

**Висновки.** Наведено результати дослідження інтенсивності тепловіддачі від круглої горизонтальної труби до води та суспензії при різних варіантах організації конвекції середовища.

Виявлено, що при підводі газової фази в об'єм інтенсифікація тепловіддачі порівняно з вільною конвекцією становить у воді 1,7 – 4 раз, у суспензії – 1,18 – 2,8 раза.

Інтенсивність тепловіддачі до суспензії в досліджуваному діапазоні параметрів становить 61...77 % відповідного показника для води.

Для організації процесу теплообміну при термостабілізації реактору БГУ запропоновано поєднання варіантів, наведених на рис. 2, в та 2, г.

1. Дубровский В.С., Виестур У.Э. *Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов.* – Рига. 1988. 2. Ткаченко С.Й., Степанов Д.В. *Мінімізація витрат ексергії на живлення біогазової установки енергією // Вісн. ВПІ. 2000. – № 4. – С. 50–56.* 3. Степанов Д.В. *Моделювання системи термостабілізації реактора біогазової установки // Вісн. ВПІ. 2000. – №6. – С. 25–29.* 4. Ткаченко С.Й., Степанов Д.В., Співак О.Ю. *Стабілізований теплообмін в системі: нагрівальний елемент – рідина в обмеженому об'ємі – навколишнє середовище // Вісн. ТУП. 2001. – №1. – С. 134–139.* 5. Шульман. *Конвективный теплоперенос реологически сложных жидкостей.* – М. 1975. 6. Исаченко В.П. и др. *Теплопередача: Учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел.* –М. 1981.

УДК 621.036.2

Олена Кашина, Іван Балінський  
 НУ “Львівська політехніка”,  
 кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ СТИСНУТИХ ПРИРОДНОГО ГАЗУ І ПОВІТРЯ

© Кашина Олена, Балінський Іван, 2001

**Analytic dependence between values of effectiveness of energetic separation of compressed air and compressed natural gas for various pressure values, chemical consistency and correlations of the quantity heated and cool flows has been determined.**

Останнім часом значна увага звертається на використання перепаду тиску при дроселюванні на газорозподільних станціях (ГРС) для корисних потреб, зокрема виробництва електричної енергії за допомогою турбодетандерів, попереднього нагрівання газу з метою компенсації температурного ефекту Джоуля-Томсона за допомогою енергетичних роздільників (вихрових труб). Реалізовані раніше розробки для діючої ГРС [1, 2] не дають можливостей узагальнити їх для інших випадків застосування енергетичного роздільника, тому що неможливо повністю виконати дослідження на об'єктах газотранспортної системи. Такі дослідження можна провести на стисненому повітрі при менших значеннях тисків із наближенням результатів для природного газу. Сьогодні немає також даних стосовно ефективності енергетичного розділення природного газу з різним компонентним складом.

Метою роботи є встановлення аналітичної залежності енергетичного розділення сухого стисненого природного газу різного компонентного складу та повітря методами

апроксимації на основі відомих літературних даних для повітря, наближення її для енергетичного розділення природного газу на ГРС.

Введемо величину  $\varepsilon$  як коефіцієнт ефективності відділення нагрітого потоку:

$$\varepsilon = \frac{G_H}{G_H + G_x} \quad (1)$$

де  $G_H$ ,  $G_x$  – відповідно кількості нагрітого і холодного потоків газу.

Стосовно повітря на основі теплового балансу за умови рівності теплоємностей потоків в діапазоні температур розділення

$$\varepsilon = 1 - \mu. \quad (2)$$

де  $\mu$  – частка холодного потоку

$$\mu = \frac{G_x}{G_x + G_c} \quad (3)$$

Ефективність енергетичного розділення природного газу визначається ступенем підвищення температури нагрітого потоку газу  $\Delta t_H^r$ , яка залежить від  $\varepsilon$ , тиску і температури газу на вході у роздільник та складу газу.

Визначаючи ефект підвищення температури природного газу у роздільнику, потрібно також врахувати особливості різних компонентів. Тому необхідна аналітична залежність ступеня підвищення температури стисненого потоку для різного складу природного газу від тиску і температури. Природний газ, що транспортується у магістральних газопроводах, є сумішшю компонентів, в основному, метану, етану, пропану. Одним із основних показників, яким можна охарактеризувати фізичні властивості компонентів природного газу, є показник адіабати  $k$ . Як відомо, зі збільшенням атомності газу показник адіабати зменшується. Тому для визначення впливу показника адіабати на ефективність розділення газового потоку з різним компонентним складом, вміст метану, етану, пропану змінювався відповідно до вмісту цих компонентів у реальних природних газах при транспортуванні. Показник адіабати для суміші компонентів визначався за формулою:

$$k_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n k_i y_i, \quad (4)$$

де  $n = 1, 2, 3, \dots$  – кількість компонентів у суміші,  $k_i$ ,  $y_i$  – відповідно показник адіабати та об'ємна частка  $i$ -го компонента у суміші.

Загалом ефективність енергетичного розділення стисненого природного газу різного компонентного складу виразили як частку від ефективності енергетичного розділення стисненого повітря:

$$\Delta t_H^r = \alpha \Delta t_H^p, \quad (5)$$

де  $\Delta t_H^p$  – ступінь підвищення температури повітря,  $\alpha$  – коефіцієнт співмірності ефективності розділення природного газу і повітря.

Значення коефіцієнта співмірності  $\alpha$  розраховані залежно від  $k$ . Для апроксимації цієї залежності попередньо встановлюємо значення  $\alpha$  від складу природного газу зі значеннями показника адіабати в діапазоні 1,13...1,31.

Для визначення аналітичної залежності  $\alpha = f(k)$  використана комп'ютерна програма Microsoft Excel. Після апроксимації функція має такий вигляд:

$$\alpha = -14.775k^3 + 50.941k^2 - 56.028k + 20.049 \quad (6)$$

Розрахунок розбіжностей наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Похибки розрахунків коефіцієнта  $\alpha$**

Показник адіабаты	Значення $\alpha$		Відносна розбіжність результатів $\delta, \%$
	літературні	наближені	
1,13	0,465	0,465	0
1,244	0,740	0,739	0,1
1,31	0,852	0,857	-0,6

Як видно з табл. 1, похибки розрахунків не перевищують 1 %, отже, на цьому проміжку значень показника адіабаты вказану формулу можна використовувати для визначення коефіцієнта співмірності  $\alpha$ .

Відомі дослідження, наведені в літературних джерелах, проведені з метою відділення холодного потоку від стисненого повітря, тому значення  $\Delta t_{\text{н}}^{\text{п}}$  розраховані з формули:

$$\Delta t_{\text{н}}^{\text{п}} = \frac{\mu}{1-\mu} \Delta t_{\text{х}}^{\text{п}}, \quad (7)$$

де  $\Delta t_{\text{х}}^{\text{п}}$  – ступінь охолодження потоку у вихровій трубі і визначається за формулою:

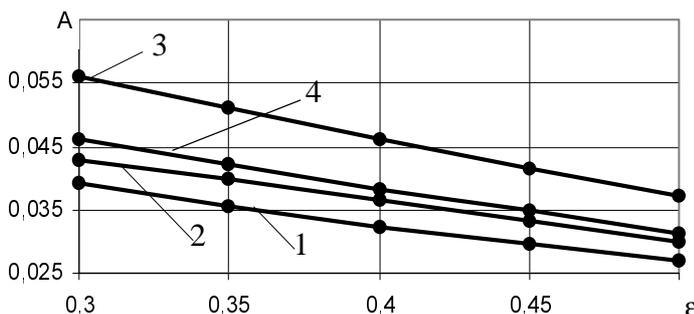
$$\Delta t_{\text{х}}^{\text{п}} = \eta_{\text{х}} t_{\text{с}} \left[ 1 - \left( \frac{1}{\pi} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (8)$$

де  $\eta_{\text{х}}$  – температурна ефективність холодного потоку,  $t_{\text{с}}$  – температура стисненого потоку на вході у роздільник, °С,  $\pi$  – ступінь розширення газу у вихровій трубі, який визначається з формули:

$$\pi = \frac{p_{\text{с}}}{p_{\text{х}}}; \quad (9)$$

де  $p_{\text{с}}$  – абсолютний тиск повітря на вході у роздільник,  $p_{\text{х}}$  – абсолютний тиск холодного потоку повітря на виході із роздільника.

На основі відомих даних ефективність енергетичного розділення стисненого повітря подамо у вигляді графічної залежності комплексу  $\frac{p_0 \Delta t_{\text{н}}^{\text{п}}}{p_{\text{с}} T_0}$  (позначеного через  $A$ ) від  $\epsilon$  на рисунку.



Залежність комплексу  $A$   
від ступеня відділення нагрітих потоків:  
1 – значення комплексу  $A$  при тиску  $p_{\text{с}} = 0,3$ ;  
2 –  $p_{\text{с}} = 0,5$ ; 3 –  $p_{\text{с}} = 0,6$  МПа,  
4 – середнє значення комплексу  $A$

Як видно із рисунка, характер залежностей однаковий. Для подальших залежностей були визначені середні значення комплексу А. Вони були апроксимовані за допомогою тієї самої комп'ютерної програми у вигляді функції  $A=f(\epsilon)$ :

$$A = 0,0323\epsilon^2 - 0,0988\epsilon + 0,0727 \quad (10)$$

Розрахунок похибок значень комплексу А за формулою (10) наведено у табл.2.

Таблиця 2

### Похибки розрахунків комплексу А

$p_c$ , МПа	$t_n$ , °С	$\epsilon$	Значення А		Відносна розбіжність $\delta$ , %
			літературні	наближені	
0,3	27	0,5	0,033	0,031	6,1
0,5	57	0,4	0,042	0,038	9,5
0,6	64,5	0,4	0,039	0,038	2,6

Як видно з табл. 2, похибки не перевищують допустимих, отже, у проміжку значень  $\epsilon=0,3\dots0,5$  цю формулу можна використовувати для обчислення значень комплексу А.

Для умов транспортування природного газу у магістральних газопроводах ДП “Львівтрансгаз” робочий тиск підтримується, в основному, на значенні 5,5 МПа, на вході в ГРС розрахунковим є 3 МПа, температура газу на вході в ГРС +2 °С, склад газу % об.: метан 98 %, етан 2 % ( $k=1,308$ ,  $\alpha=0,854$ ). Для цих умов комплекс А спрощується і вплив різних факторів на ефективність розділення можна описати як залежність комплексу

$$B = \frac{p_o \alpha \Delta t_n^{\Pi}}{p_r T_o} = \frac{p_o \Delta t_n^{\Gamma}}{p_r T_o} = f(\epsilon). \quad (11)$$

За обчисленими значеннями комплексу В проведена апроксимація у вигляді функції:

$$B = 0,05\epsilon^2 - 0,105\epsilon + 0,066. \quad (12)$$

Розрахунок похибок показав допустимі їх значення для інженерних розрахунків 5÷10 %.

**Висновки.** Встановлена функціональна залежність ефективності енергетичного розділення природного газу на основі даних для стисненого повітря при різному хімічному складі, тисках, співвідношеннях нагрітого і холодного потоків природного газу, необхідна для проведення експлуатаційних досліджень і проектування роздільників газорозподільних станцій.

1. Балінський І.С. Дослідження ефективності енергетичного розділювача природного газу // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 1995. № 291. С.5-7. 2. Балінський І.С. Дослідження енергетичного розділювача стиснутих газів // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 1995. № 291. С.5-7. 3. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? – М. 1976. 4. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – М. 1969.