9     | -1    | 3     | —          | —         | —               | —          |
| 35  | $0,39238329738527 \cdot 10^{-2}$  | 3     | 26    | -1    | 4     | —          | —         | —               | —          |
| 36  | $-0,76488325813618 \cdot 10^{-3}$ | 3     | 28    | -1    | 4     | —          | —         | —               | —          |
| 37  | $-0,49944304440730 \cdot 10^{-2}$ | 4     | 28    | -1    | 4     | —          | —         | —               | —          |
| 38  | $0,18593386407186 \cdot 10^{-2}$  | 8     | 22    | -1    | 4     | —          | —         | —               | —          |
| 39  | $-0,61404353331199 \cdot 10^{-3}$ | 10    | 13    | -1    | 4     | —          | —         | —               | —          |
| 40  | $-0,23312179367924 \cdot 10^{-2}$ | 1     | 0     | -1    | 2     | 15         | 150       | 1               | 1,05       |
| 41  | $0,29301047908760 \cdot 10^{-2}$  | 1     | 3     | -1    | 2     | 15         | 150       | 1               | 1,05       |
| 42  | $-0,26912472842883 \cdot 10^{-3}$ | 3     | 3     | -1    | 2     | 15         | 150       | 1               | 1,05       |
| 43  | $0,18413834111814 \cdot 10^3$     | 3     | 0     | -1    | 2     | 20         | 275       | 1               | 1,22       |
| 44  | $-0,10397127984854 \cdot 10^2$    | 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 идеаль-но-газовом состоянии, энтальпия сублимации при  $T = 0$  К, безразмерные энтальпия и энтропия при  $T_0 = 298,15$  К

| $i$ | $a_i$        | $\delta_i$   |
|-----|--------------|--------------|
| 1   | 9,212802589  | —            |
| 2   | -4,682248550 | —            |
| 3   | 3,003039265  | —            |
| 4   | 1,117433359  | 1,4091052332 |
| 5   | 3,467773215  | 4,0099170712 |

Окончание таблицы А.3

| $i$  | $a_i$       | $\delta_i$    |
|--|-------------|---------------|
| 6  | 6,941944640 | 6,5967098342  |
| 7  | 5,970850948 | 13,9798102659 |
| $h_0^0 = 968,426$ кДж/кг<br>$\bar{h}_{00} = 4,79067$<br>$\bar{s}_{00} = 27,5600$ |             |               |

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)]

| $j$ | $b_j$                      | $r_j$ | $t_j$ | $g_j$ | $\alpha_j$ | $\beta_j$ |
|-----|----------------------------|-------|-------|-------|------------|-----------|
| 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  $\lambda_0$  этана

| $l$ | $\lambda_0$         |
|-----|---------------------|
| -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**

Т а б л и ц а 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  | $\rho$      | кг/м <sup>3</sup> |
| 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  | $\mu$       | мкПа·с            |
| Коэффициент теплопроводности   | $\lambda$   | мВт/(м·К)         |
| Относительная неопределенность теплофизических свойств, исключая энтальпию | $\delta A$  | %                 |
| Абсолютная неопределенность энтальпии                                      | $\Delta h$  | кДж/кг            |

П р и м е ч а н и е — 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.

Т а б л и ц а Б.2 — Контрольные стандартные значения теплофизических свойств этана на кривой насыщения

| $T$    | $p_s$                   | $\rho'$        | $\rho''$                | $h'$        | $h''$        | $s'$        | $s''$        | $c'_v$        | $c''_v$        |
|--------|-------------------------|----------------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|---------------|----------------|
|        | $\delta p_s$            | $\delta \rho'$ | $\delta \rho''$         | $\Delta h'$ | $\Delta h''$ | $\delta s'$ | $\delta s''$ | $\delta c'_v$ | $\delta c''_v$ |
| 91,00  | $0,13473 \cdot 10^{-5}$ | 650,83         | $0,53543 \cdot 10^{-4}$ | 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 | $0,11081 \cdot 10^{-4}$ | 640,95         | $0,40074 \cdot 10^{-3}$ | 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 | $0,96380 \cdot 10^{-2}$ | 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         | $0,41705 \cdot 10^1$    | 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 | $0,13008 \cdot 10^1$    | 448,05         | $0,23591 \cdot 10^2$    | 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 | $0,43573 \cdot 10^1$    | 303,51         | $0,11450 \cdot 10^3$    | 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 | $0,48392 \cdot 10^1$    | 241,96         | $0,17075 \cdot 10^3$    | 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      | $c_p'$        | $c_p''$        | $w'$        | $w''$        | $\eta'$        | $\eta''$        | $\lambda'$        | $\lambda''$        |
|--------|---------------|----------------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|
|        | $\delta c_p'$ | $\delta c_p''$ | $\delta w'$ | $\delta w''$ | $\delta \eta'$ | $\delta \eta''$ | $\delta \lambda'$ | $\delta \lambda''$ |
| 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

| $p$                   | $\rho$       | $h$        | $s$        | $c_v$        | $c_p$        | $w$        | $\mu$       | $\lambda$       |
|-----------------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|------------|-------------|-----------------|
|                       | $\delta\rho$ | $\Delta h$ | $\delta s$ | $\delta c_v$ | $\delta c_p$ | $\delta w$ | $\delta\mu$ | $\delta\lambda$ |
| $T = 91,0 \text{ K}$  |              |            |            |              |              |            |             |                 |
| 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         | —               |
| $T = 200,0 \text{ K}$ |              |            |            |              |              |            |             |                 |
| 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         | —               |
| $T = 300,0 \text{ K}$ |              |            |            |              |              |            |             |                 |
| 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         | —               |
| $T = 400,0 \text{ K}$ |              |            |            |              |              |            |             |                 |
| 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         | —               |
| $T = 500,0 \text{ K}$ |              |            |            |              |              |            |             |                 |
| 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         | —               |
| $T = 600,0 \text{ K}$ |              |            |            |              |              |            |             |                 |
| 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

| $p$                   | $\rho$       | $h$        | $s$        | $c_v$        | $c_p$        | $w$        | $\mu$       | $\lambda$       |
|-----------------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|------------|-------------|-----------------|
|                       | $\delta\rho$ | $\Delta h$ | $\delta s$ | $\delta c_v$ | $\delta c_p$ | $\delta w$ | $\delta\mu$ | $\delta\lambda$ |
| 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         | —               |
| $T = 675,0 \text{ K}$ |              |            |            |              |              |            |             |                 |
| 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<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. 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.  
[www.gostinfo.ru](http://www.gostinfo.ru) [info@gostinfo.ru](mailto:info@gostinfo.ru)