

**ГАЗ ПРИРОДНЫЙ.  
МЕТОДЫ РАСЧЕТА  
ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ПО УРАВНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ**

Издание официальное



БЗ 3—97

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ  
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ  
М и н с к**

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Всероссийским научно-исследовательским центром стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ (ВНИЦ СМВ) Госстандарта России; фирмой “Газприборавтоматика” акционерного общества “Газавтоматика” РАО “Газпром”

ВНЕСЕН Госстандартом Российской Федерации

2 ПРИНЯТ Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 9-96 от 12 апреля 1996 г.)

За принятие проголосовали:

Наименование государства	Наименование национального органа по стандартизации
Азербайджанская Республика	Азгосстандарт
Республика Армения	Армгосстандарт
Республика Белоруссия	Белстандарт
Республика Грузия	Грузстандарт
Республика Казахстан	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизская Республика	Киргизстандарт
Республика Молдова	Молдовастандарт
Российская Федерация	Госстандарт России
Республика Таджикистан	Таджикский государственный центр по стандартизации, метрологии и сертификации
Туркменистан	Главгосинспекция Туркменистана
Украина	Госстандарт Украины

3 ПОСТАНОВЛЕНИЕМ Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 30 декабря 1996 г. № 723 межгосударственный стандарт ГОСТ 30319.3—96 введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 июля 1997 г.

## 4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 1997

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Госстандарта России

## Содержание

1 Назначение и область применения . . . . .	1
2 Нормативные ссылки . . . . .	1
3 Уравнение состояния природного газа . . . . .	1
3.1 Вид уравнения состояния . . . . .	1
3.2 Пределы применения уравнения состояния и погрешности расчета свойств . . . . .	2
4 Определение физических свойств природного газа . . . . .	3
4.1 Определение плотности . . . . .	3
4.2 Определение показателя адиабаты . . . . .	4
4.3 Определение скорости звука . . . . .	6
4.4 Определение динамической вязкости . . . . .	7
5 Вычисление погрешности расчета физических свойств природного газа с учетом погрешности исходных данных . . . . .	7
6 Применение уравнения состояния для аттестации других методов расчета физических свойств природного газа . . . . .	8
ПРИЛОЖЕНИЕ А Листинг программы расчета физических свойств природного газа . . . . .	11
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Пример расчета физических свойств природного газа . . . . .	26
ПРИЛОЖЕНИЕ В Библиография . . . . .	27

**ГАЗ ПРИРОДНЫЙ. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ****Определение физических свойств по уравнению состояния**

Natural gas. Methods of calculation of physical properties  
Definition of physical properties by equation of state

Дата введения 1997-07-01

**1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

Настоящий стандарт предназначен для определения физических свойств природного газа. Стандарт устанавливает метод расчета плотности, показателя адиабаты, скорости звука, динамической вязкости природного газа, основанный на использовании его уравнения состояния. Метод расчета физических свойств природного газа, приведенный в настоящем стандарте, рекомендуется применять для аттестации других методов расчета.

Используемые в настоящем стандарте определения и обозначения приведены в соответствующих разделах ГОСТ 30319.0.

**2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 30319.0-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения.

ГОСТ 30319.1-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки.

ГОСТ 30319.2-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости.

## 3 УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

## 3.1 Вид уравнения состояния

Во Всероссийском научно-исследовательском центре по стандартам, информации и сертификации сырья, материалов и веществ (ВНИЦ СМВ) для расчета физических свойств природного газа разработано уравнение состояния (УС)

$$z = 1 + \sum_{k=1}^r \sum_{l=0}^{S_k} c_{kl} \rho_{\Pi}^k / T_{\Pi}^l, \quad (1)$$

где  $c_{kl}$  — коэффициенты УС;  
 $\rho_{\Pi} = \rho_{\text{м}} / \rho_{\text{пк}}$  — приведенная плотность;  
 $T_{\Pi} = T / T_{\text{пк}}$  — приведенная температура;  
 $\rho_{\text{м}}$  — молярная плотность, кмоль/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_{\text{пк}}$  и  $T_{\text{пк}}$  — псевдокритические параметры природного газа.

Формулы расчета коэффициентов УС и псевдокритических параметров природного газа приведены в ГОСТ 30319.2 (см. 3.2.5).

## 3.2 Пределы применения уравнения состояния и погрешности расчета свойств

Исходными данными для расчета свойств по УС (1) являются давление, температура и компонентный состав природного газа, который выражен в молярных или объемных долях компонентов.

УС (1) предназначено для работы в интервале параметров:

по давлению — до 12 МПа;

по температуре — 240—480 К;

по составу в молярных долях:

метан	$\geq 0,50$
этан	$\leq 0,20$
пропан	$\leq 0,05$
н-бутан	$\leq 0,03$
и-бутан	$\leq 0,03$
азот	$\leq 0,30$
диоксид углерода	$\leq 0,30$
сероводород	$\leq 0,30$
остальные компоненты	$\leq 0,01$

Погрешности расчета плотности, показателя адиабаты, скорости звука по УС (1) и динамической вязкости природного газа по уравнению (15) в указанных диапазонах параметров определены в соответствии с рекомендациями работ [1-3] и с использованием данных по скорости звука [4]. Погрешности приведены в таблице 1.

## 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

### 4.1 Определение плотности

4.1.1 Алгоритм определения плотности  $\rho_m$  из уравнения (1) при заданных давлении ( $p$ , МПа) и температуре ( $T$ , К) приведен в ГОСТ 30319.2 (см. 3.2.5).

Плотность  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$\rho = \rho_m M. \quad (2)$$

Таблица 1 — Погрешности расчета свойств природного газа

Свойство	Область параметров состояния			Примечание
	240 ≤ T < 270 К		T = (270 — 480) К	
	p ≤ 6 МПа	6 < p ≤ 12 МПа	<sup>и</sup> p ≤ 12 МПа	
Плотность	0,3 %	0,4 %	0,2 %	Природный газ не содержит сероводород
Показатель адиабаты	0,9 %	1,0 %	0,6 %	
Скорость звука	0,3 %	1,0 %	0,5 %	
Вязкость	2,0 %	3,0 %	2,0 %	
Плотность	0,6 %	(1,0 — 1,5) %	0,4 %	Природный газ, содержащий сероводород
Показатель адиабаты	0,6 %	1,1 %	0,6 %	
Скорость звука	0,3 %	1,0 %	0,5 %	
Вязкость	2,0 %	3,0 %	2,0 %	

4.1.2 Если компонентный состав природного газа задан в молярных долях, молярную массу природного газа вычисляют по формуле

$$M = \sum_i x_i M_i, \quad (3)$$

где молярные массы  $i$ -го компонента природного газа ( $M_i$ ) приведены в таблице 1 ГОСТ 30319.1 (см. 3.2.3).

4.1.3 Если компонентный состав природного газа задан в объемных долях, то необходимо:

1) рассчитать молярные доли компонентов, используя формулы (71) — (74), которые приведены в ГОСТ 30319.2 (см. 3.2.5);

2) по УС (1) рассчитать фактор сжимаемости ( $z_c$ ) при стандартных условиях;

3) используя заданную плотность ( $\rho_c$ ) при стандартных условиях, определить молярную массу природного газа по формуле

$$M = 10^{-3} z_c \rho_c R T_c / p_c. \quad (4)$$

Если плотность  $\rho_c$  не задана, допускается рассчитывать ее по формуле (16) ГОСТ 30319.1 (см. 3.3.2).

#### 4.2 Определение показателя адиабаты

Показатель адиабаты природного газа при использовании УС (1) вычисляют по формуле

$$\kappa = c_p (1 + A_1) / (c_v z), \quad (5)$$

где  $c_p$  и  $c_v$  — изобарная и изохорная теплоемкости,

$A_1$  — безразмерный комплекс УС (1).

Безразмерный комплекс  $A_1$  УС (1) имеет вид

$$A_1 = \sum_{k=1}^r \sum_{l=0}^{S_k} (k+1) c_{kl} \rho_{\Pi}^k T_{\Pi}^l. \quad (6)$$

Изобарную и изохорную теплоемкости рассчитывают по следующим выражениям:

$$c_p = R [c_0 / R + (1 + A_2)^2 / (1 + A_1)], \quad (7)$$

$$c_0 = R (c_{0om} / R + A_3), \quad (8)$$

где  $c_{0om}$  — изохорная теплоемкость природного газа в идеальном газовом состоянии, а безразмерные комплексы  $A_2$  и  $A_3$  имеют вид:

$$A_2 = - \sum_{k=1}^r \sum_{l=0}^{S_k} (l-1) c_{kl} \rho_{\Pi}^k / T_{\Pi}^l; \quad (9)$$

$$A_3 = - \sum_{k=1}^r \sum_{l=0}^{S_k} [l(l-1)/k] c_{kl} \rho_{\Pi}^k / T_{\Pi}^l. \quad (10)$$

Изохорную теплоемкость в идеальном газовом состоянии вычисляют по формулам:

$$c_{vот} = c_{пот} - R; \quad (11)$$

$$c_{пот} = \sum_i x_i c_{poi}. \quad (12)$$

Изобарную теплоемкость ( $c_{poi}$ )  $i$ -го компонента в идеальном газовом состоянии определяют из соотношения

$$c_{poi} = R \left[ \sum_{j=0}^{N_{1i}} (\alpha_j)_i \theta_i^j + \sum_{j=1}^{N_{2i}} (\beta_j)_i \theta_i^{-j} \right], \quad (13)$$

где  $\theta_i = T/T_{ni}$ .

Температура  $T_{ni}$ , пределы суммирования  $N_{1i}$  и  $N_{2i}$ , а также константы  $(\alpha_j)_i$  и  $(\beta_j)_i$  уравнения (13) для  $i$ -го компонента природного газа приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Константы уравнения (13)

Компонент ( $i$ )	$j$	$(\alpha_j)_i$	$(\beta_j)_i$
Метан	0	$1,46696186 \cdot 10^2$	
$N_{1i} = 10$	1	$-6,56744186 \cdot 10^1$	$-2,09233731 \cdot 10^2$
$N_{2i} = 6$	2	$2,02698132 \cdot 10^1$	$2,06925203 \cdot 10^2$
$T_{ni} = 100$ К	3	$-4,20931845 \cdot 10^0$	$-1,35704831 \cdot 10^2$
	4	$6,06743008 \cdot 10^{-1}$	$5,64368924 \cdot 10^1$
	5	$-6,12623969 \cdot 10^{-2}$	$-1,34496111 \cdot 10^1$
	6	$4,30969226 \cdot 10^{-3}$	$1,39664152 \cdot 10^0$
	7	$-2,06597572 \cdot 10^{-4}$	
	8	$6,42615810 \cdot 10^{-6}$	
	9	$-1,16805630 \cdot 10^{-7}$	
	10	$9,40958930 \cdot 10^{-10}$	
Этан	0	$6,81209760 \cdot 10^1$	
$N_{1i} = 6$	1	$-3,06340580 \cdot 10^1$	$-8,74070840 \cdot 10^1$
$N_{2i} = 5$	2	$9,52750290 \cdot 10^0$	$7,84813740 \cdot 10^1$
$T_{ni} = 100$ К	3	$-1,69471020 \cdot 10^0$	$-4,48658590 \cdot 10^1$
	4	$1,76305850 \cdot 10^{-1}$	$1,46543460 \cdot 10^1$
	5	$-9,95454020 \cdot 10^{-3}$	$-2,05183930 \cdot 10^0$
	6	$2,35364300 \cdot 10^{-4}$	
Пропан	0	$-9,209726737 \cdot 10^1$	
$N_{1i} = 6$	1	$3,070930782 \cdot 10^1$	$1,748671280 \cdot 10^2$
$N_{2i} = 4$	2	$-4,924017995 \cdot 10^0$	$-1,756054503 \cdot 10^2$
$T_{ni} = 100$ К	3	$5,045358836 \cdot 10^{-1}$	$8,874920732 \cdot 10^1$
	4	$-3,140446759 \cdot 10^{-2}$	$-1,720610207 \cdot 10^1$
	5	$1,076680079 \cdot 10^{-3}$	
	6	$-1,556890669 \cdot 10^{-5}$	



Компонент (i)	j	$(\alpha)_i$	$(\beta)_i$
<i>n</i> -Бутан	0	$-2,096096482 \cdot 10^2$	
$N_{1i} = 6$	1	$6,877783535 \cdot 10^1$	$4,055272850 \cdot 10^2$
$N_{2i} = 5$	2	$-1,228650555 \cdot 10^1$	$-4,457015773 \cdot 10^2$
$T_{ni} = 100$ К	3	$1,413691547 \cdot 10^0$	$2,743667350 \cdot 10^2$
	4	$-1,002920638 \cdot 10^{-1}$	$-8,643867287 \cdot 10^1$
	5	$3,985571861 \cdot 10^{-3}$	$1,070428636 \cdot 10^1$
	6	$-6,786460870 \cdot 10^{-5}$	
<i>n</i> -Бутан	0	$-3,871419306 \cdot 10^1$	
$N_{1i} = 5$	1	$4,711104578 \cdot 10^1$	$2,171601450 \cdot 10^1$
$N_{2i} = 2$	2	$-1,758225423 \cdot 10^1$	$-4,492603200 \cdot 10^0$
$T_{ni} = 300$ К	3	$4,183494309 \cdot 10^0$	
	4	$-5,520042474 \cdot 10^{-1}$	
	5	$3,034658409 \cdot 10^{-2}$	
Азот	0	$0,113129000 \cdot 10^2$	
$N_{1i} = 6$	1	$-0,215960000 \cdot 10^1$	$-0,174654000 \cdot 10^2$
$N_{2i} = 6$	2	$0,352761000 \cdot 10^0$	$0,246205000 \cdot 10^2$
$T_{ni} = 100$ К	3	$-0,321705000 \cdot 10^{-1}$	$-0,217731000 \cdot 10^2$
	4	$0,167690000 \cdot 10^{-2}$	$0,116418000 \cdot 10^2$
	5	$-0,467965000 \cdot 10^{-4}$	$-0,342122000 \cdot 10^1$
	6	$0,542603000 \cdot 10^{-6}$	$0,422296000 \cdot 10^0$
Диоксид углерода	0	$-9,508041394 \cdot 10^{-1}$	
$N_{1i} = 6$	1	$7,008743711 \cdot 10^0$	$1,087462263 \cdot 10^0$
$N_{2i} = 4$	2	$-3,505801670 \cdot 10^0$	$-7,976765747 \cdot 10^{-2}$
$T_{ni} = 300$ К	3	$1,096778000 \cdot 10^0$	$-2,837014896 \cdot 10^{-3}$
	4	$-2,016835088 \cdot 10^{-1}$	$1,479612229 \cdot 10^{-4}$
	5	$1,971024237 \cdot 10^{-2}$	
	6	$-7,860765734 \cdot 10^{-4}$	
Сероводород	0	$3,913550000 \cdot 10^0$	
$N_{1i} = 5$	1	$-6,848510000 \cdot 10^{-2}$	
$N_{2i} = 5$	2	$5,644240000 \cdot 10^{-2}$	
$T_{ni} = 100$ К	3	$-4,837450000 \cdot 10^{-3}$	$1,186580000 \cdot 10^0$
	4	$1,717820000 \cdot 10^{-4}$	$-1,907470000 \cdot 10^0$
	5	$-2,275370000 \cdot 10^{-6}$	$8,285200000 \cdot 10^{-1}$

## 4.3 Определение скорости звука

Скорость звука природного газа при использовании УС (1) вычисляют по формуле

$$u = \left[ 10^3 R T c_p (1 + A_1) / (c_v M) \right]^{0,5}, \quad (14)$$

где  $c_p$ ,  $c_v$  и  $A_1$  — соответственно изобарная, изохорная теплоемкости природного газа и безразмерный комплекс УС (1), см. (6) — (13);

$M$  — молярная масса природного газа, см. (3) или (4).

#### 4.4 Определение динамической вязкости

Динамическую вязкость природного газа вычисляют по формуле

$$\mu = \mu_0 / (10 \xi), \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{где } \mu_0 = & 78,037 + 3,85612\Omega - 29,0053\Omega^2 - 156,728/T_{\text{п}} + 145,519/T_{\text{п}}^2 - \\ & - 51,1082/T_{\text{п}}^3 + 6,57895\rho_{\text{п}} + (11,7452 - 95,7215\Omega^2/T_{\text{п}})\rho_{\text{п}}^2 + \\ & + 17,1027\rho_{\text{п}}^3\Omega + 0,519623/T_{\text{п}}^2\rho_{\text{п}}^5, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\xi = \frac{T_{\text{пк}}^{1/6}}{M^{0,5} \rho_{\text{пк}}^{2/3}}, \quad (17)$$

$$p_{\text{пк}} = 10^{-3} R (0,28707 - 0,05559\Omega) \rho_{\text{пк}} T_{\text{пк}}. \quad (18)$$

Молярную массу природного газа ( $M$ ) вычисляют по формуле (3) или (4), а формулы расчета фактора Питцера ( $\Omega$ ), приведенных и псевдокритических параметров природного газа ( $T_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{п}}$ ,  $T_{\text{пк}}$ ,  $\rho_{\text{пк}}$ ) приведены в ГОСТ 30319.2 (см. 3.2.5).

### 5 ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ГАЗА С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

При измерении расхода и количества природного газа, транспортируемого в газопроводах, давление ( $p$ ), температуру ( $T$ ) и состав ( $x_i$ ) измеряют с определенной погрешностью. Перечисленные параметры являются исходными данными для расчета физических свойств по УС (1) и уравнению для вязкости (15).

В соответствии с рекомендациями ИСО 5168 [5] погрешность расчета физических свойств, которая появляется в связи с погрешностью измерения исходных данных, определяют по формуле

$$\delta_{\text{ид}} = \frac{1}{Q} \left[ \sum_{k=1}^{N_q} \left[ \left( \frac{\partial Q}{\partial q_k} \right)_{q_1} \bar{q}_k \delta_{q_k} \right]^2 \right]^{0,5}, \quad (19)$$

где  $\delta_{\text{ид}}$  — погрешность расчета свойства  $Q$ , связанная с погрешностью измерения исходных данных;

$\delta_{qk}$  — погрешность измерения параметра исходных данных;

$$\left( \frac{\partial Q}{\partial q_k} \right)_{q_1} \cong \frac{Q_{q_k}^{\text{макс}} - Q_{q_k}^{\text{мин}}}{q_k^{\text{макс}} - q_k^{\text{мин}}}; \quad (20)$$

$$\bar{q}_k = (q_k^{\text{макс}} + q_k^{\text{мин}})/2. \quad (21)$$

В формулах (19) — (21):

$q_k$  — условное обозначение  $k$ -го параметра исходных данных ( $p$ ,  $T$ ,  $x_i$ );

$\bar{q}_k$  — среднее значение  $k$ -го параметра в определенный промежуток времени (сутки, месяц, год и т.д.);

$q_k^{\text{макс}}$  и  $q_k^{\text{мин}}$  — максимальное и минимальное значения  $k$ -го параметра в определенный промежуток времени;

$Q$  — условное обозначение свойства природного газа ( $\rho$ ,  $\kappa$ ,  $u$ ,  $\mu$ );

$N_q$  — количество параметров исходных данных,  $N_q = 2 + N$  ( $N$  — количество основных компонентов природного газа, которыми являются: метан, этан, пропан, бутаны, азот, диоксид углерода, сероводород).

Производную свойства  $Q$  по параметру  $q_k$  рассчитывают по формуле (20) при средних параметрах  $\bar{q}_1$ , отличающихся от параметра  $q_k$ .

Свойство  $\bar{Q}$  (среднее значение) рассчитывают при средних параметрах  $\bar{q}_k$ .

Общую погрешность расчета физических свойств определяют по формуле

$$\delta = (\delta_Q^2 + \delta_{\text{ид}}^2)^{0,5}, \quad (22)$$

где  $\delta_Q$  — погрешность расчета физических свойств по УС (1) и по уравнению для вязкости (15), значение которой для каждого свойства приведено в таблице 1.

## 6 ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ДРУГИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Приведенный в настоящем стандарте метод расчета физических свойств природного газа необходимо применять для аттестации других методов расчета. Алгоритм проведения такой аттестации состоит в следующем:

Таблица 3

Компонент	Концентрация компонентов, мол.%, при $\rho_s$ , кг/м <sup>3</sup>			
	0,67 — 0,70	0,70 — 0,76	0,76 — 0,88	свыше 0,88
Метан	90,40 — 99,60	86,35 — 98,50	73,50 — 92,00	74,20 — 81,53
Этан	0,0 — 4,10	0,0 — 8,40	1,57 — 10,91	6,29 — 12,19
Пропан	0,0 — 1,16	0,0 — 3,35	0,18 — 5,00	3,37 — 5,00
н-Бутан	0,0 — 0,48	0,0 — 1,54	0,12 — 1,50	0,51 — 1,98
н-Пентан	0,0 — 0,32	0,0 — 1,00	0,10 — 1,00	0,10 — 1,00
Азот	0,0 — 4,60	0,12 — 8,47	0,22 — 16,30	0,56 — 4,40
Диоксид углерода	0,0 — 1,70	0,0 — 3,30	0,0 — 5,60	0,10 — 14,80
Сероводо- род	0,0	0,0 — 6,50	0,0 — 5,30	0,0 — 24,00

1) используя данные, приведенные в таблице 3, подбираются 5 — 6 тестовых смесей природного газа таким образом, чтобы сумма молярных долей компонентов этих смесей была равна 1;

2) в заданных интервалах давления и температуры по УС (1) и уравнению для вязкости (15) насчитываются массивы физических свойств для выбранных тестовых смесей, рекомендуемое количество тестовых точек в массивах — не менее 100;

3) вычисляются систематическое и стандартное отклонения рассчитанных по аттестуемым методам физических свойств от тестовых данных, которые получены в перечислении 2) алгоритма

$$\delta_{\text{сист}} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \delta_k, \quad (23)$$

$$\delta_{\text{ст}} = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (\delta_k - \delta_{\text{сист}})^2 \right]^{0,5}, \quad (24)$$

в формулах (23) и (24)  $N$  — количество тестовых точек в массивах

$$\delta_k = 100 \cdot [(Q_{\text{расч}, k} - Q_{\text{тест}, k}) / Q_{\text{тест}, k}], \quad (25)$$

где  $Q_{\text{расч}}$  и  $Q_{\text{тест}}$  — условное обозначение, соответственно, расчетного по аттестуемым методам и рассчитанного в перечислении 2) алгоритма тестового значений физического свойства природного газа ( $\rho$ ,  $\kappa$ ,  $u$ ,  $\mu$ );

4) определяется погрешность расчета свойства  $Q$  по аттестуемым методам согласно ИСО 5168 [5]

$$\delta = \left[ \delta_{\text{сист}}^2 + (2 \cdot \delta_{\text{ст}})^2 + \delta_Q^2 \right]^{0,5}, \quad (26)$$

где  $\delta_Q$  — погрешность расчета физических свойств по УС (1) и по уравнению для вязкости (15), значение которой для каждого свойства приведено в таблице 1.

Если для аттестуемых методов в качестве исходных данных используют плотность смеси природного газа при стандартных условиях ( $\rho_c$ ), ее значение для тестовых смесей необходимо рассчитывать по УС (1). Допускается также рассчитывать плотность  $\rho_c$  по формуле (16) ГОСТ 30319.1 (см. 3.3.2).

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(рекомендуемое)

**ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА  
ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Расчет физических свойств природного газа по уравнению состояния (1) и по уравнению для вязкости (15) реализован на ПЭВМ, совместимых с IBM PC/AT/XT, на языке программирования ФОРТРАН-77.

```

C *****
C *
C * Программа расчета физических свойств (плотности, показате— *
C * ля адиабаты, скорости звука и вязкости) природного газа по *
C * уравнению состояния ВНИЦ СМВ. *
C * *
C *****

IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
CHARACTER*26 AR
DIMENSION PI(100),TI(100),ROP(100,100),PAP(100,100),
*WP(100,100),ETAP(100,100)
COMMON/P/P/T/T/RON/RON/YI/YC(25)/NPR/NPR/Z/Z/TS/RO,PA,W
*/ETA/ETA/AR/AR(25)
200 WRITE(*,300)
300 FORMAT(18(/))
WRITE(*,400)
400 FORMAT(
*      Расчет физических свойств природного газа'/
*      по уравнению состояния'/////))
WRITE(*,1)
1  FORMAT(' Введите исходные данные для расчета.'/)
WRITE(*,35)
35  FORMAT(' Введите 0, если состав задан в молярных долях'/
*      ' или 1, если состав задан в объемных долях '/')
READ(*,*)NPR
IF(NPR.EQ.1) THEN
WRITE(*,('A'))
*      Плотность при 293.15 К и 101.325 кПа, в кг/куб.м '
READ(*,*)RON
WRITE(*,33)
33  FORMAT(' Значение объемной доли, в об. %')
ELSE
RON=0D0
WRITE(*,3)
3  FORMAT(' Значение молярной доли, в мол. %')
ENDIF
DO 5 I=1,25

```

```

WRITE(*,'(A\)' ) AR(I)
READ(*,*)YC(I)
5  YC(I)=YC(I)/100.
WRITE(*,'(A\)' )
* ' Введите количество точек по давлению: '
READ(*,*)NP
WRITE(*,'(A\)' )
* ' Введите количество точек по температуре: '
READ(*,*)NT
WRITE(*,'(A\)' )
* ' Введите значения давлений в МПа: '
READ(*,*)(PI(I),I=1,NP)
WRITE(*,'(A\)' )
* ' Введите значения температур в К: '
READ(*,*)(TI(I),I=1,NT)
WRITE(*,'(A\)' )
* ' Ввод исходных данных завершен. '
P=.101325D0
T=293.15D0
ICALC=1
CALL EOSVNIC(ICALC)
IF(Z.EQ.0D0) THEN
CALL RANGE(NRANGE)
IF (NRANGE) 134,134,200
ENDIF
ICALC=2
NTS=0
DO 7 I=1,NP
P=PI(I)
DO 7 J=1,NT
T=TI(J)
CALL EOSVNIC(ICALC)
IF(Z.NE.0D0) THEN
NTS=NTS+1
ROP(I,J)=RO
PAP(I,J)=PA
WP(I,J)=W
ETAP(I,J)=ETA
ELSE
ROP(I,J)=0D0
PAP(I,J)=0D0
WP(I,J)=0D0
ETAP(I,J)=0D0
ENDIF
7 CONTINUE
500 WRITE(*,100)
100 FORMAT(25(/))
IF(NTS.EQ.0) THEN
CALL RANGE(NRANGE)
IF (NRANGE) 134,134,200
ELSE
I=1
9 IS=0

```

```

DO 11 J=1,NT
IF(ROP(I,J).EQ.0D0) IS=IS+1
11 CONTINUE
IF(IS.EQ.NT) THEN
IF(I.NE.NP) THEN
DO 13 J=I,NP-1
PI(J)=PI(J+1)
DO 13 K=1,NT
ROP(J,K)=ROP(J+1,K)
PAP(J,K)=PAP(J+1,K)
WP(J,K)=WP(J+1,K)
13 ETAP(J,K)=ETAP(J+1,K)
ENDIF
NP=NP-1
ELSE
I=I+1
ENDIF
IF(I.LE.NP) GO TO 9
J=1
15 JS=0
DO 17 I=1,NP
IF(ROP(I,J).EQ.0D0) JS=JS+1
17 CONTINUE
IF(JS.EQ.NP) THEN
IF(J.NE.NT) THEN
DO 19 I=J,NT-1
TI(I)=TI(I+1)
DO 19 K=1,NP
ROP(K,I)=ROP(K,I+1)
PAP(K,I)=PAP(K,I+1)
WP(K,I)=WP(K,I+1)
19 ETAP(K,I)=ETAP(K,I+1)
ENDIF
NT=NT-1
ELSE
J=J+1
ENDIF
IF(J.LE.NT) GO TO 15
CALL PROP(NPROP)
IF(NPROP.EQ.5) GO TO 134
IF(NPROP.EQ.1) CALL TABL(PI,TI,ROP,NP,NT,NPROP)
IF(NPROP.EQ.2) CALL TABL(PI,TI,PAP,NP,NT,NPROP)
IF(NPROP.EQ.3) CALL TABL(PI,TI,WP,NP,NT,NPROP)
IF(NPROP.EQ.4) CALL TABL(PI,TI,ETAP,NP,NT,NPROP)
WRITE(*,'(A)')
** Продолжить вывод рассчитанных свойств ? 0 — нет, 1 — да '
READ(*,*)NCONT
IF(NCONT.EQ.1) GO TO 500
ENDIF
134 STOP
END
SUBROUTINE PROP(NPROP)
WRITE(*,1)

```



```

1  FORMAT(/
   *10X,'_____ Рассчитаны следующие физические свойства _____'
   *10X,'
   *10X,' 1. Плотность
   *10X,'
   *10X,' 2. Показатель адиабаты
   *10X,'
   *10X,' 3. Скорость звука
   *10X,'
   *10X,' 4. Коэффициент динамической вязкости
   *10X,'
   *10X,'_____')
   WRITE(*,5)
5  FORMAT(/,3X,
   *'Введите порядковый номер свойства для вывода результатов расче',
   *'та'/
   *' или 5 для выхода в ДОС '\)
   READ(*,*)NPROP
   RETURN
   END
   SUBROUTINE RANGE(NRANGE)
   IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
   COMMON/Z/Z
   WRITE(*,1)
1  FORMAT(/
   *' Метод расчета при заданных параметрах "не работает"/
   *' Продолжить работу программы ? 0 — нет, 1 — да '\)
   READ(*,*)NRANGE
   RETURN
   END
   SUBROUTINE TABL(PI, TI, ZP, NP, NT, NPROP)
   IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
   CHARACTER*26 AR, FNAME
   CHARACTER PROP(4)*58, A*6, LIN1(5)*9, LIN2(5)*9, LIN3(6)*9, LIN4*9,
   *AT(6)*28, RAZM(4)*39
   CHARACTER*70 F, FZ(11,2), FW(11,2)
   DIMENSION PI(100), TI(100), ZP(100,100), ZPP(6)
   COMMON/Y1/YC(25)/NPR/NPR/AR/AR(25)
   DATA PROP/
   *
   *          Плотность природного газа.',
   *          Показатель адиабаты природного газа.',
   *          Скорость звука природного газа.',
   *          Коэффициент динамической вязкости природного газа.'/
   DATA RAZM/
   *' (в кг/куб.м)', ' ',
   *' (в м/с)',
   *' (в мкПа*с)'/
   DATA LIN1/5*'_____', LIN2/5*'_____', LIN3/6*'_____',
   *LIN4/'_____', A/' — '/
   DATA AT/
   *' T, K', '          T, K', '          T, K',
   *          T, K', '          T, K', '          T, K'/
   DATA FZ/

```

```

*(3X,F5.2,2X,6(3X,F6.2))','(3X,F5.2,5X,A6,5(3X,F6.2))',
*(3X,F5.2,2X,2(3X,A6),4(3X,F6.2))','(3X,F5.2,2X,3(3X,A6),
*3(3X,F6.2))',
*(3X,F5.2,2X,4(3X,A6),2(3X,F6.2))','(3X,F5.2,2X,5(3X,A6),
*3X,F6.2)',
*(3X,F5.2,2X,5(3X,F6.2),3X,A6)','(3X,F5.2,2X,4(3X,F6.2),
*2(3X,A6))',
*(3X,F5.2,2X,3(3X,F6.2),3(3X,A6))','(3X,F5.2,2X,2(3X,F6.2),
*4(3X,A6))',
*(3X,F5.2,5X,F6.2,5(3X,A6))','(3X,F9.6,1X,F6.2,5(3X,F6.2))',
*(3X,F9.6,1X,A6,5(3X,F6.2))','(3X,F9.6,1X,A6,3X,A6,4(3X,F6.2))',
*(3X,F9.6,1X,A6,2(3X,A6),3(3X,F6.2))','(3X,F9.6,1X,A6,3(3X,A6),
*2(3X,F6.2))',
*(3X,F9.6,1X,A6,4(3X,A6),3X,F6.2)','(3X,F9.6,1X,F6.2,4(3X,F6.2),
*3X,A6)',
*(3X,F9.6,1X,F6.2,3(3X,F6.2),2(3X,A6))','(3X,F9.6,1X,F6.2,
*2(3X,F6.2),3(3X,A6))',
*(3X,F9.6,1X,F6.2,3X,F6.2,4(3X,A6))','(3X,F9.6,1X,F6.2,5(3X,A6))'/
DATA FW/
*(3X,F5.2,2X,6(4X,F5.1))','(3X,F5.2,5X,A6,5(4X,F5.1))',
*(3X,F5.2,2X,2(3X,A6),4(4X,F5.1))','(3X,F5.2,2X,3(3X,A6),
*3(4X,F5.1))',
*(3X,F5.2,2X,4(3X,A6),2(4X,F5.1))','(3X,F5.2,2X,5(3X,A6),
*4X,F5.1)',
*(3X,F5.2,2X,5(4X,F5.1),3X,A6)','(3X,F5.2,2X,4(4X,F5.1),
*2(3X,A6))',
*(3X,F5.2,2X,3(4X,F5.1),3(3X,A6))','(3X,F5.2,2X,2(4X,F5.1),
*4(3X,A6))',
*(3X,F5.2,6X,F5.1,5(3X,A6))','(3X,F9.6,2X,F5.1,5(4X,F5.1))',
*(3X,F9.6,1X,A6,5(4X,F5.1))','(3X,F9.6,1X,A6,3X,A6,4(4X,F5.1))',
*(3X,F9.6,1X,A6,2(3X,A6),3(4X,F5.1))','(3X,F9.6,1X,A6,3(3X,A6),
*2(4X,F5.1))',
*(3X,F9.6,1X,A6,4(3X,A6),4X,F5.1)','(3X,F9.6,2X,F5.1,4(4X,F5.1),
*3X,A6)',
*(3X,F9.6,2X,F5.1,3(4X,F5.1),2(3X,A6))','(3X,F9.6,2X,F5.1,
*2(4X,F5.1),3(3X,A6))',
*(3X,F9.6,2X,F5.1,4X,F5.1,4(3X,A6))','(3X,F9.6,2X,F5.1,5(3X,A6))'/

```

22 WRITE(\*,44)

44 FORMAT(/' Устройство вывода результатов расчета ?,')

WRITE(\*,'(A\')

\* 0 — дисплей, 1 — принтер, 2 — файл на диске '

READ(\*,\*)NYST

IF(NYST.EQ.0) OPEN(1,FILE='CON')

IF(NYST.EQ.1) OPEN(1,FILE='PRN')

IF(NYST.EQ.2) WRITE(\*,'(A\')' Введите имя файла '

IF(NYST.EQ.2) READ(\*,'(A\')FNAME

IF(NYST.EQ.2) OPEN(1,FILE=FNAME)

IF(NYST.EQ.0) WRITE(\*,100)

100 FORMAT(25(/))

IF(NYST.EQ.1) PAUSE

\* Включите принтер, вставьте бумагу и нажмите <ВВОД> '

WRITE(1,88)PROP(NPROP),RAZM(NPROP)

88 FORMAT(A58/A39/)

```

NW=3
IF(NPR.EQ.0) WRITE(1,3)
3  FORMAT(' Содержание в мол. %')
IF(NPR.EQ.1) WRITE(1,33)
33 FORMAT(' Содержание в об. %')
NW=NW+1
I=1
9  J=I+1
13 CONTINUE
IF(YC(J).NE.0D0) THEN
WRITE(1,5)AR(I),YC(I)*100.,AR(J),YC(J)*100.
5  FORMAT(2(A26,F7.4))
NW=NW+1
DO 11 I=J+1,25
IF(YC(I).NE.0D0.AND.I.NE.25) GO TO 9
IF(YC(I).NE.0D0.AND.I.EQ.25) THEN
WRITE(1,5)AR(I),YC(I)*100.
NW=NW+1
GO TO 99
ENDIF
11 CONTINUE
ELSE
J=J+1
IF(J.LE.25) THEN
GO TO 13
ELSE
WRITE(1,5)AR(I),YC(I)*100.
NW=NW+1
ENDIF
ENDIF
99 CONTINUE
IF(NW.GT.12.AND.NYST.EQ.0) THEN
WRITE(*,7)
7  FORMAT(/)
PAUSE ' Для продолжения вывода нажмите <ВВОД> '
WRITE(*,100)
NW=0
ENDIF
DO 15 I=1,NT,6
IF(NW.GT.12.AND.NYST.EQ.0) THEN
WRITE(*,7)
PAUSE ' Для продолжения вывода нажмите <ВВОД> '
WRITE(*,100)
NW=0
ENDIF
IF(NW.GT.46.AND.NYST.NE.0) THEN
WRITE(1,7)
WRITE(*,7)
IF(NYST.EQ.1) PAUSE
* ' Для продолжения вывода вставьте бумагу и нажмите <ВВОД> '
NW=0
ENDIF
IF(I+5.LE.NT) THEN

```

```

NL=6
ELSE
NL=NT-I+1
ENDIF
WRITE(1,7)
IF(NL.GT.1) WRITE(1,17)LIN2(1),(LIN1(K),K=1,NL-1)
IF(NL.EQ.1) WRITE(1,17)LIN2(1)
17  FORMAT('————',6A9)
    WRITE(1,19)AT(NL)
19  FORMAT(' ',A28)
    IF(NL.GT.1) WRITE(1,21)LIN4,(LIN2(K),K=1,NL-1)
    IF(NL.EQ.1) WRITE(1,21)LIN4
21  FORMAT(' p, MIIa ',6A9)
    WRITE(1,23)(TI(K),K=1,I+NL-1)
23  FORMAT(10X,6(' ',F6.2))
    WRITE(1,17)(LIN3(K),K=1,NL)
    NW=NW+6
    DO 25 J=1,NP
    JP=1
    IF(PI(J).EQ.0.101325D0) JP=2
    NL1=0
    NLN=0
    DO 27 K=1,I+NL-1
    NL1=NL1+1
    IF(ZP(J,K).EQ.0D0) THEN
    ZPP(NL1)=A
    NLN=NLN+1
    ELSE
    ZPP(NL1)=ZP(J,K)
    ENDIF
27  CONTINUE
    IF(NLN.EQ.NL) GO TO 133
    IF(NLN.EQ.0) THEN
    IF(NPROP.NE.3) F=FZ(1,JP)
    IF(NPROP.EQ.3) F=FW(1,JP)
    ELSE
    IF(ZP(J,1).EQ.0D0.AND.NPROP.NE.3) F=FZ(NLN+1,JP)
    IF(ZP(J,I+NL-1).EQ.0D0.AND.NPROP.NE.3) F=FZ(NLN+12-NL,JP)
    IF(ZP(J,1).EQ.0D0.AND.NPROP.EQ.3) F=FW(NLN+1,JP)
    IF(ZP(J,I+NL-1).EQ.0D0.AND.NPROP.EQ.3) F=FW(NLN+12-NL,JP)
    ENDIF
    IF(NL1.EQ.1) WRITE(1,F)PI(J),ZPP(1)
    IF(NL1.EQ.2) WRITE(1,F)PI(J),ZPP(1),ZPP(2)
    IF(NL1.EQ.3) WRITE(1,F)PI(J),ZPP(1),ZPP(2),ZPP(3)
    IF(NL1.EQ.4) WRITE(1,F)PI(J),ZPP(1),ZPP(2),ZPP(3),ZPP(4)
    IF(NL1.EQ.5)
    *WRITE(1,F)PI(J),ZPP(1),ZPP(2),ZPP(3),ZPP(4),ZPP(5)
    IF(NL1.EQ.6)
    *WRITE(1,F)PI(J),ZPP(1),ZPP(2),ZPP(3),ZPP(4),ZPP(5),ZPP(6)
    NW=NW+1
133  CONTINUE
    IF(NW.EQ.20.AND.NYST.EQ.0) THEN
    IF(J.EQ.NP.AND.I+NL-1.EQ.NT) GO TO 29

```

```

WRITE(*,7)
PAUSE ' Для продолжения вывода нажмите <ВВОД> '
WRITE(*,100)
NW=0
WRITE(1,7)
IF(NL.GT.1) WRITE(1,17)LIN2(1),(LIN1(K),K=1,NL-1)
IF(NL.EQ.1) WRITE(1,17)LIN2(1)
WRITE(1,19)AT(NL)
IF(NL.GT.1) WRITE(1,21)LIN4,(LIN2(K),K=1,NL-1)
IF(NL.EQ.1) WRITE(1,21)LIN4
WRITE(1,23)(TI(K),K=1,I+NL-1)
WRITE(1,17)(LIN3(K),K=1,NL)
NW=NW+6
ENDIF
IF(NW.EQ.54.AND.NYST.NE.0) THEN
IF(J.EQ.NP.AND.I+NL-1.EQ.NT) GO TO 29
WRITE(1,7)
WRITE(*,7)
IF(NYST.EQ.1) PAUSE

```

\*' Для продолжения вывода вставьте бумагу и нажмите <ВВОД> '

```

NW=0
IF(NL.GT.1) WRITE(1,17)LIN2(1),(LIN1(K),K=1,NL-1)
IF(NL.EQ.1) WRITE(1,17)LIN2(1)
WRITE(1,19)AT(NL)
IF(NL.GT.1) WRITE(1,21)LIN4,(LIN2(K),K=1,NL-1)
IF(NL.EQ.1) WRITE(1,21)LIN4
WRITE(1,23)(TI(K),K=1,I+NL-1)
WRITE(1,17)(LIN3(K),K=1,NL)
NW=NW+6
ENDIF

```

25 CONTINUE

15 CONTINUE

29 CLOSE(1)

```
WRITE(*,7)
```

PAUSE ' Вывод завершен, для продолжения работы нажмите <ВВОД> '

```
WRITE(*,66)
```

66 FORMAT(/' Назначить другое устройство вывода ?',

\*, 0 — нет, 1 — да '\)

```
READ(*,*)NBOLB
```

```
IF(NBOLB.EQ.1) GO TO 22
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
SUBROUTINE EOSVNIC(ICALC)
```

```
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
```

```
REAL*8 LIJ(8,8)
```

```
DIMENSION VC(8),TC(8),PII(8),DIJ(8,8)
```

```
COMMON/PARCD/VCD(8),TCD(8),PIID(8)/ABIJ/AIJ(10,8),BIJ(10,8)
```

```
*/B/B(10,8)/RM/RM/Y/Y(8)/BM/BM(8)/NI/NI(8)/NC/NC/RON/RON/PIM/PIM
```

```
COMMON/CPC1/CPC1(20,5),CPC2(20,3)/IDGFD/TOID(8),MCO(8),MCPD(8)
```

```
*/IDGF/CPC(20,8),TOI(8),MCO(8),MCP(8)
```

```
COMMON/P/P/T/T/Z/Z/TS/RO,PA,W/ETA/ETA
```

```
RM=8.31451D0
```

```
IF(ICALC.NE.1) GO TO 1
```

```

CALL COMPON
IF(Z.EQ.0D0) GO TO 133
DO 11111 J=1,8
DO 11111 I=1,20
IF(J.LE.5) CPC(I,J)=CPC1(I,J)
IF(J.GT.5) CPC(I,J)=CPC2(I,J-5)
11111 CONTINUE
CALL DDIJ(DIJ,LIJ)
DO 75 I=1,NC
TC(I)=TCD(NI(I))
VC(I)=BM(I)/VCD(NI(I))
PII(I)=PIID(NI(I))
MCO(I)=MCOI(NI(I))
MCP(I)=MCPD(NI(I))
TOI(I)=TOID(NI(I))
MP=MCO(I)+MCP(I)+1
DO 23 J=1,MP
23 CPC(J,I)=CPC(J,NI(I))
DO 123 J=1,NC
IF(I.GE.J) GO TO 123
DIJ(I,J)=DIJ(NI(I),NI(J))
LIJ(I,J)=LIJ(NI(I),NI(J))
123 CONTINUE
75 CONTINUE
CALL PARMIX(DIJ,LIJ,TC,VC,PII)
DO 27 I=1,10
DO 27 J=1,8
27 B(I,J)=AIJ(I,J)+BIJ(I,J)*PIM
IF(RON.NE.0D0) THEN
CALL PHASE
RON=0D0
GO TO 133
ENDIF
1 CALL PHASE
133 RETURN
END
SUBROUTINE COMPON
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION BMI(25),ROI(8),GI(8),YI(25)
COMMON/Y/Y(8)/BMM/BMM/BM/BM(8)/YI/YC(25)/NI/NI(8)/NC/NC/RON/RON
DATA BMI/16.043D0,30.07D0,44.097D0,2*58.123D0,28.0135D0,
*44.01D0,34.082D0,26.038D0,28.054D0,42.081D0,3*72.15D0,
*86.177D0,78.114D0,100.204D0,92.141D0,114.231D0,128.259D0,
*142.286D0,4.0026D0,2.0159D0,28.01D0,31.9988D0/
DATA ROI/0.6682D0,1.2601D0,1.8641D0,2.4956D0,2.488D0,
*1.1649D0,1.8393D0,1.4311D0/
DO 100 I=1,25
100 YI(I)=YC(I)
IF(RON.NE.0D0) GO TO 333
BMM=0D0
DO 3333 I=1,25
3333 BMM=BMM+YI(I)*BMI(I)
333 YS=0D0

```

```

DO 55 I=9,25
55  YS=YS+YI(I)
    YS1=0D0
    DO 67 I=12,21
67  YS1=YS1+YI(I)
    YS2=0D0
    DO 69 I=22,25
69  YS2=YS2+YI(I)
    YI(2)=YI(2)+YI(9)+YI(10)
    YI(3)=YI(3)+YI(11)
    YI(4)=YI(4)+YS1
    YS3=YI(4)+YI(5)
    IF(RON.NE.0D0.AND.YI(5).LT.0.01D0.AND.YS3.LT.0.03D0) THEN
    YI(4)=YS3
    YI(5)=0D0
    ENDIF
    IF(RON.EQ.0D0.AND.YI(5).LT.0.01D0.AND.YS3.LE.0.03D0) THEN
    YI(4)=YS3
    YI(5)=0D0
    ENDIF
    YI(6)=YI(6)+YS2
    IF(RON.EQ.0D0) GO TO 555
    ROM=0D0
    DO 7 I=1,8
7   ROM=ROM+YI(I)*ROI(I)
    DO 9 I=1,8
9   GI(I)=YI(I)*ROI(I)/ROM
    SUM=0D0
    DO 11 I=1,8
11  SUM=SUM+GI(I)/BMI(I)
    SUM=1./SUM
    DO 13 I=1,8
13  YI(I)=GI(I)*SUM/BMI(I)
555 NC=0
    YSUM=0D0
    DO 155 I=1,8
    IF(YI(I).EQ.0D0) GO TO 155
    NC=NC+1
    NI(NC)=I
    Y(NC)=YI(I)
    YSUM=YSUM+Y(NC)
    BM(NC)=BMI(I)
155 CONTINUE
    CALL MOLDOL(YI,YS)
    DO 551 I=1,NC
551 Y(I)=Y(I)/YSUM
    RETURN
    END
    SUBROUTINE MOLDOL(YI,YS)
    IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
    DIMENSION YI(25)
    COMMON/Z/Z
    Z=-1D0

```

```

IF(YI(1).LT.0.5D0.OR.YI(2).GT.0.2D0.OR.YI(3).GT.0.05D0.OR.
*YI(4).GT.0.03D0.OR.YI(5).GT.0.03D0.OR.YS.GT.0.01D0) Z=0D0
IF(YI(6).GT.0.3D0.OR.YI(7).GT.0.3D0.OR.YI(8).GT.0.3D0) Z=0D0
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DDIJ(DIJ,LIJ)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
REAL*8 LIJ(8,8)
DIMENSION DIJ(8,8)

```

```
DO 1 I=1,8
```

```
DO 1 J=1,8
```

```
LIJ(I,J)=0.D0
```

```
1 DIJ(I,J)=0.D0
```

```
DIJ(1,2)=0.036D0
```

```
DIJ(1,3)=0.076D0
```

```
DIJ(1,4)=0.121D0
```

```
DIJ(1,5)=0.129D0
```

```
DIJ(1,6)=0.06D0
```

```
DIJ(1,7)=0.074D0
```

```
DIJ(2,6)=0.106D0
```

```
DIJ(2,7)=0.093D0
```

```
DIJ(6,7)=0.022D0
```

```
DIJ(1,8)=0.089D0
```

```
DIJ(2,8)=0.079D0
```

```
DIJ(6,8)=0.211D0
```

```
DIJ(7,8)=0.089D0
```

```
LIJ(1,2)=-0.074D0
```

```
LIJ(1,3)=-0.146D0
```

```
LIJ(1,4)=-0.258D0
```

```
LIJ(1,5)=-0.222D0
```

```
LIJ(1,6)=-0.023D0
```

```
LIJ(1,7)=-0.086D0
```

```
LIJ(6,7)=-0.064D0
```

```
LIJ(7,8)=-0.062D0
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
SUBROUTINE PARMIX(DIJ,LIJ,TC,VC,PII)

```

```
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
```

```
REAL*8 LIJ(8,8)
```

```
DIMENSION Y(8),DIJ(8,8),VCIJ(8,8),TCIJ(8,8),V13(8),TC(8),VC(8),
*PII(8),PIIJ(8,8)
```

```
COMMON/PARCM/TCM,VCM/Y/Y/NC/NC/PCM/PCM/PIM/PIM
```

```
DO 1 I=1,NC
```

```
1 V13(I)=VC(I)**(1.D0/3.D0)
```

```
DO 3 I=1,NC
```

```
VCIJ(I,I)=VC(I)
```

```
PIIJ(I,I)=PII(I)
```

```
TCIJ(I,I)=TC(I)
```

```
DO 3 J=1,NC
```

```
IF(I.GE.J) GO TO 3
```

```
VCIJ(I,J)=(1.D0-LIJ(I,J))*((V13(I)+V13(J))/2.))**3
```

```
PIIJ(I,J)=(VC(I)*PII(I)+VC(J)*PII(J))/(VC(I)+VC(J))
```

```
TCIJ(I,J)=(1.D0-DIJ(I,J))*(TC(I)*TC(J))**0.5
```



```

VCIJ(J,I)=VCIJ(I,J)
PIIJ(J,I)=PIIJ(I,J)
TCIJ(J,I)=TCIJ(I,J)
3 CONTINUE
VCM=0.D0
PIM=0.D0
TCM=0.D0
DO 5 I=1,NC
DO 5 J=1,NC
VCM=VCM+Y(I)*Y(J)*VCIJ(I,J)
PIM=PIM+Y(I)*Y(J)*VCIJ(I,J)*PIIJ(I,J)
5 TCM=TCM+Y(I)*Y(J)*VCIJ(I,J)*TCIJ(I,J)**2
PIM=PIM/VCM
TCM=(TCM/VCM)**0.5
PCM=8.31451D-3*(0.28707D0-0.05559*PIM)*TCM/VCM
RETURN
END
SUBROUTINE PHASE
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/Z/Z/RM/RM/T/T/P/P/PCM/PCM/RON/RON/BMM/BMM
*/AI/AO,A1,A2,A3
IF(T.LT.240D0.OR.T.GT.480D0.OR.P.LE.0D0.OR.P.GT.12D0) THEN
Z=0D0
GO TO 134
ENDIF
PR=P/PCM
RO=9D3*P/(RM*T*(1.1*PR+0.7D0))
CALL FUN(RO)
CALL OMTAU(RO,T)
IF(Z.EQ.0D0) GO TO 134
Z=1.D0+AO
IF(RO.NE.0D0) THEN
BMM=1D-3*Z*RON*RM*T/P
GO TO 134
ENDIF
NPRIZ=2
CALL COMPL(RO,T,NPRIZ)
CALL TP(RO)
CALL ETAS(RO)
134 RETURN
END
C Подпрограмма, реализующая итерационный процесс определения
C плотности из уравнения состояния (метод Ньютона)
SUBROUTINE FUN(X)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/P/P/RM/RM/T/T/AI/AO,A1,A2,A3
ITER=1
1 CONTINUE
NPRIZ=0
IF(ITER.NE.1) NPRIZ=1
CALL COMPL(X,T,NPRIZ)
Z=1.D0+AO
FX=1.D6*(P-(1.D-3*RM*T*Z*X))

```

```

F=I.D3*RM*T*(1.D0+A1)
DR=FX/F
X=X+DR
IF(ITER.GT.10) GO TO 4
ITER=ITER+1
IF(DABS(DR/X).GT.1.D-6) GO TO 1
4 CALL COMPL(X,T,NPRIZ)
RETURN
END
SUBROUTINE OMTAU(RO,T)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/PARCM/TCM,VCM/Z/Z
Z=-1D0
TR=T/TCM
ROR=RO*VCM
IF(TR.LT.1.05D0) Z=0D0
IF(ROR.LT.0.D0.OR.ROR.GT.3.D0) Z=0D0
RETURN
END
C Подпрограмма определения безразмерных комплексов AO,A1,A2 и A3
SUBROUTINE COMPL(RO,T,NPRIZ)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION B(10,8),BK(10)
COMMON/PARCM/TCM,VCM/B/B/AI/AO,A1,A2,A3
IF(NPRIZ.NE.0) GO TO 7
TR=T/TCM
DO 1 I=1,10
BK(I)=0
DO 1 J=1,8
1 BK(I)=BK(I)+B(I,J)/TR**(J-1)
7 ROR=RO*VCM
AO=0.D0
A1=0.D0
IF(NPRIZ.EQ.1) GO TO 5
A2=0.D0
A3=0.D0
5 DO 33 I=1,10
D=BK(I)*ROR**I
AO=AO+D
A1=A1+(I+1)*D
IF(NPRIZ.EQ.1) GO TO 33
DO 3 J=1,8
D1=B(I,J)*ROR**I/TR**(J-1)
A2=A2+(2-J)*D1
3 A3=A3+(J-1)*(2-J)*D1/I
33 CONTINUE
RETURN
END
C Подпрограмма расчета плотности, показателя адиабаты, скорости
C звука
SUBROUTINE TP(ROM)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/BMM/BMM/AI/AO,A1,A2,A3/RM/RM/T/T/TS/RO,PA,W/Z/Z

```

```

CALL IDGFU(T,CVOS)
RO=BMM*ROM
R=RM/BMM
A11=1.D0+A1
A21=1.D0+A2
CV=R*(A3+CVOS)
CP=CV+R*A21**2/A11
W=DSQRT(DABS(1.D3*R*T*CP/CV))*DSQRT(DABS(A11))
PA=CP/CV*A11/Z
RETURN
END

```

C Подпрограмма расчета изохорной теплоемкости в идеальном газовом состоянии

```

C SUBROUTINE IDGFU(T,CVOS)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION CPO(8),CVO(8)
  COMMON/IDGF/CPC(20,8),TOI(8),MCO(8),MCP(8),Y/Y(8)/NC/NC
  CVOS=0.D0
  DO 21 I=1,NC
    M=MCP(I)
    N=MCO(I)
    TAU=T/TOI(I)
    S1=0.D0
    S2=0.D0
    S3=0.D0
    S1=CPC(1,I)
    IF(M.EQ.0) GO TO 7
    DO 9 J=1,M
      9 S2=S2+CPC(J+1,I)*TAU**J
    IF(N.EQ.0) GO TO 11
    DO 13 J=1,N
      13 S3=S3+CPC(M+J+1,I)/TAU**J
    11 CPO(I)=S1+S2+S3
    CVO(I)=CPO(I)-1.D0
    21 CVOS=CVOS+Y(I)*CVO(I)
  RETURN
END

```

C Подпрограмма расчета вязкости

```

SUBROUTINE ETAS(ROM)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  COMMON/ETA/ETA/PARCM/TCM,VCM/BMM/BMM/T/T/PIM/PIM/PCM/PCM
  DKSI=TCM**((1D0/6D0)/BMM**5/PCM**((2D0/3D0)
  ROR=VCM*ROM
  TR=T/TCM
  ETA=78.037D0+3.85612*PIM-29.0053*PIM**2-156.728/TR+145.519/TR**2
  *-51.1082/TR**3+6.57895*ROR+(11.7452D0-95.7215*PIM**2/TR)*ROR**2+
  *17.1027*ROR**3*PIM+.519623/TR**2*ROR**5
  ETA=ETA/DKSI/10.
  RETURN
END
BLOCK DATA BDVNIC
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  CHARACTER*26 AR

```

COMMON/PARCD/VCD(8),TCD(8),PIID(8)/ABIJ/AIJ(10,8),BIJ(10,8)  
 COMMON/CPCI/CPC1(20,5),CPC2(20,3)/IDGFD/TOID(8),MCPD(8)  
 \*/AR/AR(25)  
 DATA TCD/190.67D0,305.57D0,369.96D0,425.4D0,407.96D0,  
 \*125.65D0,304.11D0,373.18D0/  
 DATA VCD/163.03D0,205.53D0,218.54D0,226.69D0,225.64D0,  
 \*315.36D0,466.74D0,349.37D0/  
 DATA PIID/0.0006467D0,0.1103D0,0.1764D0,0.2213D0,0.2162D0,  
 \*0.04185D0,0.2203D0,0.042686D0/  
 DATA AIJ/ 6087766D0,-.4596885D0,1.14934D0,-.607501D0,  
 \*-.894094D0,1.144404D0,-.34579D0,-.1235682D0,.1098875D0,  
 \*-.219306D-1,-.1.832916D0,4.175759D0,-9.404549D0,10.62713D0,  
 \*-3.080591D0,-2.122525D0,1.781466D0,-.4303578D0,-.4963321D-1,  
 \*347496D-1,1.317145D0,-10.73657D0,23.95808D0,-31.47929D0,  
 \*18.42846D0,-4.092685D0,-.1906595D0,4015072D0,-.1016264D0,  
 \*-.9129047D-2,-2.837908D0,15.34274D0,-27.71885D0,35.11413D0,  
 \*-23.485D0,7.767802D0,-1.677977D0,.3157961D0,4008579D-2,0.D0,  
 \*2.606878D0,-11.06722D0,12.79987D0,-12.11554D0,7.580666D0,  
 \*-1.894086D0,4\*0.D0,  
 \*-1.15575D0,3.601316D0,-.7326041D0,-1.151685D0,.5403439D0,  
 \*5\*0.D0,.9060572D-1,-.5151915D0,7622076D-1,7\*0.D0,  
 \*4507142D-1,9\*0.D0/  
 DATA BIJ/- 7187864D0,10.67179D0,-25.7687D0,17.13395D0,  
 \*16.17303D0,-24.38953D0,7.156029D0,3.350294D0,-2.806204D0,  
 \*5728541D0,6.057018D0,-79.47685D0,216.7887D0,-244.732D0,  
 \*78.04753D0,48.70601D0,-41.92715D0,10.00706D0,1.237872D0,  
 \*-.8610273D0,-12.95347D0,220.839D0,-586.4596D0,744.4021D0,  
 \*-447.0704D0,99.6537D0,5.136013D0,-9.5769D0,2.41965D0,  
 \*2275036D0,15.71955D0,-302.0599D0,684.5968D0,-828.1484D0,  
 \*560.0892D0,-185.9581D0,39.91057D0,-7.567516D0,-.1062596D0,  
 \*0.D0,-13.75957D0,205.541D0,-325.2751D0,284.6518D0,  
 \*-180.8168D0,46.05637D0,4\*0.D0,  
 \*6.466081D0,-57.3922D0,36.94793D0,20.77675D0,-12.56783D0,  
 \*5\*0.D0,-.9775244D0,-2.612338D0,-.4059629D0,7\*0.D0,  
 \*-.2298833D0,9\*0.D0/  
 DATA CPC1/1.46696186D+02,-6.56744186D+01,2.02698132D+01,  
 \*-4.20931845D0,6.06743008D-01,-6.12623969D-02,4.30969226D-03,  
 \*-2.06597572D-04,6.4261581D-06,-1.1680563D-07,9.4095893D-10,  
 \*-2.09233731D+02,2.06925203D+02,-1.35704831D+02,5.64368924D+01,  
 \*-1.34496111D+01,1.39664152D0,3\*0.D0,  
 \*6.8120976D+01,-3.0634058D+01,9.5275029D0,-1.6947102D0,  
 \*1.7630585D-01,-9.9545402D-3,2.353643D-4,-8.7407084D+1,  
 \*7.8481374D+1,-4.4865859D+1,1.4654346D+1,-2.0518393D0,8\*0.D0,  
 \*-9.209726737D+1,3.070930782D+1,-4.924017995D0,5.045358836D-1,  
 \*-3.140446759D-2,1.076680079D-3,-1.556890669D-5,1.74867128D+2,  
 \*-1.756054503D+2,8.874920732D+1,-1.720610207D+1,9\*0.D0,  
 \*-2.096096482D+2,6.877783535D+1,-1.228650555D+1,1.413691547D0,  
 \*-1.002920638D-1,3.985571861D-3,-6.78646087D-5,4.05527285D+2,  
 \*-4.457015773D+2,2.74366735D+2,-8.643867287D+1,1.070428636D+1,  
 \*8\*0.D0,  
 \*-3.871419306D+1,4.711104578D+1,-1.758225423D+1,1.183494309D0,  
 \*-5.520042474D-1,3.034658409D-2,2.17160145D+1,-4.4926032D0,  
 \*12\*0.D0/

DATA CPC2/0.113129D+2,-0.21596D+1,0.352761D0,-0.321705D-1,  
 \*0.16769D-2,-0.467965D-4,0.542603D-6,-0.174654D+2,0.246205D+2,  
 \*-0.217731D+2,0.116418D+2,-0.342122D+1,0.422296D0,7\*0.D0,  
 \*-9.508041394D-1,7.008743711D0,-3.50580167D0,1.096778D0,  
 \*-2.016835088D-1,1.971024237D-2,-7.860765734D-4,1.087462263D0,  
 \*-7.976765747D-2,-2.837014896D-3,1.479612229D-4,9\*0.D0,  
 \*3.91355D0,-6.84851D-2,5.64424D-2,-4.83745D-3,1.71782D-4,  
 \*-2.27537D-6,2\*0.D0,1.18658D0,-1.90747D0,8.2852D-1,9\*0.D0/  
 DATA MCODE/6,5,4,5,2,6,4,5/  
 DATA MCPD/10,6,6,6,5,6,6,5/  
 DATA TOID/4\*100D0,300D0,100D0,300D0,100D0/  
 DATA AR/' метана (CH4)', ' этана (C2H6)', ' пропана (C3H8)',  
 \*\* н-бутана (н-C4H10)', ' и-бутана (и-C4H10)', ' азота (N2)',  
 \*\* диоксида углерода (CO2)', ' сероводорода (H2S)',  
 \*\* ацетилена (C2H2)', ' этилена (C2H4)', ' пропилена (C3H6)',  
 \*\* н-пентана (н-C5H12)', ' и-пентана (и-C5H12)',  
 \*\* нео-пентана (нео-C5H12)', ' н-гексана (н-C6H14)',  
 \*\* бензола (C6H6)', ' н-гептана (н-C7H16)', ' толуола (C7H8)',  
 \*\* н-октана (н-C8H18)', ' н-нонана (н-C9H20)',  
 \*\* н-декана (н-C10H22)', ' гелия (He)', ' водорода (H2)',  
 \* монооксида углерода (CO)', ' кислорода (O2)'/  
 END

### ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное)

## ПРИМЕР РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Состав природного газа в молярных процентах:

метан	89,27
этан	2,26
пропан	1,06
и-бутан	0,01
азот	0,04
диоксид углерода	4,30
сероводород	3,05
пропилен	0,01
Давление	1,081 МПа
Температура	323,15 К
Плотность	7,54 кг/м <sup>3</sup>

Показатель адиабаты . . . . .	1,29
Скорость звука . . . . .	429,8 м/с
Динамическая вязкость . . . . .	12,36 мкПа · с
Давление . . . . .	9,950 МПа
Температура . . . . .	323,15 К
Плотность . . . . .	78,51 кг/м <sup>3</sup>
Показатель адиабаты . . . . .	1,44
Скорость звука . . . . .	427,7 м/с
Динамическая вязкость . . . . .	14,75 мкПа · с

### ПРИЛОЖЕНИЕ В (справочное)

### БИБЛИОГРАФИЯ

[1]. Козлов А.Д., Кузнецов В.М., Мамонов Ю.В. Построение уравнений теплофизических свойств индивидуальных веществ и материалов. - Теплофизические свойства веществ и материалов, 1988, вып.24, с.150-164.

[2]. Козлов А.Д., Кузнецов В.М., Мамонов Ю.В. Анализ современных методов расчета рекомендуемых справочных данных о коэффициентах вязкости и теплопроводности газов и жидкостей. — М.: ИВТАН СССР, 1989, № 3, с.3-80.

[3]. МР 67-89. Расчет плотности, изобарной и изохорной теплоемкости, энтальпии, энтропии, скорости звука жидких и газообразных веществ, применяемых в криогенном машиностроении в интервале температур до 500 К и давлений до 50 МПа на основе уравнения Старлинга-Хана. — Методика ГСССД, Деп. ВНИИКИ, № 609, 1990.

[4]. B.A.Younglove, N.V.Frederick, R.D.McCarty Speed of Sound Data and Related Models for Mixtures of Natural Gas Constituents — Natl. Inst. Stand. Technol., Mono. 178, 97 p. (Washington, 1993).

[5]. ИСО 5168:1978 International Standard. Measurement of fluid flow — Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement

Ключевые слова: природный газ, методы расчета физических свойств, давление, температура, компонентный состав, молярные и объемные доли, плотность, показатель адиабаты, скорость звука, динамическая вязкость, погрешность, уравнение состояния, листинг программы.

Редактор *Р.С. Федорова*  
Технический редактор *О.Н. Власова*  
Корректор *А.С. Черноусова*  
Компьютерная верстка *А.С. Юфина*

Изд. лиц. № 021007 от 10.08.95. Сдано в набор 13.02.97. Подписано в печать 17.03.97.  
Усл.печ.л. 1,86. Уч.-изд.л. 2,00. Тираж 310 экз. С 291. Зак. 77.

ИПК Издательство стандартов  
107076, Москва, Колодезный пер., 14.  
Набрано и отпечатано в ИПК Издательство стандартов

**Изменение № 1 ГОСТ 30319.3—96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния**  
**Принято Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 22 от 06.11.2002)**

За принятие изменения проголосовали национальные органы по стандартизации следующих государств: AZ, AM, BY, KZ, KG, MD, RU, TJ, TM, UZ, UA [коды альфа-2 по МК (ИСО 3166) 004]

**Зарегистрировано Бюро по стандартам МГС № 4310**

**Дату введения в действие настоящего изменения устанавливают указанные национальные органы по стандартизации**

Пункт 3.2. Второй абзац дополнить абзацами:

«по плотности газа при стандартных условиях — 0,66—1,05 кг/м<sup>3</sup> (плотность газа при стандартных условиях рассчитывают по формуле (16) ГОСТ 30319.1);

по высшей удельной теплоте сгорания газа — 20—48 МДж/м<sup>3</sup> (высшую удельную теплоту сгорания рассчитывают по 7.2 ГОСТ 30319.1, допускается рассчитывать высшую удельную теплоту сгорания по формуле (52) ГОСТ 30319.1)»;

последний абзац дополнить словами: «без учета погрешностей исходных данных».

Пункт 4.1.3 изложить в новой редакции:

«4.1.3 Если компонентный состав природного газа задан в объемных долях, то молярные доли компонентов рассчитывают по формуле (12) ГОСТ 30319.1 и далее молярную массу природного газа вычисляют по 4.1.2».

Пункт 4.2. Формулу (6) изложить в новой редакции:

$$A_1 = \sum_{k=1}^r \sum_{l=0}^{S_k} (k+1) c_{kl} \rho_{\Pi}^k / T_{\Pi}^l ; \quad (6)$$

формулы (7), (8). Заменить обозначения:  $c_{\theta}$  на  $c_v$ ,  $c_{\theta_{\text{ом}}}$  на  $c_{\text{vom}}$ ;

таблица 2. Компонент «Сероводород». Графу « $(\beta_j)_l$ » для  $j=1$  и  $j=2$  дополнить значением: 0,0.

Раздел 5. Формулы (19), (20) изложить в новой редакции:

$$\delta_{\text{нд}} = \frac{1}{Q} \left\{ \sum_{k=1}^{N_q} \left[ \left( \frac{\partial \bar{Q}}{\partial \bar{q}_k} \right)_{\bar{q}_l, l \neq k} \bar{q}_k \delta_{qk} \right]^2 \right\}^{0,5}, \quad (19)$$

$$\left( \frac{\partial \bar{Q}}{\partial \bar{q}_k} \right)_{\bar{q}_l, l \neq k} = \frac{Q_{qk} + -Q_{qk-}}{2\Delta \bar{q}_k}; \quad (20)$$

(Продолжение см. с. 74)



*(Продолжение изменения № 1 к ГОСТ 30319.3—96)*

четвертый абзац (со слов «Производную свойства») изложить в новой редакции:

«При вычислении частных производных по формуле (20) свойства  $Q_{q_{k+}}$  и  $Q_{q_{k-}}$  рассчитывают при средних параметрах  $\bar{q}_l, l \neq k$  и параметрах  $q_{k+} = \bar{q}_k + \Delta\bar{q}_k$  и  $q_{k-} = \bar{q}_k - \Delta\bar{q}_k$ , соответственно. Рекомендуется выбирать  $\Delta\bar{q}_k = 0,5 \cdot 10^{-2} \delta_{qk} \bar{q}_k$ .».

(ИУС № 8 2004 г.)