

Fig. 6. a – the electromagnetic torque with a variable load moment; b – position the rotor

### Conclusions

In article PI an adjuster with fuzzy logic for speed control of brushless engine is considered. The results of probe executed for various moments of loading show that the accepted structure of steering of brushless engine with PI an adjuster with fuzzy logic conforms to requirements to modern control systems, brushless engine high speed.

### References

- [1] О. М. Закладний, В. В. Прокопенко, та О. О. Закладний *Електропривод: Навч. Посіб.*. Київ, Україна: Видавництво «Освіта України», 2009.
- [2] С. Г. Герман-Галкин *Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК.* СПб., Россия: КОРОНА-Век, 2008.
- [3] M. V. Ramesh, J. Amarnath, S. Kamakshaiah, and G. S. Rao, “Speed control of brushless DC motor by using fuzzy logic PI controller”, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 6, no. 9, 2011.

*Стаття надійшла до редакції 15.05.2017 р.*

УДК 621.311

DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.99808

**В.П. Розен**, проф., **І.М. Шарий**, магістр, **І.В. Яковчук**, магістр,  
**Т.Ю. Оборонов**, асистент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

**КЛАСИФІКАЦІЯ СТАНУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА  
НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ДИСКРИМІНАНТНОГО  
АНАЛІЗУ**

**V.P. Rozen, I.M. Sharyi, I.V. Yakovchuk, T.Yu. Oboronov** (National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”)

## STATUS SYSTEM CLASSIFICATION OF ELECTRIC PUMP UNIT BASED ON THE DISCRIMINANT ANALYSIS

*Розглянуто підхід до вирішення задачі класифікації стану системи електроприводу насосної установки шляхом використання дискримінантного аналізу. Побудована система класифікації на основі даних навчальної вибірки. Включено нову модель системи прийняття рішень щодо визначення стану системи електропривода насосної установки з асинхронним двигуном, що спирається на дискримінантний аналіз. Двовірний простір дискримінантних функцій побудовано на основі критерію, що максимізує відмінності між класами і мінімізує розбіжності для спостережень, що належать одному класу. Створено методики та алгоритми які дозволили здійснити експертні рішення щодо визначення технічного стану насосної установки.*

**Ключові слова:** діагностування; електропривод; дискримінантний аналіз; стан системи; енергоефективність.

*Рассмотрен подход к решению задачи классификации состояния системы электропривода насосной установки путем использования дискриминантного анализа. Построена система классификации на основе данных обучающей выборки. Включена новая модель системы принятия решений по определению состояния системы электропривода насосной установки с асинхронным двигателем, которая опирается на дискриминантный анализ. Двухмерное пространство дискриминантных функций построено на основе критерия, который максимизирует различия между классами и минимизирует разногласия для наблюдений, принадлежащих одному классу. Созданы методики и алгоритмы которые позволили осуществить экспертные решения по определению технического состояния насосной установки.*

**Ключевые слова:** диагностирование; электропривод; дискриминантный анализ; состояние системы; энергоэффективность.

*The approach to solving the problem of classification of the state of the electric drive system of a pumping unit by using discriminant analysis is considered. A classification system based on training sample data is constructed. A new model of the decision-making system for determining the state of the electric drive system of a pumping unit with an induction motor is based on discriminant analysis. The two-dimensional space of discriminant functions is constructed on the basis of a criterion that maximizes the differences between classes and minimizes disagreements for observations belonging to one class. Methods and algorithms have been created that made it possible to carry out expert decisions to determine the technical condition of the pumping unit.*

**Keywords:** diagnosis; electric drive; discriminant analysis; system state; energy efficiency.

**Вступ.** Асинхронні двигуни широко застосовуються в різних галузях промисловості. Внаслідок різноманітних причин асинхронні двигуни виходять із ладу й надходять у ремонт. Експлуатація насосних установок з асинхронними двигунами, які знаходяться в незадовільному технічному стані, призводить до збільшення фінансових витрат, зумовлених зростанням електроспоживання. Вартість електроенергії, яку споживає електропривод протягом строку експлуатації, значно перевищує вартість устаткування та витрати на обслуговування і більше ніж в 5 разів перевищує його власну. Плата за

електроенергію містить систему надбавок за додатково спожиту реактивну потужність. Плата за реактивну потужність на підприємствах становить до 10% від загальних витрат на електроенергію, і ці витрати мають тенденцію до зростання.

Основними причинами низької енергоефективності та виникнення аварій є недостатній рівень експлуатації, неврахування впливу якості напруги живлення та режиму навантаження, недостатній обсяг інформації про технічний стан, запізнене виявлення і усунення дефектів устаткування, неякісний ремонт тощо.

Своєчасне виявлення місця та ступеню пошкоджень дозволяє уникнути їх розвиток, зменшити час відновлення, скоротити затрати на обслуговування, уникнути простоїв обладнання, підвищити ефективність роботи двигунів та виробничих механізмів. У результаті проведення діагностики та ремонтних операцій відбувається корегування електромагнітних параметрів, які є необхідними для покращення енергоефективності, робочих і пускових характеристик електроприводу наносних устаткувань та визначення післяремонтного паспорта електричної машини.

**Аналіз стану питання.** Одним з основних завдань діагностики є отримання інформації про технічний стан об'єкта діагностування [1], [2]. Елементом, що обмежує в разі виходу з ладу ресурс і працездатність насосної установки в цілому, є асинхронний двигун (АД). Отримання достовірної інформації про стан АД дозволить запобігти порушенню функціонування насосної установки.

З розвитком і вдосконаленням обчислювальних комплексів та інформаційних технологій розвивається новий напрямок - комп'ютерна діагностика, яка тісно пов'язана з розробкою експертних систем, здатних обробляти не тільки кількісні дані, але і змінні різного роду, виконуючи аналіз поведінки технічних систем і приймаючи експертні рішення. З огляду на це - побудова експертної системи визначення стану електропривода насосної установки на основі аналізу масиву вихідних даних є актуальним завданням.

**Мета роботи.** Метою роботи є підвищення рівня адекватності прийняття рішень щодо визначення стану системи електроприводу насосної установки шляхом використання дискримінантного аналізу і створення розділяючої площини, функція якої формується на основі навчальної вибірки.

**Результати досліджень.** Розділ математичної статистики, який називають дискримінантним аналізом, дозволяє вивчати відмінності між двома і більше класами по одній або декільком змінним одночасно, і на основі знайдених характеристик класів здійснювати ідентифікацію об'єктів з невідомою класовою приналежністю [3], [4]. Тому завдання класифікації стану системи електроприводу насосної установки з подальшим дослідженням як властивостей окремих станів, так і відмінностей між ними добре вписуються в модель дискримінантного аналізу.

Апарат дискримінантного аналізу розроблявся багатьма вченими - фахівцями, починаючи з кінця 50 - х років ХХ ст. Дискримінантним аналізом, як

і іншими методами багатомірної статистики, займалися П.Ч. Махаланобіса, Р. Фішер, Г. Хотеллінга та інші видатні вчені.

Всі процедури дискримінантного аналізу можна розбити на дві групи і розглядати їх як абсолютно самостійні методи. Перша група процедур дозволяє інтерпретувати відмінності між існуючими класами, друга - проводити класифікацію нових об'єктів в тих випадках, коли завчасно невідомо, до якого з існуючих класів вони належать.

Нехай  $\epsilon$  безліч одиниць спостереження - генеральна сукупність. Кожна одиниця спостереження характеризується кількома ознаками (змінними)  $x_{ij}$  - значення  $j$  - ї змінної в  $i$  - го об'єкта  $i = 1, \dots, N$ ;  $j = 1, \dots, p$ .

Припустимо, що вся множина об'єктів розбита на кілька підмножин (дві і більше). З кожної підмножини взята вибірка об'ємом  $n_k$ , де  $k$  - номер підмножини (класу),  $k = 1, \dots, q$ .

Ознаки, які використовуються для того, щоб відрізнити один клас від іншого, називаються дискримінантними змінними. Кожна з цих змінних повинна вимірюватися або за інтервальною шкалою, або за шкалою відносин. Інтервальна шкала дозволяє кількісно описати відмінності між властивостями об'єктів. Прикладом такої шкали є календарний час, шкали температур тощо. В якості оцінки положення центру використовується середня величина, мода і медіана.

Шкала відносин - окремий випадок інтервальної шкали. Вона дозволяє співвіднести кількісні характеристики будь - якої властивості у різних об'єктів, наприклад, стаж роботи, заробітна плата, величина податку.

Теоретично число дискримінантних змінних не обмежена, але на практиці їх вибір повинен здійснюватися на підставі логічного аналізу початкової інформації і одного з критеріїв. Кількість об'єктів спостереження повинно перевищувати число дискримінантних змінних, як мінімум, на два, тобто  $p < N$ . Дискримінантні змінні повинні бути лінійно незалежними. Ще одним припущенням при дискримінантному аналізі є нормальність закону розподілу багатомірної величини, тобто кожна з дискримінантних змінних всередині кожного з розглянутих класів повинна бути підпорядкована нормальному закону розподілу. У разі, коли реальна картина у вибіркових сукупностях відрізняється від висунутих передумов, слід вирішувати питання доцільності використання процедур дискримінантного аналізу для класифікації нових спостережень, так як в цьому випадку ускладнюються розрахунки кожного критерію класифікації.

Перед тим як почати розгляд алгоритму дискримінантного аналізу, звернемося до його геометричної інтерпретації [5].

На рис. 1 зображені об'єкти, що належать двом різним множинам  $M_1$  та  $M_2$ .

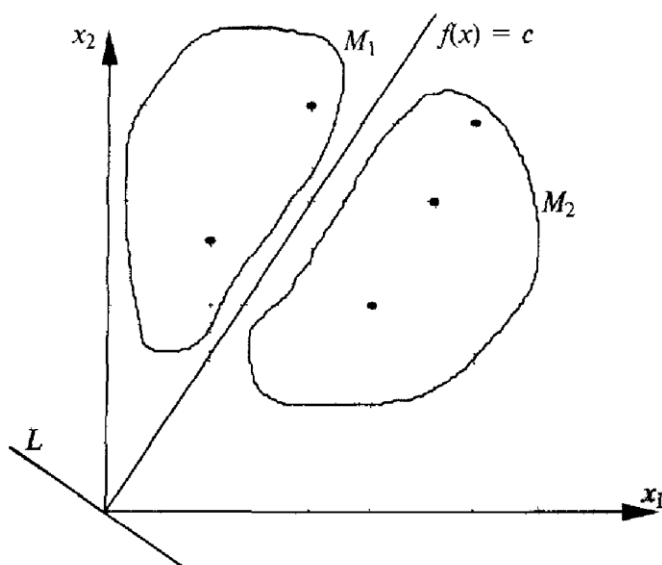


Рис. 1. Геометрична інтерпретація дискримінантної функції і дискримінантних змінних

В даному випадку кожен об'єкт характеризується двома змінними  $x_1$  та  $x_2$ . Якщо розглядати проєкції об'єктів (точок) на кожен вісь, то ці множини перетинаються, тобто по кожній змінній окремо деякі об'єкти обох множин мають подібні характеристики. Щоб якнайкраще розділити дві розглянуті множини, потрібно побудувати відповідну лінійну комбінацію змінних  $x_1$  та  $x_2$ . Для двовірного простору це завдання зводиться до визначення нової системи координат. Причому осі  $L$  і  $C$  повинні бути розташовані таким чином, щоб проєкції об'єктів, що належать різним множинам на вісь  $L$ , були максимально розділені. Ось  $C$  перпендикулярна осі  $L$  і розділяє два "масиви" точок найкращим чином, множини опинилися по різні боки від цієї прямої. При цьому ймовірність помилки класифікації повинна бути мінімальною. Сформульовані умови класифікації повинні бути враховані при визначенні коефіцієнтів  $a_1$  та  $a_2$  наступної функції:

$$f(x) = a_1x_1 + a_2x_2. \quad (1)$$

Функція  $f(x)$  називається канонічною дискримінантною функцією, а величини  $x_1$  та  $x_2$  - дискримінантними змінними.

Позначимо  $x_{ij}$  - середнє значення  $j$  - ї змінної в  $i$  - го об'єкта. Тоді для множини  $M_1$  середнє значення функції  $\bar{f}_1(x)$  буде дорівнювати:

$$\bar{f}_1(x) = a_1\bar{x}_{11} + a_2\bar{x}_{12}; \quad (2)$$

для множини  $M_2$  середнє значення функції  $\bar{f}_2(x)$  наступне:

$$\bar{f}_2(x) = a_1\bar{x}_{21} + a_2\bar{x}_{22}. \quad (3)$$

Геометрична інтерпретація цих функцій - дві паралельні прямі, що проходять через центри класів (множин) (рис. 2).

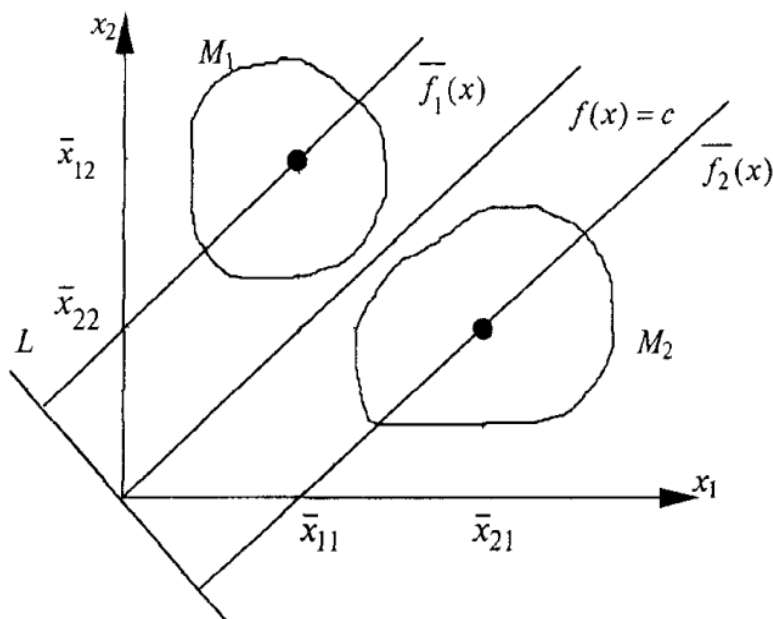


Рис. 2. Центри множин, що розділяються і константа дискримінантності

Дискримінантна функція може бути як лінійною, так і нелінійною. Вибір її виду залежить від геометричного розташування поділюваних класів в просторі дискримінантних змінних [6].

Коефіцієнти дискримінантної функції  $a_i$  визначаються таким чином, щоб  $\bar{f}_1(x)$  і  $\bar{f}_2(x)$  якомога більше розрізнялися між собою, тобто щоб для двох множин (класів) був максимальним вираз:

$$\bar{f}_1(x) - \bar{f}_2(x) = \sum_{i=1}^{n_1} a_1 \bar{x}_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} a_2 \bar{x}_{2i}. \quad (4)$$

Тоді можна записати наступне:

$$f_{kt}(x) - \bar{f}_k(x) = a_1(\bar{x}_{1kt} - \bar{x}_{1k}) + a_2(\bar{x}_{2kt} - \bar{x}_{2k}) + \dots + a_p(\bar{x}_{pkt} - \bar{x}_{pk}), \quad (5)$$

де  $k$  - номер групи;  $p$  - число змінних, що характеризують кожне спостереження.

Позначимо дискримінантну функцію  $f_{kt}(x)$  як  $Y_{kt}$  ( $k$  - номер групи,  $t$  - номер спостереження в групі). Внутрішньогрупова варіація може бути виміряна сумою квадратів відхилень:

$$\sum_{t=1}^{n_k} (Y_{kt} - \bar{Y}_k)^2. \quad (6)$$

За обох груп в матричній формі це буде виглядати наступним чином:

$$\sum_{t=1}^2 \sum_{k=1}^{n_k} (Y_{kt} - \bar{Y}_k)^2 = A'(X_1'X_1 + X_2'X_2)A. \quad (7)$$

де  $A$  - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції;  $X_1', X_2'$  - транспоновані матриці відхилень спостережуваних значень початкових змінних від їх середніх величин в першій та другій групі:

$$X'_1 = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,n1} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,n1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p,1} & x_{p,2} & \dots & x_{p,n1} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$X'_2 = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,n2} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p,1} & x_{p,2} & \dots & x_{p,n2} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Об'єднана коваріаційна матриця  $S_*$  визначається наступним чином:

$$S_* = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} (X'_1 X_1 + X'_2 X_2), \quad (10)$$

отже, вираз (7) дає оцінку внутрішньогрупової варіації і його можна записати у вигляді:

$$\sum_{t=1}^2 \sum_{k=1}^{n_k} (Y_{kt} - \bar{Y}_k)^2 = A' [(n_1 + n_2 - 2) \cdot S_*] A. \quad (11)$$

Міжгрупова варіація може бути виміряна як:

$$(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2)^2 = A' (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)' A. \quad (12)$$

При знаходженні коефіцієнтів дискримінантної функції  $a_j$  слід виходити з того, що для об'єктів, які розглядаються, внутрішньогрупова варіація повинна бути мінімальною, а міжгрупова – максимальною [6] - [8]. В цьому разі ми досягнемо найкращого поділу двох груп, тобто необхідно, щоб величина  $F$  була максимальною:

$$F = \frac{A' (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)' A}{A' [(n_1 + n_2 - 2) S_*] A}. \quad (13)$$

У точці, де функція  $F$  досягає максимуму, часткові похідні по  $a_j$  дорівнюватимуть нулю. Якщо обчислити часткові похідні:

$$\frac{dF}{da_1}; \frac{dF}{da_2}; \dots; \frac{dF}{da_p} \quad (14)$$

і прирівняти їх до нуля, то після перетворень отримаємо вираз:

$$A = S_*^{-1} (\bar{X}_1 - \bar{X}_2). \quad (15)$$

З цієї формули визначають вектор коэф. дискримінантної функції ( $A$ ).

Отримані значення коефіцієнтів підставляють в формулу (1) і для кожного об'єкта в обох групах (множини) обчислюють дискримінантні функції, потім знаходять середнє значення для кожної групи. Таким чином, кожне  $i$  - е спостереження, яке спочатку описувалося  $m$  змінними, буде як би поміщено в одномірний простір, тобто йому буде відповідати одне значення дискримінантної функції, отже, розмірність простору ознак знижується.

Перед тим як приступити безпосередньо до процедури класифікації, потрібно визначити межу, що розділяє в окремому випадку дві розглянуті групи.

Такою величиною може бути значення функції, рівновіддалене від  $\bar{f}_1$  та  $\bar{f}_2$ , тобто:

$$C = \frac{1}{2}(\bar{f}_1 + \bar{f}_2). \quad (16)$$

Величина  $C$  називається константою дискримінантності. На рис. 1 видно, що об'єкти, розташовані над прямою  $f(x) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p = C$ , знаходяться ближче до центру множини  $M_1$  і, отже, можуть бути віднесені до першої групи, а об'єкти, розташовані нижче цієї прямої, ближче до центру другої множини, тобто відносяться до другої групи.

Розглянемо приклад використання дискримінантного аналізу для проведення багатовимірної класифікації стану системи електропривода насосної установки. При цьому в якості навчальних будемо використовувати дві вибірки, що належать двом класам (стану роботи): «нормальний» та «аварійний».

Є масив даних (табл. 1) по робочому і аварійного стану системи електроприводу, що включає в себе наступні вихідні дані: середньоквадратичне значення струму (А) і напруги (В) в кожній фазі, варіація частоти мережі живлення (%) і величина несинусоїдальності (%).

Таблиця 1

Вихідні дані до розрахунку

Робочий стан							
$I, A$	$I, A$	$I, A$	$U, B$	$U, B$	$U, B$	$f, \%$	$K, \%$
(1ф)	(2ф)	(3ф)	(1ф)	(2ф)	(3ф)		$SIN$
470	449	433	5196	4984	4842	6,1	4,4
447	449	469	4964	4987	5182	6,0	5,8
485	467	450	5349	5169	4995	5,9	4,7
455	440	473	5045	4865	5223	5,8	5,5
448	460	434	4972	5090	4829	5,7	6,0
454	443	462	5040	4929	5113	6,0	4,4
434	452	475	4831	5010	5240	6,1	5,4
452	452	460	5021	5009	5093	6,0	4,2
462	485	442	5117	5338	4897	5,7	4,1
451	455	449	5013	5043	4981	5,9	4,1
438	465	462	4870	5146	5107	5,7	4,7
452	439	466	4997	4876	5144	5,8	5,5
448	459	460	4981	5087	5098	5,9	5,3
449	455	467	4981	5049	5167	5,9	4,2
442	463	471	4919	5120	5205	6,2	5,5
454	453	453	5029	5018	5009	6,1	5,4
...	...	...	...	...	...	...	...



Аварійний стан							
$I, A$	$I, A$	$I, A$	$U, B$	$U, B$	$U, B$	$f, \%$	$K, \%$
(1ф)	(2ф)	(3ф)	(1ф)	(2ф)	(3ф)		$SIN$
565	539	519	4780	4585	4455	12,1	9,1
536	539	563	4567	4588	4768	10,5	8,5
583	561	540	4921	4756	4595	12,6	10,1
546	528	567	4641	4476	4805	11,6	8,7
538	552	521	4574	4682	4442	10,2	10,0
545	532	555	4637	4534	4704	10,6	10,0
521	542	570	4444	4610	4820	10,5	8,4
543	542	552	4619	4608	4686	11,7	8,6
425	446	406	6140	6405	5877	12,0	10,2
416	419	413	6016	6051	5977	12,2	8,2
403	428	425	5844	6175	6129	11,3	10,6
416	404	428	5997	5851	6173	11,7	9,3
413	423	424	5977	6105	6118	11,8	9,1
413	419	430	5978	6058	6200	11,9	10,2
407	426	433	5903	6144	6247	10,1	9,3
418	417	416	6035	6022	6011	10,6	10,2
...	...	...	...	...	...	...	...

Для зручності запишемо значення вихідних змінних для кожного стану системи електроприводу у вигляді матриць  $X_1$  та  $X_2$ :

$$X_1 = \begin{pmatrix} 470 & 449 & \dots & 4,4 \\ 447 & 449 & \dots & 5,8 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 454 & 453 & \dots & 5,4 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

$$X_2 = \begin{pmatrix} 565 & 539 & \dots & 9,1 \\ 536 & 539 & \dots & 8,5 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 418 & 417 & \dots & 10,2 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Розрахуємо середнє значення кожної змінної в окремих групах для визначення положення центрів цих груп:

Перша група «Робочий стан»:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{11} &= 452; \bar{x}_{21} = 455; \bar{x}_{31} = 457; \\ \bar{x}_{41} &= 5020; \bar{x}_{51} = 5044; \bar{x}_{61} = 5070; \\ \bar{x}_{71} &= 5,9; \bar{x}_{81} = 4,9. \end{aligned} \quad (19)$$

Друга група «Аварійний стан»:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{12} = 480; \bar{x}_{22} = 482; \bar{x}_{32} = 485; \\ \bar{x}_{42} = 5317; \bar{x}_{52} = 5353; \bar{x}_{62} = 5375; \\ \bar{x}_{72} = 11,3; \bar{x}_{82} = 9,3. \end{aligned} \quad (20)$$

Дискримінантна функція  $f(x)$  в цьому випадку має вигляд:

$$\begin{aligned} f(x) = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + \\ + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8. \end{aligned} \quad (21)$$

Коефіцієнти  $a_1 \dots a_8$  розраховуються за формулою:

$$A = S_*^{-1}(\bar{X}_1 - \bar{X}_2), \quad (22)$$

де  $\bar{X}_1, \bar{X}_2$  - вектори середніх в першій і другій групі;  $A$  - вектор коефіцієнтів;  $S_*^{-1}$  - матриця, зворотна спільній коваріаційній матриці.

Для визначення спільної коваріаційної матриці  $S_*$  необхідно розрахувати матриці  $S_1$  і  $S_2$ . Кожен елемент цих матриць являє собою різницю між відповідним значенням вихідної змінної  $x_{ij}$  і середнім значенням цієї змінної в даній групі  $\bar{x}_{ik}$ , де  $k$  - номер групи.

Тоді спільна коваріаційна матриця буде дорівнювати:

$$S_* = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2}(S_1 + S_2), \quad (23)$$

де  $n_1, n_2$  - кількість об'єктів першої та другої групи.

$$S_* = \frac{1}{16+16-2} \begin{pmatrix} 2537 & 2153 & \dots & -7,7 \\ 2153 & 2016 & \dots & -6,5 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -7,7 & -6,5 & \dots & 0,5 \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Зворотна матриця  $S_*^{-1}$  буде дорівнювати:

$$S_*^{-1} = \begin{pmatrix} 0,21 & -0,21 & \dots & -0,22 \\ -0,21 & 0,28 & \dots & 0,15 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -0,22 & 0,15 & \dots & 2,27 \end{pmatrix}. \quad (25)$$

Звідси знаходимо вектор коефіцієнтів дискримінантної функції за формулою:

$$A = S_*^{-1}(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = \begin{pmatrix} 2,88407 \\ -3,00236 \\ -0,45716 \\ -0,29029 \\ 0,24600 \\ 0,00019 \\ -23,85777 \\ -12,40905 \end{pmatrix}, \quad (26)$$

тобто  $a_1 = 2,88407$ ;  $a_2 = -3,00236$ ;  $a_3 = -0,45716$ ;  $a_4 = -0,29029$ ;  
 $a_5 = 0,24600$ ;  $a_6 = 0,00019$ ;  $a_7 = -23,85777$ ;  $a_8 = -12,40905$ .

Підставимо отримані значення коефіцієнтів  $a_1 \dots a_8$  у формулу (21) і розрахуємо значення дискримінантної функції для кожного масиву вихідних даних:

Для робочого стану:

$$\begin{cases} f_{11} = -669,99798 \\ f_{12} = -701,88519 \\ \dots \\ f_{116} = -695,81859 \\ \bar{f}_1 = -688,39675; \end{cases} \quad (27)$$

Для аварійного стану:

$$\begin{cases} f_{21} = -887,44721 \\ f_{22} = -879,79790 \\ \dots \\ f_{216} = -887,42556 \\ \bar{f}_2 = -896,38718. \end{cases} \quad (28)$$

Тоді константа дискримінантності  $C$  буде дорівнювати:

$$C = \frac{1}{2}(\bar{f}_1 + \bar{f}_2) = -792,39197. \quad (29)$$

Після отримання константи дискримінантності можна перевірити правильність визначення стану системи електроприводу насосної установки вже за існуючим масивом вихідних даних, або провести класифікацію нових. Тепер при підстановці нових значень струмів, напруг, відхилень частоти та несинусоїдальності в дискримінантну функцію (21), ми з легкістю можемо класифікувати стан системи електроприводу. Необхідно лише порівняти нову отриману величину з константою дискримінантності.

Якщо  $f_n > C$ , - система знаходиться у робочому стані, в іншому випадку, коли  $f_n < C$ , стан системи - аварійний.

## Висновки

Застосування статистичного методу на основі дискримінантного аналізу дозволило нам побудувати метод класифікації стану системи електропривода насосної установки, виходячи з масиву даних навчальної вибірки. Двовірний простір дискримінантних функцій побудовано на основі критерію, що максимізує відмінності між класами і мінімізує розбіжності для спостережень, що належать одному класу. На основі вибірових даних отримані параметри (коефіцієнти  $a_1 \dots a_8$ ) генеральних сукупностей класів, а також знайдені поверхні, що розділяють простір вимірювань на стани системи.

**Посилання**

- [1] О.И. Осипов, та О.И. Усынин, *Техническая диагностика автоматизированных электроприводов*. Москва, Россия: Энергоатомиздат, 1991.
- [2] Ю.Н. Печерский, *Распознающие системы в природе, науке и технике*. Кишинев, Россия: Штиинца, 1986.
- [3] С.А. Айвазян, З.И. Бежаева, та О.В. Староверов, *Классификация многомерных наблюдений*. Москва, Россия: Статистика, 1974.
- [4] Г.С. Кильдишев, та Ю.И. Аболенцев, *Многомерные группировки*. Москва, Россия: Статистика, 1978.
- [5] Л.А. Сошникова, В.Н. Тамашевич, Г. Уебе, та М. Шефер, *Многомерный статистический анализ в экономике*. Москва, Россия: ЮНИТИ - ДАНА, 1999.
- [6] Л.Л. Богатырёв, та В.Г. Литвинов, *Диагностирование безопасности энергосистем Урала методами дискриминантного анализа*. Пермь. Россия: институт экономики УрО РАН, 2003.
- [7] С.А. Дубровский, *Прикладной многомерный статистический анализ*. Москва, Россия: Финансы и статистика, 1982.
- [8] Н.Г. Загоруйко, В.Н. Ёлкина, та Г.С. Лбов, *Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей*. Новосибирск, Россия: Наука, 1985.

*Стаття надійшла до редакції 21.04.2017р.*

УДК 621.876.114

DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.100697

**Ю.І. Шульга**, к.т.н., доц., **О.В. Данілін**, к.т.н., доц., **О.М. Сміленко**, студ.,  
**А.В. Сукайло**, студ. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

**ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ З  
РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ**

**Y.I. Shulga, O.V. Danilin, O.M. Smilenko, A.V. Sukailo** (National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute")

**STUDY OF MODES LIFT INSTALLATIONS WITH VARIABLE SPEED  
DRIVE**

*В роботі розглянуті режими роботи ліфтової установки як єдиного технологічного комплексу у складі асинхронного двигуна і перетворювача частоти. Для проведення дослідження синтезована комп'ютерна модель, яка дозволяє оцінити характер протікання динамічних і енергетичних процесів в електромеханічній системі.*