



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
XXXXX –
20__
(проект, RU)

ГАЗ ГОРЮЧИЙ ПРИРОДНЫЙ
Определение метанового числа

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

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»

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации «Природный и сжиженные газы» (МТК 52)

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от «__» _____ 20__ г. №__)

За принятие стандарта проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Азербайджан	AZ	Азстандарт
Армения	AM	Минэкономки Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Грузия	GE	Грузстандарт
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Молдова	MD	Институт стандартизации Молдовы
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Туркменистан	TM	Главгосслужба «Туркменстандартлары»
Узбекистан	UZ	Узстандарт
Украина	UA	Минэкономразвития Украины

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «__» _____ 20__ г. №__ межгосударственный стандарт ГОСТ XXXXX-20__ введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с «__» _____ 20__ г.

5 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений приложения А европейского стандарта EN 16726:2015+A1:2018 Gas infrastructure - Quality of gas - Group H, Annex A, NEQ).

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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, 20__

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

Содержание

Введение.....	
1 Область применения.....	
2 Нормативные ссылки.....	
3 Термины и определения.....	
4 Сущность метода расчета метанового числа.....	
5 Алгоритм расчета метанового числа.....	
6 Метрологические характеристики (показатели точности) метода расчета метанового числа.....	
7 Оформление результатов расчета метанового числа.....	
Приложение А (справочное) Примеры расчета метанового числа.....	
Библиография.....	

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГАЗ ГОРЮЧИЙ ПРИРОДНЫЙ

Определение метанового числа

Natural combustible gas.
Determination of methane number

Дата введения – 20__ – 00 – 00

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на природный газ, используемый в качестве моторного топлива для двигателей внутреннего сгорания, и устанавливает требования к методу вычисления метанового числа на основе известного компонентного состава.

1.2 Метод вычисления метанового числа, приведенный в настоящем стандарте, может быть использован при разработке программного обеспечения.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

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

ГОСТ XXXXX Газ горючий природный. Стандартные условия

П р и м е ч а н и е – 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 ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 природный (горючий) газ; ПГ: Газообразная смесь, добытая из всех видов месторождений (залежей) углеводородного сырья, состоящая из метана и более тяжелых углеводородов, азота, диоксида углерода, водяных паров, серосодержащих соединений, инертных газов.

Примечания

1 Метан является основным компонентом ПГ.

2 ПГ может содержать следовые количества других компонентов.

3.2 моторное топливо: Жидкое или газообразное горючее, используемое в качестве топлива в двигателях.

Примечания

1 Моторное топливо может быть получено путем переработки нефти, природного газа, газового конденсата, сланцевого газа, биогаза, искусственных газов, растительных масел, спиртов и т.д.

2 Моторное топливо используется в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания, в том числе газотурбинных и реактивных, включая стационарные двигатели, а также в других типах двигателей.

3.3 газовое моторное топливо; ГМТ: Моторное топливо, которое при нормальных атмосферных условиях находится в газообразном состоянии.

Примечание – К газовому моторному топливу относятся сжиженный природный газ (СПГ), компримированный природный газ (КПГ), сжиженные углеводородные газы (СУГ), водород и др.

3.4 сжиженный природный газ; СПГ: Природный газ, переведенный после специальной подготовки в жидкое состояние с целью его транспортирования, хранения и использования.

Примечания

1 СПГ регазифицируют и подают в газопроводы для транспортирования и распределения.

2 СПГ используют в качестве газового моторного топлива.

3.5 компримированный природный газ; КПГ: Природный газ, прошедший специальную подготовку для использования в качестве моторного топлива и сжатый до рабочих давлений хранения и потребления с целью значительного снижения его объема.

3.6 **метановое число**; МЧ: Показатель, характеризующий детонационную стойкость газового моторного топлива, численно равный объемному процентному содержанию метана в смеси с водородом, при котором эта смесь эквивалентна по детонационной стойкости исследуемому топливу в стандартных условиях испытаний.

3.7 **коэффициент сжимаемости (природного газа)**: Отношение реального объема определенного количества природного газа при определенных значениях давления и температуры к его объему при тех же условиях, вычисленному по уравнению состояния идеального газа.

4 Сущность метода расчета метанового числа

4.1 Метод вычисления метанового числа, приведенный в настоящем стандарте, основан на оригинальных данных исследовательской программы, выполненной AVL Deutschland GmbH для FVV, с учетом поправок, принятых MWM GmbH и опубликованных для широкого применения в EN 16726:2016, Приложение А [1].

Настоящий стандарт применяют для вычисления метанового числа природного газа, состав которого известен (как правило, в молярных долях) и содержание компонентов ограничено диапазонами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Компоненты природного газа и диапазоны значений молярной доли компонентов для вычислений МЧ в соответствии с настоящим стандартом

Наименование компонента	Диапазоны значений молярной доли компонента, %
Метан	От 40 до 99,97 включ.
Этан	От 0,01 до 15 включ.
Пропан	От 0,01 до 6 включ.
<i>i</i> -Бутан	От 0,001 до 4 включ.
<i>n</i> -Бутан	От 0,001 до 4 включ.
<i>нео</i> -Пентан	От 0,001 до 0,05 включ.
<i>i</i> -Пентан	От 0,001 до 2 включ.
<i>n</i> -Пентан	От 0,001 до 2 включ.
Углеводороды C ₆₊	От 0,001 до 1,5 включ.
Диоксид углерода	От 0,005 до 10 включ.
Азот	От 0,005 до 15 включ.
Примечание – Молярные доли кислорода, гелия, водорода, водяных паров и прочих компонентов, не указанных в данной таблице, не учитывают.	

4.2 Вычисление метанового числа природного газа на основе его компонентного состава выполняют в пять этапов:

а) компонентный состав природного газа упрощают путем его преобразования в смесь, включающую только метан, этан, пропан и бутаны (упрощенная смесь); пентаны и углеводороды с числом атомов углерода более 5 (C_{6+}) включают в бутаны в соответствии с алгоритмом, приведенным в 5.2.

б) упрощенную смесь далее разделяют на трехкомпонентные смеси, которые выбирают в установленном порядке до тех пор, пока все компоненты упрощенной смеси не будут представлены как минимум в двух трехкомпонентных смесях;

в) корректируют доли компонентов выбранных трехкомпонентных смесей, чтобы минимизировать разницу между метановыми числами, вычисленными для этих смесей;

г) рассчитывают метановое число упрощенной смеси как средневзвешенное значение метановых чисел, вычисленных в соответствии с требованием перечисления в);

д) вычисляют метановое число газомоторного топлива, делая поправку к метановому числу упрощенной смеси в связи наличием азота и диоксида углерода в исходном составе природного газа.

5 Алгоритм расчета метанового числа

5.1 Исходными данными для вычисления метанового числа природного газа, используемого в качестве газомоторного топлива, являются объемные доли компонентов природного газа $\{r_i\}$, которые вычисляют по следующей формуле:

$$r_i = \frac{100 \cdot x_i z_{ci}}{\sum_{i=1}^N x_i z_{ci}}, \quad i = 1, 2, \dots, N - 1, N, \quad (1)$$

где x_i – молярная доля i -го компонента природного газа, которую измеряют по методике ГОСТ 31371.7, %;

z_{ci} – коэффициент сжимаемости i -го компонента природного газа при стандартных условиях по ГОСТ XXXXX, значение которого приведено в таблице 2;

N – число компонентов природного газа.

Таблица 2 – Значения коэффициента сжимаемости компонентов природного газа при стандартных условиях

Наименование компонента	Z _{ci}
Метан	0,9981
Этан	0,9920
Пропан	0,9829
<i>и</i> -Бутан	0,9720
<i>н</i> -Бутан	0,9681
<i>нео</i> -Пентан	0,9608
<i>и</i> -Пентан	0,9521
<i>н</i> -Пентан	0,9473
Углеводороды C ₆₊	0,9155
Диоксид углерода	0,9947
Азот	0,9998

Примечание – Приведенные значения коэффициента сжимаемости компонентов природного газа при стандартных условиях вычислены по формуле (1) стандарта [2].

5.2 Исходный состав природного газа, используемого в качестве газомоторного топлива, упрощают до четырехкомпонентной смеси (метан-этан-пропан-бутаны), при этом в объемную долю бутанов (r_{C4+}) включают *нео*-пентан, *и*-пентан, *н*-пентан и углеводороды C₆₊, вычисляя ее по следующей формуле:

$$r_{C4+} = r_{nC4} + r_{uC4} + 2,3 \cdot (r_{неоC5} + r_{uC5} + r_{nC5}) + 5,3 \cdot r_{C6+}, \quad (2)$$

где r_{nC4} , r_{uC4} , $r_{неоC5}$, r_{uC5} , r_{nC5} и r_{nC6+} – объемные доли *н*-бутана, *и*-бутана, *нео*-пентана, *и*-пентана, *н*-пентана и углеводородов C₆₊ в исходном составе природного газа, соответственно, %.

Объемные доли $\{r_i\}$ компонентов упрощенного состава природного газа (упрощенной смеси) нормируют по формуле

$$r_i^H = \frac{100 \cdot r_i}{\sum_{i=1}^4 r_i}, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (3)$$

где $\{r_i^H\}$ – нормированные значения объемных долей компонентов упрощенной смеси, %.

5.3 Упрощенную смесь разделяют на трехкомпонентные смеси следующего состава:

- пропан-этан-бутан (Mix 1);
- метан-этан-пропан (Mix 2);
- метан-пропан-бутан (Mix 3);
- метан-этан-бутан (Mix 4);

Для выбора трехкомпонентных смесей, на которые разделяют упрощенную смесь, надлежит использовать следующие критерии:

- каждый компонент упрощенной смеси должен быть представлен как минимум в двух трехкомпонентных смесях;
- из трехкомпонентных смесей Mix 1 – Mix 4 выбирают смесь с более высоким показателем соответствия (w_j), который вычисляют по формуле:

$$w_j = \sum_{i=1}^4 \frac{r_i^H r_{maxi}^j}{r_{\Sigma i}}, \quad j = 1, 2, 3, 4, \quad (4)$$

где r_i^H – нормированное значение объемной доли i -го компонента упрощенной смеси, %;

r_{maxi}^j – максимальное значение диапазона применимости¹ i -го компонента в j -ой трехкомпонентной смеси, %;

$r_{\Sigma i}$ – сумма максимальных значений диапазона применимости i -го компонента во всех смесях (кроме смеси метан-диоксид углерода-азот), приведенных в таблице 4 в соответствии с [1], %.

Таблица 3 – Максимальные значения диапазона применимости

Обозначение смеси	r_{maxi}^j , %			
	Пропан	Этан	Бутан	Метан
Mix1	100	100	100	–
Mix2	100	100	–	100
Mix3	100	–	100	100
Mix4	–	100	100	100

Таблица 4 – Сумма максимальных значений диапазона применимости

$r_{\Sigma i}$, %			
Пропан	Этан	Бутан	Метан
600	640	480	1000

¹ Диапазон применимости определен минимальным и максимальным значением объемной доли i -го компонента трехкомпонентной смеси, в пределах которых допускается изменение объемной доли этого компонента при расчете метанового числа j -ой трехкомпонентной смеси по формуле (6).

Получают начальные значения объемных долей компонентов выбранных трехкомпонентных смесей $\{r_{ij}\}$, распределяя поровну между компонентами этих смесей нормированные значения объемных долей компонентов упрощенной смеси $\{r_i^H\}$, и нормируют полученные значения $\{r_{ij}\}$ по формуле

$$r_{ij}^H = \frac{100 \cdot r_{ij}}{\sum_{i=1}^3 r_{ij}}, \quad j = 1, 2, \dots, N - 1, N, \quad (5)$$

где $\{r_{ij}^H\}$ – нормированные значения объемных долей компонентов выбранных трехкомпонентных смесей, %;

N – число выбранных трехкомпонентных смесей.

Рассчитывают начальные значения метанового числа выбранных трехкомпонентных смесей $\{MN_j\}$ по формуле

$$MN_j = \sum_{k=0}^7 \sum_{l=0}^6 a_{kl,j} (r_{1j}^H)^k (r_{2j}^H)^l, \quad j = 1, 2, \dots, N - 1, N, \quad (6)$$

где $a_{kl,j}$ – коэффициенты формулы расчета метанового числа, значения которых для выбранной j -ой смеси приведены в таблице 5;

r_{1j}^H – нормированное значение объемной доли первого компонента выбранной j -ой смеси, %;

r_{2j}^H – нормированное значение объемной доли второго компонента выбранной j -ой смеси.

5.4 Для вычисления метанового числа упрощенной смеси решают следующую систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{N-1} MN_j - MN_{j+1} = 0 \\ \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^3 \frac{r_{ij}}{100} - 1 = 0 \end{cases}, \quad (7)$$

где MN_j и MN_{j+1} – метановое число j -ой и $(j+1)$ -ой трехкомпонентной смеси, соответственно;

$\{r_{ij}\}$ – ненормированные значения объемных долей компонентов выбранных трехкомпонентных смесей, %.

∞ Таблица 5 – Коэффициенты формулы (6) для вычисления метанового числа

k	l	a _{kl} для смесей				
		Mix1 Пропан-Этан-Бутан	Mix2 Метан-Этан-Пропан	Mix3 Метан-Пропан-Бутан	Mix4 Метан-Этан-Бутан	Mix5 Метан-Диоксид углерода-Азот
0	0	1,0245130E+01	3,3539090E+01	1,0169140E+01	1,0777610E+01	2,9917430E+02
1	0	8,5906610E-02	-1,0282240E-01	4,3666120E-01	1,6474900E-01	-1,5119580E+01
0	1	1,4982130E-01	2,0683750E-01	3,8170960E-02	-1,4050070E-01	-3,1156360E-01
2	0	7,3843960E-03	2,3981410E-02	-8,7264540E-02	-5,1987300E-02	7,6359480E-01
1	1	9,5705040E-03	3,3161370E-03	-7,9478640E-03	-7,0448690E-03	4,5480690E-02
0	2	5,1369710E-03	-3,5536890E-03	1,0365010E-02	1,6154370E-02	1,1230410E-02
3	0	-1,0036620E-04	-9,5847460E-04	5,9397950E-03	3,9913150E-03	-2,3762630E-02
2	1	-2,0203270E-04	-2,4096040E-04	3,2678860E-04	1,4794820E-04	-7,8562940E-04
1	2	-4,5802770E-05	3,9418400E-05	2,3714910E-04	3,3848030E-04	6,5557090E-04
0	3	-5,6856150E-05	5,0018560E-05	-1,6152150E-04	-1,7546700E-04	-2,1468550E-03
4	0	4,1273050E-07	2,0052880E-05	-1,8541270E-04	-1,2774870E-04	4,3554940E-04
3	1	1,2511380E-06	3,4585100E-06	-3,3085860E-07	2,7564440E-06	3,8606680E-06
2	2	3,1147030E-07	8,0364540E-07	-4,9758630E-06	-4,0416670E-06	-1,3816990E-06
1	3	-3,1401570E-07	-4,3338760E-07	-8,7822910E-07	-1,9710210E-06	-7,9339020E-06
0	4	2,4039480E-07	-2,5042560E-07	7,7408400E-07	6,0752130E-07	6,6993640E-05
5	0	0,0000000E+00	-2,1154170E-07	2,9565980E-06	2,0157030E-06	-4,6077260E-06
6	0	0,0000000E+00	9,0540200E-10	-2,3370740E-08	-1,5580170E-08	2,6105700E-08
7	0	0,0000000E+00	0,0000000E+00	7,3223480E-11	4,7976930E-11	-6,1439140E-11
0	5	0,0000000E+00	0,0000000E+00	0,0000000E+00	0,0000000E+00	-8,3693870E-07
0	6	0,0000000E+00	0,0000000E+00	0,0000000E+00	0,0000000E+00	3,9280730E-09

Для решения системы уравнений (7) корректируют начальные значения объемных долей компонентов выбранных трехкомпонентных смесей $\{r_{ij}\}$, используя любой итерационный метод решения систем нелинейных уравнений². На каждом шаге итерационного процесса решения системы уравнений (7) корректируемые значения $\{r_{ij}\}$ нормируют по формуле (5) и вычисляют метановые числа выбранных трехкомпонентных смесей по формуле (6). При этом в соответствии с выбранным методом решения системы уравнений (7) корректируют только часть значений объемных долей компонентов, т.к. остальные корректируемые значения этих долей рассчитывают из системы уравнений материального баланса:

$$r_{iN} = r_i^H - \sum_{\substack{j=1 \\ (r_{ij} \neq 0)}}^{N-1} r_{ij} , \quad i = 1, 2, 3, 4 , \quad (8)$$

где N – число выбранных трехкомпонентных смесей;

$\{r_{ij}\}$ – ненормированные значения объемных долей компонентов выбранных трехкомпонентных смесей, %;

$\{r_i^H\}$ – нормированные значения объемных долей компонентов упрощенной смеси, %.

5.5 После решения системы уравнений (7) рассчитывают метановое число упрощенной смеси ($MN_{см}$) по следующим формулам:

$$MN_{см} = \sum_{j=1}^N S_j \cdot MN_j , \quad (9)$$

$$S_j = \sum_{i=1}^3 \frac{r_{ij}}{100} , \quad (10)$$

где N – число выбранных трехкомпонентных смесей;

MN_j – метановое число j-ой трехкомпонентной смеси;

$\{r_{ij}\}$ – ненормированные значения объемных долей компонентов выбранных трехкомпонентных смесей, %.

5.6 Метановое число газомоторного топлива (MN_T) рассчитывают по формуле

$$MN_m = MN_{см} + MN_{Mix5} - 100 , \quad (11)$$

где $MN_{см}$ – метановое число упрощенной смеси;

MN_{Mix5} – метановое число смеси метан-диоксид углерода-азот.

Метановое число MN_{Mix5} рассчитывают по формуле

² Например, при использовании приложения Microsoft Excel можно воспользоваться надстройкой «Поиск решения» на вкладке «Данные» в группе «Анализ».

$$MN_m = \sum_{k=0}^7 \sum_{l=0}^6 a_{kl} (r_{CH_4}^n)^k (r_{CO_2}^n)^l, \quad (12)$$

где a_{kl} – коэффициенты формулы расчета метанового числа, значения которых для смеси метан-диоксид углерода-азот приведены в таблице 5;

$r_{CH_4}^n$ и $r_{CO_2}^n$ – нормированные значения объемных долей метана и диоксида углерода, соответственно, %.

Нормированные значения объемных долей метана и диоксида углерода рассчитывают по следующим формулам:

$$r_{CH_4}^n = \frac{\sum_{i=1}^4 r_i}{r_{CO_2} + \sum_{i=1}^4 r_i}, \quad (13)$$

$$r_{CO_2}^n = \frac{r_{CO_2}}{r_{CO_2} + \sum_{i=1}^4 r_i}, \quad (14)$$

где $\{r_i\}$ – ненормированные значения объемных долей компонентов упрощенной смеси, %;

r_{CO_2} – объемная доля диоксида углерода в исходном составе природного газа, рассчитанная по формуле (1), %.

6 Показатели точности метода расчета метанового числа

Настоящий метод обеспечивает получение результатов вычислений метанового числа природного газа по измеренному компонентному составу со значением абсолютной расширенной неопределенности U_{MN} не превышающей значений, приведённых в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели точности измерений

Диапазон измерений метанового числа, MN	Абсолютная расширенная неопределённость, U_{MN} (при коэффициенте охвата $k=2$)
От 70 до 99 включ.	1
*Соответствует доверительным границам абсолютной погрешности при доверительной вероятности $P=0,95$	

7 Оформление результатов расчета метанового числа

За результат измерения метанового числа принимают результат, полученный в ходе вычисления MN.

Результат определения метанового числа природного газа записывают в виде:

$$MN = MN_m \pm U_{MN} \quad (15)$$

Значение расширенной неопределённости (U_{MN}) вычисления метанового числа природного газа приведено в таблице 6.

Вычисленное значение метанового числа округляют до целого числа.

Приложение А (справочное)

Примеры вычисления метанового числа

А.1 Примеры вычисления метанового числа природного газа с молярными долями его компонентов, которые типичны для газов, транспортируемых по газотранспортной системе стран-членов ЕАЭС, приведены для того, чтобы позволить разработчикам программного обеспечения подтвердить реализацию метода расчета метанового числа. Для процедуры подтверждения было сохранено относительно большое количество знаков после десятичной запятой. Для выражения конечного результата рекомендуется выполнять его округление до целого числа.

А.2 Для природного газа, молярные и объемные доли компонентов которого представлены в таблице А.1, приведен подробный расчет метанового числа (см. таблицы А.2 – А.5).

Таблица А.1 – Исходный и упрощенный составы природного газа для вычисления метанового числа

Наименование компонента	Исходный состав		Объемная доля упрощенного состава	
	молярная доля x_i , %	объемная доля γ_i , %	ненормированная γ_i , %	нормированная, γ_i^H , %
Диоксид углерода	0,0530	0,0528		
Азот	0,8700	0,8715		
Метан	97,0640	97,0797	97,0797	97,9231
Этан	1,6758	1,6658	1,6658	1,6803
Пропан	0,2453	0,2417	0,2417	0,2438
<i>i</i> -Бутан	0,0356	0,0346		
<i>n</i> -Бутан	0,0253	0,0245	0,1515	0,1528
<i>нео</i> -Пентан	0,0011	0,0011		
<i>i</i> -Пентан	0,0076	0,0073		
<i>n</i> -Пентан	0,0132	0,0125		
Углеводороды C_{6+}	0,0091	0,0084		
Итого	100,0000	100,0000	99,1387	100,0000

Таблица А.2 – Показатель соответствия (w_j)

Обозначение смеси	Пропан	Этан	<i>n</i> -Бутан	Метан	w_j
Mix1	0,040638	0,262547	0,031831	0	0,335016
Mix2	0,040638	0,262547	0	9,792308	10,09549
Mix3	0,040638	0	0,031831	9,792308	9,864777
Mix4	0	0,262547	0,031831	9,792308	10,08669

Таблица А.3 – Начальные значения метанового числа $\{MN_j\}$ выбранных трехкомпонентных смесей

Наименование компонента	Объемная доля упрощенного состава, %		Выбранные смеси и объемные доли их компонентов, %					
			Mix2		Mix3		Mix4	
	ненормированные r_i , %	нормированные r_i^H , %	ненормированные r_{ij} , %	нормированные r_{ij}^H , %	ненормированные r_{ij} , %	нормированные r_{ij}^H , %	ненормированные r_{ij} , %	нормированные r_{ij}^H , %
Метан	97,0797	97,9231	32,6410	97,1370	32,6410	99,3961	32,6410	97,2687
Этан	1,6658	1,6803	0,8401	2,5002	0,0000	0,0000	0,8401	2,5036
Пропан	0,2417	0,2438	0,1219	0,3628	0,1219	0,3712	0,0000	0,0000
<i>n</i> -Бутан	0,1515	0,1528	0,0000	0,0000	0,0764	0,2326	0,0764	0,2277
Итого	99,1387	100,0000	33,6031	100,0000	32,8393	100,0000	33,5576	100,0000
$\Sigma_i(r_{ij}/100)$				0,3360		0,3284		0,3356
MN_j				91,4176		93,3436		88,3857

Таблица А.4 – Значения метанового числа $\{MN_j\}$ выбранных трехкомпонентных смесей, полученные в результате решения системы нелинейных уравнений (7), и рассчитанное значение метанового числа смеси метан-диоксид углерода-азот (Mix5)

Наименование компонента	Объемная доля упрощенного состава, %		Выбранные смеси и объемные доли их компонентов, %							
			Mix2		Mix3		Mix4		Mix5	
	ненормированные r_i , %	нормированные r_i^H , %	ненормированные r_{ij} , %	нормированные r_{ij}^H , %	ненормированные r_{ij} , %	нормированные r_{ij}^H , %	ненормированные r_{ij} , %	нормированные r_{ij}^H , %	ненормированные r_{ij} , %	нормированные r_{ij}^H , %
Метан	97,0797	97,9231	30,9366*	96,9520	22,2007*	99,0167	44,7857**	98,0647	99,1387	99,9467
Этан	1,6658	1,6803	0,8648*	2,7101	0,0000	0,0000	0,8155**	1,7857		
Пропан	0,2417	0,2438	0,1078*	0,3378	0,1360**	0,6067	0,0000	0,0000		
<i>n</i> -Бутан	0,1515	0,1528	0,0000	0,0000	0,0844*	0,3766	0,0684**	0,1497		
Диоксид углерода									0,0528	0,0533
Азот									0,8715	
Итого	99,1387	100,0000	31,9092	100,0000	22,4212	100,0000	45,6696	100,0000	100,0631	100,0000
$\Sigma_i(r_{ij}/100)$				0,3191		0,2242		0,4567		
MN_j				91,0088		91,0086		91,0086		100,0492

Примечания:
* – объемные доли компонентов, корректируемые в соответствии с выбранным методом решения системы уравнений (7);
** – объемные доли компонентов, рассчитываемые из системы уравнений материального баланса по формуле (8).

Таблица А.5 – Значения метанового числа упрощенной смеси (MN_{CM}) и газомоторного топлива (MN_T)

Метановое число	Расчетное значение	Формула расчета
MN_{CM}	91,0087	формулы (9), (10)
MN_T	91,0576	формула (11)

А.3 В таблице А.6 представлен расчет метанового числа для ряда смесей природного газа.

Таблица А.6 – Составы смесей природного газа и их метановые числа

Наименование компонента	Молярная доля для смесей, %				
	№1	№2	№3	№4	№5
Диоксид углерода	0,4198	0,2723	0,7021	1,5283	0,0198
Азот	0,2749	0,6019	3,4563	0,1867	7,2891
Метан	96,2448	94,5105	91,3566	91,7207	85,5956
Этан	2,9453	3,1143	3,4227	3,9815	4,7466
Пропан	0,0451	1,1094	0,7786	1,6767	1,4845
<i>i</i> -Бутан	0,0356	0,1676	0,1028	0,3145	0,1889
<i>n</i> -Бутан	0,0067	0,1618	0,1275	0,3928	0,3811
<i>нео</i> -Пентан	0,0028	0,0019	0,0005	0,0035	0,0018
<i>i</i> -Пентан	0,0019	0,0276	0,0213	0,0867	0,0805
<i>n</i> -Пентан	0,0029	0,0205	0,0186	0,0652	0,0930
Углеводороды C_{6+}	0,0202	0,0122	0,0130	0,0434	0,1191
Метановое число	88,9742	82,2934	83,4987	76,3498	72,2264

Библиография

[1]	EN 16726:2015+A1:2018	Gas infrastructure - Quality of gas - Group H
[2]	ISO 6976:2016	Natural gas — Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition

УДК 543.27.001.4 : 006.354

ОКС 75.060

Ключевые слова: природный газ, метановое число, метод вычисления, алгоритм вычисления, метрологические характеристики
