

Математичні моделі прогнозування викидів компресорними станціями шкідливих речовин в атмосферу

М. І. Горбійчук¹, І. В. Щупак¹

Abstract – With the use of genetic algorithms the mathematical model of optimum structure, which represents intercommunication between his ecological descriptions and indexes of his work, which are an important task at determination of the technical state of gascompressor units, is got.

Ключові слова – генетичний алгоритм, математична модель, прогнозування, шкідливі речовини, ГПА.

I. ВСТУП

Україна має потужну та розвинуту мережу транспортування газу від східних кордонів до країн Центральної та Західної Європи. У переважній більшості випадків на КС встановлені газоперекачувальні агрегати (ГПА) з газотурбінним двигуном (ГТД), енергоносієм для яких є транспортований газ. Тому на привід ГПА витрачається 0,5 – 1,5 % від обсягу транспортованого газу. У 2009 році через ГТМ України було прокачано близько 94 куб. млрд. природного газу. У поточному році цей показник повинен зрости на 15 % до 110 куб. млрд. При цьому витрати природного газу на технологічні потреби зростуть до 1,65 куб. млрд. Спалювання такої кількості газу погіршує екологічну ситуацію навколишнього середовища. За існуючими нормами еколого-технічні випробування проводяться до і після капітального ремонту, при введенні в експлуатацію та реконструкції (модернізації) ГПА, що знаходяться в експлуатації; в інших випадках контроль здійснюється один раз на рік. Тому актуальною є задача прогнозування техніко-екологічних характеристик ГПА з метою моніторингу за станом навколишнього середовища та при визначенні технічного стану ГПА.

II. МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГПА

Аналіз літературних джерел показує, що практично відсутні роботи з дослідження взаємозв'язку технічного стану ГПА з вмістом забруднюючих речовин у відхідних газах. Отже, метою даної роботи є побудова емпіричної моделі функціонального зв'язку між технічним станом ГПА і його екологічними характеристиками для оперативного контролю і прогнозування вмісту забруднюючих речовин у відхідних газах. Актуальність роботи підсилює ще той факт, що на сьогоднішній день

на ГПА не здійснюється поточний і неперервний контроль вмісту шкідливих речовин у відхідних газах.

Викиди забруднюючих речовин (ЗР), які контролюють, це оксиди азоту NO_x (NO , NO_2), окису вуглецю CO і діоксиду сірки SO_2 (за наявністю). Засобами вимірювання концентрацій ЗР є прилад TESTO – 350 або інші, які мають аналогічні метрологічні характеристики і які використовуються при комплексних обстеженнях технологічного обладнання компресорних станцій.

На стан навколишнього середовища впливає не скільки концентрація оксиди азоту NO_2 , окису вуглецю у продуктах згорання як потужність їх викидів в атмосферу, які, очевидно залежать від кількості спалюваного природного газу і від технічного стану ГТД.

Технічний стан ГТД будемо характеризувати його коефіцієнтом корисної дії (к.к.д.) η . Тоді

$$M_i = f_i(q, \eta), i = \overline{1,4}, \quad (1)$$

де M_i - потужності викидів, z/c ; $M_1 = M_{\text{NO}_x}$; $M_2 = M_{\text{CO}}$; $M_3 = M_{\text{NO}}$; $M_4 = M_{\text{NO}_2}$; q - витрата паливного газу за нормальних умов.

К. к. д. ГТД визначався методом енергетичних балансів за методикою, яка наведена у [1].

Емпіричну модель (1) будемо шукати у вигляді полінома степені n

$$y = \sum_{i=0}^{Z-1} a_i \prod_{j=1}^n x_j^{s_{ji}}, \quad (2)$$

де y - одне із значень M_i , $i = \overline{1,4}$; x_j , $j = 1, 2$ - відповідно $x_1 = q$, $x_2 = \eta$; Z - кількість членів полінома; a_i - коефіцієнти полінома; s_{ji} - степені аргументів, які повинні задовольняти обмеженню $\sum_{j=1}^n s_{ji} \leq m$.

В основі емпіричного моделювання процесів і явищ лежить фундаментальний метод найменших квадратів (МНК). У МНК допускають, що структура моделі відома, яку в більшості випадків, вибирають лінійною відносно її параметрів.

На практиці, як правило, структура моделі (1) невідома, що приводить до необхідності довільного вибору як числа

¹ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, 76019, УКРАЇНА, E-mail: gorb@nung.edu.ua

функцій, так і вигляду самих функцій у моделі (1). Якщо вибрана модель у вигляді полінома (2), то задача синтезу структури моделі зводиться до вибору степені полінома і до вибору кількості членів такого полінома.

Тому для вибору структури моделі (2) був запропонований індуктивний метод самоорганізації моделей [2], ідейну сторону якого визначає теорема Геделя.

Реалізація індуктивного методу самоорганізації моделей здійснюється поетапно: перший етап – генерація моделей-претендентів (у певному порядку підвищення складності); другий етап – відбір найкращої моделі за критерієм селекції.

Розрізняють три способи генерації моделей-претендентів. Перший із них комбінаторний метод, який вибирає моделі із виразу (2) шляхом прирівнювання до нуля деяких його коефіцієнтів і таким чином отримуємо сукупність моделей. Вибір найкращої моделі здійснюється на основі одного із критеріїв селекції. Другий спосіб відомий як метод групового врахування аргументів (МГУА), в якому генерація моделей здійснюється на основі багаторядної процедури. Третій метод подібний до другого. Різниця лише у тому, що на кожному ряді селекції часткові моделі утворюють шляхом прирівнювання до нуля певного числа їх коефіцієнтів.

Недоліком комбінаторного методу селекції моделей є необхідність перебору великого числа моделей. Якщо вихідною моделлю вибраний повний поліном степені m , то загальне число моделей-претендентів складає $2^Z - 1$, де Z - загальне число членів повного полінома степені m . Навіть сучасні ЕОМ не здатні реалізувати такі алгоритми при значному числі змінних і високій степені полінома. МГУА породжує моделі, у яких фігурують проміжні змінні кожного із рядів селекції, що значно утруднює процес переходу до вхідних змінних системи, що моделюється. Сказане відноситься і до третього методу, оскільки він по суті справи є модифікацією МГУА.

Із усіх трьох методів найпривабливішим є комбінаторний метод, оскільки він дає можливість отримати модель, де аргументами виступають вхідні величини системи. Для зняття проблеми великої розмірності застосуємо генетичний підхід [3].

Утворимо упорядковану структуру довжиною M , в якій на i -тому місці буде стояти одиниця або нуль в залежності від того чи параметр a_i , $i = \overline{1, M}$ моделі (2) відмінний від нуля, чи нульовий. У теорії генетичних алгоритмів така упорядкована послідовність носить назву хромосоми або особи, а атомарний елемент хромосоми (одиниця або нуль) – це ген. Набір хромосом утворює популяцію. Важливим поняттям у теорії генетичних алгоритмів є функція пристосування, яка визначає ступінь пристосування окремих осіб у популяції. Вона дає змогу

із всієї популяції вибрати особи, які є найбільш пристосованими, тобто такі, які мають найбільше (найменше) значення функції пристосування. У задачі синтезу емпіричних моделей функцією пристосованості виступає критерій селекції.

Таким чином, задачу синтезу емпіричної моделі сформуємо наступним чином: із початкової популяції хромосом шляхом еволюційного відбору вибрати таку, хромосому, яка забезпечує найкраще значення функції пристосування (мінімальне значення критерію селекції).

Використовуючи методику роботи [3], у середовищі MatLab синтезована програма, яка дала змогу отримати емпіричні моделі (1) у вигляді полінома (2).

Як приклад застосування розробленої методики синтезуємо емпіричну модель потужності викидів CO в залежності від q і η . Були вибрані такі параметри програми: степінь полінома - $n = 5$, ймовірність схрещування $p_c = 0,8$, ймовірність мутації $p_m = 0,01$. Як критерій селекції був вибраний критерій регулярності.

Адекватність отриманої моделі перевірялась за допомогою коефіцієнта кореляції K_{Yy} між експериментальними $Y_i = M_2^{(i)}$ та розрахунковими значеннями u_i . Було отримано: $K_{Yy} = 0,998$, що свідчить про високу степінь кореляції між величинами Y_i і u_i .

III. ВИСНОВОК

Отримані емпіричні моделі взаємозв'язку техніко-екологічних параметрів з витратою паливного газу і к. к. д. ГТД на засадах генетичних алгоритмів дають змогу прогнозувати потужності викидів оксидів азоту NO_x (NO , NO_2) та окису вуглецю. Наявність таких моделей відкриває шляхи до вибору таких режимних параметрів, які забезпечили б мінімізацію викидів в атмосферу шкідливих речовин при заданих обсягах перекачки природного газу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Горбійчук М. І. Вплив факторів роботи газоперекачувальних агрегатів на час їх напрацювання / М. І. Горбійчук, Б. В. Копей, А. Беллауар, І. В. Щупак // Нафтогазова енергетика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. – 2008. - № 3 (8). – С. 55 – 58.
- [2] Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – К.: Наукова думка, 1981. – 296 с.
- [3] Горбійчук М. І. Метод синтезу емпіричних моделей на засадах генетичних алгоритмів / М. І. Горбійчук, М. І. Когуляк, О. Б. Василенко, І. В.Щупак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – № 4 (33). – С. 72-79.