

Аналіз показників якості природного газу, які впливають на процес горіння

І. Петришин, доктор технічних наук, професор, генеральний директор,
В. Соколовський, заступник генерального директора,
Н. Петришин, кандидат технічних наук, начальник відділу,
І. Дарвай, кандидат технічних наук, інженер 1-ї категорії,
 ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», м. Івано-Франківськ

Анализ показателей качества природного газа, влияющих на процесс горения

И. Петришин, доктор технических наук, профессор, генеральный директор,
 В. Соколовский, заместитель генерального директора,
 Н. Петришин, кандидат технических наук, начальник отдела,
 И. Дарвай, кандидат технических наук, инженер первой категории,
 ГП «Ивано-Франковскстандартметрология», г. Ивано-Франковск

Analysis of Natural Gas Quality Indicators Affecting the Combustion Process

I. Petryshyn, Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director,
 V. Sokolovskiy, Deputy General Director,
 N. Petryshyn, Candidate of Technical Sciences, Department Chief,
 I. Darvai, Candidate of Technical Sciences, Engineer of the 1st Category,
 «Ivano-Frankivskstandartmetrologia» State Enterprise, Ivano-Frankivsk

У статті проведено аналіз показників якості природного газу в Україні та деяких країнах Європейського Союзу (ЄС), розглянуто їх вплив на процес горіння газоспоживального обладнання, визначено напрямки забезпечення якості горіння та підвищення надійності роботи газопроводів.

Пріоритетним енергоресурсом для України є природний газ, частка якого в енергобалансі за останні роки становить 41—43 %. У більшості європейських країн ця частка становить 20—22 %, хоча, наприклад, у Польщі — понад 50 %).

В умовах постійного зростання ціни на газ та об'ємів його споживання актуальним є питання вимірювання кількості та визначення показників його якості. І якщо питанню визначення кількості природного газу в Україні відведено належне місце, то питання його якості є актуальним і потребує негайного вирішення. Скарги споживачів на неналежну роботу газоспоживального обладнання (жовті язички полум'я під час горіння, його просакування та зрив, сажотворення тощо) є правомірні та потребують вирішення.

Розглянемо цю проблему, аналізуючи показники якості газу, зокрема, показники горіння, в Україні та в європейських країнах, які отримують частину природного газу з тих самих магістральних газопроводів, що й Україна.

На сьогодні вимоги до горючого природного газу, призначеного для промислового та комунально-побутового споживання, викладено в нормативному документі (НД) [1], який успадковано від колиш-

нього Радянського Союзу. Цей НД, що поширюється на природні горючі гази, призначені як сировина та паливо для промислового та комунально-побутового споживання, було піддано перероблянню. Такий газ може містити значні кількості хімічних речовин, які є нетиповими для природних газів, або типові речовини в незвичайних пропорціях.

Основним показником якості природного газу, який визначає його енергетичну цінність, є питома об'ємна теплота згорання або теплотвірна здатність газу H . Її визначають, як кількість тепла, що виділяється у процесі повного згорання газу в повітрі за сталого тиску і температури, віднесеного до об'єму сухого газу, визначеного за стандартних умов.

Теплоту згорання природного газу визначають властивостями окремих горючих та негорючих газів, його складників та домішок. Відповідно до [2] розрізняють *вищу* (H_v) та *нижчу* (H_n) теплоту згорання, яку обчислюють за формулою (1):

$$H = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i, \quad (1)$$

де H_i — теплота згорання газу (*вища* або *нижча*) i -го компонента газу;

C_i — частка i -го компонента в газі. ▶

Нижчу питому об'ємну теплоту згорання визначають за наявності водяної пари у продуктах згорання газу за сталої температури. Вищу питому об'ємну теплоту згорання визначають після повної конденсації водяної пари, яка міститься в продуктах згорання газу за сталої температури.

Важливість теплоти згорання газу як його визначальної енергетичної характеристики підтверджується тим, що в більшості країн світу для здійснення розрахунків між споживачем і постачальником газу використовують такий його показник, як енергія E , яку визначають як добуток об'єму газу Q на його нижчу теплоту згорання H_H :

$$E = Q \cdot H_H. \quad (2)$$

Енергію газу можна визначити за допомогою прямих вимірювань його кількості й теплоти згорання.

Зазвичай кількість газу визначають лічильниками через його об'єм, а теплоту згорання визначають лабораторним способом, для розрахунків використовують також в об'ємних одиницях.

Іншим критерієм теплотвірної здатності та надійнішим показником властивостей газу щодо його згорання у побутових газових приладах є число Воббе (нижче або вище) W (МДж/м³), яке обчислюють за формулою:

$$W = \frac{H}{\sqrt{d}}, \quad (3)$$

де d — відносна густина природного газу.

В Україні, відповідно до вимог ГОСТ 5542-87 [1], унормовано значення *вищого* числа Воббе (тобто з урахуванням *вищої* теплоти згорання). Його значення визначає повноту згорання газу, тобто згорання без утворення сажі, смол, з мінімальним виділенням оксиду вуглецю, а також стабільність горіння без зриву і блисків полум'я. Число Воббе враховує взаємозв'язок теплоти згорання газу й густини відносно повітря та є показником взаємозамінності природного газу, так як вихід тепла для різних складів природного газу є однакоvim, якщо вони мають однакове число Воббе та їх використовують за одного і того самого тиску газу. Технічні вимоги до даної характеристики мають гарантувати безпечну роботу побутового газового обладнання. Будь-які значні зміни теплоти згорання та числа Воббе природного газу призводять до необхідності побутовим споживачам встановлювати нові пальники або купувати повністю нове обладнання.

У європейських країнах на основі [3] гази за числом Воббе й теплою згорання поділяють на групи у такий спосіб, що газоспоживальні прилади даної групи мають безпечно працювати з необхідною

тепловою потужністю, задекларованою в НД на дані прилади. Також цей НД регламентує використання газоспоживальних пристроїв за категоріями відповідно до умов газозабезпечення та якості природного газу в кожній європейській країні.

Авторами проведено аналіз вимог, що регламентують якісні (фізико-хімічні) показники природного газу в деяких європейських країнах. Загалом, вимоги до показників, які регламентують склад, фізичні властивості та нехарактерні компоненти природного газу в європейських країнах, встановлено у [4]. Оскільки в кожній із країн природний газ отримують за допомогою оброблення неочищеного газу із родовищ або із зрідженого природного газу і, за необхідності, їх змішування і передавання магістральними газопроводами у розподільчі системи в межах країни або через національні кордони, то показники якості газу є предметом контрактних вимог між покупцем і продавцем, оговорених у специфікаціях національних газозбутових організацій.

У [5] наведено технічні умови щодо основних показників якості природного газу (табл. 1) у деяких країнах ЄС порівняно з вимогами, які встановлено в Україні та Росії.

Як видно з табл. 1, на відміну від України, де нормують нижчу теплоту згорання, у ЄС регламентують межі *вищої* теплоти згорання. Разом із тим межі зміни числа Воббе в Україні значно відрізняються від європейських технічних вимог. Так, у Великобританії верхня межа числа Воббе є одним з основних обмежень під час імпортування збагачених газів. *Нижчі* значення числа Воббе (41—47 МДж/м³) призводять до зменшення теплової потужності, що виділяється у процесі згорання природного газу, тому побутові прилади імпортного виробництва, які досить поширені у нас, і пальники яких спроектовано на більші значення числа Воббе (наприклад, протічні нагрівачі води, газові плити, газові котли тощо), не можуть надійно працювати, може відбутися зривання та загасання полум'я і, як наслідок, вибух. Разом з тим, високе значення числа Воббе призводить до неповного згорання газу, появи жовтого ореолу полум'я та виділення окисів та оксидів азоту, вуглецю, що завдає шкоди навколишньому середовищу.

Загалом можна сказати, що газ, який за своїми показниками теплоти згорання і чисел Воббе перебуває у межах, регламентованих у [3] для безпечної роботи газоспоживальних приладів з необхідною тепловою потужністю, горітиме без проблем, таких як зривання полум'я, зворотній удар полум'я, надмірне утворення оксидів азоту і вуглецю або жовтий верх полум'я. На рис. 1 схематично показано область нормального горіння газу та наслідки роботи у небажаних діапазонах.

Таблиця 1. Специфікації якості природного газу

Країна	Норвегія	Typical NTS (10YS) ¹ (Велика Британія)	IUK ² (Велика Британія)	EASEEgas Marcogaz ³ (Євросоюз)	ГОСТ 5542 (Росія, Україна)
Показник					
Вища теплота згоряння, МДж/м ³	38,1 — 43,7	36,9 — 42,3	38,9 — 44,6	35,01 — 45,18	—
Нижча теплота згоряння, МДж/м ³	—	—	—	—	від 31,8 МДж/м ³
Число Воббе, МДж/м ³	48,3 — 52,8	48,14 — 51,41	48,23 — 51,17	47,0 — 54,0	41,2 — 54,5
Вміст кисню, моль %	0,1	0,1	0,1	(0,1—1,0)	≤ 1
Вміст діоксиду вуглецю, моль %	2,5	2	2	2,5	—
Вміст азоту, моль %	—	≤ 5	—	—	—
Вміст сірководню H ₂ S	5 мг/м ³	≤ 0,33 %	≤ 0,3 %	—	—
Загальний вміст сірки	0,15 %	0,15 %	0,15 %	≤ 50 мг/м ³	—
Точка роси вологи, °C	– 18 за тиску 69 атм.	– 10 за тиску подачі	– 10 за тиску 69 атм.	– 8 за тиску 69 атм.	не нижча за температуру газу
Точка роси вуглеводнів, °C	–10 за тиску 50 атм.	–2 за тиску 75 атм.	–2 за тиску 69 атм.	– 2 зв тиску 69 атм.	—
Вміст водню, моль %	—	0,1	—	0,1	не допускається
Індекс неповного згоряння	—	< 0,48	—	—	—
Індекс сажоутворення	—	< 0,60	—	0,5548—0,7000	—

Примітка: Прочерки у таблиці вказують на відсутність нормування даного показника

¹ Typical NTS (10YS) (National Transmission System) — Національна система магістральних ліній транспортування газу.

² IUK (Interconnector United Kingdom) — Інтерконектор Юнайтед Кінгдом.

³ EASEEgas Marcogaz (European Association for the Streamlining of Energy Exchange) — Європейська асоціація оптимізації забезпечення енергією.

У більшості країн, поряд з мінімальним відсотковим вмістом етану, в газовій суміші нормують максимальний відсотковий вміст метану, пропану, бутану, а також інших газів, зокрема N₂, O₂, CO₂. Дані

обмеження можуть призводити до зменшення теплотвірної здатності природного газу на користь охорони довкілля. Також у ряді країн використовують інші величини для визначення якості горіння газу, такі як індекс сажоутворення, індекс неповного згоряння тощо. Дані показники, як і основні показники якості природного газу є визначальними під час розрахунку та встановлення нормативних (експлуатаційних) вимог до потужності пальників газоспоживального обладнання.

Так, наприклад, теплову потужність пальників *N* у кіловатах плит газових побутових згідно з [7] обчислюють за формулою:

$$N = \frac{V_0 \cdot H_H}{t \cdot 3600}, \quad (4)$$

де *V*₀ — об'єм сухого газу, приведений до нормальних умов, м³;

t — час, протягом якого вимірюють об'єм газу, що витрачається, год (*t* ≥ 0,1 год.).

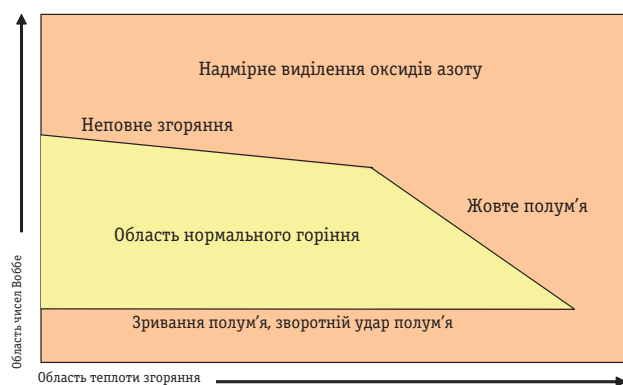


Рис. 1. Якість горіння газу залежно від теплоти згоряння та числа Воббе

З урахуванням (2) вираз (4) можна записати:

$$N = \frac{V_0 \cdot W \cdot \sqrt{d}}{t \cdot 3600}$$

Отже, на основі унормованих допустимих нижніх значень числа Воббе (табл. 1) для певного об'єму сухого природного газу **значення потужності пальника** для газової плити, яка експлуатується в Україні, **буде приблизно на 12 % меншим**, ніж для аналогічної плити, яка експлуатується в країнах ЄС і споживає такий самий об'єм газу.

Таким чином, низькі значення показника числа Воббе у газових мережах суттєво зменшують потужність пальників, що дає підстави скаржитись споживачам на якість природного газу.

Іншим суттєвим недоліком вітчизняної нормативної бази щодо показників якості газу є значення точки роси (температури конденсації у разі охолодження) вологи та вуглеводнів у ньому. Цей показник призначено (або є визначальними) для захисту від утворення у мережах рідин та гідратів. Вони впливають на характеристику горіння палива. У зв'язку з тим, що температура газу в газових мережах може мати додатне значення, [1] має серйозний недолік стосовно нормування точки роси вологи, яка логічно може також набувати додатних значень температури.

Особливої ваги дані показники набувають для виробників витратовимірювальної техніки, які дуже часто скаржаться на її вихід з ладу через надмірну вологість природного газу та випадання чи налипання на вимірювальні вузли рідинних вуглеводнів. У [6] наводять характеристику залежності точки роси вологи та вуглеводнів для типового складу природного газу залежно від його тиску в газопроводі (рис. 2).

Як видно, точка роси вологи та вуглеводнів в діапазоні високих тисків має від'ємне значення, яке ре-

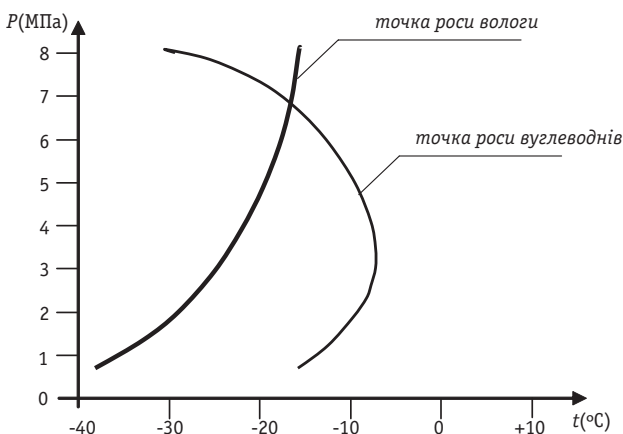


Рис. 2. Залежність точки роси вологи та вуглеводнів для типового складу газу

гламентується відповідними значеннями у європейських НД.

Таким чином, в [1] потребує конкретизації в числовому виразі показник точки роси вологи та введення нормативного значення показника точки роси вуглеводнів для забезпечення уникнення утворення рідин і гідратів у газопроводах та підвищення якості горіння газу у споживачів. Слід зазначити, що в Україні не нормують вміст у газі діоксиду вуглецю та азоту, які є однією з причин неповного згорання газу. У сухому природному газі вуглекислий газ та азот утворюють баластну суміш, яка зменшує його калорійність. Також відсутність у наших вимогах таких показників як індекс сажоутворення та індекс неповного згорання не дає змоги отримати повну картину якості згорання газу у споживачів.

Авторами протягом 2010—2011 років проведено дослідження та зроблено аналіз фактичних показників якості природного газу, що використовують в народному господарстві регіону. Україна, як і більшість країн Західної Європи, частково забезпечуються природним газом, що транспортується із газодобувних регіонів Росії та Середньої Азії. Транспортування газу здійснюється магістральними газопроводами: «Союз», «Прогрес», «Уренгой—Помари—Ужгород». Згідно з паспортом-сертифікатом, на підставі якого проводяться розрахунки між країнами, а також на основі проведених досліджень у випробувальному центрі ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», у табл. 2 наведено основні фізико-хімічні показники транспортованого природного газу. Найбільші та найменші значення цих показників або їхні межі взято на основі результатів випробувань у грудні 2011 року.

Як видно з табл. 2, якісні показники природного газу у магістральних газопроводах відповідають вимогам [1] і перебувають на достатньо високому рівні. Також спостерігається незначний відхил показника вищої теплоти згорання природного газу в нижчу сторону від допустимих відхилів окремих технічних умов у Норвегії та Великій Британії (табл. 1).

Разом з тим, в Україні експлуатують родовища природного газу, склад якого дещо відрізняється від складу транспортованого газу. Авторами протягом 2010—2011 років проведено відбір зразків природного газу у газорозподільних мережах на газорозподільних станціях (ГРС) на території Івано-Франківської та Чернівецької областей та окремих газових родовищ даного регіону під час подавання газу у газотранспортну мережу. У табл. 3—5 на основі випробування наведено межі показників теплоти згорання, числа Воббе, вмісту кисню, азоту та діоксиду вуглецю даних зразків.

Як бачимо, у газорозподільних мережах (табл. 3) показники якості природного газу практично не від-

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники газу в магістральних газопроводах

Назва газопроводу	Нижча теплота згоряння, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Вища теплота згоряння, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Область значень вищого числа Воббе, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Вміст метану, %	Вміст кисню, %	Вміст діоксиду вуглецю, %	Вміст азоту, %
«Союз»	33,70 — 33,82 (8054 — 8072)	37,42 — 37,54 (8943 — 8972)	49,58 — 49,62 (11850 — 11859)	97,334—97,518	0 — 0,006	0,079 — 0,085	0,775 — 0,813
«Прогрес»	33,74 — 33,80 (8064 — 8078)	37,45 — 37,52 (8950 — 8967)	49,59 — 49,64 (11852 — 11864)	97,405— 97,606	0 — 0,010	0,070 — 0,077	0,760 — 0,779
«Уренгой — Помари— Ужгород»	33,72 — 33,84 (8059 — 8088)	37,42 — 37,56 (8943 — 8977)	49,06 — 49,66 (11725 — 11868)	97,405— 97,595	0 — 0,010	0,076 — 0,083	0,751 — 0,783

Таблиця 3. Результати випробувань газу в газорозподільних мережах у 2010—2011 роках

Місце відбору	Теплота згоряння нижча, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Теплота згоряння вища, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Область значень числа Воббе вищого, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Вміст метану, %	Вміст кисню, %	Вміст діоксиду вуглецю, %	Вміст азоту, %
Івано-Франківська обл.	33,2—35,6 (7930—8503)	36,7—39,4 (8766—9411)	49,0—50,1 (11703—11966)	92,311—99,060	0,004—0,044	0,057—1,197	0,160—1,192
Чернівецька обл.	32,9—33,7 (7858—8049)	36,4—37,3 (8694—8909)	48,7—49,6 (11632—11847)	97,162—97,930	0,006—0,034	0,054—0,082	0,072—0,886

Таблиця 4. Результати випробувань газу природного Гуцулівського газового родовища (Івано-Франківська обл.) за 2011 рік

Теплота згоряння нижча, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Теплота згоряння вища, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Область значень числа Воббе вищого, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Вміст метану, %	Вміст кисню, %	Вміст діоксиду вуглецю, %	Вміст азоту, %
33,18—33,29 (7940—7952)	36,91—36,97 (8820—8828)	49,45—49,48 (11797—11816)	99,170—99,293	0,004—0,006	0,038—0,041	0,485—0,609

Таблиця 5. Результати випробувань газу природного Славецького газового родовища (Чернівецька обл.) за 2010—2011 роки

Теплота згоряння нижча, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Теплота згоряння Вища, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Область значень числа Воббе, МДж/м ³ , (ккал/м ³)	Вміст метану, %	Вміст кисню, %	Вміст діоксиду вуглецю, %	Вміст азоту, %
30,78—32,26 (7353—7706)	34,18—35,75 (8163—8538)	44,52—47,43 (10632—11327)	91,923—97,208	0,034—0,491	0,100—0,142	3,318—7,341

різняються від показників у газотранспортних мережах.

Аналіз газу Гуцулівського газового родовища (табл. 4) показує, що вуглеводневий склад природного газу характеризується фактично одним компонентом (метаном), а вміст інших компонентів становить в об'ємних одиницях декілька десятих долей відсотка. Так як теплота згоряння метану є найви-

щою серед інших вуглеводнів, то вища і нижча теплота згоряння та число Воббе газу даного родовища є на достатньо високому рівні, і він може направлятися до споживачів без попереднього змішування з газом магістральних газопроводів.

Із табл. 5 видно, що нижча теплота згоряння газу та число Воббе Славецького родовища не досягає значень відповідних показників у газотранспортних

магістралях. Були окремі випадки невідповідності [1] *нижчої* теплоти згорання газу (31,8 МДж/м³). Крім того, газ цього самого родовища містить високі концентрації азоту. Саме ці показники можуть спричинити проблеми у роботі газоспоживального обладнання, а саме явища «жовтого» полум'я, його зривання, утворення сажі та смолянистих відкладів у разі прямого потрапляння газу з даного родовища до споживачів без змішування його з газом магістральних мереж. Отже, в технологічному плані доцільно змішувати природний газ із газотранспортної мережі з газом місцевого родовища для підвищення показників його якості безпосередньо у споживачів.

Є ще одна серйозна проблема ненадійної роботи газоспоживального обладнання у споживачів. У зв'язку з введенням в експлуатацію в 70—80 роках ХХ ст. значної кількості газопроводів низького тиску, які на даний час перебувають у вкрай незадовільному технічному стані через посилену корозію, маємо неодноразові приклади зміни (у гіршу сторону) кількості вологи та компонентного складу газу безпосередньо у споживачів. Також немає можливості підтримувати належний тиск газу, що подається споживачам.

Через суттєве збільшення споживачів газу в побуті та підключення їх до старих мереж постачання низького тиску, не на кожному відрізку вдається підтримувати належний тиск, особливо в пікові періоди холодів, що призводить до падіння тиску газу, який надходить до опалювальних пристроїв, і зменшення їх коефіцієнту корисної дії.

У разі зниження якісних показників газу українські споживачі мають право на зменшення розміру плати. За відхилення параметрів якості газу від встановлених в НД значень газопостачальна (газотранспортна) організація повинна зробити перерахунок розміру плати за газопостачання за період з дня подання заявки споживачем до дати, коли (газопостачальна) газотранспортна організація відновила параметри газу. Плата за спожитий газ зменшується пропорційно зниженню кожного з параметрів якості природного газу з дня встановлення факту таких змін до дня їх відновлення.

Проте, більшість споживачів не мають можливості здійснювати моніторинг якості природного газу. Було б доцільно регулярно декларувати показники якості природного газу його постачальником або незалежною вимірювальною лабораторією та впровадити економічні санкції за їх невідповідність.

Таким чином, для забезпечення необхідної якості горіння природного газу у споживачів та надійності роботи газопроводів необхідно:

- провести роботу щодо узгодження вітчизняної нормативної бази з питань оцінювання якості природного газу із міжнародними нормами та стандартами з урахуванням, у першу чергу, таких характеристик, як теплота згорання, число Воббе, точка роси вологи та вуглеводнів, вміст азоту, сірководню;
- покращити підготовку газу, що надходить з місцевих свердловин, перед поданням його до газових розподільчих мереж, змішуючи з газом магістральних транспортних мереж;
- провести ревізію газопроводів низького тиску та реконструювати уражені корозією ділянки;
- забезпечити відповідний стабільний тиск газу для нормальної роботи газоспоживальних пристроїв у споживачів;
- декларувати газозбутовим організаціям показники якості горіння природного газу у споживачів через засоби масової інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия.
2. ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе.
3. EN 437:2003. Test gases. Test pressures. Apparatus categories (EN 437:2003. Газы випробувальні. Випробувальний тиск. Категорії приладів).
4. EN ISO 13686:1998. Natural Gas. Quality designation (EN ISO 13686:1998. Природний газ. Визначення якості).
5. Карпаш О.М., Дарвай І.Я. Проблемні питання оцінки якості природного газу в Україні // Нафтогазова енергетика. — 2007. — 2(3). — С. 46—52.
6. Moisture Measurement in Natural Gas Rolf Kolass, Michell Instruments GmbH, Friedrichsdorf, Germany, Cris Parker, Michell Instruments Ltd, Cambridge, UK. (Вимірювання вологості природного газу. Ральф Колас, ТзОВ «Мішель Інструментс», м. Фрідріхсдорф, Німеччина; Кріс Паркер, ТзОВ «Мішель Інструментс», м. Кембрідж, Велика Британія). <http://www.ebookpp.com/mo/mositure-doc.html>
7. ДСТУ 2204-93 (ГОСТ 10798-93). Плити газові побутові. Загальні технічні умови. ■