

УДК 622.692.4

**Михалків Володимир Богданович**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри транспорту і зберігання нафти і газу  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу

**Mykhalkiv Volodymyr**

Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Oil and Gas  
Transportation and Storing  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ КОМПРЕСОРНИХ  
СТАНЦІЙ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ  
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КОМПРЕССОРНЫХ  
СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ  
SELECTION OF THE OPTIMAL MODE OF THE MAIN GAS PIPELINE  
COMPRESSOR STATIONS**

**Анотація:** Розглянуті умови та принципи оптимізації режимів роботи компресорних станцій газотранспортних систем, запропонований метод розв'язання задачі оптимізації.

**Ключові слова:** газ, компресорна станція, режим роботи, метод, оптимізація.

**Аннотация:** Рассмотрены условия и принципы оптимизации режимов работы компрессорных станций газотранспортных систем, предложен метод решения задачи оптимизации.

**Ключевые слова:** газ, компрессорная станция, режим работы, метод, оптимизация.

**Abstract:** The conditions and principles of optimization of compressor stations, gas transmission systems, the proposed method for solving optimization problems.

**Keywords:** gas, compressor station, mode, method, optimization.

Одним із головних завдань управління технологічним режимом роботи компресорної станції (КС) є підтримання тиску на стороні нагнітання на заданому рівні при оптимальному розподілі навантаження між агрегатами. При цьому, під оптимальним розподілом розуміється таке навантаження агрегатів, яке забезпечує мінімум енерговитрат на компримування заданого об'єму газу при відповідних граничних умовах на вході і виході КС.

В даний час нові компресорні станції оснащуються повнонапірними ГПА, що працюють тільки паралельно. Однак в промисловості є велика кількість КС, які мають паралельно-послідовну схему включення ГПА. Тому нижче, як загальний випадок, розглянуті завдання оптимізації КС при паралельно-послідовній роботі ГПА. Паралельна робота повнонапірних нагнітачів є окремим випадком розглянутої задачі.

Компресорна станція як локальний об'єкт управління представляє собою складний комплекс компресорного устаткування, режим роботи якого змінюється залежно від коливань відборів газу по трасі магістрального газопроводу. Для компенсації коливань режимів в технологічних схемах КС передбачені різні ступінчасті (дискретні) способи регулювання: числом машин, зміною схеми варіантів роботи групи машин (число груп та агрегатів в групі), коліс нагнітачів різних діаметрів, використанням позиційних регуляторів ("відкрито-закрито"). До неперервних способів регулювання відносяться: зміна швидкості обертання ротора нагнітача (в регульованому приводі), перепуск газу з виходу на вхід групи агрегатів і дроселювання на нагнітанні та всмоктуванні.

Враховуючи особливості математичного опису компресорних станцій і результати аналізу керуючих впливів, сформулюємо наступне завдання оп-

тимізації режимів роботи компресорної станції: при заданому об'ємі газу і фіксованих граничних умовах – тиску на вході  $P_{вх}$ , виході  $P_{вих}$  і температури газу на вході  $T_{вх}$  визначити таке поєднання машин, оберти (в разі регульованого приводу) по ступенях, положення регулюючих вставок, щоб був забезпечений мінімум енергетичних затрат за КС:

$$F = \min_u \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij}(\bar{r}, \bar{u}) \quad (1)$$

і виконувалися наступні технологічні обмеження:

$$P_{вих} < P'_{вих}, n_{1\min} \leq n_1 \leq n_{1\max}, \\ N_{ij} < N'_{ij}, T_{вих} < T'_{вих}, \Delta q < \Delta q',$$

де  $\bar{u}$  – вектор управління, компонентами якого є параметри: число обертів і агрегатів, вставки кранів;  $r$  – вектор режимів, який визначається тиском, витратою і температурою;  $m$  – число паралельних груп агрегатів,  $n$  – число послідовних ступенів,  $N'_{ij}$ ,  $T'_{вих}$ ,  $\Delta q'$ ,  $P'_{вих}$  – максимальні значення потужності, температури,  $n_{\min}$ ,  $n_{\max}$  – мінімально та максимально допустимі оберти нагнітачів.

Розв'язання задачі пов'язане з перебором великого числа варіантів. Тому для спрощення рахунку доцільно використовувати деякі технологічні закономірності.

У результаті було висунуто такі дві передумови:

а) при однакових граничних умовах  $n$  агрегатів завжди гірше з точки зору енергетичних експлуатаційних витрат, ніж  $n-1$  агрегат. Якщо не враховувати обмеження на керуючі впливи, дана умова може бути порушена. При їх врахуванні воно завжди виконується;

б) у всіх випадках економічно вигідно більше завантажувати перші по ходу руху газу машини.

Що стосується правомірності першої передумови до випадку послідовно включених машин, то очевидно, що завжди  $n$  машин гірше, ніж  $n-1$ .

Складна структура компресорних станцій при оптимізації її режимів потребує вирішення дуже складних завдань. Традиційний ручний рахунок в даному випадку не забезпечує своєчасного для оперативного управління пошуку оптимального розв'язку.

В даний час відомий ряд методів, таких, як, наприклад, динамічне програмування, метод розподілу ресурсів, комбінаторний метод та ін., придатних для машинної оптимізації експлуатаційних режимів компресорних станцій.

Нижче пропонується метод, що ґрунтується на логіко-комбінаторних прийомах, що впливають з попередньо сформульованих передумов про завантаження машин на компресорній станції. Цей метод потребує малий обсяг пам'яті машини, простий в обчисленнях і достатньо точний.

Враховуючи правомірність висунутих припущень, можна приступити до складання методу оптимізації режимів КС, вираженого у вигляді алгоритму наступним чином.

1. Визначити число паралельних груп машин за формулою:

$$m = \frac{q_{v_{np}}}{q_{v_{max_{np}}}}, \quad (2)$$

де  $q_{v_{np}}$  – приведена об'ємна продуктивність КС;

$q_{v_{max_{np}}}$  – приведена максимальна продуктивність агрегату, що входить в паралельну групу.

Якщо відношення містить дробову частину, то число груп приймають рівним  $m+1$ , а продуктивність однієї групи коригують згідно з формулою:

$$q'_{v_{np}} = \frac{q_{v_{np}}}{m+1}. \quad (3)$$

2. Перевірити умову  $P_{kj}(\theta) \geq P_{ka}^*$ , де  $P_{kj}(\theta)$  - тиск для  $j$ -го ступеня при найменших наведених обертах  $\theta$ ,  $P_{ka}^*$  – заданий тиск після першого ступеня.

Якщо вона задовольняється, то перейти до пункту 5, якщо ні, то визначити компоненти вектора стану  $\bar{r}(P_{kj}, T_{kj})$  і значення функціоналу  $F_j$  при  $\sup \theta$ .

3. Проаналізувати нерівність  $\hat{P}_{kj}(\hat{\theta}) \geq P_{\kappa\bar{b}}^*$ , де  $\hat{P}_{kj}(\hat{\theta})$  – тиск при максимальних приведених оборотах  $\hat{\theta}$ ,  $P_{\kappa\bar{b}}^*$  – заданий тиск в точці  $\bar{b}$ , і якщо воно виконується, перейти до пункту 6, якщо ні, то знайти компоненти вектора  $\bar{r}(\hat{P}_{kj}, T_{kj})$  і значення функціоналу  $F_j$  при  $\sup \theta$ .

4. Збільшити на одиницю число ступенів і перевірити умову. Якщо рівність не виконується, то перейти до пункту 1, а якщо виконується, то встановлене число машин не може виконати задані граничні умови.

5. Визначити перепад тиску на вхідному крані за формулою:

$$P_{kj-1} = \frac{P_{ka}^*}{\varepsilon_j}; P'_{kj-1}(\theta) = P_{kj-1}(\theta) + \Delta P_i, \quad (4)$$

і дати оцінку функціоналу відповідно до нерівності  $\sum F^{(e)} - \sum F^{(e-1)} > 0$ . Тут індекс вказує номер варіанта. На основі порівняння значень функціоналів вибирають оптимальні керуючі впливи. Потім перевіряють умову  $m+1=I$ , яка характеризує перебір поєднань діаметрів коліс нагнітачів. Якщо код поєднання не дорівнює кінцевій комбінації  $I$ , то здійснюється перехід до пункту 2, а якщо дорівнює – до видачі результатів.

6. Знайти ступінь підвищення тиску  $\varepsilon_{j+1}(\theta)$  при  $\theta$  і дати оцінку  $P_j(\varepsilon_v) \geq P_j(\theta)$ . Якщо виконується нерівність, то перейти до наступного пункту, якщо ні, то змінити на дискретну величину керуючий вплив і знову відновити виконання пункту 6. Рахунок триває до виконання умови нерівності.

7. Якщо тиск  $P_{\kappa\bar{b}}^* < P_{j+1}(\varepsilon)$ , то необхідно визначити  $\Delta P_{j+1}$ , а потім  $\nu = \frac{\Delta P_{j+1}}{P_{\kappa\bar{b}}^*}$ . Використовуючи величину  $\nu$ , знайти  $\Delta P_j = \nu P_{kj}(\theta)$  і аналогічно

$\Delta T_{kj}$  та відкоригувати  $P_{kj}(\hat{\theta})$ ,  $T_{kj}(\hat{\theta})$  відповідно до виразів

$$P_{kj}^{\wedge}(\theta) = P_{kj}(\theta) - \Delta P_j$$

$$T_{kj}^{\wedge}(\theta) = T_{kj}(\theta) - \Delta T_j$$

8. Зробити зворотне виконання кроків, перевіряючи при цьому умову  $j-1=0$ . Якщо число кроків не дорівнює нулю, то перейти до пункту 6, якщо дорівнює нулю – до пункту 5.

Таким чином, алгоритм підрахунку ґрунтується на логічних операціях з урахуванням упорядкованого перебору варіантів.

Логіко-комбінаторний метод в однаковій мірі підходить як для компресорних станцій, обладнаних газовими турбінами, так і для електроприводних. Алгоритм, призначений для електроприводних компресорних станцій, більш простий, оскільки в ньому відсутні варіації по обертах; рахунок ведеться за їх номінальним значенням.

Даний алгоритм може бути застосований і для інших галузей економіки, що містять об'єкти з послідовно-паралельним з'єднанням машин.

На основі викладеного методу складена універсальна програма оптимізації режимів компресорних станцій.

У програмі врахована можливість вибору режимів роботи агрегатів при послідовному і паралельному їх з'єднанні, причому передбачено вибір оптимальних режимів з числа можливих, тобто враховані обмеження на встановлену потужність, тиск і витрату.

### **Література:**

1. Трубопровідний транспорт газу / М.П.Ковало, В.Я.Грудз, В.Б.Михалків та ін. – Київ:-АренаЕКО, - 2002. – 600 с.