

ОСОВИК В.М., аспірант (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

## Векторна модель автоматизованого управління процесами експлуатації парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів

*Досліджено питання щодо вдосконалення автоматизованого багатокритеріального управління процесами експлуатації парків електродвигунів залізничних стрілочних переводів. Моделі планування враховують невизначеності значень параметрів поточного стану електродвигунів та інфраструктури перевезень.*

**Ключові слова:** *технічна експлуатація, електродвигуни, стрілочні переводи, парки технічних систем, автоматизація управління, моніторинг, діагностування, поточний стан, векторна оптимізація, умови невизначеності, нечітке управління Такагі-Сугено.*

### Вступ. Постановка завдань дослідження

Робота присвячена питанням удосконалення автоматизованої експлуатації парків електродвигунів (ЕД) залізничних стрілочних переводів (СП) [1, 2]. В даний час на залізницях України експлуатація ЕД здійснюється на основі планово-попереджувального методу [3]. Дані про параметри ЕД не систематизуються, не використовуються при плануванні, автоматизація експлуатації - недостатня. Як об'єкт управління «парк» ЕД в системах автоматизації представлений в обмеженому вигляді. В [2] виконані дослідження по створенню елементів інтелектуальної автоматизованої системи управління процесами експлуатації парків ЕД (АЕПЕД) на основі отримання оцінок параметрів їх поточного стану. У них зазначено необхідність обліку невизначеності стану об'єктів та інфраструктури, а також багатокритеріальності завдання управління. У статті досліджуються питання вдосконалення автоматизованого управління експлуатацією парків ЕД з урахуванням невизначеності умов і значень параметрів поточного стану СП та інфраструктури процесів перевезень. Завдання автоматизації АЕПЕД вирішується на основі створення інтелектуальної технології та системи багатокритеріального управління експлуатацією парку по поточному стану ЕД на основі робочих струмів. враховуючи обмежені ресурси. У ній потрібно побудувати прогноз станів ЕД, встановити раціональну черговість їх контролю і відновлення, розподілити роботи з обслуговування між виконавцями.

### Виклад основного матеріалу дослідження

#### Векторна модель автоматизованого управління експлуатацією парку електричних двигунів стрілочних переводів

В основу АЕПЕД покладено систему індивідуальних моделей (ІМ) (процесу діагностування – ІМД, ремонтів – ІМР ін.). З урахуванням і на основі їх формування контролюються і відображаються зміни станів, ресурсів ЕД у часі. Процеси моніторингу, діагностування, ремонтів кожного ЕД впливають на відповідні ІМ. За даними ІМ, а також їх різних узагальнень, необхідних для представлення парку ЕД як цілісної сутності, виконуються процедури багатокритеріального аналізу станів і управління парком ЕД. Модуль «Стан інфраструктури і парку ЕД» забезпечує отримання даних про поточний стан системи перевезень та кожного ЕД на кроці  $(t)$ , (1),

$$\bar{X}_p(t) = (X_{in}(t), X_d(t), X_r(t)); \quad (1)$$

вектор станів парку  $\bar{X}_p(t)$  містить наступні набори даних:  $X_{in}(t)$  – поточні значення параметрів інфраструктури,  $X_d(t)$  – параметри процесів діагностування,  $X_r(t)$  – параметрів процесів ремонту.

На основі (1) шляхом процедур прогнозування та багатокритеріального аналізу і вибору, модуль «Формування багатокритеріального управління парком» рис. 1, розраховується вектор оптимального керування процесами експлуатації парку ЕД  $\bar{u}_p(t)$ :

$$\bar{u}_p(t) = (u_d(t), u_r(t)); \quad (2)$$

складові (2) відповідають (1), в яких указані упорядковані послідовності проведення на етапі планування (t) процедур діагностування, компонента

$u_d(t)$ , та ремонтів ЕД парку, компонента  $u_r(t)$ .

Результати реалізації вектору управління (2)  $\bar{Y}_p(t)$  отримують у модулі «Реалізація управління парком ЕД», рис. 1.

$$\bar{Y}_p(t) = \Phi(\bar{X}_p(t), \bar{u}_p(t)). \quad (3)$$

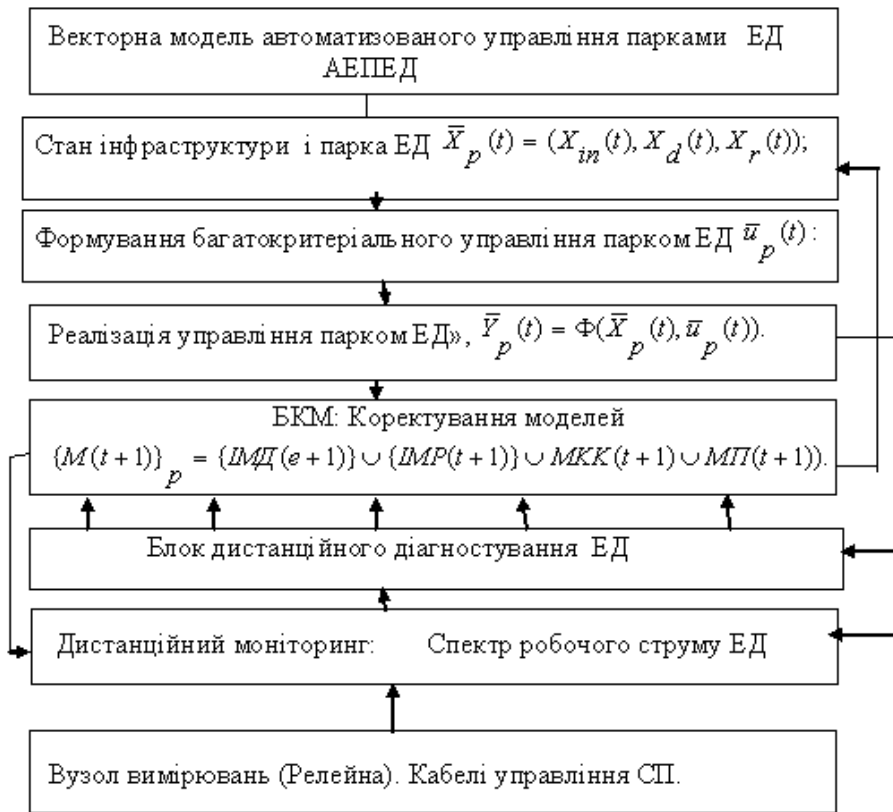


Рис. 1. Структура моделі автоматизованого управління парками ЕД

Відповідно рисунку, вказано стрілками, у ході виконання процедур реалізації управління з узагальненим оператором  $\Phi(\bar{X}_p(t), \bar{u}_p(t))$  вибірково і в установленому порядку  $u_d(t)$  відбувається діагностування ЕД, результати якого використовуються для формування ІМД наступних етапів управління парками ЕД. Значення параметрів (3)

$$\{M(t+1)\}_p = \{IMD(e+1)\} \cup \{IMP(t+1)\} \cup \{MKK(t+1)\} \cup \{MPI(t+1)\}. \quad (4)$$

«Блок дистанційного моніторингу» відповідає [2]. У ньому виконується дискретизація токів кожного ЕД і отримання їх спектральних характеристик. в умовах робочого навантаження з використанням швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). При діагностуванні

представляють величини (1) для наступного (t+1) етапу управління.

Сукупність процедур перетворення індивідуальних моделей ІМД та ін. у системі АЕПЕД представляє модуль «Корегування індивідуальних моделей та моделей парку ЕД» (БКМ) рис. 1. В БКМ отримують перетворені моделі процесів експлуатації для (t+1) етапу управління

отримують оцінки достовірності несправностей ЕД, що зберігаються в ІМ експлуатації.

Для моніторингу технічного стану кабелі, що живлять стрілочні ЕД, зводяться на станції в релейну, рис. 1 (Вузол вимірювань), де виконується аналіз

робочих струмів електродвигунів.

Для розпізнавання можливих несправностей ЕД використана нейронна мережа Кохонена [5]. Аналіз взаємного розташування кластерів на топологічній карті Кохонена дозволяє виявляти різні класи несправностей ЕД. Використання мережі Кохонена та індивідуальних моделей експлуатації ЕД дозволяє виявляти і нові види їх [1, 2]. Поточний і прогнозований технічний стан кожного ЕД використовуються для рекомендацій по черговості їх діагностування та ремонту в процесах експлуатації парку.

**Векторна модель по управленню процесами експлуатації парку ЕД**

У АЕПЕД управління парком ЕД представлено як рішення задачі векторної оптимізації (ЗВО) з частковими показниками: Е - експлуатаційні витрати, Р - рівень надійності системи, DZ - додаткові витрати при відмовах. Для реалізації ЗВО використовується аксіоматичний метод скаляризації [6]. Метод полягає у виборі узагальненого мінімаксного критерію оптимальності виду

$$\lambda^0 = \max_{x \in D} \min_{k \in N} \left\{ \lambda_k^1 = \frac{\lambda_k}{\alpha_k} = \frac{1}{\alpha_k} \frac{f_k(x) - f_k^-(x)}{f_k^+ - f_k^-} \right\}, \quad (5)$$

який забезпечує отримання єдиного компромісного рішення, що задовольняє властивостям оптимальності по Парето і симетрії

$$\lambda_p(x_c^0) \alpha_p^{-1} = \lambda_q(x_c^0) \alpha_q^{-1}, \quad \forall p, q \in N, \quad (6)$$

де  $f_k^-, f_k^+$  - мінімальні та максимальні оцінки в  $x \in D_x$ ,  $\alpha_k$  - коефіцієнт важливості. Виконання умов

$$R^{(1)} : IF(x_1 \text{ is } D_1^1 \text{ AND } x_2 \text{ is } D_2^1 \dots \text{AND } x_n \text{ is } D_n^1), \text{ THEN } y_1 = f^{(1)}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (8)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$R^{(N)} : IF(x_1 \text{ is } D_1^N \text{ AND } x_2 \text{ is } D_2^N \dots \text{AND } x_n \text{ is } D_n^N), \text{ THEN } y_N = f^{(N)}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

де  $R^{(k)}$  – окремі правила;  $D_s$  – узагальнені форми невизначених (нечітко-статистичних [7] або багатокомпонентних) множин, які різні для правил. У правій частині правил THEN вказані функції для вхідних «сигналів»  $X_j$ , відповідають вхідним  $x_j$ . Для управління на основі (8) необхідно обчислити оцінку для значень  $X_j$ , а також розрахувати «вагу» кожного з правил  $R^{(k)}$ .

(6) рішення  $x_c^0$  (5) забезпечується властивостями взаємної суперечливості часткових показників (Е, Р, DZ), що встановлюється у роботі логічно [6] і служить підставою для вибору моделі компромісу (6) для управлінням експлуатацією парків.

**Процедура Такагі-Сугено з аксіоматичним нелінійним багатокомпонентним управлінням**

У ряді випадків на практиці векторне управління експлуатацією парку ЕД вимагає врахування одночасно кількох різних видів невизначеності [4]. Метод (5) - (6) не враховує категорій невизначеності. Далі пропонується процедура реалізації ЗВО в умовах багаторазової невизначеності, узагальнююча метод нечіткого управління Такагі-Сугено, згідно [5, 7]. Формування моделі, що становить багатокомпонентну невизначеність, індекс достовірності  $d(x)$ , пропонується виконувати у вигляді середнього геометричного нормованих моделей окремих компонентів:

$$d(x) = \left[ d_{D_1^N}(\bar{x}_1) \cdot d_{D_2^N}(\bar{x}_2) \cdot \dots \cdot d_{D_n^N}(\bar{x}_n) \right]^{1/n}. \quad (7)$$

Показник достовірності, індекс  $d(x)$ , використовується в процедурах виведення, подібно ступені приналежності при обробці нечітких величин [4]. В якості методу вибору управління, узагальнюючого результати окремих правил, використовується аксіоматика компромісу «відносна поступка» [6]. У класичній схемі управління Такагі-Сугено (Т-С) [5, 7] застосовується лінійна модель компромісу - «абсолютна поступка». У модулі багаторазово невизначеного управління Т-С використовується база правил такого вигляду:

Згідно зі схемою Т-С управління розраховуються  $W^k$  «ступеня виконання правил» - методи Мамдані, Ларсена [5]. Далі за оцінками сигналів  $X_j$  обчислюють праві частини (8) – функції  $\bar{y}_1 = f^{(1)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ . Розглянемо формування виходу модуля Т-С, який стандартно має вид [5]

$$\bar{y} = \sum_{k=1}^N w^k \bar{y}_k / \sum_{k=1}^N w^k. \quad (9)$$

Компроміс (9) прийнятний для лінійних систем, не містить вимоги щодо відношень між результатами  $R^{(k)}$  (8) в рішенні (9). Розглянемо мультипликативну модель компромісу (8), відповідну принципу відносної поступки з аксіоматично встановленим набором властивостей рішень [6]. При формулюванні моделі «справедливого» компромісу  $\{Y_j(k)\}_m$  враховуються такі властивості: симетрія (рівноправність  $Y_j$ ), характеристика відхилення групової оцінки, величин кожного показника  $Y_j : Y_j^* (k_j)$ . Для формування компромісу  $Y_j(k)$ ,  $j=1,2,\dots,m$  визначаються

$$\lambda_j = (Y_j^* (k_j) - Y_j^c (k_c)) / \max\{Y_j^*, Y_j^c\}, \quad (10)$$

по яких розраховується узагальнена функція виду добутку

$$\prod_{i=1}^b \lambda_i = \prod_{i=1}^m Y_i^c (k_c) \Rightarrow \max_{k_c}, \quad (11)$$

значення (11) далі максимізують в задачах вибору оптимального управління. В (10), (11) через величини  $Y_j$  позначено значення функції згідно (7),  $k_c$  - номер ітерації компромісної моделі (9), для управління Т-С  $k_c = 1$ . З урахуванням (10), (11) отримують модифікований метод типу Т-С

$$Y = \sum_i \omega_i \sqrt{\prod_{i=1}^n y_i^{\omega_i}}, \quad (12)$$

де  $n$  - кількість правил  $R^{(k)}$ ;  $y_i$  - функції вихідних величин, отриманих в результаті виводу по правилу  $i$ ;  $\omega_i$  - степінь невизначеності правила « $i$ » (8). При нормуванні степеней невизначеності відповідно  $\omega_i / \sum \omega_i$  модель (11) спрощується, а саме приймає вид (12).

## Висновки

Удосконалено методи та засоби автоматизації та інтелектуального управління процесами експлуатації парку ЕД залізничних стрілочних переводів в умовах невизначеності. Розроблено моделі векторної оптимізації процесів управління, процедури планування черговості діагностики і ремонту електродвигунів в при різних типах невизначеності. Управління експлуатацією парку ЕД ведеться на основі їх індивідуальних моделей, а також мереж

Кохонена, побудованих по спектральних характеристиках робочих струмів електродвигунів. Результати дозволяють перейти від планово-попереджувального методу експлуатації до автоматизованого обслуговування парку ЕД по фактичному технічному стану з урахуванням стану інфраструктури.

## Література

1. В.В. Скалозуб, О.М. Швець, В.Н. Осовик. Методы интеллектуальных систем в задачах управления парками объектов железнодорожного транспорта по текущему состоянию // В сб. «Питання прикладної математики і математичного моделювання». м. Дніпропетровськ, ДНУ, 2014. С. 40 – 47.
2. Скалозуб В.В., Осовик В.Н. Индивидуальные интеллектуальные модели для эксплуатации парка однородных железнодорожных технических систем на основе параметров текущего состояния // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, №6, 2014. С. 8 – 12.
3. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв, сигналізації, централізації та блокування (СЦБ), Державна адміністрація залізничного транспорту України, Київ, 2009.
4. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования / Б. Лю; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 416 с.
5. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. –452с.
6. Скалозуб В.В. Аксиоматика компромисса в обратных задачах многокритериальной оптимизации конструкций и технических систем //В сб. научн. тр. АН Украины «Математические методы в задачах расчета и проектирования сложных механических систем». – Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова. 1992. С. 62 – 65.
7. Скалозуб В.В. Метод управления типа Такаги-Сугено в условиях многократной неопределенности данных. Системні технології, 1' (50), 2008. С. 120 – 127.

**Осовик В. Н. Векторная модель для автоматизированного управления процессами эксплуатации парков электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов.** Исследованы вопросы совершенствования автоматизированного многокритериального управления процессами эксплуатации парков электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов. Модели планирования учитывают неопределенности значений параметров текущего состояния электродвигателей, а также и

інфраструктури перевозок.

**Ключевые слова:** техническая эксплуатация, электродвигатели, стрелочные переводы, парки технических систем, автоматизация управления, мониторинг, диагностирование, текущее состояние, векторная оптимизация, условия неопределенности, нечеткое управление Такаги-Сугено.

---

**Osovyk V.M. Vector model for operation process automated control of electric motor parks of railway switches.** The improvement of the efficiency of railway operational processes, the reduction of operating costs are not possible without complex automation system development in the field of technical system park operation - ASPEM. The article is devoted to the construction of the improved multilevel model of ASPEM system which takes into account a target vector (efficiency, reliability and additional expenses for the system recovery) and different forms of ambiguity of information as to the technical conditions of devices and the conditions of transport system operation. The investigations have been carried out with the use of the procedures of monitoring and diagnostics of electric motors (EM) being under the influence of working loads. The ED park operation management is performed on the basis of individual intelligent models as well as Kohonen networks, built according to spectral characteristics of EM current. The improved model of fuzzy control of Takagi – Sugeno type which takes into account the conditions of nonhomogeneous ambiguity of data has been also applied in ASPEM. The results of the research ensure the possibility of automation and increase in efficiency of the processes of multicriterion economic-technological management of switch EM park operation under the conditions of nondetermination of ASPEM system parameters.

**Key words:** technical operation, electric motors, switches, technical system parks, control automation, monitoring, diagnostics, the current state, vector optimization, conditions of ambiguity, fuzzy Takagi-Sugeno control.

Рецензент д.ф.-м.н., професор Белозьоров В.Є.  
(Дніпропетровський національний університет  
імені Олеся Гончара)

*Поступила 07.09.2015г.*

**Osovyk Володимир Миколайович**, головний інженер  
Південно-Західної залізниці, м. Київ, Україна

**Osovyk V.M.**, Chief engineer of South Western Railway,  
Kyiv, Ukraine.