

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 ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГАЗОПРОВОДУ ПРИ
НЕДОВАНТАЖЕННІ**

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ГАЗОПРОВОДА ПРИ
НЕДОГРУЗКЕ**

SELECTING THE OPTIMUM MODE WHEN UNDERLOAD PIPELINE

Анотація: Розроблено метод розрахунку оптимальних режимів роботи магістральних газопроводів під час падіння обсягів перекачування.

Ключові слова: газ, режим роботи, оптимізація.

Аннотация: Разработан метод расчета оптимальных режимов работы магистральных газопроводов при падении объемов перекачки.

Ключевые слова: газ, режим работы, оптимизация.

Abstract: A method for calculating the optimal mode of gas mains in the decline in pumping.

Keywords: gas, operation, optimization.

На даний час газотранспортна система України працює зі значним недовантаженням [1]. Рішення задачі вибору оптимальних режимів газотранспортної системи при недовантаженні визначається критерієм оптимізації і відповідним класом використовуваних моделей. Для моделювання режимів газотранспортної системи використовується апарат статистичної ідентифікації. Якість числових методів оптимізації характеризується такими факторами: областю збіжності алгоритму, часом виконання однієї ітерації, об'ємом пам'яті, необхідним для реалізації вибраного методу, класом задач, які розв'язуються і та ін.

Необхідно також враховувати особливості задач по розмірності оптимального вектора, багатоекстремальні, гладкі і негладкі задачі і та ін.

Тому один і той же метод може бути ефективним для одного типу задач і зовсім непридатним для другого типу. У зв'язку з наведеними особливостями в даний час не існує найкращого у всіх відношеннях універсального числового методу оптимізації і ніколи не буде існувати. Тому необхідний не пошук універсального методу, а розумніше об'єднати різні методи, які дозволяють з найбільшою ефективністю розв'язувати задачі оптимізації.

Одним з таких підходів є поєднання штрафних функцій з методом адаптивного випадкового пошуку. Сполучення цих методів дозволяє виключити зациклення ітераційних процедур пошуку екстремуму в “особливих точках” за рахунок використання випадкового пошуку, тим самим підвищується надійність пошуку оптимального значення в цілому. Даний підхід дає можливість враховувати технологічні обмеження, які задаються функціями будь-якого виду за рахунок використання методу штрафних функцій при рішенні задач нелінійного програмування [2].

При даному підході до вирішення проблеми оптимізації транспорту газу в якості функції мети використовується регресивне рівняння, яке задається у вигляді параболи і технологічних обмежень у вигляді функцій обмежень для режимів роботи компресорних станцій вздовж траси трубопроводу. В цьому

випадку задача оптимізації режимів роботи газотранспортної системи зводиться до пошуку $\max_{X \in \Omega_p} (F(\vec{X}))$ функції мети $F(\vec{X})$ при обмеженнях виду:

$$\begin{aligned} F_i(\vec{X}) &= 0; \quad i = 1, 2, \dots, l, \\ \varphi_j(\vec{X}) &\leq 0; \quad j = l + 1, \dots, m + 1, \dots, \end{aligned} \quad (1)$$

де Ω_p – область працездатності для функції $F(\vec{X})$; $F(\vec{X})$ – цільова оптимізуюча функція (модель газотранспортної системи); $F_i(\vec{X})$ – функція обмежень у вигляді рівності; $\varphi_j(\vec{X})$ – функція обмежень у вигляді нерівності.

Задача (1) розв’язується методом штрафних функцій, для чого будується функція штрафу такого вигляду:

$$P(X, \tau) = -F(X_k) + \tau \left(\sum_{i=1}^e F_i(X_k)^2 + \sum_{j=l+1}^m \varphi_j^\tau(X_k)^2 \right), \quad (2)$$

де $\varphi_j^\tau(X_k) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \varphi_j(X_k) \leq 0 \\ \varphi_j(X_k), & \text{якщо } \varphi_j(X_k) > 0 \end{cases}$; τ – параметр штрафу.

Рекурентний алгоритм пошуку екстремуму рівний:

$$\begin{aligned} X_i(S) &= X_i(S-1) - B' \cdot P'(X, \tau), \\ B' &= \frac{C}{\sqrt{1+S}}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $i = 1, \dots, n$, n – число керуючих змінних; s – крок ітерації.

Значення штрафу змінюється від 0 до τ_{\max} по закону:

$$\tau(S+1) = \tau(S) + \left(\sum_{i=1}^e F_i(X_k)^2 + \sum_{j=l+1}^m \varphi_j^\tau(X_k)^2 \right) \cdot \frac{C_1(\tau_{\max} - \tau(S))}{\sqrt{1+S}} \quad (4).$$

Параметри C і C_1 вибираються для конкретного виду функцій. Значення похідної в градієнтному методі обчислюється аналітичним або числовим методом через прирости ΔX_j .

Адаптивний випадковий пошук при правильній організації є достатньо ефективним засобом пошуку екстремуму. В області пошуку Ω , яка включає область працездатності цільової функції і обмеження у виді рівності і

нерівності в постановці задачі (1), з заданою густиною розподілу $P(X / \bar{X}, \sigma_x^2)$ генеруються випадкові точки x_1, x_2, \dots, x_n , де \bar{X} – математичне очікування; σ_x^2 – дисперсія випадкової величини.

Алгоритм випадкового пошуку полягає в тому, що \bar{X} розміщується в точці з оптимальним або довільним значенням оптимізуючої функції, тобто:

$$F_k(\bar{X}) = \min(-F(\vec{X})) = Q^* \quad (5).$$

Пошук Q^* проводиться на основі рекурентної процедури.

Цей підхід гарантує знаходження глобального екстремуму при $i \rightarrow N$, де N - досить велике число. Для задання режиму роботи алгоритму штрафних функцій вводяться: N_1 – число ітерацій; L - вектор параметрів, він вміщує такі значення: $\tau_{\max}, l, m, c, c_1, \Delta x$.

Також вводяться обмеження на допустиму область рішення задачі (1). Область працездатності моделі газотранспортної системи обмежується багатовимірним паралелепіпедом, який задає діапазони зміни незалежних змінних в матриці диспетчерської інформації X , за якою будувалась модель. Апроксимація робочої області таким методом не єдина, її також можна апроксимувати багатовимірним еліпсоїдом розсіювання, в будь-якому випадку метод оптимізації не обмежує класу функцій обмежень. Техногічні обмеження задаються обмежувачими нерівностями на режими компресорної станції (вхідні і вихідні тиски). Метод штрафних функцій при оптимізації працює першим, в деяких випадках краще, щоб перед методом штрафних функцій працював метод випадкового пошуку. Введення його принципово не ускладнює задачу оптимізації, зате підготує для штрафних функцій початкове значення для вектора \vec{X}_0 , в якому виконуються всі обмеження. Якщо є можливість наперед підготувати початкове значення для вектора \vec{X}_0 , то необхідність для введення цього випадкового пошуку відпадає. На виході методу штрафних функцій при оптимізації після N_1 ітерацій формується

вектор \vec{X}_1^* для якого $Q_1 = F(\vec{X}_1^*)$. Після цього використовується адаптивний випадковий пошук. Вхідним вектором для нього є вектор \vec{X}_1^* . Режим роботи якого задається параметрами N_2, σ_x^2 . Основною задачею його є перевірка вектора \vec{X}_1^* на глобальний екстремум. На виході адаптивного випадкового пошуку формується вектор стану $\vec{X}_2^* = \vec{X}_{\text{опт}}$, який відповідає оптимальному керуванню по критерію максимуму пропускної спроможності на кінцевій компресорній станції для газотранспортної системи. Конкретний вигляд функції обмежень рівностей і нерівностей визначається технологічними обмеженнями для конкретних компресорних станцій. Необхідно зазначити, що обмеження у вигляді рівностей є найбільш складними обмеженнями для задач нелінійного програмування. У практичних розрахунках доцільно їх замінити обмеженнями у вигляді нерівності, для чого вводяться похибки вимірювань диспетчерських даних. В цьому випадку верхній і нижній діапазони для вимірюваних параметрів задає діапазон зміни і для функції обмеження, тим самим одне обмеження у вигляді рівності замінюють двома у вигляді нерівностей.

Даний підхід не є єдиним. Існує багато інваріантних підходів, але всі вони повинні давати швидкий пошук оптимального рішення задач для прийняття рішень в екстремальних умовах для забезпечення безаварійної та економічної роботи магістральних газопроводів.

Література:

1. Дослідження режимів роботи складної системи газопроводів у разі її недовантаження. Михалків В.Б. // Нафтогазова галузь України – Київ, 2015 - №6. – С. 26-29.
2. Оптимизация режимов работы газопровода в период падения загрузки/Михалкив В.Б.//Трубопроводный транспорт – 2016. Материалы XI Международной учебно-научно-практической конференции/ Уфа, УНТУ, 2016 – С. 113-114.