УДК 681.518.5 + 621.658.2 + 62-822

І. Коц

Доцент, канд. техн. наук

В. Петрусь

Аспірант

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІДРОПРИВІДНОГО НАСОСНОГО АГРЕГАТУ

Розроблена математична модель діагностування насосних агрегатів з використанням методів нечіткої логіки, що дає змогу в автоматизованому режимі виявити причини відхилення фактичних характеристик агрегату відносно базових, забезпечити його ефективну експлуатацію.

гідропривідний насос, математична модель

Сьогодні існує велика кількість конструкцій насосів, проте, не дивлячись на це, є середовища, перекачування яких традиційними засобами в багатьох випадках є неефективним, пов'язане з додатковими витратами або різноманітними складнощами. До таких середовищ належать високов'язкі, абразивовмісні, хімічно активні, газонасичені, токсичні, летючі, радіоактивні, сильно забруднені та такі, що містять велику кількість твердої фази, волокнистих включень та ін.

Застосування самовсмоктувальних насосів пересувних механізмів або електричних занурювальних насосів не завжди можливе і безпечне, а тому є потреба в подальшому вдосконаленні існуючих і розробленні нових насосних агрегатів, особливе місце серед яких займають діафрагмові або мембранні насоси, що приводяться у зворотно-поступальний рух за допомогою приводів різного виду. Насоси подібного призначення повинні мати певні гарантовані характеристики при їх експлуатації в особливо несприятливих умовах (наприклад, в нафтовій, хімічній, гірничій та інших галузях промисловості) та можливість плавної дистанційної зміни їхніх кінематичних і динамічних параметрів.

Аналітичний огляд відомих приводів насосних агрегатів подібного типу [1] показав, що найефективнішими серед них, особливо при підвищених вимогах до електро- і пожежобезпеки, є гідравлічні й пневматичні приводи з дистанційним автоматичним керуванням, які надають можливість плавного регулювання амплітуди й частоти робочих ходів поршня чи мембрани, а також мають менші габаритні розміри та масу [1, 2].

З розвитком систем автоматизації і переходом на мікропроцесорні системи найповніше розв'язуються задачі моніторингу значень технологічних параметрів і оцінки технічного стану обладнання, аналізу режимів роботи технологічного обладнання в реальному масштабі часу, контролю вірогідності вимірюваних параметрів [3].

Процес експлуатації насосного обладнання можна відстежувати й контролювати на основі автоматизованого збору й оброблення експлуатаційних параметрів, що використовуються при реалізації алгоритмів параметричної та вібраційної діагностики [3]. Цей контроль повинен забезпечити своєчасне подання інформації про технічний стан обладнання оперативному персоналу і диспетчерським службам про наближення експлуатаційних параметрів до граничних, вихід з ладу або зупинку агрегату в цілому.

У процесі експлуатації насосного агрегату його технічний стан змінюється через спрацювання деталей, вузлів, накопичення пошкоджень. Найбільше спрацьовуються пари тертя, мембрани.

На окремих об'єктах, де небажані або недопустимі незаплановані зупинки насосних агрегатів, потрібно здійснювати моніторинг і вчасно виявляти й ліквідовувати несправності окремих вузлів такого обладнання.

Одним з підходів для діагностування технічного стану насосного обладнання є вібродіагностика, яка найчастіше використовується для відцентрових насосів і дає змогу виявляти несправності підшипникових та інших вузлів, які створюють вібрацію, причому, чим складніший об'єкт діагностування, тим невизначеніший стає спектр вібрації, і тим складніше виявити інформативну частину сигналу, що змінюється [3]. Також слід зазначити, що методи вібраційної діагностики складно адаптувати для виявлення несправностей іншого походження, зокрема, розтягу або розриву мембрани, втрати жорсткості пружин, спрацювання пар тертя, несправність у клапанній групі [4]. Тому актуальною є задача розроблення математичних моделей, які б давали змогу виконувати комплексний аналіз усієї системи та забезпечували розпізнавання зазначених несправностей.

Збільшення ефективності, надійності й ресурсу, а також забезпечення безпечної експлуатації насосного обладнання тісно пов'язане з оцінюванням його технічного стану. Для розв'язання сформульованої задачі пропонується використати елементи теорії нечітких множин, що дасть можливість використовувати не тільки кількісні дані, але й знання та досвід обслуговуючого персоналу.

Вибір сукупності параметрів, потрібних для постановки діагнозу, залежить від бажаної глибини діагнозу [3]. Як вхідні змінні нечіткої моделі будуть використані найінформативніші показники роботи системи: робочий тиск (тиск робочої рідини в гідросистемі), кількість ходів робочого органа — штока з мембраною, тиск на виході з насоса, аналіз яких дає можливість зробити висновок про причини несправностей елементів насосного агрегату.

Система, що розглядається, складається з гідравлічного приводу та мембранного насоса з такими номінальними параметрами: робочий тиск x_1=160 атм., кількість ходів робочого органа x_2=30 хв$^{-1}$, тиск на виході з насоса x_3=5 атм.

Для вибраної системи побудуємо математичну модель, яка базується на методах нечіткої логіки [5 — 7]. Вхідними змінними будуть зазначені показники роботи системи, а вихідною змінною — стан системи. За потреби, для покращання якості діагностування, в математичну модель можна вводити й інші додаткові змінні, які характеризують роботу гідравлічної системи.

Для опису вхідних x_1, x_2, x_3 та вихідних d змінних використаємо лінгвістичну оцінку відповідно до визначених термів (табл. 1), опис яких здійснимо за допомогою функції належності вигляду [6]

$$\mu^T(x) = e^{-\left(\frac{x-c}{b}\right)^2}, \qquad (1)$$

де c — координата максимуму функції належності; b — коефіцієнт концентрації — розтягування функції належності.

Таблиця 1

Лінгвістична оцінка змінних

Параметри	Назва, розмірність	Діапазон значень	Терми
x_1	Робочий тиск, атм.	100...210	дуже низький (WL), низький (L), номінальний (N), високий (H)
x_2	Число ходів, хв$^{-1}$	0 … 40	дуже мале (WL),мале (L), номінальне(N), велике (H)
x_3	Тиск на виході, атм.	0 … 5	дуже низький (WL), низький (L), номінальний (N)
d	Стан системи	-	норма (d_1), пошкодження мембрани (d_2), втрата жорсткості пружин (d_3), зношення пар тертя (d_4), несправність в клапанній групі (d_5)

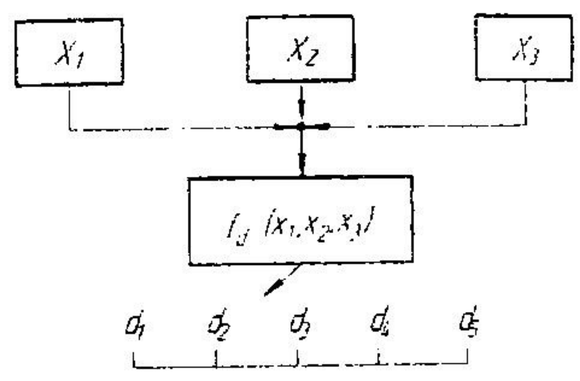

Рис. 1. Дерево логічного висновку

Таблиця 2

Експертна база знань

Вхідні змінні			Вихідна змінна
x_1	x_2	x_3	d
N	N	N	d_1
N	H	L	d_2
N	L	L	d_3
WL	L	N	d_4
L	N	WL	d_5

Результат діагностування формується на основі дерева логічного висновку (рис. 1) та експертної бази знань, яка є нечітким носієм інформації про причинно-наслідкові зв'язки між входом та виходом. Фрагмент нечіткої бази знань наведений у табл. 2.

Для отримання результатів моделювання складемо, на основі експертної бази знань і термів функції належності, базу нечітких логічних рівнянь, при цьому використовуватимемо операції "" (І-*min*) та $\vee$ (АБО-*max*). Ваги окремих логічних правил рівні одиниці, оскільки цей етап передбачає лише грубе налаштування моделі.

Нечіткі логічні привила оцінки технічного стану гідроприводного насосного агрегату, які відповідають табл. 2, наведені нижче:

$$\mu^{d1}(y)=\left[\mu^{N}(x_1)\cdot\mu^{N}(x_2)\cdot\mu^{N}(x_3)\right]; \quad (2)$$

$$\mu^{d2}(y)=\left[\mu^{N}(x_1)\cdot\mu^{H}(x_2)\cdot\mu^{L}(x_3)\right]; \quad (3)$$

$$\mu^{d3}(y)=\left[\mu^{N}(x_1)\cdot\mu^{L}(x_2)\cdot\mu^{L}(x_3)\right]; \quad (4)$$

$$\mu^{d4}(y)=\left[\mu^{WL}(x_1)\cdot\mu^{L}(x_2)\cdot\mu^{N}(x_3)\right]; \quad (5)$$

$$\mu^{d5}(y)=\left[\mu^{L}(x_1)\cdot\mu^{N}(x_2)\cdot\mu^{WL}(x_3)\right]. \quad (6)$$

Математична модель оцінювання технічного стану гідроприводного насосного агрегату побудована з використанням елементів теорії нечітких множин, її реалізацію здійснено в середовищі Matlab 6.5 [5]. Результати моделювання подані на рис. 2. У подальшому для тонкого налаштування нечіткої моделі використаємо апарат генетичних алгоритмів, який забезпечує навчання системи відповідно до навчальної вибірки, отриманої в процесі експлуатації насосного обладнання.

Запропонована система дає можливість здійснювати моніторинг технічного стану в реальному масштабі часу. Виявлення несправностей здійснюватиметься шляхом безперервного діагностування технічного стану елементів системи, що дасть можливість перейти від планово-попереджувальних робіт до обслуговування за технічним станом.

Висновки. Використання при діагностуванні методів нечіткої логіки для визначення поточного технічного стану насосних агрегатів є перспективним, оскільки дає змогу в автоматизованому режимі виявити причини відхилення фактичних характеристик відносно базових, забезпечити ефективну експлуатацію насосного агрегату, не допускаючи відмов, пов'язаних зі спрацюванням і руйнуванням деталей і вузлів насоса, тобто повніше використовувати робочий ресурс обладнання. Це є важливим і в аварійних ситуаціях, коли швидкість постановки діагнозу і прийняття рішення є важливими для запобігання катастрофічних наслідків.

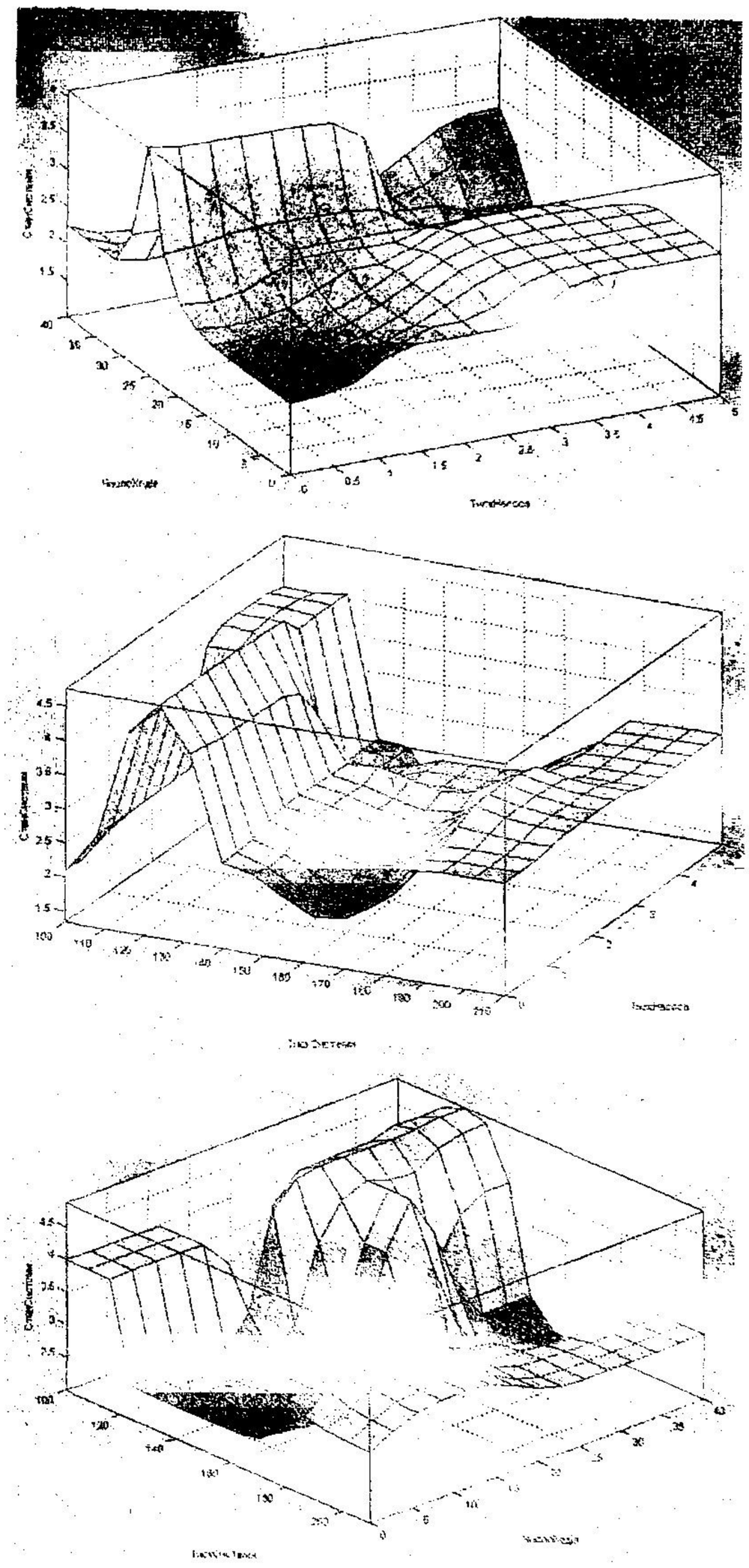

Рис. 2. Залежності стану системи від впливу: а — кількості ходів та тиску насоса; б — тиску системи та тиску насоса; в — тиску системи та кількості ходів

Література

1. *Петрусь В.В., Коц І.В.* Математична модель гідроприводу помпуючого вузла мембранного насоса // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2006. — №4 (21). — С. 73—77.

2. *Патент* України на корисну модель № 29362. МПК, F04B 43/06. Гідроприводний мембранний насос / Коц І. В., Петрусь В. В. та ін. // Реєстраційний номер заявки u200710316; Заявл. 17.09.2007. Опубл. 10.01.2008. Бюл. №10.

3. *Баженов В.В.* Оценка технического состояния и остаточного ресурса насосных агрегатов в условиях автоматизации магистральных нефтепроводов: Дис. ... канд. техн. наук / ГУП "ИПТЕР". — Уфа, 2004. — 129 с.

4. *Ширман А.Р., Соловьев А.Б.* Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. — М.: Машиностроение, 1996. — 276 с.

5. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ — Петербург, 2005. — 736 с.

6. *Ротштейн А.П.* Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. — 320 с.

7. *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 167 с.

Отримана 22.09.08

I. Kots, V. Petrus

Mathematical model of hydraulically driven pump technical state estimation

Vinnytsa National Technical University, Vinnytsa

Mamatical model with theory of unclear plurals application for the hydraulically driven pump technical state estimation is developed. It enables to use not only quantitative data but also knowledge and experience of operating personnel.