

УДК 681.121.84

Матіко Ф.

ДУ "Львівська політехніка", кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА АДІАБАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ ЗАДАЧ ЙОГО ОБЛІКУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ

© Матіко Ф., 2000

The article contains the main principles of building new strategies of calculation of isoentropie factor of natural gas. There are also analytical dependencies which allow to make the calculation of isoentropie factor when surplus pressure varies from 0 to 25 MPa and temperature - from -20°C to $+50^{\circ}\text{C}$.

Вимірюючи витрати та розраховуючи кількість природного газу за методом змінного перепаду тиску, важливо визначити поправковий множник ε на зміну густини природного газу за рахунок його розширення на пристрої звуження потоку. Множник ε є функцією перепаду тиску ΔP на пристрої звуження потоку, тиску газу P у трубопроводі та його показника адіабати χ : $\varepsilon = f(\Delta P, P, \chi)$. Перепад тиску та тиск газу вимірюють. Показник адіабати газу розраховують, у свою чергу, як функцію тиску P та температури T газу. Отже, для точного визначення поправкового множника ε необхідно точно вимірювати ΔP і P та точно визначити показник адіабати χ . У цій роботі описана вдосконалена нами методика розрахунку показника адіабати χ для умов вимірювання витрати та кількості природного газу на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях (АГНКС), а саме для діапазону температури -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$ та тиску від 0.1 до 25 МПа.

Значення показника адіабати природного газу та методики його розрахунку наведені в нормативних документах [1-3]. Нормативні документи Росії [2,3] в Україні ще не введено. Нормативний документ [1] призначений для діапазонів температури 250 - 400 К і тисків 0.1-12 МПа. Нормативні документи [2] і [3] регламентують дві методики розрахунку показника адіабати:

1) методика розрахунку за рівнянням стану ВНИЦ СМВ при $T \in [240-480]$ К, $P \in [0-12]$ МПа; похибка розрахунку у всьому діапазоні не перевищує 1.1 %;

2) методика розрахунку за модифікованим рівнянням Кобза при $T \in [240-360]$ К, $P \in [0-10]$ МПа; похибка розрахунку становить 2.0 % відносно результатів розрахунку за рівнянням стану ВНИЦ СМВ.

Наповнення балонів автомобілів на АГНКС здійснюється до тиску природного газу 20 МПа. Жодна з нині існуючих методик не забезпечує розрахунку показника адіабати при таких значеннях тиску.

Нами пропонується методика розрахунку показника адіабати природного газу, яка дозволяє проводити розрахунок для природних газів та вуглеводневих сумішей, які мають густину при нормальних умовах $\rho_{\text{НОМ}} = 0.6673 - 1.2046 \text{ кг/м}^3$, при зміні температури від -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$ і абсолютного тиску від 0.1 до 25 МПа. Молярний вміст вуглекислого газу N_{CO_2} та азоту N_{N_2} в газових сумішах не повинні перевищувати кожен 15 %.

Методика будується, з одного боку, на застосуванні відомих термодинамічних залежностей [4]:

$$\chi = -\frac{V}{P} * \frac{C_p}{C_v} \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T, \quad (1)$$

$$C_p = C_{p0} - T \int_0^P \left(\frac{\partial^2 V}{\partial T^2} \right)_p dP, \quad (2)$$

$$C_v = C_p + T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p^2 / \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T, \quad (3)$$

де V – питомий об'єм природного газу; C_p, C_v – питомі теплоємності природного газу відповідно при сталому тиску та сталому об'ємі, і, з іншого боку, на застосуванні апроксимаційних рівнянь розрахунку коефіцієнта стискуваності природного газу [5], які діють в діапазоні тиску від 0.1 до 25 МПа та температури від -20 °С до $+50$ °С :

$$\begin{cases} K = \left[\sum_{i=0}^3 A_i x_1^i \right]^{-3}, \\ A_i = \sum_{j=0}^3 a_{ij} x_2^j, \\ x_1 = 0.145038 P_{np}, \quad x_2 = 1.8(T_{np} - 273.15) + 32, \quad \text{при } P_{np} < 8.96 \text{ МПа}, \\ x_2 = 1.8(T_{np} - 273.15) + 32, \quad x_1 = 0.145038 P_{np}, \quad \text{при } 8.96 \leq P_{np} \leq 25 \text{ МПа}, \end{cases} \quad (4)$$

де P_{np}, T_{np} – псевдоприведені тиск і температура відповідно.

Изобарна теплоємність в ідеально-газовому стані C_{p0} для рівняння (2) визначається апроксимаційною залежністю [1] :

$$\frac{C_{p0}}{R} = \sum_{j=0}^{10} \alpha_j \theta^j + \sum_{j=1}^6 \beta_j \theta^{-j}, \quad (5)$$

де $\theta = T/100$; α_j, β_j – апроксимаційні коефіцієнти, значення яких наведено в [1] .

Використовуючи рівняння стану реального газу $PV=KRT$, отримано вирази зв'язку термодинамічних параметрів P, V, T природного газу з урахуванням коефіцієнта стискуваності K , а звідси і вирази часткових похідних:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p &= \frac{R}{T} \frac{\partial(KT)}{\partial T} = \frac{R}{P} \left[\left(\frac{\partial K}{\partial T} \right)_p T + K \right]; \\ \left(\frac{\partial^2 V}{\partial T^2} \right)_p &= \frac{R}{P} \left[\left(\frac{\partial^2 K}{\partial T^2} \right)_p T + 2 \left(\frac{\partial K}{\partial T} \right)_p \right]; \\ \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T &= \frac{RT}{P} \left[\left(\frac{\partial K}{\partial P} \right)_T - \frac{K}{P} \right]; \\ \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T &= -\frac{RTK}{V^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Оскільки залежність (4) є поліномом, то нескладно отримати аналітичні вирази часткових похідних коефіцієнта стискуваності:

$$\left(\frac{\partial K}{\partial T}\right)_p = -2 \frac{K2}{K1^3}, \quad (7)$$

$$\left(\frac{\partial^2 K}{\partial T^2}\right)_p = \frac{2}{K1^3} \left(3 \frac{K2^2}{K1} - K3\right), \quad (8)$$

$$\left(\frac{\partial K}{\partial P}\right)_T = -2 \frac{K4}{K1^3}, \quad (9)$$

$$\text{де } K1 = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x_2^j \cdot x_1^i;$$

$$K2 = \begin{cases} \sum_{i=0}^3 1.8 \sum_{j=1}^3 j a_{ij} x_2^{j-1} \cdot x_1^i, & \text{при } P < 8.96 \text{ МПа,} \\ \sum_{i=0}^3 1.8 \sum_{j=1}^3 a_{ij} x_2^j \cdot i x_1^{i-1}, & \text{при } 8.96 \leq P \leq 25 \text{ МПа;} \end{cases}$$

$$K3 = \begin{cases} \sum_{i=0}^3 3.24 \sum_{j=2}^3 j(j-1) a_{ij} x_2^{j-2} \cdot x_1^i, & \text{при } P < 8.96 \text{ МПа,} \\ \sum_{i=2}^3 3.24 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x_2^j \cdot i(i-1) x_1^{i-2}, & \text{при } 8.96 \leq P \leq 25 \text{ МПа;} \end{cases}$$

$$K4 = \begin{cases} \sum_{i=1}^3 0.145038 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x_2^j \cdot i x_1^{i-1}, & \text{при } P < 8.96 \text{ МПа,} \\ \sum_{i=0}^3 0.145038 \sum_{j=1}^3 j a_{ij} x_2^{j-1} \cdot x_1^i, & \text{при } 8.96 \leq P \leq 25 \text{ МПа.} \end{cases}$$

Підставивши аналітичні вирази (7)-(9) у формули (6) і, у свою чергу, (6) – у залежності (3), (2), (1) отримуємо аналітичні вирази для розрахунку показника адіабати природного газу.

Враховуючи складність цих аналітичних виразів, а також те, що залежність (2) розрахунку питомої теплоємності C_p містить інтеграл, який доцільно знаходити числовими методами, розрахунок показника адіабати слід проводити за допомогою ЕОМ.

1. ГСССД 81-84. Газ природный расчетный. Плотность, фактор сжимаемости, энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, коэффициент объемного расширения и показатель адиабаты при температурах 250-450 К и давлениях 0.1-12 МПа. – М., 1985. 2. ГОСТ 30319.1-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки. Межго-

сударственный стандарт. – М., 1997. 3. ГОСТ 30319.3-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния. Межгосударственный стандарт. – М., 1997. 4. Бэр Г.Д. Техническая термодинамика. Теоретические основы и технические применения. – М., 1977. 5. Пістун Є., Матіко Ф., Лесовий Л. та ін. Розрахунок коефіцієнта стискуваності природного газу при вимірюванні витрати на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях // Матеріали доповідей 1-ї міжнар. наук.-практ. конф. "Системи транспортування, контролю якості та обліку енергоносіїв". – Львів, 1998. С.150.

УДК 662.61

Мисак Й., Івасик Я., Кравець Т.

ДУ "Львівська політехніка", кафедра теплотехніки і теплових електростанцій

ВПЛИВ ЯКОСТІ ПАЛИВА НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

© Мисак Й., Івасик Я., Кравець Т., 2000

Analytical and graphic relationships for determining economic operation of boiler installation with the change of fuel quality are given.

Внаслідок погіршення гірничо-геологічних умов видобутку, переходу на проходку тонких шарів вугілля (<1,0м) складної структури із збільшенням видобутку гірської маси зростала зольність і зменшувалась теплота згорання вугілля. Так, за останні 20 років зольність вугілля збільшилась з 26 до 35-38 %, а його теплотворна здатність зменшилась з 21-22 МДж/кг до 17-19 МДж/кг*.

Негативним наслідком зменшення теплотворної здатності вугілля стала неможливість його спалювання без використання додаткових високореакційних палив – природного газу та мазуту, частка яких у загальному паливному балансі вугільних ТЕС сягає 20-35 %*.

Під час роботи на вугіллі з характеристиками, які близькі до розрахункових, котли працюють з високою надійністю і економічністю. Внаслідок зниження теплоти згорання палива виникають проблеми при експлуатації основного і допоміжного обладнання, а також обладнання паливоподачі. Характерним для палива, яке використовується на ТЕС України, є постійне зниження його якості. Великі труднощі у тому зв'язку виникають також під час роботи пилосистем котлів. Через різке погіршення якості вугілля номінальне навантаження котла може бути забезпечене при більшій витраті вугільного пилу, а це, у свою чергу, пов'язано з перевантаженням системи пилоприготування, димососів і вентиляторів.

Неоптимальний топковий режим, який викликаний змінними характеристиками палива, його підвищеною вологістю і зольністю, негативно впливає на роботу поверхонь нагріву. У міру погіршення якості палива збільшується пошкодженість поверхонь нагріву (екрани і топки, конвективний пароперегрівник, водяний економайзер).

* Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Шидловский А.К. и др. Современное состояние угольных электростанций Украины и перспективы их развития // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1996. – № 3. – С.3-8.