

УДК 622.691.4-52(043)

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Д.Ф.Тимків, М.В.Крихівський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,
e-mail: public@nuing.edu.ua

Пропонується інформаційна система для статистичної ідентифікації і оптимізації режимів роботи газотранспортних систем за даними диспетчерської інформації. Інтелектуальна взаємодія частин дозволяє ефективно використовувати комп'ютерну техніку для оперативного управління газопроводами

Ключові слова: інформаційна система, газотранспортна система, режим, оптимізація

Предлагается информационная система для статистической идентификации и оптимизации режимов работы газотранспортных систем по данным диспетчерской информации. Интеллектуальное взаимодействие частей позволяет эффективно использовать компьютерную технику для оперативного управления газопроводами

Ключевые слова: информационная система, газотранспортная система, режим, оптимизация

The informative system is offered for statistical authentication and optimization of the modes of operations of the gas-transport systems from data of controller's information. Intellectual co-operation of parts allows effectively to utilize a computer technique for an operative management gas pipelines.

Keywords: informative system, gas-transport system, mode, optimization

Вступ

«Енергетичною стратегією України до 2030 року», яка розроблена НАК «Нафтогаз України», визначено мету й основні напрямки розвитку нафтової та газової промисловості. З поміж іншого можна виділити:

- стабільне, безперебійне та економічно ефективне задоволення внутрішнього попиту на природний та зріджений газ;
- надійність та безпека газопостачання споживачів;
- збільшення власного добутку газу та зменшення залежності від зовнішніх поставок цього енергоресурсу;
- ефективне використання геополітичного потенціалу України як однієї з найбільших держав, що здійснюють транзит газу;
- інтеграція газотранспортної мережі України до газотранспортної мережі Європи.

Постановка задачі

Надійне, безперебійне та економічно ефективне функціонування газотранспортної мережі потребує вдосконалення використання комп'ютерної техніки для ідентифікації та оптимізації режимів її роботи. Для розрахунку режимів роботи газотранспортних систем (ГТС), який важко піддається математичній формалізації, доцільно використовувати інформаційну систему для підтримки прийняття управлінського або технологічного рішення та прогнозування. Цю задачу можна віднести до неформалізованих задач [1], яким, як правило, властиві неповнота, неоднозначність, помилковість і суперечливість початкових даних та велика розмірність простору рішення. Слід відмітити, що неформалізовані задачі є найбільш масовим класом задач, що розв'язуються в да-

ний час за допомогою електронних обчислювальних машин (ЕОМ), тому актуальним є проведення досліджень для підвищення ефективності інформаційної системи та діалогової взаємодії користувачів з ЕОМ.

Модель інформаційної системи

Основу моделі інформаційної системи (рис. 1) складають: побудова за допомогою даних диспетчерської інформації регресійних рівнянь, які описують режим експлуатації ГТС; постійне уточнення цього рівняння для нових диспетчерських даних; розрахунок оптимальних режимів експлуатації. Інформаційна система призначена для:

- оперативного управління газопроводами, тобто розрахунку проводяться для вибору оптимальних режимів експлуатації ГТС з врахуванням їх технологічних особливостей і обмежень для режимів роботи компресорних станцій;
- побудови регресійного рівняння для вибраного показника режиму транспортування газу в газопроводах;
- використання регресійного рівняння для прогнозування вихідного показника режиму роботи ГТС;
- використання регресійного рівняння для розрахунку режимів роботи ГТС з нестационарною газопередачею;
- адаптації регресійного рівняння до нових даних диспетчерської інформації;
- розрахунку оптимальних режимів роботи ГТС з врахуванням технологічних особливостей і обмежень.

Регресійне рівняння знаходиться [2] із рівняння

$$\min \left\{ E^T E = (Y - XA)^T (Y - XA) \right\}, \quad (1)$$

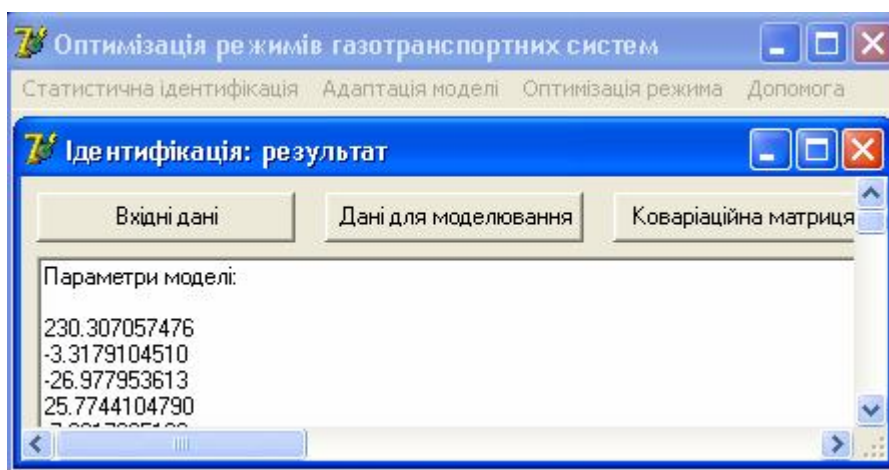


Рисунок 1 – Інтерфейс інформаційної системи

де: Y – вектор вихідного модельованого параметра (пропускна здатність ГТС), X – матриця вхідних параметрів для рівняння, A – вектор коефіцієнтів рівняння

$$Y = XA + E. \quad (2)$$

Розв'язок методом найменших квадратів буде

$$A = [X^T X]^{-1} [X^T Y]. \quad (3)$$

Якість регресійного рівняння залежить від статистичної характеристики диспетчерських даних. В інформаційній системі виконується попередня обробка вхідних даних:

- аналізуються дані, які виділяються з-поміж інших;
- перевіряється однорідність кількох порцій диспетчерських даних;
- перевіряється статистична незалежність;
- аналізується нормальність закону розподілу.

Для перевірки нормальності закону розподілу диспетчерських даних використано критерій асиметрії і ексцесу, які повинні бути нульовими. Для набору x_1, x_2, \dots, x_N асиметрія і ексцес знаходяться за формулами

$$\mathcal{K}_1(N) = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \right) / \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right)^{3/2}, \quad (4)$$

$$\mathcal{K}_2(N) = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3 \right) / \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right)^{3/2}, \quad (5)$$

де

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}. \quad (6)$$

Відхилення для цих величин:

$$\sigma_{\mathcal{K}_1} = \sqrt{6(N-2) / \sqrt{(N+1)(N+3)}}, \quad (7)$$

$$\sigma_{\mathcal{K}_2} = \frac{\sqrt{24N(N-2)(N-3)}}{\sqrt{(N+1)^2(N+3)(N+5)}}. \quad (8)$$

Умова нормальності розподілу даних:

$$\begin{cases} |\mathcal{K}_1(N)| < 1.5\sigma_{\mathcal{K}_1} \\ \left| \mathcal{K}_2(N) + \frac{6}{N+1} \right| < 1.5\sigma_{\mathcal{K}_2} \end{cases} \quad (9)$$

а умова невідповідності нормальному розподілу:

$$\begin{cases} |\mathcal{K}_1(N)| \geq 2\sigma_{\mathcal{K}_1} \\ \left| \mathcal{K}_2(N) + \frac{6}{N+1} \right| \geq 2\sigma_{\mathcal{K}_2} \end{cases} \quad (10)$$

ГТС є те, що режими ГТС відносяться до класу нестационарних. Регресійні рівняння використовуються для ідентифікації стаціонарних процесів і лише для тієї області зміни вхідних контрольованих змінних, в якій була проведена ідентифікація. При поступленні нової інформації коефіцієнти регресійної моделі необхідно постійно уточняти. Для адаптації регресійного рівняння використовується рекурентна формула

$$a_j(i) = a_j(i-1) + \frac{y(i) - \sum_{j=1}^n a_j(i-1)x_j(i)}{\gamma + \sum_{j=1}^n x_j^2(i)}, \quad (11)$$

де γ – параметр алгоритму, який визначається в процесі налаштування.

Задача оптимізації режимів роботи ГТС зводиться до пошуку

$$\max_{X \in \Omega} (F(\vec{X})) \quad (12)$$

де $F(\vec{X})$ – цільова функція з обмеженнями:

$$\begin{cases} F_i(\vec{X}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, l; \\ \varphi_j(\vec{X}) \leq 0, \quad j = 1 + l, \dots, m, \end{cases} \quad (13)$$

де: Ω – область визначення для функції $F(\vec{X})$, $F(\vec{X})$ – цільова функція (модель ГТС). Вона розв'язується методом штрафних функцій, для чого визначається функція штрафу

$$\Phi(x, \tau) = -F(x_k) + \tau \left(\sum_{i=1}^l F_i(x_k)^2 + \sum_{j=l+1}^m \varphi_j^+(x_k)^2 \right), \quad (14)$$

де:

$$\varphi^+(x_k) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \varphi_j(x_k) \geq 0 \\ \varphi_j(x_k), & \text{якщо } \varphi_j(x_k) < 0 \end{cases} \quad (15)$$

τ – параметр штрафу.

Вибравши τ досить великим ($\tau \sim 100$), градієнтним методом розв'язується тільки внутрішня задача

$$\max_{\tau \in T} \min_{x \in \Omega} (\Phi(x, \tau)). \quad (16)$$

Рекурентний алгоритм пошуку екстремуму

$$x_i(s) = x_i(s-1) - B' \Phi'(x, \tau),$$

$$B' = \frac{c}{\sqrt{1+s}}, \quad i = \overline{1, \dots, n}, \quad (17)$$

де: n – число управляючих змінних, s – крок ітерації за схемою (17).

Значення штрафу змінюється від 0 до τ_{\max} за законом

$$\tau(s+1) = \tau(s) + \frac{c_1(\tau_{\max} - \tau(s))}{\sqrt{1+s}} \times \left(\sum_{i=1}^l F_i(x_k)^2 + \sum_{j=l+1}^m \varphi_j^+(x_k)^2 \right). \quad (18)$$

Параметри c і c_1 підбираються для конкретних функцій. Значення похідної обчислюються чисельним методом:

$$\Phi'(x, \tau) = \frac{\Phi(x + \Delta x, \tau) - \Phi(x - \Delta x, \tau)}{2\Delta x}. \quad (19)$$

Уточнюється рішення методом адаптивного випадкового пошуку. Вибирається вектор управляючих змінних \vec{x} , який був знайдений методом штрафних функцій, тобто

$$F_k(\vec{x}) = \min(-F(\vec{x})) = Q^*. \quad (20)$$

Пошук Q^* виконується за допомогою рекурентної формули

$$\vec{x} = x^* = \begin{cases} x_{i-1}^*; Q^* = Q_{i-1}^*, \text{ при } Q(x_i) \geq Q_{i-1}^* \\ x_i; Q^* = Q(x_i), \text{ при } Q(x_i) < Q_{i-1}^* \end{cases}, \quad (21)$$

де i – крок рекурентного пошуку.

Інтелектуальна частина інформаційної системи використовує семантичну мережу як модель структури знань [3]. Її можна представити у вигляді орієнтованого графа з розміченими вершинами і ребрами. Вершини позначають об'єкти предметної галузі або їх деякий стан, а ребра – взаємозв'язки між ними. На множинному рівні граф G визначається упорядкованою парою $G = (V, R)$, де V – множина вершин, а R – множина ребер. Скінчений орієнтований граф для реалізації математичних операцій за допомогою ЕОМ можна описати списком вершин і списком ребер, матрицею суміжності S або матрицею інцидентності I .

Матриця суміжності $S = \|s_{ij}\|$ є квадратною, рядки і стовпці якої відповідають вершинам графа, а значення її елементів – ребрам. Значення елементів матриці s_{ij} у випадку чіткої визначеності, належать множині $\{0, 1\}$. Відповідно значення елемента $s_{ij} = 1$, якщо існує ребро e_{ij} і $s_{ij} = 0$, якщо це ребро відсутнє.

У матриці інцидентності $I = \|i_{nm}\|$ стовпці відповідають вершинам графа, а рядки – ребрам. Для орієнтованого графа зі скінченною кількістю вершин і ребер у випадку чіткої визначеності значення елементів матриці I належить множині $\{0, 1, -1, \alpha\}$, де α – будь-яке число, відмінне від 0, 1, -1. Значення $i_{nm} = -1$, якщо ребро e_n є інцидентним вершині v_m , тобто існує ребро між вершинами v_n і v_m , і v_m – початок ребра. Значення $i_{nm} = 1$, якщо ребро e_n є інцидентним вершині v_m і v_m – кінець ребра, $i_{nm} = 0$, якщо ребра між вершинами v_n і v_m не існує, $i_{nm} = \alpha$, якщо ребро e_n – петля вершини v_m .

Якщо деякі об'єкти (стани об'єктів) предметної галузі або деякі відношення між ними чітко не визначені, граф $G = (V, R)$ є нечітким (розпливчастим). Множини V і R – нечіткі множини, елементи яких представляються парами відповідно (v, μ_v) і (r, μ_r) , де v – елемент множини V , μ_v – значення функції належності цього елемента до множини V . Рядки і стовпці матриці суміжності S при цьому визначаються парою (i, μ_{V_i}) , де i – номер рядка чи стовпця, а μ_{V_i} – значення функції належності до множини V вершини з номером i . Значення функції μ_{V_i} для всіх i обмежені проміжком $[0, 1]$. Значення елементів матриці S , які є значеннями функції належності μ_R , також обмежені проміжком $[0, 1]$.

Для нечіткого графа $G_x = (V_x, R_x)$ стовпці матриці інцидентності визначаються парою (m, μ_{V_m}) , де m – номер стовпця, а μ_{V_m} – значення функції належності до множини V_x із проміжку $[0, 1]$, а рядки – парою (n, μ_{R_n}) , де n – номер рядка, а μ_{R_n} – значення функції належності до множини R_x із проміжку $[0, 1]$. Якщо G_x не містить петель, тобто відсутні ребра, які інцидентні одній вершині, значення елементів матриці інцидентності i_{nm} належать проміжку $[-1, 1]$. Від'ємне значення i_{nm} вказує на те, що v_m – початок ребра r_n . Для графа з петлями вводиться новий діапазон значень для функції належності [2, 3].

Висновок

Таким чином, інформаційна система складається з 3-х взаємопов'язаних частин. У 1-й вводяться диспетчерські дані та будується регресійне рівняння, яке адаптується до нових даних у 2-й частині. 3-я частина використовує створене рівняння першими двома частинами та вибирає оптимальний режим за певним критерієм та технологічними обмеженнями. Реалізована модель з інтелектуальною взаємодією окремих частин дає змогу ефективно використовувати комп'ютерну техніку для оперативного керування газопроводами.

Література

1 Грудз В.Я. Керування режимами газо-транспортних систем / [В.Я.Грудз, В.Б.Михалків, М.П.Лінчевський та ін.]. – К.: УМКВО, 1996. – 150 с.

2 Гусейнзаде М.А. Методы математической статистики в нефтяной и газовой промышленности / М.А.Гусейнзаде, Э.В.Калинина, М.Б.Добкина. – М.: Недра, 1979. – 340 с.

3 Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А.Гаврилова, В.Ф.Хорошевский. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії

04.03.10

Рекомендована до друку професором

В. Я. Грудзом