

**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 уні-

версального 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 за циклення 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 ви-

гляді 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  $\max_{\vec{X} \in \Omega_p} (F(\vec{X}))$  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  $\Omega_p$  – область працездатності для функції  $F(\vec{X})$ ;  $F(\vec{X})$  – цільова оптимізуєча 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:

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

$$\text{де } \varphi_j^r(X_k) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \varphi_j(X_k) \leq 0 \\ \varphi_j(X_k), & \text{якщо } \varphi_j(X_k) > 0 \end{cases};$$

$\tau$  – 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  $\tau_{\max}$  по закону:

$$\begin{aligned} \tau(S+1) &= \tau(S) + \left( \sum_{i=1}^l F_i(X_k)^2 + \sum_{j=l+1}^m \varphi_j^r(X_k)^2 \right) \times \\ &\times \frac{C_1(\tau_{\max} - \tau(S))}{\sqrt{1+S}} \end{aligned} \quad (4)$$

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

Адаптивний випадковий пошук при правильній організації є достатньо ефективним засобом пошуку екстремуму. В області пошуку  $\Omega$ , яка включає область працездатності цільової функції і обмеження у виді рівності і нерівності в постановці задачі (1), з заданою густиною розподілу  $P(X / \bar{X}, \sigma_o^2)$  генеруються випадкові точки  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , де  $\bar{X}$  – математичне очікування;  $\sigma_o^2$  – дисперсія випадкової величини.

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

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

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  $N_2, \sigma_x^2$ . Основною задачею його є перевірка вектора  $\vec{X}_1^*$  на глобальний екстремум. На виході адаптивного випадкового пошуку формується вектор стану  $\vec{X}_2^* = \vec{X}_{\text{онт}}$ , який відповідає оптимальному керуванню по критерію максимуму пропускнуої 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.