

Технічні науки

УДК 621.622

Стасюк Роман Богданович

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри транспортування та зберігання енергоносіїв

Івано-Франківський національний технічний університет нафти в газу

Stasiuk Roman

PhD, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of

Transportation and Storage of Energy Carriers

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Ткачівський Святослав Васильович

аспірант кафедри транспортування та зберігання енергоносіїв

Івано-Франківського національного технічного університету нафти в газу

Tkachivskyu Sviatoslav

Graduate Student of the Department of

Transportation and Storage of Energy Carriers

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Хай Руслан Васильович

аспірант кафедри транспортування та зберігання енергоносіїв

Івано-Франківського національного технічного університету нафти в газу

Khai Ruslan

Graduate Student of the Department of

Transportation and Storage of Energy Carriers

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Крупяк Ярослав Тарасович

аспірант кафедри транспортування та зберігання енергоносіїв

Івано-Франківського національного технічного університету нафти в газу

Krupiak Yaroslav

*Graduate Student of the Department of
Transportation and Storage of Energy Carriers
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РАЦІОНАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ
НЕУСТАЛЕНИМИ РЕЖИМАМИ В СКЛАДНИХ
ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ**

**RESEARCH OF THE PROCESSES OF RATIONAL MANAGEMENT OF
UNSTABLE REGIMES IN COMPLEX GAS TRANSPORTATION
SYSTEMS**

***Анотація.** Розглядається задача вибору раціонального керування нестационарними процесами в складних газотранспортних системах, викликаними нестабільністю завантаження в умовах обмеженого обсягу транзиту газу. Керуючі впливи в таких умовах повинні забезпечити переведення об'єкта з однієї точки функціонального фазового простору в іншу. Приводяться результати аналітичних досліджень характеру протікання і тривалості нестационарних процесів в складних газотранспортних системах, викликаних виключенням з режиму роботи окремих компресорних станцій.*

***Ключові слова:** газотранспортна система, компресорна станція, відключення, нестационарний процес, керування, тривалість.*

***Summary.** The problem of choosing a rational management of non-stationary processes in complex gas transport systems caused by load instability in conditions of limited gas transit volume is considered. Controlling influences in such conditions should ensure the transfer of the object from one point of the functional phase space to another. The results of analytical studies of the nature of flow and duration of non-stationary processes in complex gas transportation*

systems caused by the exclusion from the operation mode of individual compressor stations are given.

Key words: *gas transmission system, compressor station, shutdown, non-stationary process, control, duration.*

Постановка проблеми. Газотранспортна система, як правило, складається з компресорних станцій зі складною взаємопов'язаною структурою місце приєднання компресорних машин, систем автоматики

На роботу газопроводу особливо впливають значні зміни газоспоживання збурення, викликані аварійними ситуаціями, зміни пропускної здатності. Все це обумовлює нестационарні режими транспорту газу, врахування яких в диспетчерському оперативному керуванні є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження складають праці таких фахівців у галузі трубопровідного транспорту, як В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В [1], И. И. Капцов [2].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Як відомо [1; 2], нестационарний рух газу по трубах описується нелінійними диференціальними рівняннями в часткових похідних, тобто спостерігається розподіленість параметрів об'єктів керування. Отже, проблема керування при нестационарних умовах передачі газу стає складною.

Виклад основного матеріалу. У розглянутих задачах досить складно визначити мінімум. Для критерію (1) використовують критерій квадратичного відхилення. Даний критерій забезпечує досить плавний, без різких коливань, перехідний процес. Критерій (3) в задачі 2 для систем з строго розподіленими параметрами ($I=0$) виконати часом неможливо. За критерієм (3) необхідно знайти таку точку фазової траєкторії, яка збіглася б із заданою. Отже, більш коректною постановкою задачі є постановка з вимогою виконання критерію (4).

Отже, критерії (1) і (4) розглядають, як додаткові умови, що накладаються на деякі відхилення. Ці відхилення, отриманні в процентному відношенні, не повинні відрізнятись від своїх екстремумів більш ніж на точність ϵ і ϵ відповідно.

Розглянемо рішення задачі оптимізації режимів газопроводу при нестационарних умовах типу задачі 3, тобто переходу газопроводу з початкового стану в будь-яке інший заданий. При цьому потрібно забезпечити мінімум середньоквадратичного відхилення реальних параметрів режимів від заданих і мінімум затрат на перекачування. Сформулюємо задачу 3 для випадків лінеаризованих рівнянь руху газу.

Функція розподілу тиску $P(x,t)$ повинна задовольнити вихідну систему рівнянь, в яку входять рівняння руху (з урахуванням підвищення тиску на кожній з КС) і нерозривності

$$\frac{\partial P}{\partial x} + \sum_{j=1}^N \Delta P_{KCi} \delta(x - x_i) + \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\lambda w_c}{2d} (\rho w) = 0; \quad (1)$$

де: ΔP_{KCi} - підвищення тиску на i -тій КС з лінійною координатою x_i ; $\delta(x - x_i)$ - функція джерела Дірака; ρw - масова швидкість газу; λ - коефіцієнт гідравлічного опору.

Початкові і граничні умови матимуть вигляд:

$$P(x,0) = P(x);$$
$$-\frac{\partial P}{\partial x} - P(x,t)|_{x=L} = q(t); \quad P(x,t)|_{x=0} = P_0(t) \quad (2)$$

з додатковою умовою на КС, яка відображає характер керівних впливів

$$P_N(0,t) = au^2(t) + b, \quad (3)$$

де: $q(t)$ - масова витрата газу в кінці системи як функція часу; $P_0(t)$ - початковий тиск як функція часу.

Коефіцієнти a і b у формулі (3) визначені при середніх значеннях тиску і витрати в часі. Функціонал задачі 3 представлений таким чином:

$$\int_{I=0}^T [P^*(0,t) - P(0,t)]^2 dt + \alpha k_1 \int_0^T u(L,t)[u(L,t) - k^2] dt \quad (4)$$

Другий підінтегральний вираз отримано на основі апроксимації миттєвої потужності згідно з [3; 5].

Завдання оптимізації полягає в наступному: необхідно знайти таку керуючу функцію $u(t)$, яка за час T забезпечить мінімум функціоналу (8), а знайдене $P(x,t)$ задовольняє умовам (3), (4) і рівнянням руху газу та нерозривності.

Покажемо, що підінтегральна функція другого інтеграла (4) після нескладних перетворень має квадратичний вигляд.

Другий інтеграл можна записати у вигляді:

$$\alpha k_1 \int_0^T \left(v(t) + \frac{k_2}{2k_1} \right) \left(v(t) - \frac{k_2}{2k_1} \right) dt = k_1 \int_0^T v^2(t) dt + c, \quad (5)$$

ввівши наступне позначення $u(t) - \frac{k_2}{2k_1} = v(t); c = \frac{\alpha k_2}{4k_1} T$;

α - коефіцієнт розмірності.

Єдиність оптимального рішення багато в чому визначає застосування методу варіацій.

Як показано в [4], критерій мінімуму середньоквадратичного відхилення може бути представлений дещо по-іншому:

$$I = \sum_{j=0}^N [P^*(0,t_j) - P(0,t_j)]^2 + \alpha k_1 \sum_{j=0}^N u^2(t_j). \quad (6)$$

Як передбачалося раніше, для методу крокових варіацій повинен бути заданий початковий закон керування, починаючи з якого покращується рішення. Приблизно початковий закон керування може бути заданий диспетчером. Наприклад, у вигляді:

1. Лінійної комбінації за часом

$$u^0(0,t) = L^0(t), \quad (7)$$

де L^0 - лінійний оператор . Лінійна комбінація проходить через точки A і B , тобто

$$L^0(t) \subset [A(u(D),0), B(u^*(T),T)] \quad (8)$$

2. Кусково - лінійної залежності

$$u^o(t) = \begin{cases} L^0(t) \subset [A(u(0),0); B(u(1/3T),1/3T)] \text{ при } 0 \leq t \leq 1/3T \\ u^*(T) \text{ при } 1/3T < t \leq T \end{cases} \quad (9)$$

Інші види законів керування нульового наближення визнаються завданнями практики.

Алгоритм методу крокових варіацій представимо таким чином [4]:

1. У момент j задається значення функції $u^{(0)}(t_j)$ управління згідно (9) (змінюю його на величину Δu отримуємо мале позитивне число). Зі зміною керуючої функції зміниться гранична умова по тиску $P(0,t)$, на величину ΔP . Зміну керуючої функції оцінюють протягом двох кроків у часі в такий спосіб:

$$\begin{aligned} I_{i,j+1}^+ &= I_j^+ [P_{j-1}^{(0)}(0,t_{j-1}), P_j^{(0)}(0,t_j) - \Delta P] + I_{j+1}^+ [P_j^{(0)}(0,t_j) + \Delta P, P_{j+1}^{(0)}(0,t_{j+1})] \\ I_{j,j+1}^- &= I_j^- [P_{j-1}^{(0)}(0,t_{j-1}), P_j^{(0)}(0,t_j) - \Delta P] + I_{j-1}^- [P_j^{(0)}(0,t_j) - \Delta P, P_{j+1}^{(0)}(0,t_{j+1})] \\ I_{i,j+1} &= I_j [P_{j-1}^{(0)}(0,t_{j-1}), P_j^{(0)}(0,t_j)] + I_{j+1}^+ [P_j^{(0)}(0,t_j), P_{j+1}^{(0)}(0,t_{j+1})] \end{aligned} \quad (10)$$

де функціонал I визначається за другим значенням функції в дужках. Перше значення функції просто вказує, з якого стану попереднього кроку був зроблений перехід.

Збурення функції P від зміни $u(t)$ визначається по знайденій витраті на лівій межі ділянки, що рівнозначно витраті через КС і тиску на кінці попередньої ділянки.

При розрахунках варіації вхідного тиску і витрати КС вони локалізуються, тобто приймаються постійними на даному кроці, а зміна функції керування в основному впливає тільки на вихідний тиск. Таке положення в ітераційному методі припустиме.

В основу реалізації задачі покладено аналітичний розв’язок лінеризованої системи рівнянь руху і нерозривності для оптимізації режимів роботи компресорних станцій.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Результати розрахунку керуючих впливів на швидкість обертання роторів машин, які представлені у вигляді кривих, сильно коливаються. Це викликано тим, що витрата через КС і тиск на вході пов’язані зворотною залежністю і, змінюючись в часі, створюють нерівномірний режим перекачування газу на компресорних станціях.

Література

1. Технічна діагностика трубопровідних систем / В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В. Костів та ін. Івано-Франківськ : Лілея-НВ. 2012. 511 с.
2. Грудз В.Я. Обслуговування і ремонт газопроводів / В.Я. Грудз, Д.Ф. Тимків, В.Б. Михалків та ін. Івано-Франківськ : Лілея-НВ. 2009. 711 с.
3. Грудз В.Я. Дослідження процесу фільтрації газу в ґрунті при появі витоків з газопроводу / В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, Н.Я. Дрін, Р.Б. Стасюк // Нафтогазова енергетика. Івано-Франківськ, 2011. № 1. С. 70-74.
4. Grudz V.Ya. The research of gas leak from the / V.Ya. Grudz, Ya.V. Grudz, N.Ya. Drin, R.B. Stasiuk // Journal of hydrocarbon power engineering. Ivano-Frankivsk, 2014. № 2. P.103-107.