

УДК 620.93:681.121.8:696.2

к.т.н., доцент Предун К.М.,
31172@ukr.net, ORCID/ 0000-0002-2634-9310,
Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ

Проаналізовані вимоги чинних в Україні нормативно-технічних документів щодо визначення показників якості природних газів: теплоти згоряння, числа Воббе, густини. Виконано порівняння з аналогічними європейськими стандартами. Показано вплив фізико-хімічних параметрів газу на забезпечення надійної безаварійної та екологічно безпечної експлуатації побутового газового обладнання житлових будинків, а також достовірності показів приладів обліку.

Ключові слова: природний газ, фізико-хімічні властивості, теплота згоряння, число Воббе, густина, побутові газові прилади, інжекційні пальники, облік газу, лічильники газу

Вступ. Житлово-комунальне господарство України сьогодні є одним із основних споживачів мережного природного газу. Його використовують мешканці житлових будинків для задоволення своїх господарсько-побутових потреб: приготування їжі, гарячої води тощо. В оселях встановлено різного виду побутові газові прилади, у переважній більшості це плити типу ПГ, загальні технічні вимоги щодо яких викладені в ДСТУ 2204-93 [1]. Газобладнання розраховане на використання природного газу з характеристиками по ГОСТ 5542-87 [2]. Вимоги до встановлення побутових газових приладів, характеристика гідравлічних режимів у внутрішньо будинкових системах наведені у ДБН В.2.5-20-2001 [3].

Актуальність дослідження. Структура та конструкція газорозподільних мереж населених пунктів України, зокрема мереж низького тиску, у т.ч. внутрішньо будинкових систем склалася у 60...70-і роки минулого століття [4...6]. Чинні сьогодні вимоги нормативних документів [3, 7, 8] за деяким виключенням залишилися практично незмінними з тих часів. Якщо промисловість колишн. СРСР в основному задовольняла потреби систем інженерного забезпечення як територій населених пунктів, так і окремих будівель та споруд, то сьогодні на ринку України присутні технології, обладнання і устаткування з багатьох країн світу. Причому, вимоги до їх застосування відрізняються від аналогічних в Україні. Подорожчання природного газу до рівня ринкових цін також породило певні проблеми,

особливо якщо взяти до уваги певні відмінності щодо колишнього радянського, а нині – чинного українського [2] та європейських [9] стандартів якості природного газу.

Соціальна спрямованість державної політики України, популізм в недалекому минулому щодо тарифної політики спричинили неефективне використання природного газу при експлуатації інженерних систем будівель і споруд.

Аналіз основних рішень і публікацій. Основним нормативним документом України щодо проектування газорозподільних систем є будівельні норми [3]. Згідно з їх вимогами в житлових і громадських будівлях для потреб газопостачання дозволяється використовувати лише газ низького тиску – $P_{ГГ} \leq 5$ кПа.

У практиці газопостачання України побутові газові прилади згідно з паспортною характеристикою [1] розраховані на спалювання природного газу з номінальним манометричним тиском, як правило, $P_{ГГ} = 1,3$ кПа. Переважна більшість побутових газових приладів оснащена інжекційними газовими пальниками низького тиску та коефіцієнтом первинного повітря $a_1 < 1,0$ [5, 10].

Інжекційні пальники мають достатньо широкий діапазон регулювання теплової потужності та забезпечують свою роботоздатність при зменшенні тиску майже у 2 р. по відношенню до номінального $P_{ГГ} = 1,3$ кПа. При використанні природного газу величина коефіцієнту a_1 повинна забезпечувати утворення всередині пальника – камері змішування – виключно негорючої суміші. Відповідно, мінімальне значення коефіцієнту первинного повітря має бути не меншим $a_1 \geq 0,4$ тому, що у протилежному випадку процес спалювання буде наближатись до дифузійного, при якому може мати місце хімічний недопал. Гарантування повноти спалювання газу в таких пальниках можна забезпечити лише при подачі вторинного повітря. Сумарний коефіцієнт надлишку повітря становить не менше, чим 1,15...1,20.

Основним критерієм, який характеризує повноту спалювання, є число Воббе W [9, 10]. Встановлений нормативним документом [2] діапазон його значень гарантує згоряння природного газу з мінімальними виділеннями оксиду вуглецю, інших шкідливостей без відриву чи проскоку полум'я. Загалом число W враховує взаємозв'язок теплоти згоряння газу Q , МДж/м³ та його відносної (щодо повітря) густини d . Воно є показником взаємозамінності різних горючих газів, тому що кількість теплоти, яка виділяється при спалюванні суто природних газів і газоповітряних сумішей з відмінними фізико-хімічними властивостями, буде однаковою, якщо ці гази мають однакове число Воббе та їх використовують при одному і тому ж тиску. Будь-які відхилення значень Q та W від нормованих [2] величин приводять до необхідності заміни

газопальникових пристроїв або навіть до встановлення повністю нового газобладнання.

Формулювання цілей статті. Дана робота присвячена дослідженню ефективності використання горючих газів з метою забезпечення надійної безаварійної та екологічно безпечної експлуатації газового обладнання, а також достовірності показів приладів обліку.

Основна частина. В практиці газопостачання, як вже згадувалось раніше, прийнято визначати фізико-хімічні властивості горючих газів як при нормальних, так і при стандартних (20 °С, 760 мм рт. ст.) умовах. Газотранспортна система України забезпечує транзит, як правило, природного газу з Російської Федерації, який частково відбирається споживачами з наступною компенсацією так званим «європейським» на західних кордонах держави. В балансі газу за 2017 р. його частка є дещо більшою 40 %.

Проаналізуємо, наприклад, властивості газ північних родовищ РФ [10]. Знаючи процентний вміст інгредієнтів (за результатами хроматографічного аналізу) на підставі методики [11], легко обрахувати його характеристики.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості компонентів
природного газу [5, 10]

Показник	Один. виміру	Інгредієнт				Примітка
		CH_4	C_2H_6	CO_2	N_2	
1	2	3	4	5	6	7
1. Вміст	%	98,6	0,1	0,1	1,2	
2. Теплота згоряння при норм.умовах:						0 °С, 760 мм рт.ст.
2.1. Нижча Q_p^H	МДж/м ³	35,88	64,36	-	-	
2.2. Вища Q_p^e	МДж/м ³	39,82	70,31	-	-	
3. Теплота згоряння при станд.умовах:						20°С, 760 мм рт.ст.
3.1. Нижча Q_p^H	МДж/м ³	33,41	59,85	-	-	
3.2. Вища Q_p^e	МДж/м ³	37,10	65,38	-	-	
4. Відносна густина :						
4.1. Норм.умови d		0,5548	1,048	1,529	0,967	
4.2. Станд.умови d		0,5546	1,046	1,528	0,967	

Отримані розрахунковим шляхом значення (табл.2) перебувають у повній відповідності з паспортом якості на товарний газ з Южно-Руського родовища ВАТ «Севернефтегазпром» РФ – природний газ при стандартних умовах має такі характеристики: густина $\rho = 0,674$ кг/м³, теплота згоряння: нижча $Q_p^H =$

=33,08 і вища $Q_p^g = 36,7$ МДж/м³, вміст метану СН₄ – не менше 98 %. Таким чином, якість газу відповідає вимогам чинного стандарту України [2].

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості природного газу Ямбурзького родовища

Умови	Теплота згоряння		Число Воббе		Густина	
	Q_p^H , МДж/ м ³	Q_p^g , МДж/ м ³	W^H	W^g	d	ρ , кг/м ³
1	2	3	4	5	6	7
1. Норм. умови	35,44	39,33	47,31	52,50	0,5612	0,726
2. Станд. умови	33,00	36,65	44,06	48,93	0,5610	0,676
3. ГОСТ 5542	≥ 31,8	-	-	41,2...54,5	-	-

Примітка. Прочерки у таблиці вказують на відсутність нормування даного показника.

У 2017 р. газ власного видобутку становив понад 20 млрд.м³ (близько 60 % від потреби). В природному газі українського походження вміст метану знаходиться в межах від 85 (родовища Полтавської області) до 98 % (родовища Західної України) і, відповідно, $Q_p^H = 36,14...33,27$ МДж/м³ [10]. Тобто, фізико-хімічні властивості газу власного видобутку також знаходяться в рекомендованих [2] діапазонах.

Загалом інформація щодо фізико-хімічних властивостей природного газу, який подається до газорозподільних мереж населених пунктів України, доступна в публічних джерелах інформації, наприклад [12]. Контроль якості газу, як правило, виконують хіміко-аналітичні лабораторії газотранспортної компанії ПАТ «Укртрансгаз». А у регіональних підприємств з надання послуг з газопостачання практично відсутні автоматичні потокові хроматографи, що дозволяють визначати показники якості газу в режимі реального часу.

І тому сьогодні за основу розрахунків при передачі природного газу користуються середньозваженими щомісячними значеннями нижчої теплоти згоряння (при стандартних умовах) для кожної з областей. Наприклад, за січень 2018 р. згідно з [12] діапазон вимірювань Q_p^H знаходився у межах від мінімального значення – 34,04 (Донецька область) до максимального – 34,66 МДж/м³ (Харківська область), при середній в Україні величині – приблизно 34,33 МДж/м³.

Якщо розглянути спільно карти України з родовищами, об'єктами газотранспортної інфраструктури включно з підземними сховищами газу та щомісячними показниками теплоти згоряння, а також проаналізувати дані табл.2, то можна відмітити певні неузгодженості. Наприклад, величини Q_p^H для російського та переважної більшості українських природних газів, що отримані розрахунковим шляхом (табл.2), є меншими за відповідні значення, вказані на картах, до 1 МДж/м³ або до 3 %, однаки відповідають вимогам стандарту [2].

На підставі щомісячних значень нижчої теплоти згоряння споживачам природного газу формують рахунки за спожите паливо. При умові встановлення побутового лічильника газу (а це сьогодні приблизно 10 млн. домогосподарств і квартир у багатоквартирних будинках) поряд з об'ємним вказується облік в енергетичних показниках – МДж і кВт-год. Шляхом нескладних перетворень нижча теплота згоряння використаного палива у цьому випадку становить не менше 38 МДж/м³, що не відповідає фактичним даним щодо якості газу. На підставі табл.2 величина 38 МДж/м³ може бути порівняна лише зі значенням вищої теплоти згоряння для нормальних умов, що не застосовується для проведення комерційних розрахунків між постачальником і споживачем природного газу і суперечить вимогам стандарту ДСТУ ISO 15112:2009 «Природний газ. Визначення енергії» [13].

В європейських країнах при визначенні калорійності природного газу використовують різні значення кінцевої температури продуктів згоряння, приймають або вищу, або нижчу величини теплоти спалювання. У цілому це обумовлює відмінність до 19 % для одного і того ж складу газу в залежності від встановлених у конкретній країні стандартних умов [14]. Наприклад, в Німеччині за стандартної температури 0 °С густина одного і того ж газу на дещо більше, чим 7 % вища за аналогічну, при стандартних умовах при температурі 20 °С. Те ж саме відноситься і до теплоти спалювання.

У переважній більшості споживачів природного газу в Україні відсутня можливість не те, що проводити моніторинг фізико-хімічних властивостей газу, а й вимірювати його тиск перед приладом. Наприклад, у багатоступеневих системах востаннє тиск вимірюють та контролюють на виході із мережних ГРП, які є джерелом газу для систем низького тиску. Як правило, $P_{ГРП} \leq 3$ кПа.

Конструкція будинкових систем газопостачання унеможливує вимір тиску газу перед газопальниковим пристроєм побутового приладу. Протягом доби, року його значення можуть відрізнятися від нормованих [1, 3] величин.

Падіння тиску газу викликає зменшення коефіцієнту корисної дії і, відповідно, збільшення газоспоживання. Особливо, це стосується приладів імпортного виробництва, пальники яких спроектовані на використання горючих газів з більшими значеннями числа Воббе. В результаті може відбуватися або відрив, або проскок полум'я і, як наслідок, вибух.

Побутові лічильники газу – це прилади, як правило, об'ємного типу, тобто вони призначені для виміру об'ємних витрат природного газу при фактичних значеннях температур і тисків. У переважній більшості з числа встановлених – а це понад 8 млн. – їх конструкцією не передбачено наявність сторонніх джерел живлення, що унеможливує застосування в інформаційних системах. Частина населення (близько 30 %), яке мешкає у багатоквартирних

будинках міських населених пунктів, продовжує за спожитий природний газ оплату здійснювати в залежності від кількості мешканців у квартирі і номенклатури встановлених побутових газових приладів. Відповідно, достовірність такої інформації щодо кількості спожитого газу викликає певні сумніви. Окрім того, чинна державна політика надання субсидій певним категоріям мешканців аж ніяк не стимулює до встановлення лічильників газу.

Таблиця 3

Зміна теплової потужності Q газопальникового пристрою по відношенню до $Q_{ном.}$ в залежності від тиску газу $P_{ПГ}$, Па

Показ- ник	Тиск газу, Па										
	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Зменшення теплової потужності Q					$Q_{ном.}$	Збільшення потужності Q				
$Q/Q_{ном.}$	0,71	0,763	0,82	0,87	0,909	1,00	1,08	1,155	1,225	1,29	
$Q_{ном.}/Q$	1,41	1,31	1,22	1,15	1,10	1,00					
	Зменшення теплової потужності Q								$Q_{ном.}$	Зб. Q	
$Q/Q_{ном.}$	0,577	0,623	0,667	0,707	0,745	0,816	0,882	0,943	1,00	1,054	
$Q_{ном.}/Q$	1,732	1,604	1,50	1,414	1,342	1,225	1,134	1,061	1,00		

Примітка. Розрахунки виконано для стандартних умов: температура 20 °С і тиск 760 мм рт.ст.

Відповідно до п.1 статті 9 Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність»: «Держави... повинні забезпечити, наскільки це можливо, фінансово доцільно й пропорційно у відношенні до потенційної економії енергій, усіх кінцевих споживачів електроенергії, природного газу... індивідуальними лічильниками за конкурентними цінами, які точно відображають дійсне споживання енергії кінцевими споживачами і надають інформацію про дійсний час використання». В загальному випадку використання лічильників природного газу дозволяє упорядкувати його облік, а без цього неможлива економія паливно-енергетичних ресурсів. У подальшому на їх основі можуть бути створені так звані інтелектуальні системи обліку природного газу, які, окрім вказаних вище, будуть враховувати і характеристики палива. Відповідно, витрати газу вказуватимуться у теплових одиницях – кВт-год.

Висновки. Для забезпечення необхідної якості спалювання природного газу необхідно виконати узгодження вітчизняної нормативної бази як з міжнародними нормами та стандартами, так і окремих документів, чинних в Україні, між собою, наприклад, стандартів [1...3, 13] з Кодексом [8] стосовно визначення фізико-хімічних властивостей горючих газів, реконструкції існуючих газорозподільних систем тощо.

Завдяки реалізації запропонованих рішень населення сплачуватиме кошти за реально спожите паливо, а точніше – спожиту енергію, а у державі буде упорядковано облік природного газу, що дозволить скласти реальні баланси палива.

Література

1. ДСТУ 2204-93. Плити газові побутові. Загальні технічні вимоги. – К.: Держстандарт України, 1993. – 45 с.
2. ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – М.: Изд.-во стандартов, 1987. – 2 с.
3. ДБН В.2.5-20-2001. Газопостачання. – К.: Держбуд України, 2001. – 286 с.
4. Баясанов Д.Б., Ионин А.А. Распределительные системы газоснабжения. – М.: Стройиздат, 1977. – 290 с.
5. Ионин А.А. Газоснабжение // Учебн. для вузов. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.
6. Стаскевич А.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. – Л.: Недра, 1990. – 762 с.
7. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. – К.: Основа, 2015. – 179 с.
8. Кодекс газорозподільних систем від 30.09.2015 №2494. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z4379-15>
9. Петришин І., Соколовський В., Петришин Н., Дарвай І. Аналіз показників якості природного газу, які впливають на процес горіння // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2012.- №3. – с.51...56.
10. Єнін П.М., Шишко Г.Г., Предун К.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом // Навч. посібник. – К.: Логос, 2002. – 198 с.
11. ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе. – М.: Изд.-во стандартов, 1982. – 3 с.
12. Якість газу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://utg.ua/utg/business_info/yakist-gazu.html
13. ДСТУ ISO 15112:2009. Природний газ. Визначення енергії. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 29 с.
14. Якість природного газу для споживачів в Україні відповідає якості газу в країнах Європи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/04ff98894b956a3fc2257f5000428f98?opendocument>

к.т.н., доцент Предун К.М.
31172@ukr.net, ORCID 0000-0002-2634-9310,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ

Проанализированы требования действующих в Украине нормативно-технических документов касательно определения показателей качества природных газов: теплоты сжигания, числа Воббе, плотности. Произведено сравнение з аналогічними європейськими стандартами. Показано влияние фізико-хімічних параметрів газу на забезпечення надійної безаварійної і екологічно безпечної експлуатації побутового газового обладнання житлових будівель, а також достовірності показань приладів учета.

Ключевые слова: природный газ, физико-химические свойства, теплота сгорания, число Воббе, плотность, бытовые газовые приборы, инжекционные горелки, учет газа, бытовые счетчики

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Predun K.M.
31172@ukr.net, ORCID 0000-0002-2634-9310,
Kiev National University of Construction and Architects

ANALYSIS OF THE NATURAL GAS PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

Requirements of the current Ukrainian normative-technical documents regarding the measurement of the natural gases quality attributes: calorific value, Wobbe number, density, etc, have been analysed. Comparison with similar European Standarts has been completed. Physicochemical parameters influence on the delivery of robust, accident-free and ecologically safe operations of residential houses household gas equipment and metering instruments measurement accuracy, has been provided.

Key words: natural gas, physicochemical properties, calorific value, Wobbe number, density, household gas equipment, injector burners, gas consumption metering, gas meters.