

О.О. Савченко, І.С. Балінський, Ю.В. Банахевич
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції,
УМГ “Львівтрансгаз”

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗДІЛЬНИКА ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

© Савченко О.О., Балінський І.С., Банахевич Ю.В., 2005

Наведено результати експериментальних досліджень діючої газорозподільної станції з енергетичним роздільником та додатковою лінією теплового потоку.

The results of the experimental investigations of real gas-distributive station with energetic separator and additional line of the warm stream are presented in this article.

Постановка проблеми. Упродовж останніх десяти років ми ведемо дослідження енергетичного розділення природного газу, зокрема, на існуючій автоматизованій газорозподільній станції (АГРС) з метою нагрівання газу перед дроселюванням [1, 2]. Зниження тиску газу чи під час транспортування в магістральних газопроводах, чи під час дроселювання у регуляторі тиску АГРС, завжди супроводжується ефектом Джоуля–Томсона, величина якого дорівнює $-5, 5^{\circ}\text{C} / 1 \text{ МПа}$, тобто відбувається переохолодження потоку газу за рахунок частини затраченої енергії при стискуванні на компресорних станціях. Особливо небезпечним явищем є переохолодження газу на АГРС, тому що це спричиняє утворення кристалогідратів і, щоб позбутися цього явища, газ необхідно нагрівати перед дроселюванням. Одним із ефективних і економічних методів нагрівання природного газу на АГРС є використання енергетичних роздільників, а проблемою їхнього проектування і експлуатації є підвищення ефективності енергетичного розділення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Енергетичні роздільники застосовують на ГРС у періоди найбільшого споживання природного газу (опалювальний період року). Енергетичне розділення стиснених газів відоме з літератури [3–5]. Дія енергетичного роздільника полягає в такому: природний газ з магістрального газопроводу надходить в енергетичний роздільник, в якому за рахунок ефекту Ранка розділяється на два потоки. Один, нагрітий потік, з температурою, вищою за температуру вхідного потоку, через сепаратор направляється на регулятор тиску і забезпечує необхідну температуру природного газу перед дроселюванням. Другий – охолоджений – через запобіжно-запірний клапан потрапляє одразу в розподільний газопровід, в якому об'єднується з потоком після регулятора тиску.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує ефективність нагрівання упродовж усього періоду спостережень [6, 7] і при використанні енергетичного роздільника для нагрівання природного газу діючої АГРС не відбувалося видимого обмерзання регулятора тиску. Для визначення ефективності роботи енергетичного роздільника для нагрівання природного газу перед регулятором тиску були виконані дослідження протягом опалювального періоду 2003–2004 р. р. Були визначені температура газу перед регулятором тиску ($t_{\text{рег}}$) та температура газу на вході в АГРС ($t_{\text{вх}}$) в діапазоні значень $-5^{\circ}\text{C} \div +10^{\circ}\text{C}$. На основі цих замірів температур за методикою розрахунку [8] була визначена критична температура гідратуутворення $t_{\text{кр}}$ з урахуванням робочого тиску ГРС. Результати досліджень та розрахунку показані на рис. 1.

Як видно з рис. 1, температура природного газу перед регулятором тиску $t_{\text{рег}}$ є більшою за критичну температуру гідратуутворення $t_{\text{кр}}$. Отже, упродовж всього опалювального періоду енергетичний роздільник забезпечував необхідний ступінь нагрівання природного газу, і, зокрема, не спостерігалось обмерзання регулятора тиску газу.

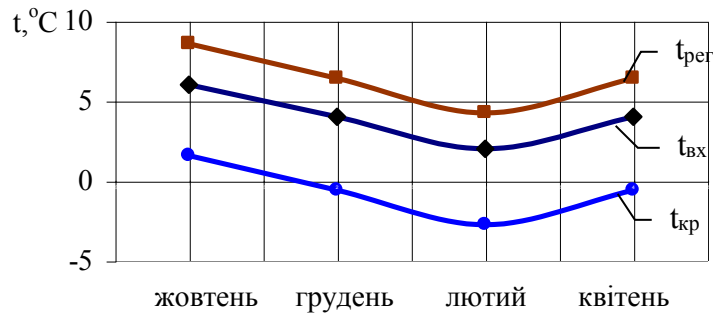


Рис. 1. Результати роботи енергетичного роздільника упродовж опалювального періоду на діючій АГРС

Для енергетичного розділення газу на існуючій АГРС неможливо регулювати ступінь нагрівання природного газу після енергетичного роздільника під час зміни продуктивності газорозподільної станції. Для усунення цього недоліку було запропоновано ввести додаткову лінію теплового потоку з регульовальним пристроєм, яка б дала змогу здійснити регулювання температури перед регулятором тиску [9]. За допомогою додаткової лінії теплового потоку можна забезпечити “стравлення” частини теплового потоку після енергетичного роздільника, що дає змогу зменшити навантаження на регулятор тиску газу. Як регульовальний пристрій для зміни кількості нагрітого потоку може використовуватися кран, вентиль, засувка тощо з ручним або автоматичним управлінням.

Мета роботи – дослідити роботу газорозподільної станції з енергетичним роздільником та додатковою лінією теплового потоку.

Виклад основного матеріалу. Експериментальні дослідження було виконано на газорозподільній станції, схема якої зображена на рис.2.

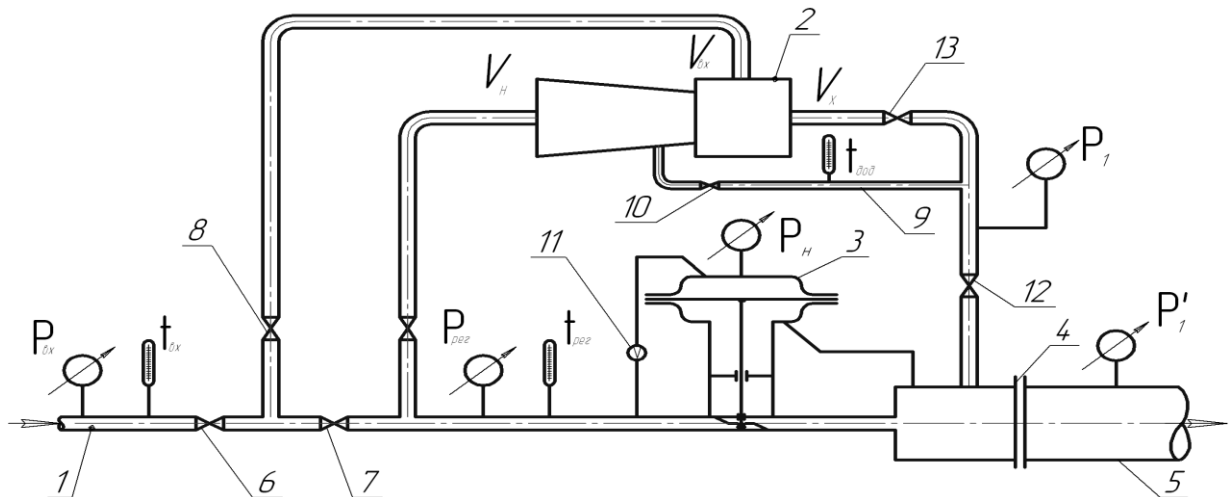


Рис. 2. Схема експериментальних досліджень діючої газорозподільної станції

На рис. 2 наведено такі позначення: 1 – магістральний газопровід, 2 – енергетичний роздільник, 3 – регулятор тиску газу, 4 – витратомірна установка, 5 – розподільний газопровід, 6, 7, 8, 13 – крани, 9 – додаткова лінія теплового потоку, 10 – регульовальний пристрій, 11 – редуктор, 12 – запобіжно-запірний клапан.

Дослідження велися в такій послідовності. При закритому крані 10 було заміряно тиск на вході в АГРС $p_{вх}$ та тиск перед регулятором $p_{рег}$ та температуру перед регулятором $t_{рег}$. Частка нагрітого потоку дорівнювала розрахунковій частці при проектуванні енергетичного роздільника, а саме $\epsilon=0,9$. Далі поступово відкривався краном 10, забираючи частку нагрітого потоку в

розподільний газопровід. Відповідно зменшувалась частка нагрітого потоку і збільшувався ступінь нагрівання природного газу після енергетичного роздільника $\Delta t_{\text{н}}^{\Gamma}$. Покази термометра перед регулятором тиску $t_{\text{рег}}$ відповідають значенням температури нагрітого потоку, враховуючи дроселювання в самому енергетичному роздільнику

$$t_{\text{рег}} = t_{\text{н}} + \Delta t_{\text{др}} = (t_{\text{вх}} + \Delta t_{\text{н}}^{\Gamma}) + \Delta t_{\text{др}}. \quad (1)$$

У (1) $t_{\text{н}}$ – температура природного газу після нагрітого кінця енергетичного роздільника, $t_{\text{др}}$ – зменшення температури природного газу внаслідок його дроселювання у енергетичному роздільнику.

Температура потоку у додатковій лінії $t_{\text{дод}}$ залежить від ступеня відкриття крана і враховує також дроселювання $\Delta t_{\text{др}}^{\text{дод}}$

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{вх}} + \Delta t_{\text{др}}^{\text{дод}}. \quad (2)$$

Регулювали кількість природного газу у додатковій лінії, відкриваючи кран 10 та змінюючи покази термометра $t_{\text{дод}}$. При зміні температури $t_{\text{дод}}$ на 0, 2°C здійснювали заміри і з інших контрольно-вимірювальних приладів. Зокрема, надлишкові тиски на вході в АГРС $p_{\text{вх}}$ та перед регулятором тиску газу вимірювали пружинними манометрами з межею вимірювання $0 \div 10$ кгс/м², які встановлювались на відповідних повітропроводах. Температуру на вході в АГРС $t_{\text{вх}}$, температуру природного газу в додатковій лінії теплового потоку $t_{\text{дод}}$ та температуру природного газу перед регулятором тиску газу, тобто на виході з енергетичного роздільника $t_{\text{рег}}$ визначали за допомогою рідинних термометрів з межею вимірювання $0 \div 50$ °C, з ціною поділки шкали 0, 2°C. Витрати змішаного потоку визначали за показами витратомірної установки АГРС, а кількості нагрітого потоку визначали за формулою:

$$p_{\text{п}}^2 - p_{\text{к}}^2 = 1,4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{n}{d} + 1922 \frac{v d}{Q} \right)^{0,25} \frac{Q^2}{d^5} \rho \cdot l \cdot z. \quad (3)$$

У (3) $p_{\text{п}}$, $p_{\text{к}}$ – початковий і кінцевий тиски, МПа, на ділянці газопроводу довжиною l , м; $n = 0$, l – коефіцієнт шорсткості; d – внутрішній діаметр, см; v – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с; ρ – густина газу, кг/м³; Q – витрата газу, м³/год; z – коефіцієнт стисливості.

Результати експериментального дослідження газорозподільної станції з енергетичним роздільником та додатковою лінією теплового потоку зведено в табл. 1.

За результатами експериментальних досліджень енергетичного роздільника діючої газорозподільної станції побудовано графічну залежність, яку показано на рис. 3.

Таблиця 1

Експериментальні дослідження ГРС з енергетичним роздільником та додатковою лінією теплового потоку

№ з/п	Тиск природного газу, МПа		Температура природного газу, °C		
	На вході в АГРС, $P_{\text{вх}}$	Перед регулятором тиску газу, $P_{\text{рег}}$	На вході в АГРС, $t_{\text{вх}}$	У додатковій лінії $t_{\text{дод}}$	Перед регулятором тиску газу, $t_{\text{рег}}$
1	3, 30	3, 09	+2, 0	-	12, 8
2	3, 30	3, 10	+2, 0	-14, 3	15, 1
3	3, 30	3, 11	+2, 0	-14, 1	17, 4
4	3, 30	3, 12	+2, 0	-13, 9	19, 6
5	3, 30	3, 13	+2, 0	-13, 7	21, 9
6	3, 30	3, 14	+2, 0	-13, 5	24, 2
7	3, 30	3, 15	+2, 0	-13, 3	25, 8
8	3, 30	3, 16	+2, 0	-13, 1	27, 3
9	3, 30	3, 17	+2, 0	-12, 9	29, 0
10	3, 30	3, 18	+2, 0	-12, 7	30, 5
11	3, 30	3, 19	+2, 0	-12, 5	32, 1

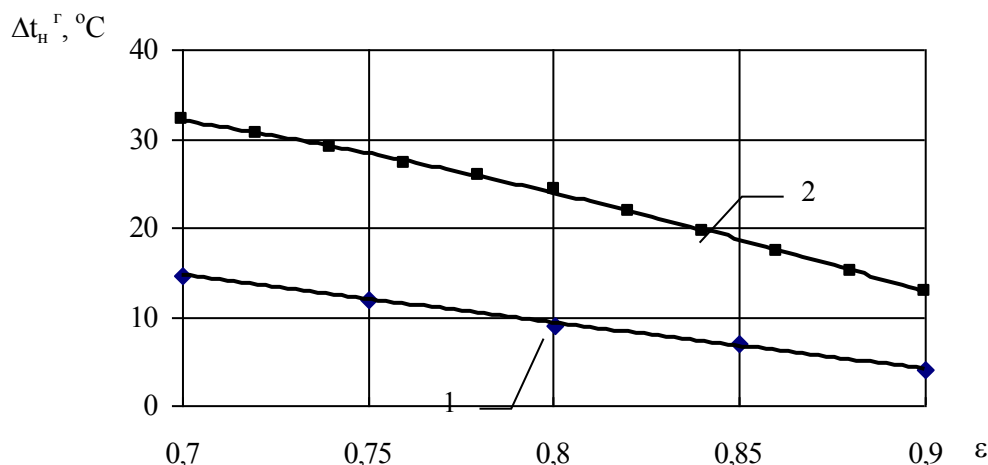


Рис. 3. Залежність ступеня нагрівання природного газу від частки нагрітого потоку:
 1 – для енергетичного роздільника на існуючій АГРС; 2 – для енергетичного роздільника на існуючій АГРС;
 3 – при застосуванні додаткової лінії теплового потоку

Як видно з рис. 3, в усьому діапазоні зміни частки нагрітого потоку за рахунок відбору додатковою лінією спостерігається зростання ступеня нагрівання природного газу. Чим більший відбір природного газу додатковою лінією, тим більший ступінь нагрівання природного газу.

Для аналітичного визначення ступеня нагрівання повітря для газорозподільної станції при сумісній роботі енергетичного роздільника та додаткової лінії теплового потоку експериментальні дані були апроксимовані у вигляді функції:

$$\Delta t_H^{\Gamma} = -151,5\varepsilon^2 + 146,0\varepsilon + 4,0. \quad (4)$$

Розрахунок розходжень між аналітичними та експериментальними даними наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Розходження між аналітичними та експериментальними даними

Частка нагрітого потоку ε	Значення Δt _H ^Γ		Відносне розходження результатів δ, %
	експериментальні	обчислені	
0,70	32,1	32,0	0,3
0,74	29,0	29,1	-0,3
0,80	24,2	23,8	1,6
0,86	17,4	17,5	-0,6
0,90	12,8	12,7	0,8

Як видно з табл. 2, розходження між експериментальними та аналітичними значеннями ступеня нагрівання природного газу не перевищують допустимих при інженерних розрахунках розходжень 10%. Отже, на цьому проміжку значень частки нагрітого потоку ε цю формулу можна використовувати для визначення ступеня нагрівання природного газу на газорозподільній станції при сумісній роботі енергетичного роздільника та додаткової лінії теплового потоку.

Висновки. Досліджено нагрівання природного газу за допомогою енергетичного роздільника та додаткової лінії теплового потоку на діючій газорозподільній станції. Результати експериментальних досліджень діючої АГРС показали, що за допомогою додаткової лінії теплового потоку можна збільшити ступінь нагрівання природного газу перед регулятором тиску. Крім того,

існування додаткової лінії теплового потоку дає змогу регулювати кількість теплового потоку, що надходить на регулятор тиску. Визначена аналітична залежність ступеня нагрівання природного газу залежно від частки нагрітого потоку для газорозподільної станції

1. Балінський І.С., Кашина О.О., Латик В.С., Банахевич Ю.В. Дослідження енергетичного роздільника газорозподільної станції // Вісник НУ "Львівська політехніка. – 2004. – №495. – С. 13–16.
2. Балінський І., Кашина О., Коваль Р., Банахевич Ю. Газорозподільна станція з енергетичним розділювачем для нагрівання природного газу // Нафта і газ України. Зб. н. пр.: Матеріали 6-ї МНПК "Нафта і газ України – 2000". Ів.-Франк., 31 жов. – 3 лист. 2000р. – Ів. – Франк., Факел. – 2000. – Том 3. – С.48–49.
3. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М., 1969.
4. Ranque G.J. Experiences sur la détente giratoire avec productions simultanees d'un echappement d'air chaud et d'air froid. Journal de Physique et la Radium. – 1933. – Vol.7. – №4. – P.122
5. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? – М., 1976.
6. Балінський І.С. Дослідження ефективності енергетичного розділювача природного газу // Вісник ДУ "Львівська політехніка. – 1995. – №291. – С.5–7.
7. Балінський І.С. Дослідження енергетичного розділювача стиснутих газів // Вісник ДУ "Львівська політехніка". – 1994. – №282. – С.4–6.
8. Кашина О., Балінський І. Вологовміст природного газу при його дроселюванні на газорозподільних станціях // VI Міжнародна наукова конференція "Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля" Львів – Кошице – Жешув, Львів 12–15 вересня 2001 р.: Зб. мат. конф. – Львів, 2001. – С.3–5.
9. Патент № 43673А Україна, МКВ F 25 B 11/ 00. Газорозподільна станція / Балінський І.С., Коваль Р.І., Банахевич Ю.В., Кашина О.О. (Україна). – № 2001052970; Заявлено 3.05.2001; Опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11. – 3 с.

УДК 666. 943

М.А. Саницький, Т.Є. Марків, Ю.Л. Новицький, Т.П. Кропивницька
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра будівельного виробництва

МАЛОЕНЕРГОВМІСНІ ЦЕМЕНТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ

© Саницький М.А., Марків Т.Є., Новицький Ю.Л., Кропивницька Т.П., 2005

Показано, що в умовах загострення екологічних проблем, зменшення запасів якісної сировини для виробництва клінкеру перспективним напрямком розвитку цементної промисловості є ширше використання вторинних відходів та альтернативних джерел енергії, а також виробництво модифікованих композиційних цементів, які характеризуються покращаними будівельно-технічними властивостями, зокрема корозійною стійкістю в умовах дії агресивних середовищ.

It was shown, that perspective direction of development of cement industry, under condition of ecological problems, reduction of qualitative raw materials stocks for cement production, is wider use industrial cementitious byproducts and alternative energy resources, and also production of modified composite cements, which characterize improved properties, including higher corrosion resistance in aggressive medium.

Розвиток сучасних будівельних технологій у всіх технічно розвинутих країнах спрямований на розроблення ефективних матеріалів, використання яких є економічно доцільним, дає змогу скоротити енергетичні затрати та витрату сировинних ресурсів. В повному обсязі будівельно-монтажних робіт вартість будівельних матеріалів становить приблизно 50–65 %. Аналіз тенденцій світового розвитку будівельного виробництва свідчить, що виробництво і споживання бетону як універсального будівельного композиційного матеріалу з кожним роком зростає, що продиктовано соціальними, економічними, демографічними факторами. Так, щорічне виробництво бетону в