

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ

*А. Г. Колієнко, О. В. Шеліманова, кандидати технічних наук*

*e-mail: [shelemanova@ukr.net](mailto:shelemanova@ukr.net)*

**Анотація.** Проаналізовано фактори, які впливають на ефективність роботи паливоспалювального обладнання, зокрема вологість газу та тиск газу перед пальниками. Одержана залежність для визначення величин перепаду тиску виходячи із допустимої величини зменшення ККД газового обладнання. Показано, що зменшення перепаду тиску дасть можливість досягти суттєвої економії газу за рахунок скорочення його втрат, які виникають при перевищенні номінального тиску газу для споживачів, розташованих на початкових ділянках газопроводів.

**Ключові слова:** енергоощадність, газоспалювальне обладнання, якість паливного газу

Потенціал енергозбереження при транспортуванні і постачанні природного газу є значним і до цього часу абсолютно не використаним. Але питання про його оцінку і використання навіть не ставиться. У зв'язку з цим залучення газорозподільних, газотранспортних і газовидобувних організацій до проблем енергоощадності може бути потужним чинником зменшення як витрат, так і втрат газу усіма групами споживачів.

**Мета досліджень** – оцінити вплив якості паливного газу і гідравлічних режимів роботи розподільчих газопроводів на ефективність використання газу в газоспалювальному обладнанні.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження проводилися у ході обстежень роботи паливоспалюючого обладнання (ПСО) на природному газі.

Згідно п. 4.1.1 [1]: «...номінальна теплова потужність кожного пальника повинна відповідати номінальній тепловій потужності, встановленій для пальників даного типорозміру (максимальне відхилення (+10) – (-5) %). Згідно іншого ГОСТ [2]: «...допустимі відхилення числа Воббе від номінального значення становлять не більше +\_ 5%».

Розглянемо вплив окремих експлуатаційних факторів на величину теплової потужності пальника,  $N$ . Факторами впливу на неї, за умови незмінної конструкції пальника, є такі експлуатаційні характеристики і параметри якості природного газу:

- теплота згоряння природного газу за нормальних умов,  $Q_H^p$ , кДж/м<sup>3</sup>;
- густина природного газу,  $\rho_r^{ny}$ , кг/м<sup>3</sup>;
- тиск газу перед пальником,  $P_r$ , Па.

Оцінку вказаних факторів на величину теплової потужності можливо виконати при аналізі залежності (1):

$$N = \frac{B \cdot Q_H^p}{3600} \text{ кВт.} \quad (1)$$

Величина витрат **сухого** природного газу  $B$ , який буде подаватись до пальника за нормальних умов визначається за залежністю (2):

$$B = \varphi_c f \sqrt{\frac{2 \cdot P_r}{\rho_r}} \cdot \left( \frac{P_r + P_{бар} - P_{вп}}{P_{бар}^{ny}} \right) \cdot \left( \frac{T_{ny}}{T_r} \right) 3600, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2)$$

де  $f$  – площа вогневих отворів пальника або газового сопла (для інжекційних пальників), м<sup>2</sup>. За умови подачі до пальників горючих газів, які відповідають вимогам взаємозамінності площа сопла або вогневих отворів залишаються незмінними;

$\varphi_c$  – коефіцієнт, який залежить від форми і якості виготовлення сопла або вогневих отворів пальників,  $\varphi_c = \text{const}$ ;

$P_r$  – тиск газу перед пальником, Па;

$P_{вп}$  – тиск водяної пари, яка міститься у газі, Па;

$\rho_{г}$  – густина природного газу,  $\text{кг/м}^3$ , залежить від фізико-хімічних властивостей газу, його складу, тиску і температури;

$P_{бар}$  – дійсний барометричний тиск, Па;

$T_{г}$  – дійсна температура газу, К.

Зміна у часі величини густини природного газу, який постачається операторами ГРМ, так само як і зміна його теплоти згоряння за нормальних умов нормативно обмежена вимогами [3]. Згідно вказаного ГОСТ величина критерія Воббе для газів які подаються споживачам не повинна змінюватись у часі більше, ніж на 5 %:

$$W_{o_1} = W_{o_2} = \dots W_{o_n} = \text{const} \pm 5\% ;$$

$$\frac{Q_{n1}^p}{\sqrt{\rho_1}} = \frac{Q_{n2}^p}{\sqrt{\rho_2}} = \dots \frac{Q_{nn}^p}{\sqrt{\rho_{1n}}} = \text{const} \pm 5\% ,$$

де  $W_{o_1}, W_{o_2}, \dots, W_{o_n}$  – значення критеріїв Воббе, які визначаються для природного газу згідно сертифікатів якості у межах терміну дії угоди на постачання і транспортування газу.

Таким чином, відповідність природного газу зазначеним вище нормативним вимогам щодо допустимих відхилень критерію Воббе від договірних значень і відповідний контроль зі сторони споживачів за вказаною величиною за сертифікатами якості газу гарантує обмежений вплив фізико-хімічних властивостей газу на величину теплової потужності пальника і показники ефективності використання газу. Експериментальні обстеження показують, що зміна ККД ПВО при цьому не буде перевищувати 2-3 % ( за умови збільшення числа  $W_o$  від номінального) і 0,2-0,5 % ( за умови зменшення числа  $W_o$ ) [5].

Критерій Воббе нині є єдиним нормативним параметром, за допомогою якого споживачам можна контролювати зміну характеристик і якість природного газу. Це один із найважливіших параметрів, контроль за яким який

забезпечує енергоощадне використання газу. Відсутність практики використання такого параметру споживачами призводить до спроб зменшити його значення – зі сторони операторів ГРМ, і прямих втрат газу – зі сторони споживачів газу. Справа у тім, що за умови відмінностей критерію Воббе для природного газу у часі вище нормованих 5 % такі гази вважаються невзаємозамінними, а забезпечення паспортних характеристик ПВО і високих показників ефективності використання палива можливе лише за рахунок зміни площі вогневих отворів, або тиску газу перед пальником. При спалюванні невзаємозамінних газів суттєво змінюється також теплова потужність, зменшується ККД.

Європейський досвід свідчить про ретельне врахування якості газу при підборі пальників і їх експлуатації. Так, наприклад, згідно настанови з експлуатації пальників фірми Hansa ( Німеччина) горючі гази, які близькі за властивостями до природного, поділені за величиною критерію Воббе додатково ще на три категорії: ErdgasL з теплою згоряння  $Q_H^P = 7,57$  Мкал/м<sup>3</sup> і числом Воббе  $W_o = 10,5$  Мкал/м<sup>3</sup>, Erdgas H з  $Q_H^P = 8,92$  Мкал/м<sup>3</sup> і  $W_o = 12,7$  Мкал/м<sup>3</sup> і Erdgas E з  $Q_H^P = 9,45$  Мкал/м<sup>3</sup> і  $W_o = 12,9$  Мкал/м<sup>3</sup>. Вказані гази вважаються не взаємозамінними – відповідно для кожної категорії будуть різними як діаметри вогневих отворів, так і паспортні характеристики пальників. Вказане вище можна було б просто віднести до німецької педантичності, якби це не давало суттєвий ефект у величині витрат газу і ефективності його використання. При цьому без особливих інвестицій. Для порівняння наведемо діапазон величин теплоти згоряння для газу, який надавався, наприклад, споживачам Полтавської області згідно сертифікатів якості газу. Він становив  $Q_H^P = 8,24 - 8,86$  Мкал/м<sup>3</sup>. При виборі пальників така різниця у характеристиках газу нівелюється, а відмінності у паспортних і дійсних величинах  $Q_H^P$  і числах  $W_o$  не враховуються.

Наведемо характерний приклад. Конструкція і паспортні характеристики пальників UNIGAS ( Італія), які поставляються до країн СНД, розраховані на газ з теплотою згоряння 8,1 Мкал/год при  $t=20$  °С і  $P=101,3$  кПа,  $W_o = 10,2$  Мкал/нм<sup>3</sup>. Середня теплота згоряння природного газу в Україні, зведена до нормальних умов, становить  $Q_n^p = 8,83$  Мкал/нм<sup>3</sup>, а критерій Воббе  $W_o = 11.02$  Мкал/нм<sup>3</sup>. Відмінності критерію Воббе більші за 5 %, що означає невзаємозамінність вказаних газів. Для можливості спалювання газу з вказаною дійсною теплотою згоряння без втрати ККД і зміни теплової потужності необхідно змінити площу вогневих отворів пальника, або величину тиску перед ним. Як правило це не виконується.

**Результати дослідження.** Проаналізуємо фактори, які впливають на величину теплової потужності ПСО і його ККД за залежностями (1) і (2). До складу таких факторів відноситься вміст вологи у природному газі. Друга ступінь очищення природного газу від вологи шляхом промивки його діетиленгліколем на установках підготовки газу до транспортування відсутня практично на усіх УКПГ.

Тому незрозумілими залишаються причини, з яких до цього часу у сертифікатах якості не здійснюється перерахунок газу і його властивостей на сухий склад, а у вузлах обліку газу не визначаються витрати сухого газу, хоча методика таких розрахунків була регламентована ГОСТ [4]. У відповідності до вказаного ГОСТ у 1992 р. УкрНДІГАЗом (Харків) розроблені методичні вказівки з контролю точки роси.

Складові вимірювальних комплексів і вузлів обліку газу – коректори-обчислювачі, які і повинні були виконувати такі розрахунки, випускаються вітчизняними виробниками взагалі без функції перерахунку витрат вологого газу до сухого. А коректор типу СПГ, у якого така функція була передбачена, не рекомендується до використання як такий, що не включений у реєстр ЗВТ [6].

Наявність води і водяної пари відмічається багатьма експлуатаційними організаціями, але документ, який жорстко обмежував величину точки роси у газі – ТУ У 320.00158764.007-95 «Гази горючі природні, що подаються в магістральні газопроводи», не був продовжений після закінчення його терміну дії.

Невдовзі закінчуються терміни дії і інших нормативних документів з вказаного питання. За існуючої практики припинення дії існуючих і розроблених раніше нормативних актів без їх поновлення і заміною на Постанови НКРЕ КП питання про якість газу і вміст вологи у ньому буде остаточно позбавлене нормативного підґрунтя.

Вологість газу – це фактор ризику і неощадливого використання палива, тому необхідно терміново поновити нормативну базу, привести якість газу у відповідність вимогам нормативної літератури, а до того як це здійсниться – забезпечити у вузлах обліку газу і у технічних розрахунках перерахунок вологого складу у сухий.

Ще один фактор впливу на величину теплової потужності і ефективність використання газу – тиск газу перед пальниками ПВО і режими тиску у газорозподільній системі.

Величина тиску залежить від параметрів роботи газової мережі, газорегуляторних установок, нерівномірності споживання газу, гідравлічного режиму роботи розподільних газопроводів і величини перепаду тиску газу на газовій мережі –  $\Delta P$ .

Нині згідно вимог ДБН В.2.5-20-2001 перепад тиску від ГРП до споживачів низького тиску не повинен перевищувати 1,8 кПа, із яких 1,2 кПа приходить на розподільні мережі. Вибір перепаду тиску у міжцехових і внутрішньоцехових газопроводах промислових підприємств вибирається взагалі довільно.

Але внаслідок розвитку інфраструктури міст і автономних систем теплопостачання, з однієї сторони, і обмеженою пропускною здатністю газових мереж, з другої, газорозподільні організації прибігають до збільшення тиску газу у газорозподільних мережах низького тиску після ГРП вище 3 кПа. Це підтверджується реальними замірами тиску газу, які здійснювались нами безпосередньо перед побутовими газовими приладами, особливо у холодний період року. Сприяє цьому і якість обладнання районних ГРП і порушення гідравлічного режиму роботи мереж.

Спроби збільшити пропускну здатність газопроводів за рахунок збільшення тиску призводить до зростання перепаду тиску і збільшення тиску газу перед споживачами. Наслідком зазначеного є зниження безпеки газопостачання і суттєве зменшення ефективності використання палива у результаті падіння величини термічного ККД обладнання.

Для поліпшення ситуації пропонується:

- з метою вивчення дійсного стану розподільчих газових мереж міст виконати роботи з ідентифікації існуючих систем газопостачання, визначення реальних навантажень на газові мережі з наступними гідравлічними їх розрахунками ;
- скласти перспективні схеми розвитку газових розподільчих мереж з виявленням ділянок газопроводів, які підлягають заміні внаслідок їх недостатньої пропускної здатності;
- питання щодо можливості підключення додаткових споживачів газу здійснювати виключно на основі складених схем газопостачання з врахуванням тиску газу у всіх споживачів.

При виконанні зазначених робіт виходити із того, що більшість існуючих мереж були змонтовані на рубежі 60-70 років минулого століття, коли вартість газу була незначною. Проектування розподільних газопроводів здійснювалось у ті часи зазвичай по мінімуму їх металоємності. На сьогодні вартість газу

значно збільшилась і втрати палива внаслідок нерівномірності величини тиску по довжині газопроводу і зниження внаслідок цього величини ККД побутових приладів може бути більш вагомим чинником, ніж вартість труб. У результаті проектування нових газопроводів рекомендується здійснювати на величину перепаду тиску (втрат тиску), меншу за нормовану величину у 1,8 кПа.

Визначення величини перепаду тиску пропонується здійснювати залежно від прийнятої до розрахунку допустимої величини зменшення ККД пальників паливовикористовуючого обладнання. Тоді оптимальний перепад тиску може бути визначений як різниця між максимально і мінімально можливими тисками перед газовим обладнанням, при яких зменшення ККД можна вважати прийнятним:

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min}, \quad (3)$$

де  $P_{\max}$  – максимально можливий тиск, при якому падіння ККД можна вважати прийнятним;  $P_{\min}$  – те ж саме стосовно мінімального тиску.

Одержимо значення вказаних тисків із (2) і матимемо:

$$P_{\min} = \frac{P_{\Gamma}^{\text{НОМ}} N_{\min}^2}{N_{\text{НОМ}}^2} k_{\rho_{\min}} k_{P_{\min}}; \quad P_{\max} = \frac{P_{\Gamma}^{\text{НОМ}} N_{\max}^2}{N_{\text{НОМ}}^2} k_{\rho_{\max}} k_{P_{\max}}, \quad (4)$$

де  $P_{\Gamma}^{\text{НОМ}}$  – номінальне значення тиску для пальників ПВО згідно паспортних величин;  $N_{\min}$  і  $N_{\max}$  – мінімальна і максимальна величини теплових потужностей, за значень яких падіння ККД можна вважати прийнятним (визначається згідно паспортних з даних або результатів випробувань обладнання за типом рис.2);  $N_{\text{НОМ}}$  – номінальна теплова потужність обладнання за паспортними даними;  $k_{\rho_{\max}}$  і  $k_{\rho_{\min}}$  – коефіцієнти коригування густини при максимальному і мінімальному тиску відповідно;  $k_{P_{\max}}$  і  $k_{P_{\min}}$  – коефіцієнти зміни тиску, відповідно, максимального і мінімального, які визначаються за залежностями:

$$k_{\rho_{\min}} = \frac{\rho_{\min}}{\rho_{\max}}; \quad k_{\rho_{\max}} = \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\text{НОМ}}}; \quad k_{P_{\max}} = \left( \frac{P_{\Gamma}^{\text{НОМ}} + P_{\text{бар}} + P_{\text{ВП}}}{P_{\Gamma}^{\text{МАХ}} + P_{\text{бар}} + P_{\text{ВП}}} \right)^2; \quad k_{P_{\min}} = \left( \frac{P_{\Gamma}^{\text{НОМ}} + P_{\text{бар}} + P_{\text{ВП}}}{P_{\Gamma}^{\text{МІН}} + P_{\text{бар}} + P_{\text{ВП}}} \right)^2 \quad (5)$$



де  $\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\max}$ ,  $\rho_{\text{ном}}$  – значення густини газу під мінімальним, максимальним і номінальним тиском, відповідно.

Після підстановки у формулу (3) для визначення втрат тиску, отримуємо:

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} = P_{\Gamma}^{\text{ном}} \left\{ \left( \frac{N_{\max}}{N_{\text{ном}}} \right)^2 k_{\rho_{\max}} k_{P_{\max}} - \left( \frac{N_{\min}}{N_{\text{ном}}} \right)^2 k_{\rho_{\min}} k_{P_{\min}} \right\}. \quad (5).$$

Отримана залежність дає можливість визначити величину перепаду тиску для будь яких мереж, виходячи із допустимої величини зменшення ККД газового обладнання за умови підтримання сталих фізико-хімічних властивостей газу у межах взаємозамінних газів. Розрахунки за вказаною залежністю для розподільних мереж низького тиску показують, що за умови відхилення величини ККД від номінальної величини не більше 10 %, величина втрат тиску від ГРП до останнього по ходу газу споживача не повинна перевищувати 1,25 кПа, що значно менше встановленої на сьогодні величини. Тиск газу після ГРП для таких споживачів не повинен перевищувати 2,5 кПа.

Зменшення перепаду тиску дає можливість досягти суттєвої економії газу за рахунок скорочення втрат газу, які виникають внаслідок перевищення тиску газу, порівняно з номінальним, для споживачів, розташованих на початкових ділянках газопроводів.

## **Висновки**

Зазначені у роботі фактори впливу на величину теплової потужності і термічний ККД побутового газового обладнання дають можливість визначити напрямок робіт з енергозбереження у галузі транспортування газу, у якій до дійсного часу такі проблеми з енергозбереження практично не ставились і не вирішувались. У роботі показано, що газорозподільні і газотранспортні організації мають значний потенціал з енергозбереження. Основним чинником впровадження відповідних заходів повинно бути підвищення вимог як до

якості газу, так і до режимів його постачання, виконання вимог нормативної документації.

Інші висновки з вищевказаного необхідно робити споживачам газу і контролюючим організаціям, неவிбагливе і невимогливе ставлення яких і призвело до існуючого стану з вказаного питання. Сприяє цьому також монополізм організацій, які постачають і транспортують газ, а також значні соціальні і економічні переваги використання природного газу, порівняно з іншими видами палива.

### **Список літератури**

1. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования: ГОСТ 21204-97 .
2. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения: ГОСТ 5542-87.
3. Газы горючие природные. Методика определения содержания водяных паров и точки росы влаги: ГОСТ 20060-83.
4. Колієнко А. Г. До питання про якість горючого газу / А. Г. Колієнко, О. В. Шеліманова, В. А. Колієнко // Енергетика і автоматика. – 2016. – № 1. – С. 135 – 144.
5. Правила обліку природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами постачання та споживання. Наказ Міністерства палива і енергетики України № 618 від 27.12.2005 р.

### **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*А. Г. Колиенко, Е. В. Шелиманова*

*Аннотация. Проанализированы факторы, влияющие на эффективность работы топливосжигающего оборудования, в частности, влажности газа и*

*"Енергетика і автоматика", №4, 2016 р.*  
давления газа перед горелками. Получена зависимость для определения величин перепада давления, исходя из допустимой величины уменьшения КПД газового оборудования. Показано, что уменьшение перепада давления позволяет достичь существенной экономии газа за счет сокращения его потерь, которые возникают при превышении номинального давления газа для потребителей, расположенных на начальных участках газопроводов.

**Ключевые слова:** *энергосбережение, газосжигающее оборудование, качество топливного газа*

## **INFLUENCE OF NATURAL GAS' PARAMETERS ON THE PERFORMANCE OF GAS EQUIPMENT**

*A. Koliyenko, O. Shelimanova*

**Annotation.** *Factors that affect the performance of fuel-burning equipment, including humidity and gas pressure before the gas burners are analyzed. The resulting dependence for determining pressure drop values based on the allowable size of reduction the gas equipment's efficiency is obtained. It was shown that reducing pressure drop will make it possible to achieve significant savings of gas by reducing its losses arising in excess of the rated pressure of gas for consumers located in the initial pipeline.*

**Keywords:** *energy saving, gas-burning equipment, fuel gas' quality*