

УДК 662.6: 66.(026.2+083)

Реза Ріахі, асп.;

С. В. Плашихін, асп.;

Ю. О. Безносик, к. т. н., доц.;

Г. О. Статюха, д. т. н., проф.

СИНТЕЗ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ПІНЧ-АНАЛІЗУ

Під час синтезу газотранспортних систем, пов'язаного з проектними змінами та збільшенням одиниць устаткування, необхідно враховувати багато факторів. Критерієм оптимальності у даному випадку є загальні мінімальні річні витрати, які включають в себе капітальні витрати та витрати експлуатаційні і на технічне обслуговування. В статті подано результати використання комбінації Pinch-методу з ексергетичним аналізом для синтезу газотранспортних систем.

У систему транспорту газу входять джерела газу, контури, які складаються із сегментів трубопроводу, компресорних станцій та місць передачі. Проектування або розширення системи транспорту газу включає капітальні витрати і витрати на експлуатацію й технічне обслуговування. При синтезі газотранспортних систем, пов'язаному, найчастіше, із проектними змінами й збільшенням кількості одиниць устаткування, необхідно враховувати багато факторів. Це оптимальна кількість компресорних станцій, їх оптимальне розташування, діаметр труб для кожного контуру мережі, поточні перепади тиску газу в компресорах і в трубопроводі в цілому, процеси теплообміну. Критерієм оптимальності може бути загальні мінімальні витрати в рік, включаючи капітальні витрати й витрати по експлуатації і технічному обслуговуванню.

У роботі подані результати використання комбінації Pinch-методу з ексергетичним аналізом для синтезу газотранспортних мереж [1, 2]. Такий аналіз дозволяє більш детально й поглиблено зрозуміти ексергетичну якість, кількість й спрямованість потоку газу на Pinch-діаграмі. Найчастіше такими ефектами при проектуванні зневажають, допускаючи незначне зниження ексергії у процесі. Однак, іноді, аналіз енергії необхідно застосувати до частини процесу, що характеризується значними змінами тиску, наприклад, розширювач, з'єднаний безпосередньо з компресором. У цьому випадку, зміни теплоємності не вказують ні на якість, ні на напрямок потоку енергії між потоками, які обмінюються енергією. Pinch-метод застосовується для аналізу й синтезу процесів, в яких теплообмін між процесом і корисними потоками відіграє важливу роль. При стисканні потоку, змінюється ексергія газу, що може бути відображено на Pinch-діаграмі [2—4].

Тиск — важливий параметр процесу транспортування газу. Апарати, які знаходяться під тиском, наприклад, компресор або розширювач також можна відобразити на Pinch-діаграмі. Подання зміни тиску на Pinch-діаграмі викликано такими причинами:

1. Як температура, так і тиск значно впливають на термодинамічний аналіз процесу.
2. Зміни теплоємності не дають уявлення про якість, кількість і напрямок потоку енергії між двома потоками процесу.
3. Дійсна вартість енергії, необхідної для процесу транспортування газу залежить не тільки від кількості, але і від якості енергії, що використовується.

Термодинамічна ексергія або придатність — це міра роботи, що існує в потоці енергії.

Рівняння (1) для аналізу ексергії потоку газу:

$$E_x \cong -(\Delta H_{1 \rightarrow e} - T_e \Delta S_{1 \rightarrow e}). \quad (1)$$

Ексергія E_x завжди вимірюється відносно параметрів навколишнього середовища. У компресорі, робота газу відбувається таким чином, що теплоємність H , температура T , тиск p , можуть розглядатися як до реальних, так і до ідеальних газів. Це виражено в наступних рівняннях (2—4) у загальній формі при зміні теплоємності ΔH , ентропії, ΔS , и ексергії, ΔE_x від початкового стану (індекс 1) до кінцевого стану (індекс 2):

$$\Delta H = C_p (T_2 - T_1) + H_2^R - H_1^R; \tag{2}$$

$$\Delta S = C_p \ln (T_2/T_1) - R \ln (p_2/p_1) + S_2^R - S_1^R; \tag{3}$$

$$\Delta E_{x(1 \rightarrow 2)} = \Delta H - T_e (\Delta S), \tag{4}$$

де

$$H^R / (RT) = -T \int_0^p (\partial Z / \partial T)_p dp / p; \tag{5}$$

$$S^R / R = -T \int_0^p (\partial Z / \partial T)_p dp / p - \int_0^p (Z - 1) dp / p. \tag{6}$$

ΔH та ΔS є розрахунковими для відповідних ідеально-газових сумішей; H^R та S^R визначаються по рівняннях (5) і (6). Фактор стискання (Z) розраховується по залежності $Z = pV/RT$. Значення Z , (dZ/dT) та P розраховуються й визначаються безпосередньо за експериментальними даними p , V , T .

Помноживши ексергію E_x на витрату потоку q_n , отримаємо енергетичну придатність потоку P_x :

$$P_x = q_n E_x. \tag{7}$$

Помноживши різницю теплоємностей ΔH на витрату потоку q_n , отримаємо:

$$\Delta I = q_n \Delta H. \tag{8}$$

Значення енергетичної придатності вхідного потоку й потоків виходу компресора можуть бути розрахованими за такими рівняннями (9—12):

$$P_{x1} = q_n [C_p (T_e - T_1) - T_e \Delta S_{1 \rightarrow e}]; \tag{9}$$

$$P_{x2} = -q_n [C_p (T_e - T_2) - T_e \Delta S_{2 \rightarrow e}]; \tag{10}$$

$$\Delta S_{1 \rightarrow e} = C_p \ln (T_e/T_1) - R \ln (p_e/p_1); \tag{11}$$

$$\Delta S_{2 \rightarrow e} = C_p \ln (T_e/T_2) - R \ln (p_e/p_2). \tag{12}$$

За рівняннями (1—12), можуть бути обчислені всі властивості (ΔH , ΔS , ΔE_x та ΔP_x) розширювача або компресора. Потім на Pinch-діаграмі будуються енергетичні рівні придатності потоків газу. Для контуру мережі, що містить кілька компресорів/розширювачів, будується складна крива структурної схеми й визначається положення Pinch-точки, що ділить газотранспортну мережу на дві підсистеми.

Розглянемо Pinch-метод разом з ексергетичним аналізом. Термодинамічний аналіз придатності розширювача й компресора показано на рис. 1.

На рис. 2 для компресора й розширювача показано розширену складну криву — UCCs. [2]. Потік компресора має вищий температурний рівень, ніж потік розширювача, але тече від розширювача до компресора. 40,7 кВт норми потоку теплоємності обмінюється між розширювачем і потоком компресора.



Рис. 1. Термодинамічний аналіз

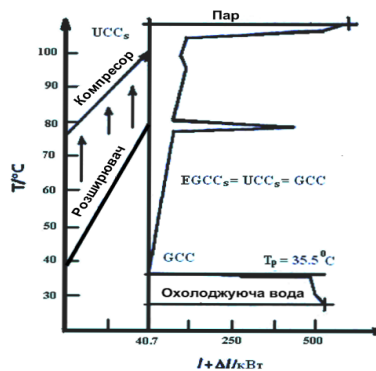


Рис. 2. Розширена більш складна крива

Новий підхід з енергетичною придатністю (P_x), що є властивістю температури (T) на T/P_x діаграмі, зображено на рис. 3.

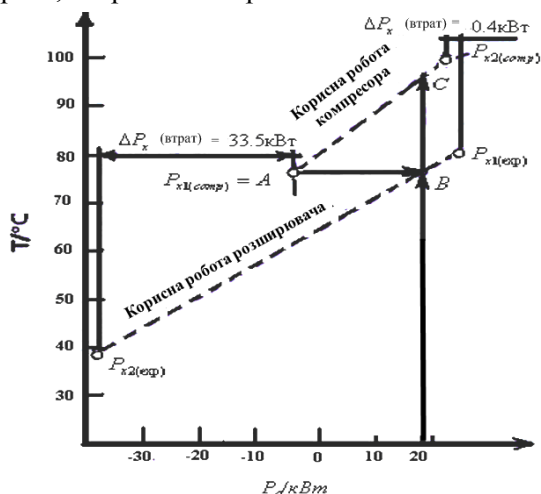


Рис. 3. T/P_x діаграма

Енергетичні втрати придатності на обох сторонах кривих виникають через передачу енергії між апаратами процесу. На рис. 3 показано, що розширювач має вищий ексергетичний рівень [точка $P_{x1(експ)}$] у порівнянні з компресором [точка $P_{x2(втрат)}$] або $P_{x1(втрат)}$. Такий аналіз надає більш реалістичне представлення потоку енергії між апаратами процесу, де значеннями тиску не можна зневажати. Розширювач при такій самій температурі (точка В на рис. 3) має на 60 % вище енергетичної придатності, ніж компресор. Розширювач має таку ж енергетичну придатність 18 кВт при 75 °С як компресор при 94 °С (точка С).

Тобто, початковий стан розширювача ($P_{x1} = 22,8$ кВт) при 80,7 °С має вищий рівень енергетичної придатності, ніж кінцевий потік компресора при 100,7 °С ($P_{x2} = 22,4$ кВт). У нашому випадку розширювач має вищий енергетичний рівень придатності, ніж компресор.

Висновки

Отже, за допомогою рівнянь 1—12 можуть бути розраховані всі властивості розширювача й компресора. Потім на Pinch-діаграмі будуються енергетичні рівні придатності потоків газу. Для контуру мережі, що складається з декількох компресорів і розширювачів, будується розширена більш складна крива й знаходиться Pinch-точка, що ділить газотранспортну мережу на дві підсистеми. Для кожної з підсистем визначаються оптимальні параметри їх функціонування.

Таким чином, комбінація звичайного Pinch-аналізу і нового енергетичного аналізу придатності потоку дозволяють аналізувати складні газотранспортні мережі, коли тиск і температура важливі для ефективного розуміння процесів.

Запропоновану методику передбачається використати при аналізі й проектуванні газових мереж в Ісламській республіці Іран.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Linnhoff В. Pinch analysis for network design [Текст] / В. Linnhoff, R. Smit. 1994. — Р. 1.7.2-1 — 1.7.3-10.
2. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов [Текст] / Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустяно, Л. М. Ульянов. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. — 456 с.
3. Статюха Г. О. Використання методу пінч-аналізу і модульної декомпозиції для синтезу теплообмінних систем [текст] / Г. О. Статюха, Я. Жезовський, Ю. О. Безносик, [та ін.] // Наукові вісті НУТУ «КПІ». — 2002. — № 3. — С. 24—31.
4. Безносик Ю. Синтез реактивних масообмінних мереж [текст] / Ю. Безносик, Л. Бугаєва, Г. Статюха // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — № 6. — 2005. — С. 30—35.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Надійшла до редакції 21.10.08
Рекомендована до друку 20.11.08

Реза Ріахі — аспірант, **Плашихін Сергій Володимирович** — аспірант, **Безносик Юрій Олександрович** — доцент, **Статюха Геннадій Олексійович** — завідувач кафедри.

Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»