МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 30319.2— 2015

Газ природный

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Вычисление физических свойств на основе данных о плотности при стандартных условиях и содержании азота и диоксида углерода

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ», Техническим комитетом по стандартизации ТК 52 «Природный и сжиженные газы»

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по переписке (протокол от 27 августа 2015 г. № 79-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004— 97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Молдова	MD	Молдова-Стандарт
Россия	RU	Росстандарт
Украина	UA	Минэкономразвития Украины

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 ноября 2015 г. № 1744-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 30319.2—2015 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2017 г.

5 ВЗАМЕН ГОСТ 30319.1—96, ГОСТ 30319.2—96

6 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Сентябрь 2019 г.

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© Стандартинформ, оформление, 2016, 2019

В Российской Федерации 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

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Газ природный

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Вычисление физических свойств на основе данных о плотности при стандартных условиях и содержании азота и диоксида углерода

Natural gas. Methods of calculation of physical properties.
Calculation of physical properties on base information on density of standards conditions and nitrogen and carbon dioxide contents

Дата введения — 2017—01—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт предназначен для расчета коэффициента сжимаемости, плотности, показателя адиабаты, коэффициента динамической вязкости природного газа и скорости распространения звука в среде природного газа по измеренным значениям давления, температуры, плотности при стандартных условиях, содержания азота и диоксида углерода.

1.2 Настоящий стандарт применяют для расчета указанных в 1.1 физических свойств природного газа при давлениях до 7,5 МПа включительно и температурах от 250 до 350 К.

1.3 Методы расчета физических свойств, приведенные в настоящем стандарте, могут быть использованы при разработке программного обеспечения вычислителей расхода природного газа.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 30319.1 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения

ГОСТ 30319.3 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Вычисление физических свойств на основе данных о компонентном составе

ГОСТ 31369 (ИСО 6976:1995) Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава

ГОСТ 31371.1 (ИСО 6974-1:2000) Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 1. Руководство по проведению анализа

ГОСТ 31371.2 (ИСО 6974-2:2001) Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 2. Характеристики измерительной системы и статистические оценки данных

ГОСТ 31371.3 (ИСО 6974-3:2000) Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 3. Определение водорода, гелия, кислорода, азота, диоксида углерода и углеводородов до C_8 с использованием двух насадочных колонок

ГОСТ 31371.4 (ИСО 6974-4:2000) Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 4. Определение азота, диоксида углерода и углеводородов C_1—C_5 и C_{6+} в лаборатории и с помощью встроенной измерительной системы с использованием двух колонок

Издание официальное

ГОСТ 31371.5 (ИСО 6974-5:2000) Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 5. Определение азота, диоксида углерода и углеводородов C_1—C_5 и C_{6+} в лаборатории и при непрерывном контроле с использованием трех колонок

ГОСТ 31371.6 (ИСО 6974-6:2002) Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 6. Определение водорода, гелия, кислорода, азота, диоксида углерода и углеводородов C_1—C_8 с использованием трех капиллярных колонок

ГОСТ 31371.7 Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 7. Методика выполнения измерений молярной доли компонентов

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (gost.e-ecolog.ru казателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и обозначения

3.1 В настоящем стандарте применены термины и определения по ГОСТ 30319.1.

3.2 Основные условные обозначения величин, принятые в стандарте, приведены в таблице 2 ГОСТ 30319.1.

4 Определение коэффициента сжимаемости и плотности

4.1 Метод расчета

Метод расчета коэффициента сжимаемости и плотности основан на применении уравнения состояния, которое приведено в международном стандарте [1], и имеет следующий вид:

$$z = 1 + B_m \bar{\rho} + C_m \bar{\rho}^2, \tag{1}$$

где B_m и C_m — коэффициенты уравнения состояния.

Коэффициенты уравнения состояния рассчитывают по следующим формулам:

$$B_m = x_э^2 \cdot B_1 + x_э x_a B^* (B_1 + B_2) \cdot 1{,}73 x_э x_y (B_1 B_3)^{0,5} + x_a^2 B_2 + 2 x_a x_y B_{23} + x_y^2 B_3, \tag{2}$$

$$C_m = x_э^3 C_1 + 3 x_э^2 x_a C^* (C_1^2 C_2)^{1/3} + 2{,}76 x_э^2 x_y (C_1^2 C_3)^{1/3} + 3 x_э x_a^2 C^* (C_1 C_2^2)^{1/3} + 6{,}6 x_э x_a x_y (C_1 C_2 C_3)^{1/3} + 2{,}76 x_э x_y^2 (C_1 C_3^2)^{1/3} + x_a^3 C_2 + 3 x_э^2 x_y C_{223} + 3 x_a x_y^2 C_{233} + x_y^3 C_3, \tag{3}$$

где $x_э$ — молярная доля эквивалентного углеводорода;

x_a — молярная доля азота;

x_y — молярная доля диоксида углерода.

Молярную долю эквивалентного углеводорода и входящие в формулы (2) и (3) коэффициенты рассчитывают по следующим формулам:

$$x_э = 1 - x_a - x_y, \tag{4}$$

$$B_1 = -0{,}425468 + 2{,}865 \cdot 10^{-3} T - 4{,}62073 \cdot 10^{-6} T^2 + (8{,}77118 \cdot 10^{-4} - 5{,}56281 \cdot 10^{-6} T + 8{,}81514 \cdot 10^{-9} T^2) \cdot H_э + (-8{,}24747 \cdot 10^{-7} + 4{,}31436 \cdot 10^{-9} T - 6{,}08319 \cdot 10^{-12} T^2) \cdot H_э^2, \tag{5}$$

$$B_2 = 0{,}1446 + 7{,}4091 \cdot 10^{-4} T - 9{,}1195 \cdot 10^{-7} T^2, \quad (6)$$

$$B_{23} = -0{,}339693 + 1{,}61176 \cdot 10^{-3} T - 2{,}04429 \cdot 10^{-6} T^2, \quad (7)$$

$$B_3 = -0{,}86834 + 4{,}0376 \cdot 10^{-3} T - 5{,}1657 \cdot 10^{-6} T^2, \quad (8)$$

$$C_1 = -0{,}302488 + 1{,}95861 \cdot 10^{-3} T - 3{,}16302 \cdot 10^{-6} T^2 + (6{,}46422 \cdot 10^{-4} - 4{,}22876 \cdot 10^{-6} T + 6{,}88157 \cdot 10^{-9} T^2) \cdot H_э + (-3{,}32805 \cdot 10^{-7} + 2{,}2316 \cdot 10^{-9} T - 3{,}67713 \cdot 10^{-12} T^2) \cdot H_э^2, \quad (9)$$

$$C_2 = 7{,}8498 \cdot 10^{-3} - 3{,}9895 \cdot 10^{-5} T + 6{,}1187 \cdot 10^{-8} T^2, \quad (10)$$

$$C_3 = 2{,}0513 \cdot 10^{-3} + 3{,}4888 \cdot 10^{-5} T - 8{,}3703 \cdot 10^{-8} T^2, \quad (11)$$

$$C_{223} = 5{,}52066 \cdot 10^{-3} - 1{,}68609 \cdot 10^{-5} T + 1{,}57169 \cdot 10^{-8} T^2, \quad (12)$$

$$C_{233} = 3{,}58783 \cdot 10^{-3} + 8{,}06674 \cdot 10^{-6} T - 3{,}25798 \cdot 10^{-8} T^2, \quad (13)$$

$$B^* = 0{,}72 + 1{,}875 \cdot 10^{-5} (320 - T)^2, \quad (14)$$

$$C^* = 0{,}92 + 0{,}0013 \cdot (T - 270). \quad (15)$$

В формулах (5), (9) значение теплоты сгорания эквивалентного углеводорода ($H_э$) рассчитывают по формуле

$$H_э = 128{,}64 + 47{,}479 \cdot M_э, \quad (16)$$

где $M_э$ — молярная масса эквивалентного углеводорода, значение которой рассчитывают по формуле

$$M_э = (24{,}05525 \cdot z_c \rho_c - 28{,}0135 x_a - 44{,}01 x_y) / x_э, \quad (17)$$

где $x_э$ — молярная доля эквивалентного углеводорода, см. формулу (4);
x_a — молярная доля азота;
x_y — молярная доля диоксида углерода.

В формуле (17) коэффициент сжимаемости при стандартных условиях рассчитывают по формуле

$$z_c = 1 - (0{,}0741 \rho_c - 0{,}006 - 0{,}063 x_a - 0{,}0575 x_y)^2. \quad (18)$$

4.2 Алгоритм расчета

4.2.1 Используя измеренные значения температуры, плотности при стандартных условиях, а также измеренные по ГОСТ 31371.1 — ГОСТ 31371.7 значения молярных долей азота и диоксида углерода, рассчитывают значения коэффициентов уравнения состояния (1) B_m и C_m по формулам (2)—(18).

Примечание — Допускается рассчитывать плотность при стандартных условиях по ГОСТ 31369.

4.2.2 Рассчитывают коэффициент сжимаемости при измеренных значениях температуры и давления по формуле

$$z = (1 + A_2 + A_1 / A_2) / 3, \quad (19)$$

где

$$A_1 = 1 + B_0, \quad (20)$$

$$A_2 = \left[A_0 - (A_0^2 - A_1^3)^{0,5} \right]^{1/3}, \quad (21)$$

$$A_0 = 1 + 1{,}5(B_0 + C_0), \quad (22)$$

$$B_0 = bB_m, \quad (23)$$

$$C_0 = b^2 C_m, \quad (24)$$

$$b = 10^3 p / (2{,}7715 T). \quad (25)$$

4.2.3 Плотность природного газа рассчитывают по формуле

$$\rho = 10^3 M_m p / (R T z), \quad (26)$$

где M_m — молярная масса природного газа, которую рассчитывают по следующей формуле

$$M_m = 24{,}05525 \cdot z_c \rho_c. \quad (27)$$

В формуле (27) коэффициент сжимаемости при стандартных условиях рассчитывают по формуле (18).

4.3 Диапазон применения и погрешности расчета

4.3.1 Диапазон применения и погрешности метода расчета коэффициента сжимаемости и плотности по уравнению состояния (1) приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Диапазон применения и погрешности метода расчета коэффициента сжимаемости и плотности

Диапазон применения и погрешности метода расчета				Отклонения от экспериментальных данных	
Диапазон применения	ρ_c, кг/м^3	p, МПа	$\delta_м$, %	$\delta_{сист}$, %	$\delta_{ст}$, %
20 ≤ H, МДж/м^3 ≤ 48 0,66 ≤ ρ_c, кг/м^3 ≤ 1,05 0 ≤ x_a ≤ 0,20 0 ≤ x_y ≤ 0,20 250 ≤ T, K ≤ 350 0,1 ≤ p, МПа ≤ 7,5	От 0,66 до 0,70 включ.	От 0,1 до 3,0 включ.	0,11	0,002	0,02
		Св. 3,0 до 7,5 включ.	0,16	0,01	0,06
	Св. 0,70 до 0,75 включ.	От 0,1 до 3,0 включ.	0,13	–0,005	0,04
		Св. 3,0 до 7,5 включ.	0,17	–0,005	0,07
	Св. 0,75 до 1,05 включ.	От 0,1 до 3,0 включ.	0,12	0,006	0,03
		Св. 3,0 до 7,5 включ.	0,16	–0,005	0,06

Примечания

1 Оценка значений погрешностей метода расчета коэффициента сжимаемости и плотности выполнена в соответствии с А.1 (приложение А).

2 H — высшая теплота сгорания, рассчитанная по ГОСТ 31369 или по следующей формуле:

$$H = 92{,}819(0{,}51447\rho_c + 0{,}05603 - 0{,}65689x_a - x_y).$$

3 $\delta_м$ — погрешность метода расчета коэффициента сжимаемости и плотности.

4 $\delta_{сист}$ и $\delta_{ст}$ — соответственно систематическое и стандартное отклонения расчетных значений коэффициента сжимаемости от экспериментальных данных.

4.3.2 Погрешности расчета коэффициента сжимаемости (δ_z) и плотности (δ_ρ) по уравнению состояния (1) с учетом погрешности измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода (исходных данных для расчета) вычисляют по формулам:

$$\delta_z = \left(\delta_м^2 + \delta_{z\,ид}^2\right)^{0,5}, \quad (28)$$

$$\delta_\rho = \left(\delta_м^2 + \delta_{\rho\,ид}^2\right)^{0,5}, \quad (29)$$

где $\delta_м$ — погрешность метода расчета коэффициента сжимаемости и плотности, значения которой приведены в таблице 1;

$\delta_{zид}$ — погрешность расчета коэффициента сжимаемости, которая появляется дополнительно в связи с погрешностью измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода;

$\delta_{ρид}$ — погрешность расчета плотности, которая появляется дополнительно в связи с погрешностью измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода.

Формулы расчета $\delta_{zид}$ и $\delta_{ρид}$ приведены в А.3 (приложение А).

5 Определение показателя адиабаты

5.1 Показатель адиабаты применяют при расчете коэффициента расширения природного газа.

5.2 Показатель адиабаты зависит от параметров состояния газа (давления и температуры), а в случае природного газа и от его компонентного состава.

5.3 Показатель адиабаты природного газа вычисляют по формуле Кобза [2], которая имеет следующий вид:

$$k = 1{,}556(1 + 0{,}074\,x_a) \cdot 3{,}9 \cdot 10^{-4}\,T(1 - 0{,}68x_a) \cdot 0{,}208\rho_c + \\ + (p/T)^{1{,}43}\left[384(1 - x_a)(p/T)^{0{,}8} + 26{,}4x_a\right], \quad (30)$$

где x_a — молярная доля азота.

5.4 Диапазон применения и погрешности метода расчета показателя адиабаты по формуле (30) приведены в таблице 2.

5.5 Погрешность расчета показателя адиабаты (δ_k) с учетом погрешности измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях и молярных долей азота (исходных данных для расчета) вычисляют по формуле

$$\delta_k = (\delta_м^2 + \delta_{кид}^2)^{0{,}5}, \quad (31)$$

где $\delta_м$ — погрешность метода расчета показателя адиабаты, значения которой приведены в таблице 2;

$\delta_{кид}$ — погрешность расчета показателя адиабаты, которая появляется дополнительно в связи с погрешностью измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях и молярных долей азота.

Формулы расчета $\delta_{кид}$ приведены в А.3 (приложение А).

Таблица 2 — Диапазон применения и погрешности метода расчета показателя адиабаты

Диапазон применения и погрешности метода расчета				Отклонения от данных ГОСТ 30319.3	
Диапазон применения	T, K	p, МПа	$\delta_м$, %	$\delta_{сист}$, %	$\delta_{ст}$, %
20 ≤ H, МДж/м³ ≤ 48 0,66 ≤ ρ_c, кг/м³ ≤ 1,05 0 ≤ x_a ≤ 0,20 0 ≤ x_y ≤ 0,20 250 ≤ T, K ≤ 350 0,1 ≤ p, МПа ≤ 7,5	От 250 до 260 включ.	От 0,1 до 6,0 включ.	2,5	–0,17	1,2
		Св. 6,0 до 7,5 включ.	4,9	–1,3	2,2
	Св. 260 до 350 включ.	От 0,1 до 7,5 включ.	2,5	–0,49	1,2

Примечания

1 Оценка значений погрешностей метода расчета показателя адиабаты выполнена в соответствии с А.2 (приложение А).

2 H — высшая теплота сгорания, рассчитанная по ГОСТ 31369 или по следующей формуле:

$$H = 92{,}819(0.51447\rho_c + 0{,}05603 - 0{,}65689x_a - x_y).$$

3 $\delta_м$ — погрешность метода расчета показателя адиабаты.

4 $\delta_{сист}$ и $\delta_{ст}$ — соответственно систематическое и стандартное отклонения расчетных значений показателя адиабаты от данных, рассчитанных (полученных) по методу ГОСТ 30319.3.

6 Определение скорости звука

6.1 Скорость звука применяют при определении поправочного множителя показаний вибрационных плотномеров и при контроле точности результатов измерений расхода природного газа ультразвуковыми преобразователями расхода.

6.2 Скорость звука зависит от параметров состояния газа (давления и температуры), а в случае природного газа и от его компонентного состава.

6.3 Скорость звука вычисляют по формуле

$$u = 18{,}591\left(\frac{Tkz}{z_c \rho_c}\right)^{0{,}5}. \qquad (32)$$

Входящие в правую часть формулы (32) свойства рассчитывают:

- показатель адиабаты — по формуле (30);
- коэффициент сжимаемости — по методу раздела 4;
- коэффициент сжимаемости при стандартных условиях — по формуле (18).

Формула (32) получена из уравнений термодинамики для скорости звука и показателя адиабаты [3].

6.4 Диапазон применения и погрешности метода расчета скорости звука по формуле (32) приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Диапазон применения и погрешности метода расчета скорости звука

Диапазон применения и погрешности метода расчета				Отклонения от данных ГОСТ 30319.3	
Диапазон применения	T, K	p, МПа	$\delta_м$, %	$\delta_{сист}$, %	$\delta_{ст}$, %
$20 \le H$, МДж/м$^3 \le 48$ $0{,}66 \le \rho_c$, кг/м$^3 \le 1{,}05$ $0 \le x_a \le 0{,}20$ $0 \le x_y \le 0{,}20$ $250 \le T$, K ≤ 350 $0{,}1 \le p$, МПа $\le 7{,}5$	От 250 до 260 включ.	От 0,1 до 6,0 включ.	1,3	–0,06	0,63
		Св. 6,0 до 7,5 включ.	2,7	–0,62	1,2
	Св. 260 до 350 включ.	От 0,1 до 7,5 включ.	1,3	–0,25	0,61

Примечания

1 Оценка значений погрешностей метода расчета скорости звука выполнена в соответствии с А.2 (приложение А).

2 H — высшая теплота сгорания, рассчитанная по ГОСТ 31369 или по следующей формуле:

$$H = 92{,}819(0{,}51447\rho_c + 0{,}05603 - 0{,}65689x_a - x_y).$$

3 $\delta_м$ — погрешность метода расчета скорости звука.

4 $\delta_{сист}$ и $\delta_{ст}$ — соответственно систематическое и стандартное отклонения расчетных значений скорости звука от данных, рассчитанных (полученных) по методу ГОСТ 30319.3.

6.5 Погрешность расчета скорости звука (δ_u) с учетом погрешности измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода (исходных данных для расчета) вычисляют по формуле

$$\delta_u = (\delta_м^2 + \delta_{uид}^2)^{0{,}5}, \qquad (33)$$

где $\delta_м$ — погрешность метода расчета скорости звука, значения которой приведены в таблице 3;

$\delta_{uид}$ — погрешность расчета скорости звука, которая появляется дополнительно в связи с погрешностью измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода.

Формулы расчета $\delta_{uид}$ приведены в А.3 (приложение А).

7 Определение коэффициента динамической вязкости

7.1 Вязкость применяют для вычисления числа Рейнольдса, которое является одной из важнейших характеристик течения вязкой среды и определяется отношением инерционных сил к силам вязкости. Число Рейнольдса применяют для определения коэффициента истечения.

7.2 Вязкость природного газа рассчитывают по формуле

$$\mu = \frac{3{,}24\left(T^{0{,}5} + 1{,}37 - 9{,}09\rho_c^{0{,}125}\right)}{\rho_c^{0{,}5} + 2{,}08 - 1{,}5(x_a + x_y)}\left[1 + \frac{p_r^2}{30(T_r - 1)}\right], \quad (34)$$

где x_a — молярная доля азота;

x_y — молярная доля диоксида углерода;

p_r и T_r — приведенные давление и температура соответственно.

Приведенные давление и температуру вычисляют по формулам:

$$p_r = p / p_{пк}, \quad (35)$$

$$T_r = T / T_{пк}, \quad (36)$$

где $p_{пк}$ и $T_{пк}$ — псевдокритические давление в МПа и температура в К, которые рассчитывают по формулам:

$$p_{пк} = 2{,}9585(1{,}608 - 0{,}05994\rho_c + x_y - 0{,}392x_a), \quad (37)$$

$$T_{пк} = 88{,}25(0{,}9915 + 1{,}759\rho_c - x_y - 1{,}681x_a). \quad (38)$$

7.3 Диапазон применения и погрешности метода расчета вязкости по формуле (34) приведены в таблице 4.

Таблица 4 — Диапазон применения и погрешности метода расчета вязкости

Диапазон применения и погрешности метода расчета			Отклонения от данных ГОСТ 30319.3	
Диапазон применения	p, МПа	$\delta_м$, %	$\delta_{сист}$, %	$\delta_{ст}$, %
$20 \le H$, МДж/м$^3 \le 48$ $0{,}66 \le \rho_c$, кг/м$^3 \le 1{,}05$ $0 \le x_a \le 0{,}20$ $0 \le x_y \le 0{,}20$ $250 \le T$, К ≤ 350 $0{,}1 \le p$, МПа $\le 7{,}5$	От 0,1 до 1,0 включ.	5,6	–3,1	2,3
	Св. 1,0 до 7,5 включ.	6,7	–4,2	2,2

Примечания

1 Оценка значений погрешностей метода расчета вязкости выполнена в соответствии с А.2 (приложение А).

2 H — высшая теплота сгорания, рассчитанная по ГОСТ 31369 или по следующей формуле:

$$H = 92{,}819(0{,}51447\rho_c + 0{,}05603 - 0{,}65689x_a - x_y).$$

3 $\delta_м$ — погрешность метода расчета вязкости.

4 $\delta_{сист}$ и $\delta_{ст}$ — соответственно систематическое и стандартное отклонения расчетных значений вязкости от данных, рассчитанных (полученных) по методу ГОСТ 30319.3.

7.4 Погрешность расчета вязкости (δ_μ) с учетом погрешности измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода (исходных данных для расчета) вычисляют по формуле

$$\delta_\mu = (\delta_м^2 + \delta_{\mu ид}^2)^{0{,}5}, \quad (39)$$

где $\delta_м$ — погрешность метода расчета вязкости, значения которой приведены в таблице 4;

$\delta_{\mu ид}$ — погрешность расчета вязкости, которая появляется дополнительно в связи с погрешностью измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода.

Формулы расчета $\delta_{\mu ид}$ приведены в А.3 (приложение А).

Примеры расчета физических свойств природного газа по представленным в стандарте методам приведены в приложении Б.

Приложение А
(обязательное)

Оценка погрешностей методов расчета физических свойств природного газа

А.1 Погрешность метода расчета коэффициента сжимаемости и плотности

Погрешность метода расчета коэффициента сжимаемости вычисляют по формуле

$$\delta_м = \left[\delta^2_{сист} + \left(2\delta_{ст}\right)^2 + \delta^2_{эксп} \right]^{0,5}, \quad (А.1)$$

где $\delta_{сист}$ — систематическое отклонение расчетных значений коэффициента сжимаемости от экспериментальных данных;

$\delta_{ст}$ — стандартное отклонение расчетных значений коэффициента сжимаемости от экспериментальных данных;

$\delta_{эксп}$ — погрешность экспериментальных данных (0,1 %).

Систематическое и стандартное отклонения рассчитывают по следующим формулам:

$$\delta_{сист} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\delta_i, \quad (А.2)$$

$$\delta_{ст} = \left[\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(\delta_i - \delta_{сист}\right)^2 \right]^{0,5}, \quad (А.3)$$

где N — число экспериментальных данных;

δ_i — отклонение расчетного значения коэффициента сжимаемости от его экспериментального значения в i-й точке экспериментальных данных, которое рассчитывают по формуле

$$\delta_i = 100 \left[\frac{z_{расч,i} - z_{эксп,i}}{z_{эксп,i}} \right] \quad (i = 1, 2, ..., N-1, N), \quad (А.4)$$

где $z_{расч,i}$ и $z_{эксп,i}$ — соответственно расчетное и экспериментальное значения коэффициента сжимаемости в i-й точке экспериментальных данных.

Примечание — Численно значения погрешности метода расчета коэффициента сжимаемости и плотности равны.

А.2 Погрешности методов расчета показателя адиабаты, скорости звука и коэффициента динамической вязкости

Значения погрешностей рассчитаны по формуле

$$\delta_м = \left[\delta^2_{сист} + \left(2\delta_{ст}\right)^2 + \delta^2_{ГОСТ} \right]^{0,5}, \quad (А.5)$$

где $\delta_{сист}$ — систематическое отклонение расчетных значений показателя адиабаты, скорости звука и вязкости от данных, рассчитанных (полученных) по методу ГОСТ 30319.3;

$\delta_{ст}$ — стандартное отклонение расчетных значений показателя адиабаты, скорости звука и вязкости от данных, полученных по методу ГОСТ 30319.3;

$\delta_{ГОСТ}$ — погрешность данных, полученных по методу ГОСТ 30319.3, о показателе адиабаты, скорости звука и вязкости.

Систематическое и стандартное отклонения рассчитаны по формулам (А.2) и (А.3) соответственно, за исключением вычисления отклонения расчетного значения показателя адиабаты, скорости звука и вязкости от их значений в i-й точке полученных по методу ГОСТ 30319.3 данных (δ_i), которые рассчитывают по следующим формулам:

$$\delta_i = 100 \left[\frac{k_{расч,i} - k_{ГОСТ,i}}{k_{ГОСТ,i}} \right] \quad (i = 1, 2, ..., N-1, N), \quad (А.6)$$

$$\delta_i = 100 \left[\frac{u_{расч,i} - u_{ГОСТ,i}}{u_{ГОСТ,i}} \right] \quad (i = 1, 2, ..., N-1, N), \quad (А.7)$$

$$\delta_i = 100 \left[\frac{\mu_{расч,i} - \mu_{ГОСТ,i}}{\mu_{ГОСТ,i}} \right] \quad (i = 1, 2, ..., N-1, \mathbf{N}), \qquad (А.8)$$

где $k_{расч,i}$ и $k_{ГОСТ,i}$ — соответственно расчетное значение показателя адиабаты и его значение, полученное по методу ГОСТ 30319.3;

$u_{расч,i}$ и $u_{ГОСТ,i}$ — соответственно расчетное значение скорости звука и ее значение, полученное по методу ГОСТ 30319.3;

$\mu_{расч,i}$ и $\mu_{ГОСТ,i}$ — соответственно расчетное значение вязкости и ее значение, полученное по методу ГОСТ 30319.3;

N — число данных, полученных по методу ГОСТ 30319.3.

А.3 Расчет дополнительных погрешностей методов расчета коэффициента сжимаемости, плотности, показателя адиабаты, скорости звука и коэффициента динамической вязкости

А.3.1 Погрешности расчета коэффициента сжимаемости ($\delta_{zид}$), плотности ($\delta_{ρид}$), показателя адиабаты ($\delta_{kид}$), скорости звука ($\delta_{uид}$) и вязкости ($\delta_{μид}$), которые появляются дополнительно в связи с погрешностью измерения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода, вычисляют по следующим формулам:

$$\delta_{zид} = \frac{100}{z} \left[\sum_{k=1}^{5} \left(z_{q_k+} - z_{q_k} \right)^2 \right]^{0,5}, \qquad (А.9)$$

$$\delta_{ρид} = \frac{100}{\rho} \left[\sum_{k=1}^{5} \left(\rho_{q_k+} - \rho_{q_k} \right)^2 \right]^{0,5}, \qquad (А.10)$$

$$\delta_{kид} = \frac{100}{k} \left[\sum_{k=1}^{5} \left(k_{q_k+} - k_{q_k} \right)^2 \right]^{0,5}, \qquad (А.11)$$

$$\delta_{uид} = \frac{100}{u} \left[\sum_{k=1}^{5} \left(u_{q_k+} - u_{q_k} \right)^2 \right]^{0,5}, \qquad (А.12)$$

$$\delta_{μид} = \frac{100}{\mu} \left[\sum_{k=1}^{5} \left(\mu_{q_k+} - \mu_{q_k} \right)^2 \right]^{0,5}, \qquad (А.13)$$

где q_k — условное обозначение k-го параметра применяемых для расчета исходных данных, т. е. измеренные значения давления ($p_и$), температуры ($T_и$), плотности при стандартных условиях ($ρ_{си}$), молярных долей азота ($x_{аи}$) и диоксида углерода ($x_{уи}$) природного газа;

z, ρ, k, u и μ — соответственно коэффициент сжимаемости, плотность, показатель адиабаты, скорость звука и вязкость, значения которых рассчитывают при измеренных значениях давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода природного газа;

z_{q_k+}, ρ_{q_k+}, k_{q_k+}, u_{q_k+} и μ_{q_k+} — соответственно коэффициент сжимаемости, плотность, показатель адиабаты, скорость звука и вязкость, алгоритм расчета которых приведен в А.3.2;

z_{q_k}, ρ_{q_k}, k_{q_k}, u_{q_k} и μ_{q_k} — соответственно коэффициент сжимаемости, плотность, показатель адиабаты, скорость звука и вязкость, алгоритм расчета которых приведен в А.3.2.

А.3.2 Ниже приведен алгоритм расчета значений коэффициента сжимаемости (z_{q_k+} и z_{q_k}). Расчет аналогичных значений плотности (ρ_{q_k+} и ρ_{q_k}), показателя адиабаты (k_{q_k+} и k_{q_k}), скорости звука (u_{q_k+} и u_{q_k}) и вязкости (μ_{q_k+} и μ_{q_k}) осуществляют так же, как и для коэффициента сжимаемости z_{q_k+} и z_{q_k}.

Значения коэффициента сжимаемости z_{q_k+} рассчитывают:

- для k = 1 при $p_{и+}$, $T_и$, $ρ_{си}$, $x_{аи}$ и $x_{уи}$,
- для k = 2 при $p_и$, $T_{и+}$, $ρ_{си}$, $x_{аи}$ и $x_{уи}$,
- для k = 3 при $p_и$, $T_и$, $ρ_{си+}$, $x_{аи}$ и $x_{уи}$,
- для k = 4 при $p_и$, $T_и$, $ρ_{си}$, $x_{аи+}$ и $x_{уи}$,
- для k = 5 при $p_и$, $T_и$, $ρ_{си}$, $x_{аи}$ и $x_{уи+}$.

Значения коэффициента сжимаемости z_{q_k} рассчитывают:

- для k = 1 при $p_{и-}$, $T_и$, $\rho_{си}$, $x_{аи}$ и $x_{уи}$,
- для k = 2 при $p_и$, $T_{и-}$, $\rho_{си}$, $x_{аи}$ и $x_{уи}$,
- для k = 3 при $p_и$, $T_и$, $\rho_{си-}$, $x_{аи}$ и $x_{уи}$,
- для k = 4 при $p_и$, $T_и$, $\rho_{си}$, $x_{аи-}$ и $x_{уи}$,
- для k = 5 при $p_и$, $T_и$, $\rho_{си}$, $x_{аи}$ и $x_{уи-}$.

При этом значения давления, температуры, плотности при стандартных условиях, молярных долей азота и диоксида углерода с нижними индексами, включающими плюс и минус, рассчитывают по формулам:

$$p_{и+} = p_и(1 + 0{,}005\delta_p), \quad (A.14)$$

$$p_{и-} = p_и(1 - 0{,}005\delta_p), \quad (A.15)$$

$$T_{и+} = T_и(1 + 0{,}005\delta_t), \quad (A.16)$$

$$T_{и-} = T_и(1 - 0{,}005\delta_t), \quad (A.17)$$

$$\rho_{си+} = \rho_{си}(1 + 0{,}005\delta_{рс}), \quad (A.18)$$

$$\rho_{си-} = \rho_{си}(1 - 0{,}005\delta_{рс}), \quad (A.19)$$

$$x_{аи+} = x_{аи}(1 + 0{,}005\delta_{ха}), \quad (A.20)$$

$$x_{аи-} = x_{аи}(1 - 0{,}005\delta_{ха}), \quad (A.21)$$

$$x_{уи+} = x_{уи}(1 + 0{,}005\delta_{ху}), \quad (A.22)$$

$$x_{уи-} = x_{уи}(1 - 0{,}005\delta_{ху}), \quad (A.23)$$

где δ_p, δ_T, $\delta_{рс}$, $\delta_{ха}$ и $\delta_{ху}$ — соответственно погрешности измерения $p_и$, $T_и$, $\rho_{си}$, $x_{аи}$ и $x_{уи}$, численные значения которых определяют в соответствии с применяемыми методиками или средствами их измерений.

Приложение Б
(справочное)

Примеры расчета физических свойств природного газа

Б.1 Примеры расчета рекомендуется использовать в качестве тестовых данных при программной реализации методов расчета физических свойств природного газа, которые даны в настоящем стандарте.

Б.2 Примеры расчета приведены в форме таблиц. При этом в таблице Б.1 даны исходные данные для расчета физических свойств смесей, имитирующих природный газ, а в таблицах Б.2 и Б.3 приведены расчетные значения физических свойств этих смесей при соответствующих температурах и давлениях.

Таблица Б.1 — Исходные данные для расчета физических свойств смесей, имитирующих природный газ

Исходные данные	Смеси	
	№ 1	№ 2
Плотность при стандартных условиях, кг/м^3	0,7000	0,8263
Молярная доля азота	0,003	0,057
Молярная доля диоксида углерода	0,006	0,076

Таблица Б.2 — Расчетные значения физических свойств для смеси № 1

T, K	p, МПа	ρ, кг/м^3	z	u, м/с	κ	μ, мкПа · с
250,00	0,1	0,8112	0,9966	402,4	1,314	9,47
300,00	0,1	0,6749	0,9982	437,9	1,294	11,16
350,00	0,1	0,5780	0,9990	469,6	1,275	12,71
250,00	2,0	17,368	0,9310	390,1	1,322	9,68
300,00	2,0	13,983	0,9636	431,1	1,299	11,29
350,00	2,0	11,784	0,9801	465,8	1,278	12,80
250,00	5,0	49,146	0,8225	374,1	1,376	10,77
300,00	5,0	36,947	0,9117	425,1	1,336	11,96
350,00	5,0	30,287	0,9533	464,0	1,304	13,32
250,00	7,5	82,728	0,7329	364,8	1,468	12,40
300,00	7,5	57,885	0,8729	425,4	1,397	12,96
350,00	7,5	46,341	0,9346	467,0	1,348	14,10

Таблица Б.3 — Расчетные значения физических свойств для смеси № 2

T, K	p, МПа	ρ, кг/м^3	z	w, м/с	κ	μ, мкПа · с
250,00	0,1	0,9576	0,9964	368,0	1,297	9,65
300,00	0,1	0,7967	0,9980	400,6	1,278	11,40
350,00	0,1	0,6823	0,9989	429,6	1,260	13,01
250,00	2,0	20,621	0,9254	355,9	1,306	9,88
300,00	2,0	16,550	0,9608	394,0	1,285	11,54

Окончание таблицы Б.3

T, K	p, МПа	ρ, кг/м^3	z	w, м/с	к	μ, мкПа с
350,00	2,0	13,932	0,9784	426,0	1,264	13,11
250,00	5,0	59,222	0,8055	339,0	1,362	11,08
300,00	5,0	43,950	0,9045	387,8	1,322	12,24
350,00	5,0	35,904	0,9491	424,0	1,291	13,65
250,00	7,5	101,70	0,7036	327,3	1,453	12,88
300,00	7,5	69,162	0,8622	387,2	1,383	13,30
350,00	7,5	55,056	0,9284	426,3	1,334	14,45

Библиография

[1] ISO 12213-3:2006 Natural gas — Calculation of compression factor — Part 3: Calculation using physical properties (Газ природный. Расчет коэффициента сжимаемости. Часть 3. Расчет на основе физических характеристик)

[2] Кобза З., Добровольски Б., Гонтарек Я. (Польская высшая инженерная школа) Анализ влияния неточности определения показателя адиабаты природных газов на погрешность расчета расхода

[3] Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. М.: Энергия, 1977. 248 с

УДК 662.76.001.4:006.354 МКС 75.060

Ключевые слова: газ природный, методы расчета, физические свойства, плотность, коэффициент сжимаемости, показатель адиабаты, скорость звука, коэффициент динамической вязкости, диапазон применения, погрешности расчета

Редактор *Е.И. Мосур*
Технические редакторы *В.Н. Прусакова, И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.М. Поляченко*
Компьютерная верстка *Л.В. Софейчук*

Сдано в набор 09.09.2019. Подписано в печать 25.09.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

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