

DOI: 10.18372/2310-5461.41.13529

УДК (681.3.06±681.518.54):622.276 (045)

М. П. Андрійшин, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-4439-3526
e-mail: andriishinmp@gmail.com;

К. І. Капітанчук, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0003-3605-0977
e-mail: k.kapitanchuk@ukr.net;

О. М. Чернишенко
АТ «Укргазвидобування»
orcid.org/0000-0001-5539-0358
e-mail: ench_st@1.ua;

ОСНОВНІ ЧИННИКИ ВПЛИВУ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Вступ

Природний газ протягом тривалого часу використовується як у побуті, так і в промисловості. На даний час природний газ забезпечує 20 % первинної енергії у світі та значно збільшує свою частку на енергетичному ринку. Фізико-хімічні властивості природного газу, а також властивості горіння, дозволяють йому бути незамінним видом палива. Це значно сприяє до зростання ціни на природний газ як товарну продукцію, загострює питання контролю його обліку і якості та потребує виваженої політики підвищення енергетичної ефективності його використання [1].

Філософія енергозбереження та підвищення енергоефективності стосовно природного газу для України має свої характерні риси. Мета енергозберігаючої політики полягає не в обмеженні споживання природного газу, а у підвищенні ефективності його використання [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Міжнародними стандартами що є чинні в Україні, визначено, що природний газ — це складна газова суміш вуглеводнів, яка складається переважно з метану, також містить етан, пропан і вищі вуглеводні в значно меншій кількості, а також деякі негорючі гази — азот, діоксид вуглецю та ін. Крім того, природний газ може містити компоненти або домішки, зокрема сірчисті сполуки та ін. [3; 4].

Якість газу (*gasquality*) — це загальна характеристика природного газу, яку визначають його склад і фізичні властивості.

Разом з тим, національний стандарт ДСТУ ISO 13686:2015 визначає що, якість газу, це характерна ознака природного газу стосовно його складу (основні, другорядні та залишкові компоненти) і його фізичних властивостей (теплота згоряння, число Воббе, фактор стисливості, відносна густина й точка роси).

Показники якості товарного газу базуються на таких вимогах:

– газ під час транспортування не повинен викликати корозію трубопроводів, арматури, приладів;

– газ під час його транспортування трубопроводами повинен бути в однофазному стані, тобто не повинні утворюватися і випадати в газопроводі вуглеводневі рідини, водяний конденсат та газові гідрати;

– використання товарного газу споживачами не повинно викликати ніяких труднощів, а спалювання його на газових приладах має бути максимально енергоефективним.

З цієї метою в Європі введено в дію стандарт EN 437: 2012, IDT, EN 437: 2012, IDT, який набрав чинності в Україні, як ДСТУ EN 437: 2014. Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів (EN 437: 2012, IDT, EN 437: 2012, IDT) [5].

Даний стандарт визначає тестові гази, випробувальні тиски та категорії пристроїв щодо використання горючих газів першого, другого і третього сімейств.

Він є нормативним документом для залежних від нього стандартів для газових пристроїв, які знаходяться в межах юрисдикції Директиви Ради

(Європи) по наближенню законів Держав — членів ЄС у сфері газових пристроїв (90/396/ЕС). Стандарт дає рекомендації для використання газів і тисків під час випробувань [5].

Гази, при цьому поділяються на три сімейства, а кожне сімейство поділяється на групи, залежно від вищого індексу Воббе, що відображено в табл. 1.

З метою встановлення безпечного діапазону спалювання природного газу на газових приладах стандарт вводить поняття «Тестовий

газ». Тестові газу — це газу, призначені для перевірки технологічних характеристик пристроїв, що використовують горючі газу. Вони складаються з еталонних газів і граничних газів [5]. Значення, наведені в табл. 2 не дають повної характеристики природного газу, що подається споживачеві, проте визначають склад, індекс Воббе Ws , теплоту згоряння Hs , відносну густину d , та випробувальний тиск P для газів, які застосовують як тестові на газовому обладнанні [5].

Таблиця 1

Класифікація газів по сімействам і групам залежно від індексу Воббе

Сімейства газів та групи	Вище число Воббе при 15°C і 1013,25 мбар			
	мінімум		максимум	
	МДж/м ³	кВт.год	МДж/м ³	кВт.год
Перше сімейство Група А	22,4	6,27	24,8	6,94
Друге сімейство Група Н Група L Група Е	39,1	10,95	54,7	15,32
	45,7	12,80	54,7	15,32
	39,1	10,95	44,8	12,54
	40,9	11,45	54,7	15,32
Третє сімейство Група В/Р Група Р Група	72,9	20,41	87,3	24,44
	72,9	20,41	87,3	24,44
	72,9	20,41	76,8	21,50
	81,8	22,90	87,3	24,44

Таблиця 2

Тестові газу для груп газу другої родини відповідно до EN437

Тип газу	Тип газу	Склад, об'ємні %	Ws , МДж/м ³	Hs , МДж/м ³	d	Випробувальний тиск, P мбар
Основний газ, ефективне згоряння	G20	CH ₄ = 100	50,72	37,78	0,555	P _n = 20 P _{min} = 17 P _{max} = 25
Неповне згоряння, сажоутворення	G21	CH ₄ = 87	54,76	45,28	0,684	
		C ₃ H ₈ = 13				
Межа проскакування полум'я	G222	CH ₄ = 77	47,87	31,86	0,443	
		H ₂ = 23				
Межа відриву полум'я	G23	CH ₄ = 92,5	45,66	34,95	0,586	
		N ₂ = 7,5				

Все газове обладнання тестується та налагоджується на природному газу G20 (чистий метан), тобто газове обладнання повинно забезпечити оптимальне згоряння газу з максимальною тепловою потужністю. При цьому обладнання може працювати в межах природного газу від G23 — межа відриву полум'я до G21 — неповне згоряння, сажоутворення. В даному випадку обладнання працює в безпечній зоні експлуатації, але неефективно. Індекс Воббе калібрувального газу при цьому має бути в межах ±2 % від зазначеного в табл. 2 для відповідного тестового газу (включно з допустимою похибкою вимірального приладу) [5].

Індекс Воббе є одним із показників якості газу, що визначає режим горіння, він є визначальним при проектуванні та налагодці

побутових газових пальників. Індекс Воббе є також головним критерієм вибору взаємозамінних газів для забезпечення нормального та ефективного режиму їх горіння.

Відповідно до ДСТУ ISO:13686:2016, індекс Воббе — об'ємна вища (нижча) теплота згоряння за стандартних умов, поділена на квадратний корінь відносної густини за тих самих стандартних умов, використаних під час вимірювання.

Відносна густина газу впливає на швидкість потоку газу через пальник. Поєднання теплотворної здатності та відносної густини газу, представляють собою міру того, наскільки швидко енергія подається до пальника [6,7].

При збільшенні індексу Воббе, швидкість надходження природного газу до пальника

зростає. При перевищенні його значенню газу G20, кисень, що знаходиться в повітрі не встигає повністю прореагувати з газом, що приводить до неповного його згоряння. Неповне згоряння може призвести до утворення монооксиду вуглецю (CO) або вуглецевих частинок (сажі).

При зменшенні індексу Воббе відносно газу G20, швидкість надходження природного газу до пальника падає. При низьких його значеннях, відбувається відрив полум'я, який може погасити полум'я, та призвести до витоку газу та вибуху.

В Європейському союзі впроваджено новий стандарт EN16726: 2015 — Gas infrastructure — Quality of gas — Group H (Інфраструктура газової промисловості. Якість газу — Група H) [8].

Даний стандарт визначає характеристики якості газу, параметри та їх межі для газів, що класифікуються як гази групи H, які мають транспортуватись, закачуватись у сховища і викачуватись із них, розподіляти і використовуватись.

Як основний критерій, що визначає якість природного газу, яка не повинна негативно впливати на безпеку газових приладів і роботу кінцевих користувачів, є «Метанове число MN», мінімальне значення якого прийнято рівним $MN=65$. Розрахунок метанового числа ґрунтується на оригінальних даних дослідницької програми, виконаної компанією АВЛ Дойчланд Гмб Х /1/ (AVL Deutschland GmbH /1/) для Асоціації досліджень у галузі двигунів внутрішнього згоряння (FVV) [8].

Мета статті (постановка завдання)

Вивчити та дослідити вплив фізико-хімічних показників компонентів природного газу на його теплотворну здатність, ефективно і безпечно використання на газоспалювальному обладнанні при мінімізації негативних впливів на газову інфраструктуру, навколишнє середовище та надійності його обліку.

Постановка задачі на дослідження

В Україні для споживачів до 2015 року єдиним нормативним документом, що встановлював вимоги до фізико-хімічних параметрів природного газу був міждержавний стандарт ГОСТ 5542-87 «Гази горючі природні для промислового та комунально-побутового призначення. Технічні умови» [9].

Після набуття чинності в 2015 році Закону України «Про ринок природного газу» та прийняття низки підзаконних актів, норми якості, фізико-хімічні показники та інші характеристики природного газу, що допускається до транспортування в газотранспортній системі

(ГТС) та до розподілу споживачам в Україні став нормативно правовий акт, а саме Кодекс ГТС, затверджений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 № 2493, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 06 листопада 2015 р. за № 1378/27823, який регламентує граничні значення компонентного складу та інших показників якості, яким повинен відповідати природний газ на вході або на виході з газотранспортної системи для його послідуєного транспортування, розподілу та використання споживачем [10].

Природний газ, що постачається споживачам України, зокрема на їх газоспалювальне обладнання (газові плити, підігрівачі води, газові котли), характеризується значними діапазонами фактичних значень фізико-хімічних параметрів, як по території України так і в часі його постачання (розподілу).

Очевидним є те, що під час згоряння на газовому устаткуванні одиниці об'єму природного газу різної енергетичної здатності, повинна виділятися різна кількість тепла, а тому розрахунки за спожитий природний газ, доцільно проводити не за об'ємними, а за енергетичними показниками. Однак, як показують результати досліджень, використання природного газу різної енергетичної здатності, особливо при його спалюванні на пальниках з нерегульованим об'ємом надходження повітря, не завжди призводить до ефективного горіння [6].

Європейські країни вже мають позитивний досвід організаційних, технологічних та методологічних заходів ефективного використання природного газу та розрахунків за нього з урахуванням його теплотворної здатності (енергетичної цінності або калорійності).

В Україні зроблено перші кроки до переходу на розрахунки за природний газ з урахуванням його якісних показників та енергетичної цінності. З 2011 року набрав чинності ДСТУ ISO 15112:2009. Природний газ. Визначення енергії [11], що регламентує методи та порядок визначення енергії при комерційних розрахунках за спожитий газ та ДСТУ ISO 13686:2016 «Природний газ. Показники якості», який встановлює показники, необхідні для остаточно підготовленого для використання і за потреби змішаного природного газу [3].

Наведені стандарти чинні в Україні та гармонізовані з відповідними міжнародними стандартами, тобто є їх ідентичним перекладом, але, відповідно до положень Закону України про стандартизацію, є добровільними до застосування.

Результати досліджень

Порівняльний аналіз фізико-хімічних властивостей природного газу, що значення величини вищої теплоти згоряння, регламентоване в Кодексі ГТС, ДСТУ ISO 13686:2015 та в інших нормативних документах, а також фізико-хімічні показники газу, що застосовуються в деяких країнах Європейського союзу приведено в табл. 3.

З аналізу даних табл. 1 видно, що значення вищої теплоти згоряння, регламентоване Кодексом ГТС, знаходиться в межах змінення вищої теплоти згоряння встановленого в різних країнах Європи, які наведені в ДСТУ ISO 13686:2015. Однак в Кодексі газотранспортної системи на відміну від перерахованих вище нормативних документів, не вказано мінімальне та максимальне значення числа Воббе, у яких воно може змінюватись.

Таблиця 3

Порівняльний аналіз якості природного газу

Характеристики горіння								
Назва		Поз-нака	Одиниці	Кодекс ГТС	ДСТУ ISO 13686:2016 (Група H — DVGW G260:2008)	EN 16726: 2015	Польща (клас газу E) GAZ - SYSTEM	Словаччина EUSTREAM
Число Воббе	Повний діапазон	W_s	кВт·год/м ³	(12,05...15,40)*	12,8...15,7	—	12,5...15,8	13,4...14,3
			МДж/м ³	(42,47 — 55,42)*	46,1...56,5	—	45,0...56,9	48,3...51,5
	Номінальне значення		кВт·год/м ³	—	15,0	—	—	—
	Допустимі відхили		МДж/м ³	—	54,0	—	—	—
Вища теплота згоряння	$H_{s,n}$	кВт·год/м ³	10,8...11,42	(9,5...13,1)**	—	від 10,556	9,96...11,9	
		МДж/м ³	38,85...41,1	(34,1...47,02)**	—	від 38,0	35,86...42,8	
Відносна густина	d_n	—	0,55...0,70	0,55... 0,70	0,55...0,70	—	0,55...0,7	
Тиск (повний діапазон)	p	мбар	18...25	18...25	—	—	—	
Метанове число	MN	—	75 (розрахунок)	—	не менше 65	—	—	
* — розраховано по числу Воббе та значенню відносної густини при стандартних умовах ($P=101,325$ кПа, $T=273,15$ К);								
** — визначено розрахунковим шляхом								
Супровідні речовини	Точка роси по воді	—	°С	Не більше (-8)	Температура ґрунту	-8	-5.5 з 1.10 по 31.03 3,7 з 1.04 по 30.09	-8
	Точка роси по вуглеводням	—	°С	не більше 0	Температура ґрунту	-2	0	0
	Туман, пил, рідина	—	мг/м ³		Технічно відсутні		1,0	
	Технічний вміст кисню: у сухих мережах постач. у вологих мережах постач.	—	%	відсутні		3 0,5	— —	— —
	Загальна сірка	—	мг/м ³	6	30а	20	40	20
	Меркаптани	—	мг/м ³	20	6 16 (за екстрим. умов)	не більше 6	16	5
	Сірководень	—	мг/м ³	—	5 10 (за екстрим. умов)	5 без одорантів	—	2

Виходячи з граничних об'ємних відсоткових часток компонентів, що вказані в Кодексі ГТС [8], мінімальне значення метанового числа, визначеного згідно з методикою [9], становить $MN = 77$. Тобто, критерії за якістю природного газу, що подається в ГТС та споживачам є набагато жорсткіші, ніж представлено в EN 16726:2015, і практично відповідають критеріям, наведеним в ДСТУ ISO 13686: 2015.

Розглянемо схему контролю якості природного газу, що потрапляє в ГТС через фізичні та віртуальні точки входу в систему. Відповідно до положень Кодексу газотранспортної системи,

оператор ГТС надає операторам суміжних систем або іншим суб'єктам, безпосередньо підключеним до газотранспортної системи, оперативні дані фізико-хімічних показників (ФХП) по відповідних маршрутах (паспорт ФХП).

Маршрут — це документ, у якому описано та схематично зображено напрямок руху переміщення газу від місця визначення ФХП газу до місця входу або виходу з ГТС із відображенням місць відбору проб ФХП природного газу або встановлення автоматичних потокових приладів визначення ФХП та вказано номер маршруту [10].

Паспорт ФХП містить компонентний склад газу, абсолютну густину за стандартних умов, нищу та вищу теплоту згоряння, вище число Воббе, температуру точки роси за вологою і вуглеводнях, масову концентрацію сірководню, меркаптанової сірки та механічних домішок.

Порівнюємо, у яких межах змінюється ФХП природного газу по деяких вибраних представницьких маршрутах з офіційного сайту АТ

«Укртрансгаз» за березень 2018 року, відповідно до Кодексу ГТС та додатку С, ДСТУ ISO:13686:2016 (Європейського стандарту EN 437).

Значення ФХП природного газу взятих з паспортів по відповідних презентаційних маршрутах та їх відхилення від показників Кодексу ГТС, додатку С, ДСТУ ISO:13686:2016 та EN 16726:2015 наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Фізико-хімічні показники природного газу за профілями та їх відхилення від основного тестового газу G20

АТ параметри	Кодекс ГТС (базові величини)	ДСТУ ISO 13686 G20	EN 16726: 2015	Сумигаз	Сумигаз Чернігів-газ	Львівгаз	Львівгаз	Івано-Франківськ газ	Волинь-газ	Волинь-газ
				М 71; 5.03	М 166; 5.03	М 246; 2.03	М 1204; 13.03	М 404; 28.03	М 208; 5.03	Локачі; 06.03
Метан, %	min 90	100	–	96,2982	89,7835	94,69	71,476	92,9976	91,3773	93,2261
Етан, %	max 7	–	–	2,001	4,8953	2,73	14,977	3,456	4,2262	2,4891
Пропан, %	max 3	–	–	0,6380	1,1392	0,783	8,28	1,3814	0,9952	0,6669
Бутан, %	max 2	–	–	0,197	0,3304	0,2476	2,698	0,6704	0,2771	0,181
Пентан та ін., %	max 1	–	–	0,0438	0,2014	0,547	0,6	0,3415	0,1214	0,1217
Азот, %	max 5	–	–	0,6730	1,6672	0,9413	1,153	0,5672	1,4018	3,1644
Вуглець, %	max 2	–	2,5	0,143	1,979	0,5093	0,51	0,5819	1,596	0,1367
Кисень, %	max 0,02	–	0,001	0,006	0,0040	0,0042	0,09	0,004	0,005	0,0141
Метанове число	75		65	83,8	76,3	79,0	51,9	76,9	78,1	82
% відхилення Код/EN				11,7 28,9	1,7 17,3	5,3 21,6	–30,8 –20,2	2,5 18,3	4,1 20,2	9,3 26,2
Вища темпер. згоряння кВт·год/м ³ (мДж/м ³)	10.06...10.64 (36.2...38.3)	10.49 (37,78)	–	10,53 (37,92)	10,63 (38,27)	10,57 (38,07)	13,52 (48,7)	10,94 (39,38)	10,59 (38,12)	10,346 (37,2469)
% відхилення від G20			–	0,37	1,297	0,768	28,9	4,235	0,9	–1,411
Число Воббе кВт·год/м ³ (мДж/м ³)		14,08 (50,72)	–	13,85 (49,85)	13,45 (48,41)	13,77 (49,56)	15,32 (55,2)	14,0 (50,41)	13,52 (48,68)	13,4348 (48,3652)
% відхилення від G20			–	–1,715	–4,554	–2,287	8,833	–0,611	–4,022	–4,643
Густина, кг/м ³	0.55...0.75	0.668	0.55...0.7	0,697	0,7528	0,7106	0,9376	0,7349	0,7383	0,7143
% відхилення від G20				4,341	12,695	6,377	40,359	10,015	10,524	6,931
Температура точки роси по воді °С	–8	–22,9	–8	–13,3	–13,2	–		15,3	–8,6	–7,9

З табл. 4 видно, що переважно компонентний склад, вища теплота згоряння природного газу по приведеним маршрутам, знаходиться в межах значень визначених Кодексом ГТС, за виключенням маршруту M1204. При цьому, відхилення вищої теплоти згоряння від теплоти згоряння основного тестового газу G20, змінюється у бік збільшення від 0,4 до 4,2 %.

Тобто, природний газ за його якісними характеристиками відповідає вимогам Кодексу ГТС і повинен ефективно спалюватись на газовому обладнанні, але це твердження є сумнівним.

Значення числа Воббе значно відрізняється від основного тестового газу G20. Відхилення числа Воббе становить від 0,6 до 4,6 % у бік

зменшення від оптимального. Тільки по маршруту M1204 число Воббе на 8,8 % більше оптимального.

Розглянуто, як впливає метанове число газу відповідно до EN 16726:2015 на ефективність горіння. Для цього згідно з методикою [8] визначено мінімальне значення метанового числа MNk для компонентного складу природного газу, що подається в ГТС, відповідно до Кодексу ГТС [10].

Розрахунок метанового числа показав, що його мінімальне значення MNk = 75 для газу з таким компонентним складом: метан — 90 %, етан — 2,5 %, пропан — 2 %, бутан — 1 %, пентан — 0,5 %, азот — 2,98 %, діоксид вуглецю — 1 %, кисень — 0,02 %, що відповідає допустимим значенням розділу III Кодексу ГТС.

При об'ємній відсотковій частки метану по відповідному маршруту більше 90 %, метанове число MN більше розрахункового MNk = 75, тобто газ є придатним до ефективного згорання. В іншому випадку, метанове число MN = 51,9 менше розрахункового MNk = 75, хоча його теплота згорання перевищує газ G20 на 28,9 %, тобто газ не є придатним до ефективного згорання (маршрут M 1204).

Висновки

Одним із головних критеріїв, що визначає якість природного газу, в тому числі газу, при індексному оцінюванні взаємозаміни газів (додаток D) ДСТУ ISO:13686:2016 [3], є число Воббе. Для ефективного (оптимального) згорання природного газу значення числа Воббе не повинно відрізнятися від газу G20 у межах двох відсотків. Це особливо стосується імпортного газового обладнання, яке розраховано на газ G20. В протилежному випадку необхідно змінювати величину тиску подачі газу, або налаштовувати пальники даного обладнання на інший газ.

Додатковим критерієм оцінки якості природного газу може бути метанове число, яка корелюється із значенням числа Воббе. Однак, на погляд авторів, мінімальне значення метанового числа MN = 65 відповідно EN 16726:2015 є заниженим, про що викладено в додатках D, F, G даного стандарту [8].

Якість горіння природного газу залежить не тільки від його теплотворної здатності, а і від числа Воббе. Як показано в табл. 3, при перевищенні теплоти згорання природного газу відносно основного тестового газу G20, значення числа Воббе є значно меншим тестового і наближаються до показника числа Воббе газу G222 (див. табл. 2). Процес горіння при цьому наближається до межі проскакування полум'я

(маршрут M166, M208), а на маршруті M1204 проходить процес неповного згорання з жовтим ореолом полум'я та сажоутворенням, як при тестовому газі G21. Тобто, при цілком задовільних показниках теплоти згорання, робота газоспалювального обладнання призводить до перевитрати природного газу.

Природний газ по маршруту M404 практично ідеально підібраний за компонентним складом. Число Воббе дорівнює 50,41 МДж/м³, але точка роси за вологою становить 15,3 °С за величиною тиску $P = 3,92$ МПа. Це свідчить про те, що відносна вологість природного газу становить 100 %. Абсолютна вологість за температури 15 °С дорівнює 0,44 г/м³, що не стільки призводить до погіршення ефективності його горіння, як до створення умов корозії металу розподільних трубопроводів та можливості утворення гідратів.

Природний газ, перед тим як його подають у газорозподільчу систему, повинен пройти комплексні заходи з підготовки та переробки його в місцях видобування, на газопереробних заводах або на станціях змішування, як це відбувається в країнах Європейського Союзу для максимального приведення його якісних показників до основного тестового газу. Тільки тоді можна досягти ефективного та економічного газоспоживання.

У державній політиці необхідно переходити від поняття «енергозбереження» до дещо іншого і більш комплексного виміру — «енергоефективність» та вирішувати проблему підвищення ефективного використання природного газу шляхом запровадження новітніх енерго-ефективних технологій та обладнання, які відповідали б потребам та вимогам сьогодення.

Перспективи подальших досліджень

Планується виявити залежності ефективності та надійності горіння природного газу від величини тиску та температури, при подачі його на пальник газо-спалювального обладнання та дослідити кореляційну залежність метанового числа природного газу та октанового числа палива при переводі двигуна внутрішнього згорання з екологічно шкідливого палива на природний газ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрійшин М. П., Капітанчук К. І., Чернишенко О. М., Афанасьєв О. В. Вплив фізичних параметрів природного газу на динаміку процесів в кільцевій решітці турбінного лічильника. *Наукоємні технології*. 2017. №3(35). С. 253-257. DOI: 10.18372/2310-5461.35.11845.

2. **Енергетична** ефективність України. Кращі проектні ідеї [електронне видання]: Проект

«Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні» / уклад.: С. П. Денисюк, О. В. Коцар, Ю. В. Чернецька. К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. 79 с.

3. ДСТУ ISO 13686:2015. Природний газ. Показники якості. (ISO 13686:2013, IDT). К.: ДП УкрНДНЦ, 2016. 38 с.

4. ДСТУ ISO 14532:2018 (ISO 13686:2015, IDT). Природний газ. Словник термінів. К.: ДП УкрНДНЦ, 2018. 72 с.

5. ДСТУ EN 437:2014. Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів (EN 437:2012, IDT, EN 437:2012, IDT). К. : Держстандарт України. 2016. 52 с.

6. Андрішин М. П., Домницький Р. А., Дехтярчук С. І. Вплив фізико-хімічних показників газу на ефективність роботи газових приладів. *Нафтогазова галузь України*. 2014. №6. С. 25–29.

7. Карпаш О. М., Дарвай І. Я., Проблемні питання оцінки якості природного газу в Україні. *Нафтогазова енергетика*. 2007. №32(3). С. 13–17.

8. EN16726:2015 + A1:2018 (W1 = 00234083). Gas infrastructure. Quality of gas. Group H. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.

9. ГОСТ 5542-87. Газы горючі природні для промислового та комунально-побутового призначення. Технічні умови: М. 1988. 42 с.

10. Кодекс газотранспортної системи. Постанова НКРЕ КП 32493 від 30.09.2015 р.

11. ДСТУ ISO 15112:2009. Природний газ. Визначення енергії. (ISO 15112:2007, IDT). К. : Держспоживстандарт України. 2010. 48 с.

Андрішин М. П., Капітанчук К. І., Чернишенко О. М.

ОСНОВНІ ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

У статті вперше визначено, що одним із основних критеріїв, що визначає якість природного газу при індексному оцінюванні взаємозаміни газів ДСТУ ISO:13686:2016, є число Воббе. Для ефективного згоряння природного газу значення числа Воббе не повинно відрізнятися від газу G20 у межах двох відсотків. Це особливо стосується імпортного газового обладнання, яке розраховано на газ G20. В протилежному випадку необхідно змінювати величину тиску подачі газу, або налаштовувати пальники даного обладнання на інший газ. Додатковим критерієм оцінки якості природного газу може бути метанове число, яка корелюється із значенням числа Воббе. Однак, на погляд авторів, мінімальне значення метанового числа $MN = 65$ відповідно EN 16726:2015 є заниженим, про що викладено в додатках D, F, G даного стандарту.

Доведено, що при перевищенні теплоти згоряння природного газу відносно основного тестового газу G20, значення числа Воббе є значно меншим тестового і наближаються до показника числа Воббе газу G222.

Процес горіння при цьому наближається до межі проскакування полум'я (маршрут M166, M208), а на маршруті M1204 проходить процес неповного згоряння з жовтим ореолом полум'я та сажоутворенням, як при тестовому газі G21. Тобто, при цілком задовільних показниках теплоти згоряння, робота газоспалювального обладнання приводить до перевитрати природного газу. Природний газ по маршруту M404 практично ідеально підібраний по компонентному складу. Число Воббе рівне $50,41 \text{ МДж/м}^3$, але точка роси за вологою становить $15,3 \text{ }^\circ\text{C}$ при величині тиску $P=3,92 \text{ МПа}$. Це свідчить про те, що відносна вологість природного газу становить 100%. Абсолютна вологість при температурі 15°C дорівнює $0,44 \text{ г/м}^3$, що не стільки приводить до погіршення ефективності його горіння, як до створення умов корозії металу розподільних трубопроводів та можливості утворення гідратів.

Пропонується, перед тим як подати природний газ в газорозподільчу систему, проводити комплексні заходи з його підготовки та переробки в місцях видобування, на газопереробних заводах або на станціях змішування, як це відбувається в країнах Європейського Союзу для максимального приведення його якісних показників до основного тестового газу.

У державній політиці необхідно переходити від поняття «енергозбереження» до дещо іншого і більш комплексного виміру — «енергоефективність» та вирішувати проблему підвищення ефективного використання природного газу шляхом запровадження новітніх енергоефективних технологій та обладнання, які відповідали б потребам та вимогам сьогодення.

Ключові слова: природний газу; турбінний лічильник; метрологічні характеристики; калібрування.

Andriyishyn M. P., Kapitanchuk K. I., Chernyshenko O. M.

ENERGY EFFICIENT USAGE OF NATURAL GAS CRITERIAS

The article suggests that Wobbe Index is one of the main criteria when determining quality of natural gas for natural gas Interchangeability from different sources ДСТУ ISO:13686:2016. For effective natural gas combustion the Wobbe Index W_s gas of should not differ form W_s of gas G20 by more than 2 percent. Especially in cases where equipment designed precisely to work with G20 gas. In that case it is necessary to adjust gas pressure or substitute

machine design for different gas usage. Methane number that is corrected by Wobbe Index could be another criteria of quality of gas determination. Authors suggest minimal methane number of $MN=65$ defined by EN 16726:2015 is not sufficient. It is proven that even in case of higher combustion energy output for gas with Wobbe Index significantly lower of G20 gas test values the overall efficiency of using this gas in particular burner system is much lower. Flame flow for natural gas in streams M166 and M208 is closer to wrinkles due to chemical mixture of gas and natural gas in M1204 stream creates "yellow tipping" due to incomplete combustion, sulfur content similar to G21 test gas. With mediocre combustion energy output same burners consume more natural gas to provide same amount of energy.

Natural gas from stream M404 has almost ideal mixture of components. Its Wobbe Index is 50,41 MJ/Nm³ but hydrocarbon dew point of 15.3 °C at $P=3.92$ MPa. That indicates relative humidity of 100%. Specific humidity of gas in stream is 0.44 grams per cubic meter that is dangerous for creating natural gas hydrates, solid clathrate compounds that may damage machinery or obstruct pipeline flow.

Authors suggest to provide certain set of actions to process natural gas into so called clean "pipeline quality dry gas" at wells or gas-processing plants to improve gas parameters to be closer to European Union standards.

As for government policies they have to be reworked from using "energy saving" term to "energy efficiency" term and start improving on efficient usage of natural gas by approving and applying newest energy efficient technologies and machinery into gas transport\consumer network.

Keywords: natural gas; Wobbe Index; quality; energy efficiency.

Андрішин М. П., Капітанчук К. І., Чернышенко О. М. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, КОТОРЫЕ ВЛИЯЮТ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В статье впервые предложено, что одним из основных критериев, которые определяют качество природного газа при индексной оценке взаимной замене газов ДСТУ ISO:13686:2016, есть число Воббе. Для эффективного сгорания природного газа величина числа Воббе не должна отличаться от газа G20 в диапазоне двух процентов. Это особенно относится к импортному газовому оборудованию, которое рассчитано на газ G20. В противном случае необходимо изменить величину давления подачи газа, или заменить горелки на другой газ. Дополнительным критерием оценки качества природного газа может быть метановое число, которая корректируется с величиной числа Воббе. По мнению авторов, минимальная величина метанового числа $MN=65$ согласно EN 16726:2015 есть заниженной, что отражено в приложениях D, F, G данного стандарту.

Доказано, что при превышении теплоты горения природного газа относительно основного тестового газа G20, величины чисел Воббе значительно меньше тестового и приближаются до показателей числа Воббе газа G222. Процесс горения при этом приближается к границе проскакивания пламени (маршрут M166, M208), а на маршруте M1204 происходит процесс неполного сгорания с желтым ореолом пламени и образованием сажи, как при тестовом газе G21. При удовлетворительном показателе теплоты сгорания работа оборудования приводит к превышению природного газа.

Природный газ по маршруту M404 практически идеально подобран по компонентному составу. Число Воббе равен 50,41 МДж/м³, но точка росы по влажности равна 15,3 °C при величине давления $P=3,92$ МПа. Это свидетельствует про то, что относительная влажность природного газа равна 100%. Абсолютная влажность при температуре 15 °C равна 0,44 г/м³, что не столько приводит к ухудшению эффективности его горения, как к созданию условий коррозии металла трубопроводов и возможности образования гидратов.

Предлагается, перед тем как подать природный газ в газораспределительную систему, проводить комплексные мероприятия по его подготовке и переработке в местах добычи, на газоперерабатывающих заводах или на станциях смешивания, как это осуществляется в странах Европейского Союза для максимального приведения его качества к основному тестовому газу.

В государственной политике необходимо переходить от понятия «энергосбережение» к другому и более комплексному — «энергоэффективность» и решать проблему повышения эффективного использования природного газа путем внедрения новейших энергоэффективных технологий и оборудования, которые соответствовали бы потребностям и требованиям времени.

Ключевые слова: природный газ; показатели качества; числа Воббе; энергоэффективность.

Стаття надійшла до редакції 28.01.2019 р.
Прийнято до друку 06.03.2019 р.