

Секція: Технічні науки

Григорський Станіслав Ярославович

кандидат технічних наук,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

м. Івано-Франківськ, Україна

Іванов Олександр Васильович

кандидат технічних наук,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

м. Івано-Франківськ, Україна

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМУ РОБОТИ
КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ ІЗ УРАХУВАННЯМ КОЕФІЦІЄНТА
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВІДЦЕНТРОВИХ НАГНІТАЧІВ**

В умовах застосування різноманітного обладнання на компресорних станціях, що мають індивідуальні характеристики, актуальним є завдання розробки способів моделювання аналітичних залежностей обладнання з урахуванням фактичного технічного стану.

Оптимізація технологічних режимів транспорту природного газу дозволяє підвищити енергетичну ефективність роботи компресорних станцій магістрального газопроводу.

Для ефективного вирішення завдань з управління, контролю, розрахунку та оптимізації режимів роботи газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій необхідно застосовувати адаптивні математичні моделі, які описують взаємозв'язок між технологічними параметрами

відцентрового нагнітача та газотурбінної установки в складі ГПА з урахуванням технічного стану [1].

Перерахунок характеристик відцентрових нагнітачів (ВЦН) при погіршенні технічного стану проводиться виходячи з принципу еквідистантного зсуву витратно-напірних характеристик по частоті обертів ротора нагнітача [2] на відносну величину, яка обчислюється за формулою

$$\Delta \bar{n}_n = \frac{n_n - n_{n_0}}{n_{n_0}}, \quad (1)$$

де n_{n_0} – номінальна частота обертів ротора нагнітача (силової турбіни); об/хв, використовуються паспортні дані;

n_n – фактична частота обертів ротора нагнітача (силової турбіни), об/хв.

Вихідна витратно-напірна характеристика, тобто функція "політропний напір (ступінь підвищення тиску) - об'ємна витрата на вході" справедлива при скоригованій номінальній частоті обертання, яка обчислюється за формулою

$$n_n = n_{n_0} \cdot (1,33 - 0,33 \cdot K_n), \quad (2)$$

де K_n – коефіцієнт технічного стану ВЦН, обчислюється за формулою

$$K_n = \frac{\eta_{пол}^{\phi}}{\eta_{пол_0}}, \quad (3)$$

$\eta_{пол}^{\phi}$ – фактичний політропний ККД ВЦН (при фактичній величині зведеної об'ємної витрати газу);

$\eta_{пол_0}$ – номінальне значення політропної ККД ВЦН, використовуються паспортні дані.

Криві зведеної потужності не перераховуються при зміні технічного стану нагнітача. Також відповідно до міжнародного стандарту [3] щодо розрахунку параметрів роботи відцентрових машин допускається приймати постійним значення коефіцієнта K_n .

Для моделювання паспортних характеристик відцентрового нагнітача використано метод найменших квадратів. Для опису залежності ступеня підвищення тиску ε_n (за умови, що зведена відносна обертова частота дорівнює одиниці), політропічного ККД $\eta_{пол}$ і зведеної відносної внутрішньої потужності $(N_i/\rho_{вс})_{зв}$ від зведеної об'ємної подачі нагнітача за умов на його вході $Q_{зв}$ обрано чотиричленні поліноми вигляду

$$\varepsilon_n = a_1 + b_1 \cdot Q_{зв} + c_1 \cdot Q_{зв}^2 + d_1 \cdot Q_{зв}^3, \quad (4)$$

$$\eta_{пол} = a_2 + b_2 \cdot Q_{зв} + c_2 \cdot Q_{зв}^2 + d_2 \cdot Q_{зв}^3, \quad (5)$$

$$\left(\frac{N_i}{\rho_{вс}} \right)_{зв} = a_3 + b_3 \cdot Q_{зв} + c_3 \cdot Q_{зв}^2 + d_3 \cdot Q_{зв}^3, \quad (6)$$

де a_i, b_i, c_i, d_i ($i=1,2,3,4$) – коефіцієнти математичних моделей зведених характеристик ВЦН.

Коефіцієнти математичних моделей можуть бути визначені методом найменших квадратів шляхом обробки паспортних або фактичних характеристик відцентрового нагнітача. Для функції y , що є поліномом третього степеня від змінної x , тобто

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3, \quad (7)$$

невідомі коефіцієнти a, b, c, d математичної моделі (7) можна визначити, розв'язавши таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} n \cdot a + s_1 \cdot b + s_2 \cdot c + s_3 \cdot d = k_1, \\ s_1 \cdot a + s_2 \cdot b + s_3 \cdot c + s_4 \cdot d = k_2, \\ s_2 \cdot a + s_3 \cdot b + s_4 \cdot c + s_5 \cdot d = k_3, \\ s_3 \cdot a + s_4 \cdot b + s_5 \cdot c + s_6 \cdot d = k_4, \end{cases} \quad (8)$$

$$s_j = \sum_{i=1}^n (x_i)^j, \quad k_j = \sum_{i=1}^n y_i \cdot (x_i)^{j-1}, \quad (9)$$

де x_i, y_i – масив даних аргументу і значення функції;

n – кількість елементів масиву.

Ступінь достовірності апроксимації математичної моделі (7) можна оцінити за допомогою коефіцієнта детермінації

$$K_{\partial} = R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{M_i})^2}{\sum_{i=1}^n \left(y_i - \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right)^2}, \quad (10)$$

де y_{M_i} – значення функції регресії за формулою (7), що отримане для значення x_i після знаходження коефіцієнтів математичної моделі a, b, c, d із системи рівнянь (8).

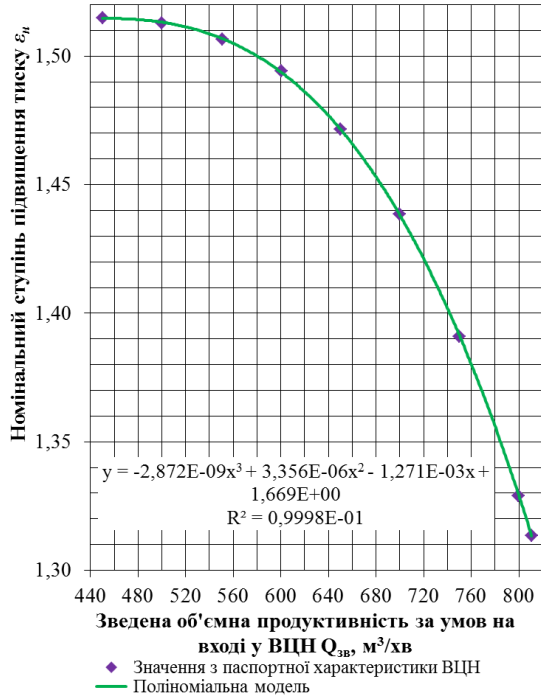
В якості апробації запропонованого методу на рисунку 1 наведено результати математичного моделювання номінального ступеня підвищення тиску та політропного ККД повнонапірного нагнітача марки Н-650-22-1.

Зазначимо, що коефіцієнт детермінації K_{∂} розроблених моделей практично дорівнює одиниці, що свідчить про їх адекватність та можливість практичного застосування.

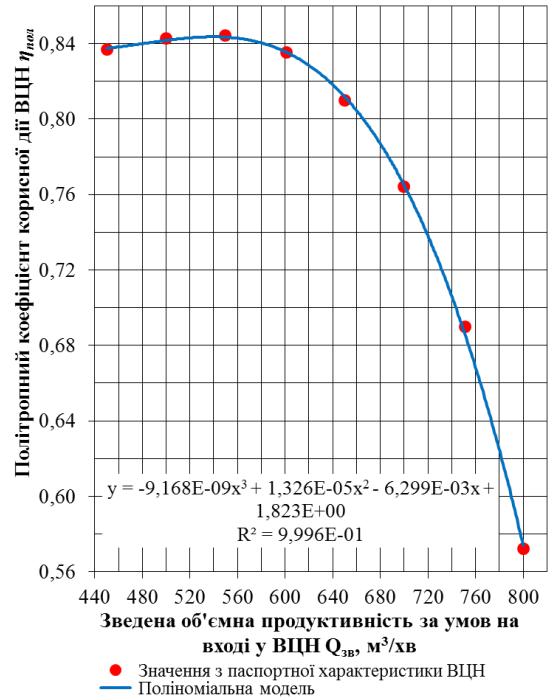
Використовуючи отримані математичні моделі зведених характеристик нагнітача відповідно номінального ступеня підвищення тиску та політропного ККД, виконано перерахунок даних параметрів при зміні коефіцієнта технічного стану нагнітача. Результати наведено на рисунку 2.

Наприклад, як видно з рисунка 2 а), зменшення коефіцієнта технічного стану нагнітача на 20 %, тобто від 1 до 0,8 відповідне зменшення номінального ступеня підвищення тиску за зведеної продуктивності 650 м³/хв становить 4,1 % (зменшення від 1,47 до 1,41).

Відповідно до чинних норм проектування магістральних газопроводів [4] відцентровий нагнітач має працювати із значенням політропного ККД не менше 80 %.



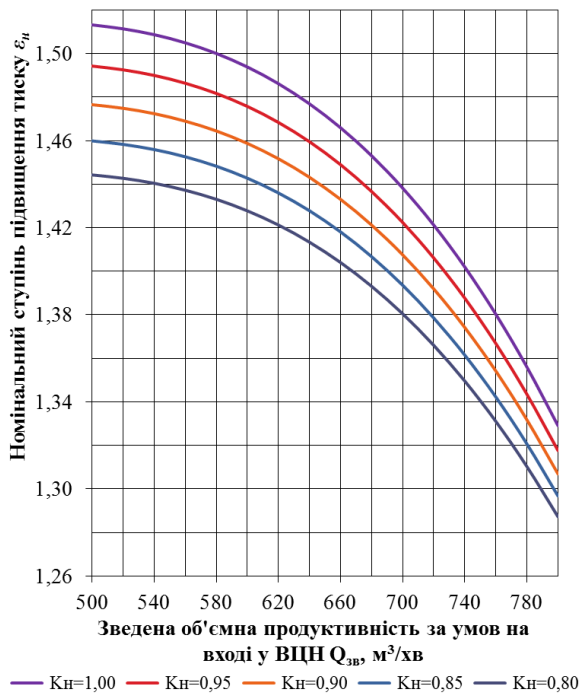
а)



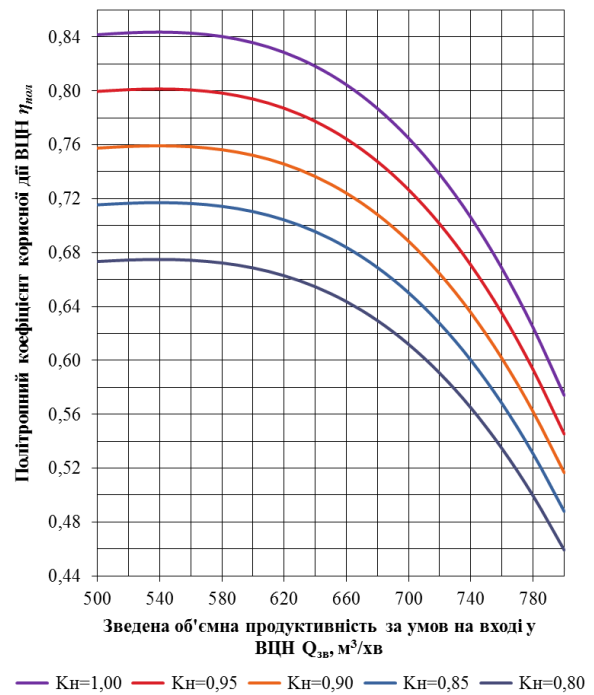
б)

а) номінальний ступінь підвищення тиску; б) політропний ККД

Рис. 1. Результати моделювання характеристик нагнітача Н-650-22-1



а)



б)

а) номінальний ступінь підвищення тиску; б) політропний ККД

Рис. 2. Динаміка зміни параметрів роботи нагнітача Н-650-22-1 від зведеної вхідної продуктивності та коефіцієнта технічного стану

З рисунка 2 б) робимо висновок, що для нагнітача марки Н-650-22-1 таке значення політропного ККД буде забезпечено в діапазоні зведеної продуктивності (500÷665) м³/хв при коефіцієнті технічного стану рівному 1,0. Для коефіцієнта рівного 0,95 відповідний діапазон роботи по зведеній продуктивності (500÷580) м³/хв. Для менших значень коефіцієнта технічного стану вже неможливо досягти значень політропного ККД, що будуть більшими за 80 %.

Література

1. Поршаков Б. П., Калинин А. Ф., Купцов С. М., Лопатин А. С., Шотиди К. Х. Энергосберегающие технологии при магистральном транспорте природного газа: Учебное пособие. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. 408 с.
2. ПР 51-31323949-43-99. Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов.
3. ISO 5167.1-1991 (E). Measurement of fluid flow by means of orifice plates, nozzles and venturi tubes inserted in circular cross-section conditions running full.
4. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы. ОНТП 51-1-85. Мингазпром. М. : 1985. 219 с.