

сред. – М.: Наука, 1983. – 238 с. 8. Мацієвська О.О. Використання цеолітів карпатських родовищ у процесах очищення питної води від амонійного азоту: Дис. ...кан. тех. наук. – Ів.-Франківськ, 1998. 200 с. – Машинопис. 9. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 9-е изд., исп. – М.: Химия, 1973. – 784 с.

УДК 621.578 /088.8/

О.О. Савченко, І.С. Балінський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання та вентиляції,

НАГРІВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗДІЛЬНИКА НА ДІЮЧІЙ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНІЙ СТАНЦІЇ

© Савченко О.О., Балінський І.С., 2004

Встановлена аналітична залежність між значеннями критичної температури та температури на вході в газорозподільну станцію під час дроселювання. Визначено тепловий баланс енергетичного розділення природного газу.

Analytic dependence between values of critical temperature and natural gas temperature on entrance in to the gas-distributive installation at its throttling has been determined. Heating balance of the natural gas's energy separation was determined.

Постановка проблеми. На газорозподільних станціях (ГРС) відбувається дроселювання природного газу зі зниженням тиску від значень його в магістральних газопроводах до тиску в розподільних газопроводах, тобто в діапазоні від 10–3 МПа на вході до 1,2–0,1 МПа на виході регулятора тиску газу. Внаслідок дросель-ефекту Джоуля-Томсона відбувається зниження температури, яке визначається диференціальним температурним ефектом дроселювання, величина якого становить 5,5 °С на 1МПа зниження тиску. При цьому під час дроселювання через зниження температури і тиску змінюється вологовміст природного газу. У певному діапазоні значень тисків і температур відбувається конденсація водяної пари із газу при його насиченні з подальшим утворенням кристалогідратів, що є небажаним під час експлуатації ГРС. Утворення кристалогідратів, тобто комплексних сполук водяної пари з вуглеводнями, починається після початку конденсації за досягнення певної температури, яку надалі назвемо критичною температурою $t_{кр}$, а тиск – критичним $p_{кр}$. З метою запобігання цьому небажаному явищу здійснюється нагрівання природного газу перед дроселюванням. Нами розробляється метод нагрівання природного газу з використанням енергетичного роздільника [1–7, 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій показує відсутність даних про вологовміст і тепловий баланс енергетичного розділення природного газу на діючих газорозподільних станціях [8–10].

Мета роботи: встановлення залежності критичної температури початку конденсації водяної пари від температури на вході в ГРС для проведення інженерних розрахунків при проектуванні ГРС та встановлення теплового балансу енергетичного розділення природного газу.

У літературних даних наведені графічні залежності для зміни вологовмісту ідеального насиченого природного газу від тиску і температури. Вологовміст природного газу з відносною густиною $\bar{\rho} = 0,6$ можна визначити на основі формули Р. Бюкачека

$$W_o = \frac{A}{9,87p} + B, \quad (1)$$

в якій W_o – вологовміст 1 м³ газу при нормальних умовах, г/м³, A – коефіцієнт, що дорівнює вологовмісту в умовах насичення ідеального газу, p – тиск газу, МПа, B – коефіцієнт, що залежить від складу газу. Відносна густина газу визначається як відношення густини газу до густини повітря за нормальних умов.

Для газу з різним хімічним складом вводять поправки K_1 і K_2 . З урахуванням даних поправок вологовміст природного газу різної густини при значеннях температури і тиску в широкому діапазоні можна визначити за формулою

$$W_o = \left(\frac{A}{9,87p} + B \right) K_1 K_2 \quad (2)$$

в якій K_1 – поправка на густину, яку можна визначити як відношення абсолютної вологості досліджуваного газу W_r до абсолютної вологості газу W_o з відносною густиною 0,6

$$K_1 = \frac{W_r}{W_o}, \quad (3)$$

K_2 – поправка на соленисть, яку можна визначити як відношення абсолютної вологості газу при його насиченні парою соленої води W_c до абсолютної вологості газу при його насиченні парою прісної води W_n :

$$K_2 = \frac{W_c}{W_n}, \quad (4)$$

Для природного газу із відомим хімічним складом, об. % в діапазоні: метан 50 – 100, етан 35 – 0, пропан 15 – 0, тобто зі значенням $\bar{\rho} = 0,557 - 0,881$ і температури на вході в ГРС в діапазоні 0 – 8 °С з [12] визначили поправку K_1 , значення якої становило 0,995 – 1, тобто практично $K_1 = 1$. Перед процесом дроселювання на ГРС, вміст конденсату водяної пари незначний, тому вважаємо, що поправка $K_2 = 1$.

Для ГРС з робочим тиском газу у газопроводі до 10 МПа в діапазоні зміни тиску 10–0,1 МПа, початкової температури 0...16 °С і відносній вологості природного газу $\phi = 60 - 90$ % були розраховані значення вологовмісту газу. Як приклад, на рис. 1 для ГРС з робочим тиском у магістральному газопроводі 5 МПа і діапазоні температур на вході 0...8 °С в логарифмічних координатах показані криві дроселювання насиченого газу при дроселюванні.

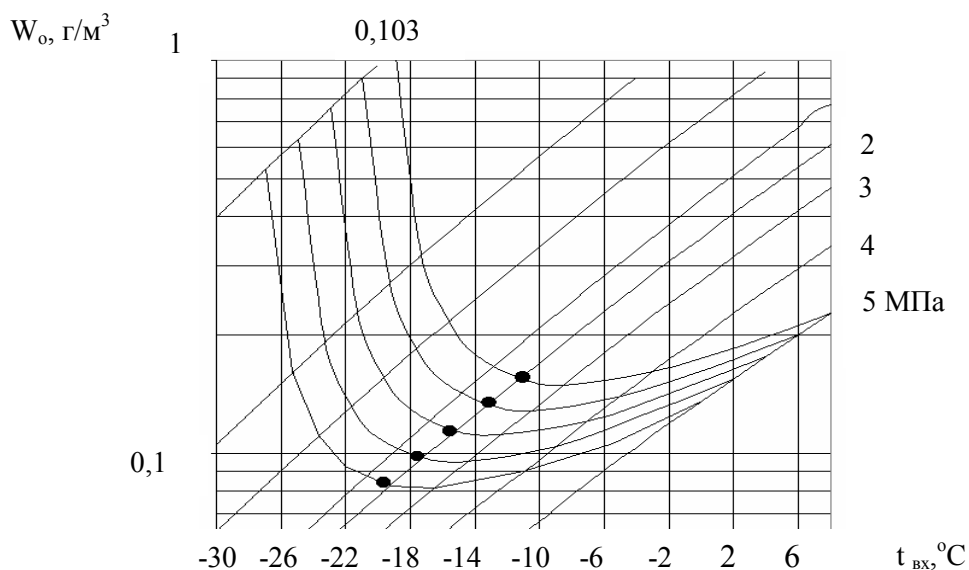


Рис. 1. Криві дроселювання природного газу

На рис. 1 крапками позначені критичні параметри.

Проміжні значення температур під час дроселювання розраховані за значеннями дросель-ефекту, тобто 5,5 °С на 1 МПа пониження тиску. Значення найменшого вологовмісту для кожної кривої дроселювання відповідають критичній температурі початку конденсації при змінних початкових умовах. Значення критичних тисків при відповідних критичних температурах виявилися практично однаковими і відповідають значенню тиску 2 МПа. Залежність критичних температур при дроселюванні від температури газу на вході в ГРС показана на рис. 2.

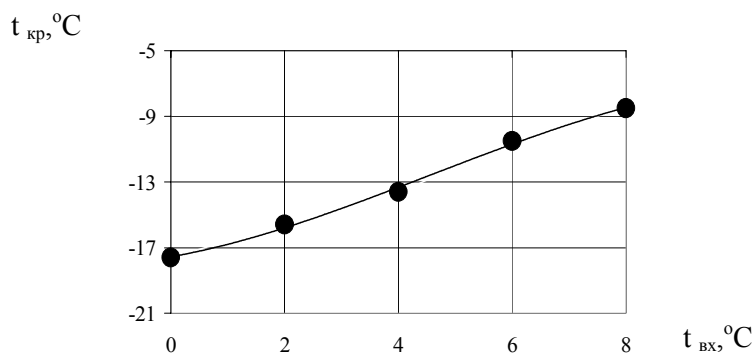


Рис. 2. Залежність критичних температур початку конденсації від температури газу на вході в ГРС

Графічні дані апроксимовані поліномом третього ступеня за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel. Апроксимована функція показана на рис. 2 кривою лінією і описується такою формулою:

$$t_{кр} = -0,01t_{вх}^3 + 0,16t_{вх}^2 + 0,61t_{вх} - 17,55. \quad (5)$$

Розрахунок похибок наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Похибки розрахунків критичних температур

Температура на вході в ГРС, °С	Критичні температури, °С		Відносна похибка результатів δ , %
	графічна	аналітична	
0	-17,6	-17,553	0,3
2	-15,6	-15,8	-1,3
4	-13,6	-13,32	2,0
6	-11,05	-10,70	3,2
8	-8,5	-8,48	0,2

Як видно з табл. 1, похибки не перевищують допустимих при інженерних розрахунках (10 %), отже, на даному проміжку температур на вході в ГРС при тиску на вході в ГРС 5 МПа дану формулу можна використовувати для визначення критичних температур.

Основою для складання теплового балансу були експериментальні дослідження, проведені для діючої ГРС. У загальному випадку рівняння теплового балансу енергетичного роздільника має вигляд

$$Q_{вх} = Q_{Г} + Q_{Х} + Q_{др} + Q_{втр}, \quad (6)$$

в якому $Q_{вх}$ – тепловий потік, який вноситься з вхідним природним газом до енергетичного роздільника; $Q_{Г}$, $Q_{Х}$ – теплові потоки вихідних з енергетичного роздільника відповідно гарячого і холодного потоків; $Q_{др}$ – тепловий потік, який забирається під час дроселювання природного газу в енергетичному роздільнику; $Q_{втр}$ – тепловий потік від стінок енергетичного роздільника в навколишнє середовище.

Оскільки енергетичний роздільник спеціально не охолоджується, а температура в редукційному відділенні є вища за температуру на поверхні роздільника, то можна приймати $Q_{\text{охол}} = 0$. Остаточний вигляд балансового рівняння енергетичного роздільника, який працює на природному газі діючої АГРС, можна записати у вигляді

$$G_{\text{вх}} c_{p_{\text{вх}}} t_{\text{вх}} = G_{\text{г}} c_{p_{\text{г}}} t_{\text{г}} + G_{\text{х}} c_{p_{\text{х}}} t_{\text{х}} + G_{\text{др}} c_{p_{\text{др}}} t_{\text{др}} \quad (7)$$

Зниження температури гарячого потоку внаслідок його дроселювання $t_{\text{др}}$ визначається за значенням диференціального температурного ефекту дроселювання, тобто $-5,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{МПа}$.

Температуру гарячого потоку $t_{\text{г}}$ визначали за формулою

$$t_{\text{г}} = t_{\text{пер}} + t_{\text{др}} \quad (8)$$

Ентальпії визначали для природного газу такого складу, об. %: 98 % CH_4 та 2 % C_2H_5 з умови пропорційності для різних температур вхідного та гарячого потоків.

На основі теплового балансу визначені теплові потоки і показані на рис. 3 у діапазоні значень частки нагрітого потоку $\varepsilon = 0,7-0,85$.

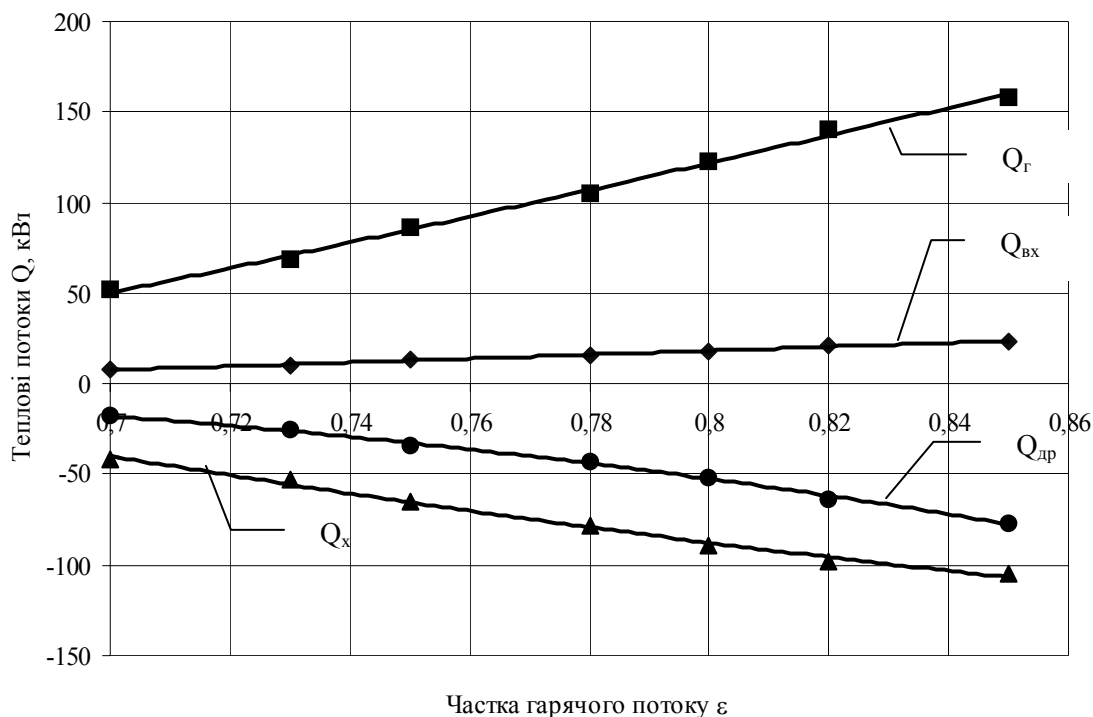


Рис. 3. Залежність теплових потоків залежно від частки гарячого потоку

Графічну залежність теплового потоку, який виходить з гарячого кінця енергетичного роздільника $Q_{\text{г}}$, апроксимовано комп'ютерною програмою. Аналітична залежність має вигляд

$$Q_{\text{г}} = 38,02\varepsilon^2 + 48,40\varepsilon - 44,82 \quad (9)$$

Як видно з табл. 2, похибки не перевищують допустимих при інженерних розрахунках (10 %), отже, цю формулу можна використовувати для визначення $Q_{\text{г}}$, тобто кількості теплоти нагрітого потоку в діапазоні часток нагрітого потоку $\varepsilon = 0,7-0,85$.

Розрахунок похибок теплового потоку

Частка гарячого потоку ϵ	Тепловий потік Q_T , кВт		Відносна похибка результатів δ , %
	експериментальні	розрахункові	
0,70	51,58	50,04	3,0
0,73	68,23	70,90	-3,9
0,75	85,97	85,14	1,0
0,78	104,86	106,99	-2,0
0,80	122,96	121,89	0,9
0,82	140,35	137,05	2,3
0,85	158,32	160,30	-1,2

Висновки. 1. На основі кривих дроселювання природного газу на ГРС отримані залежності вологовмісту природного газу при його дроселюванні, зокрема, залежності критичної температури початку конденсації водяної пари при різних значеннях температур на вході.

2. Встановлений тепловий баланс енергетичного розділення природного газу діючої ГРС в режимах нагрівання і дроселювання.

1. Балінський І., Кашина О., Коваль Р., Банахевич Ю. Газорозподільна станція з енергетичним розділювачем для нагрівання природного газу // *Нафта і газ України: Зб. наук. пр.: Матеріали 6-ї МНПК "Нафта і газ України – 2000"*, Ів.-Франківськ, 31 жовтня – 3 листопада 2000 р. – Ів.-Франківськ: Факел, 2000. – Т. 3. – С. 48–49. 2. Балінський І.С. Дослідження енергетичного розділювача стиснутих газів // *Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 1994. – № 282. – С.4–6. 3. Балінський І.С. Дослідження ефективності енергетичного розділювача природного газу // *Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 1995. – № 291. – С. 5–7. 4. Балінський І.С. Дослідження ефективності діючого енергетичного розділювача природного газу // *Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 1997. – № 318. – С. 5–7. 5. Кашина О., Балінський І. Ефективність енергетичного розділення стиснутих природного газу і повітря // *Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2002. – № 462. – С. 66–68. 6. Кашина О., Балінський І. Підвищення ефективності процесів нагрівання при будівництві газових мереж // *Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2002. – № 462. – С. 66–68. 7. Савченко О., Балінський І. Енергетичне розділення стиснених газів // *Ринок інсталяцій*. – 2004. – № 1. – С. 15–16. 8. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – М.: Машиностроение, 1969. – 184 с. 9. Fulton C.D. Ranque's Tube. – *Refr. Eng.*, 1950. – Vol. 58, № 5. – P. 473–479. 10. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? – М.: Энергия, 1976. 11. Пат. 43673А Україна, МКВ F 25 B 11/ 00. Газорозподільна станція / І.С. Балінський, Р.І. Коваль, Ю.В. Банахевич, О.О. Кашина (Україна). – № 2001052970; Заявл. 3.05.2001; Опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11. – 3 с. 12. Коротаев Ю.П., Кулиев А.М., Мусаев Р.М. Борьба с гидратами при транспорте природных газов. – М.: Недра, 1973.