

УДК 622.691

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАГНІТАЧА

М.І.Горбійчук, Я.І.Заячук

ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019, тел. 4-22-64

Изложен подход к построению математической модели нагнетателя газа на основе экспериментальных данных с использованием интеграции SCADA – системы и программного продукта для технологических расчетов – Matlab

In this article the authors offered approach for the construction of mathematical model of compressor on the basis of experimental data with using of integration SCADA – system and software product for technological calculations – Matlab.

Визначення ефективності трубопровідного транспортування газу пов'язане з необхідністю проведення оперативних розрахунків виробничої спроможності систем газопостачання в діапазонах роботи магістральних газопроводів. У формуванні критерію ефективності за приписами ринкової економіки виникає потреба у прибутково орієнтованій оптимізації потоків газу, які є залежними як від схемно – структурних характеристик газопроводів, так і від керування експлуатаційних режимно – технологічних показників. Оптимізація потоків газу належить до проблем підвищення керуваної (на управлінському рівні) ефективності використання виробничих ресурсів і має спиратися на комп'ютерно - орієнтовану технологію моделювання непроектованих режимно – технологічних експлуатаційних характеристик головних технологічних об'єктів магістральних газопроводів – лінійних ділянок та компресорних станцій. Основним елементом компресорної станції є газоперекачувальний агрегат (ГПА). Кожний ГПА конструктивно складається із привода і нагнітача (компресора). Оптимізація потоків газу означає оптимізацію керування роботою нагнітача, щоб забезпечити мінімізацію затрат на компримування.

Аналіз задачі оптимального керування роботою нагнітача засвідчує, що керуваними діями є швидкості обертання вала нагнітача.

Розглянемо *i*- тий нагнітач як об'єкт, який характеризується керуючою дією n_i та зовнішніми впливами ξ_{ij} , де *j*- номер зовнішнього впливу для *i*-го нагнітача; $j = \overline{1, K}$; *K*- кількість зовнішніх впливів (рис. 1).

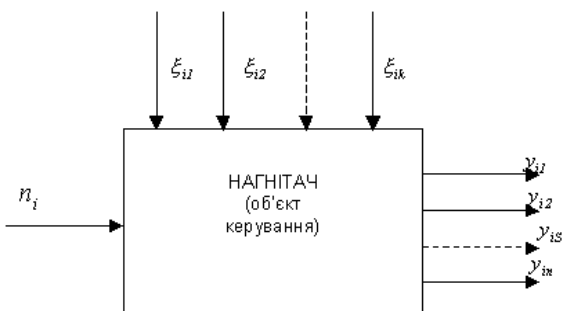


Рисунок 1 – Нагнітач газу як об'єкт керування

Сукупність величин n_i та ξ_{ij} утворюють групу вхідних величин нагнітача. Реакція керуваного об'єкта на вхідні величини характеризується певними показниками роботи нагнітача – вихідними величинами y_{is} , $s = \overline{1, n}$, де *n* - кількість вихідних величин.

Зміст вихідних величин нагнітача визначає задача оптимального керування. Розглянемо нагнітачі з газотурбінним приводом (ГТП).

Вихідними величинами будуть:

- витрата паливного газу;
- температура газу на виході із нагнітача;
- температура вихлопних газів ГТП;
- продуктивність нагнітача.

Кожна із перерахованих вихідних величин є функцією керуючої дії n_i та зовнішніх впливів ξ_{ij}

$$y_{is} = \varphi_{is}(n_i, \xi_{ij}). \tag{1}$$

Проведений аналіз літературних джерел і роботи компресорних станцій виявив, що для нагнітачів з ГТП витрата паливного газу q , температура газу на виході нагнітача t_2 , продуктивність нагнітача Q є функціями числа обертів вала нагнітача n , температури газу на вході в нагнітач $t_{2.в.}$, ступеня стискування газу ε , тиску газу на вході в нагнітач $p_{2.в.}$ та температури навколишнього середовища t_c , тобто:

$$\{g, t_2, Q\} = \varphi_i(n, t_{2.в.}, \varepsilon, p_{2.в.}, t_c), i = \overline{1, 3}. \tag{2}$$

Відповідно для температури вихлопних газів будемо мати

$$t_{вих.г} = \varphi_4(n, \varepsilon, p_{г.в.}, t_c). \tag{3}$$

Відзначимо, що в математичні моделі включена температура навколишнього середовища.

Тепер задача полягає в тому, щоб за результатами експериментального дослідження ідентифікувати значення (2) – (3).

Відомо, що залежно від наявності у дослідника апріорної інформації про структуру моделі об'єкта можна виділити два випадки:

Таблиця 1 – Фрагмент Excel-таблиці параметрів, що характеризують роботу нагнітача

T_{in}	E	P_{in}	T_c	P_{out}	T_v	T_{out}
27,54186	1	32,28	13,5	32,2800	19,31974	27,96667
27,55581	1	32,28	13,5	32,2800	19,34737	27,98333
27,56977	1	32,28	13,5	32,2800	19,375	28
27,58372	1	32,28	13,5	32,2800	19,40263	28,01667
27,59767	1	32,28	13,5	32,2800	19,43026	28,03333
27,61163	1	32,28	13,5	32,2800	19,45789	28,05
27,62558	1	32,28	13,5	32,2800	19,48553	28,06667
27,63953	1	32,28	13,5	32,2800	19,51316	28,08333
27,65349	1	32,28	13,5	32,2800	19,54079	28,1
27,66744	1	32,28	13,5	32,2800	19,56842	28,1
27,6814	1	32,28	13,5	32,2800	19,59605	28,1
27,69535	1	32,28	13,5	32,2800	19,62368	28,1
27,7093	1	32,28	13,5	32,2800	19,65132	28,1
27,72326	1	32,28	13,5	32,2800	19,67895	28,1
27,73721	1	32,28	13,5	32,2800	19,70658	28,1
27,75116	1	32,28	13,5	32,2800	19,73421	28,1

а) структура функцій (2) – (3) відома. В цьому випадку задача побудови математичної моделі зводиться до вибору невідомих коефіцієнтів залежностей (2) – (3);

б) відомо, що кожна із залежностей (2) – (3) збігається з однією з функцій з певного класу функцій. Необхідно визначити цю функцію і знайти невідомі параметри.

Останній випадок є найпоширенішим в практиці створення математичних моделей КС.

Для математичного опису залежностей (2) – (3) використаємо багатовимірну нелінійну апроксимацію, яка має вигляд многочлена

$$y = \sum_{s=1}^k a_s \prod_{i=1}^N u_i^{q_{is}}, \quad (4)$$

де: a_s - коефіцієнти полінома (параметри моделі); q_{is} - невід'ємні цілі числа, які обмежені величинами Q_i ,

$$0 \leq q_{is} \leq Q_i. \quad (5)$$

Якщо вибрана величина Q , то задача побудови математичної моделі зводиться до обчислення невідомих коефіцієнтів в залежності (4).

Стосовно способу одержання необхідного матеріалу для побудови моделі (4) можна говорити про активні і пасивні експерименти.

Активний експеримент передбачає, що на вхід досліджуваного об'єкта подаються впливи за певним планом.

Така постановка експерименту дає можливість скоротити об'єм експериментального дослідження і отримати математичну модель з мінімальною можливою похибкою.

Слід зауважити, що реалізація активного експерименту передбачає втручання в нормальний хід технологічного процесу.

Аналіз моделей (2) – (3) свідчить, що реалізувати активний експеримент в умовах роботи нагнітача в газовій мережі неможливо, оскі-

льки ряд параметрів ($P_{z.g.}, t_{z.g.}$) задаються режимом роботи попередньої КС, а t_c принципово неможливо змінювати в бажаному напрямку.

Оскільки реалізувати активний експеримент на об'єкті (нагнітачі) неможливо, розумною альтернативою є використання природних змін для побудови математичної моделі нагнітача.

На сучасних компресорних станціях програмне забезпечення дозволяє формувати архівний масив значень технологічних параметрів у форматі *.csv, який може оброблятися з допомогою програмного продукту Excel. Приклад такого масиву даних представлений у таблиці 1.

Після того, як вибрана структура математичної моделі, що описує функціональну залежність між виходом об'єкта і його входами, задача ідентифікації зводиться до обчислення коефіцієнтів рівняння регресії (4). Як критерій наближення рівняння регресії (4) до результатів спостережень $u_i, i = 1, N_a$, де u_i – вхідні величини нагнітача, що включені в залежність (4), використано величину

$$I(\hat{a}) = \sum_{i=1}^{N_a} (\tilde{y}_i - y_i)^2, \quad (6)$$

де: \hat{a} - вектор оцінок параметрів математичної моделі (4); \tilde{y}_i - значення вихідних величин, які отримані за результатами спостережень; y_i - обчислені значення вихідної величини за рівнянням (4) на множині значень вхідних величин; N_a - кількість точок спостережень.

Після того, як вибрана структура моделей нагнітача (2) - (3) у вигляді полінома (4, задача ідентифікації зводиться до визначення степеня полінома Q та коефіцієнтів $a_s, s = \overline{1, k}$.

Для побудови математичної моделі, яка із максимальною точністю відтворює результати

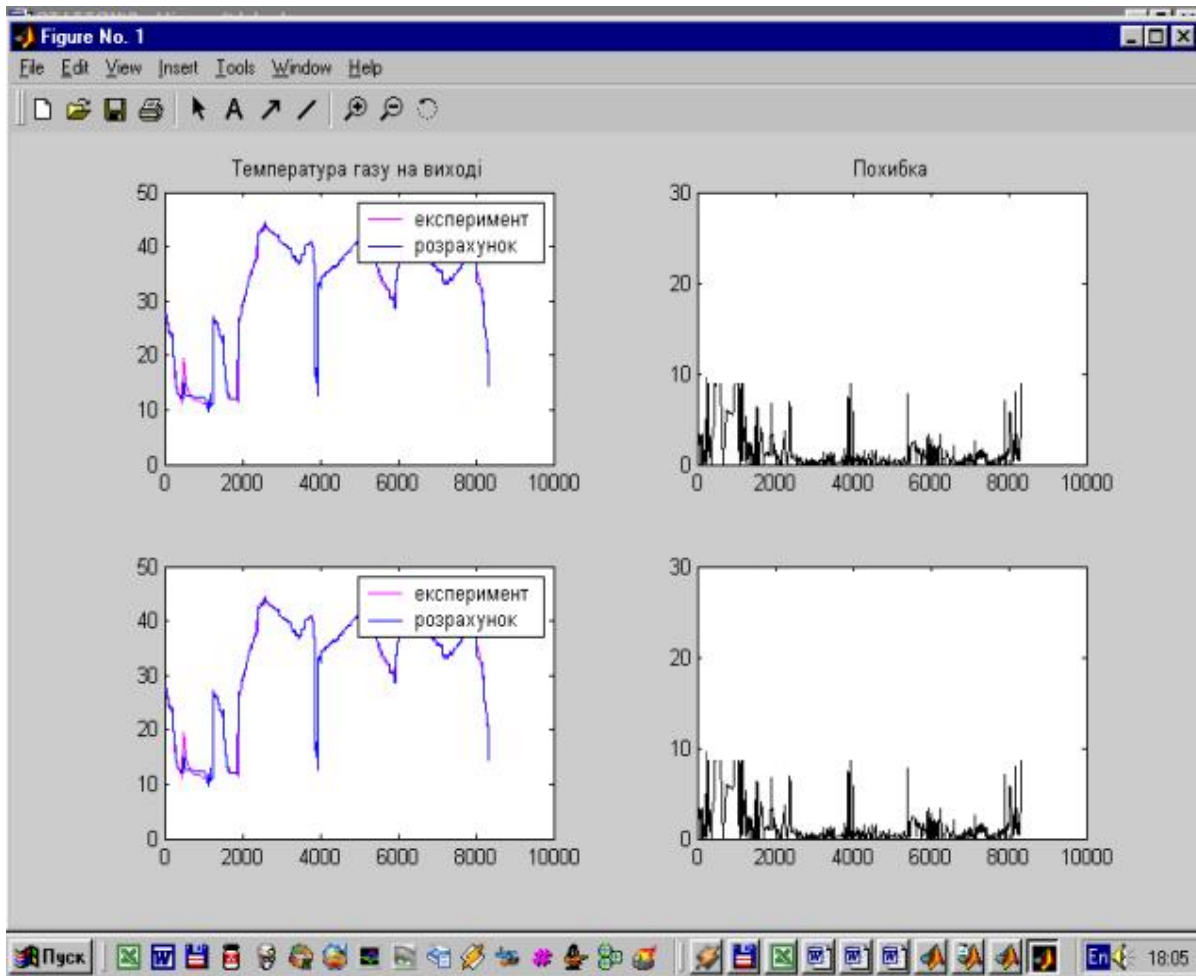


Рисунок 2 – Ідентифікація математичної моделі температури газу на виході нагнітача

спостережень, використовувались два методи: МНК – метод та МНК – метод із сингулярним розкладом матриці F . Все програмне забезпечення задачі ідентифікації створене в середовищі Matlab. При цьому масив вихідних даних, який сформований в програмному продукті Excel, передається в Matlab.

Результат ідентифікації математичної моделі для параметра “Температура газу на виході із нагнітача” представлений на рисунку 2.

Таким чином, розв’язок задачі мінімізації витрат паливного газу пропонується реалізувати за допомогою спеціально розроблених програмно – технічних засобів, що дають можливість оптимізувати роботу газоперекачувального устаткування.

Пропоновану методику можна застосовувати при паралельному з’єднанні нагнітачів.

Літературні джерела

1. К. Гетц, М. Джилберт. Программирование в Microsoft Office: Полное руководство по VBA. Пер. с англ. – К.: Издательская группа BHV, 1999. – 768 с.
2. Модельно - программный комплекс для определения функционально-технического состояния нагнетателей ГПА в АСУ ТП магистральных газопроводов / В. В. Колодяжный, Б. С. Ильченко, Б. И. Фролов, А. Л. Тумаркин // Сб. тр.: Совр. приборы, м-лы и технологии для техн. диагностики и неразрушающего контроля.— М.: МНТК.— 1998.— 480 с.
3. Опыт эксплуатации и перспективы развития автоматизированных систем диагностики газоперекачивающего оборудования / В. В. Колодяжный, Б. С. Ильченко, Б. И. Фролов, А. А. Прищепо // Тр. Междунар. Деловой встречи: Диагностика-98.— Сочи, 1998.- 261 с.