

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ВАЖЛИВОСТІ ПОКАЗНИКІВ

Розроблено метод системного підходу підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання електричного транспорту на основі експертної інформації з урахуванням важливості показників. Даний метод дає змогу проводити експертну оцінку стану функціонування системи керування та прогнозувати і вибрати раціональний варіант підвищення надійності системи.

Разработан метод системного подхода повышения надежности функционирования системы управления тягового электроснабжения электрического транспорта на основе экспертной информации с учетом важности показателей. Данный метод дает возможность проводить экспертную оценку состояния функционирования системы управления, а также прогнозировать и выбирать рациональный вариант повышения надежности системы.

The method of system approach for increasing the reliability of controlling equipment on traction electric supply system for electric transport is proposed. This approach is based on expert information that takes into account the importance of indices. This method enables us making the expert estimation of the functioning state of controlling system, forecasting and choosing a rational variant of increasing the reliability.

Вживане останніми роками при електрифікації залізниць України силове електроукомплектування складається з функціональних блоків із вбудованими мікропроцесорними засобами контролю, управління і автоматики, з яких комплектуються тягові підстанції, пости секціонування тощо. Отже, за таких прогресивних змін необхідно удосконалювати систему керування тяговим електропостачанням і проводити поетапну заміну застарілої телемеханіки на сучасні інтегровані системи керування. Система керування повинна забезпечувати стійке та надійне електропостачання електричного транспорту, бути технічно досконалою, володіти необхідною швидкодією, стійкістю і надійністю функціонування, перешкодозахищеністю, особливо в аварійних режимах.

Розглянемо можливі методи підвищення надійності функціонування системи автоматизованого керування тягового електропостачання, які базуються на експертній інформації з урахуванням важливості показників підвищення надійності функціонування системи. Експертна інформація – це думки фахівців-експертів, виражені в кількісній і/або якісній формі з метою підготовки інформації для ухвалення рішень [1].

1. *Вибір варіанту підвищення надійності функціонування системи автоматизованого керування при рівній важливості показників.*

Для визначеності розглянемо задачу підвищення надійності функціонування системи керування стосовно напряму «Захист системи автоматизованого керування тягового електропостачання від внутрішніх та зовнішніх силових дій» [2]. Основними показниками рішення цієї задачі є :

- *стандарти, норми (C_1)* – (повнота виконання законодавчих, нормативних і методичних документів з питань, які визначають якісне впровадження і використання вибраних заходів захисту системи автоматизованого керування тягового електропостачання від внутрішніх і зовнішніх силових дій з метою підтримки безперервного керування системою тягового електропостачання. Ступінь кваліфікації співробітників, відповідальних за захист системи тощо);

- *організаційні (C_2)* – (повнота і обґрунтованість заходів, що забезпечують захист системи автоматизованого керування тягового електропостачання якісно і в задані терміни. Своєчасне і якісне проведення оцінки вразливості та ризиків системи керування. Якісне впровадження і використання вибраних заходів захисту системи від внутрішніх і зовнішніх силових дій. Повнота виконання функцій підрозділами захисту, які забезпечують своєчасне і якісне виявлення відмов, перешкод, несправностей, спотворення, витоку інформації, а також причин цих порушень тощо);

- *технічні* (C_3) – (склад і характеристики технічних засобів, що забезпечують надійну роботу системи автоматизованого керування. Склад і характеристики технічних засобів для якісного і оперативного виявлення елементів системи, які вийшли з ладу, на об'єктах тягового електропостачання та причини цих порушень. Впровадження і використання вибраних технічних засобів захисту комплексу від внутрішніх і зовнішніх силових дій з метою підтримки безперервного керування системою тягового електропостачання тощо);

- *програмні* (C_4) – (повнота та якість програмного забезпечення автоматизації процесу керування тягового електропостачання та контролю стану системи в умовах внутрішніх і зовнішніх силових дій. Програмне забезпечення автоматизації процесу якісного і оперативного виявлення відмов, перешкод, несправностей, спотворення, витоку інформації, а також причини цих порушень на об'єктах системи тягового електропостачання. Програмне забезпечення якісного і оперативного проведення оцінки уразливості і ризиків системи керування. Програмне забезпечення застосування технічних засобів захисту комплексу від внутрішніх і зовнішніх силових дій. Програмне забезпечення якісного і оперативного контролю цілісності захисту системи керування від внутрішніх і зовнішніх силових дій і управління захистом системи тощо).

Припустимо є множина A з варіантів підвищення надійності функціонування системи автоматизованого керування тягового електропостачання

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_m].$$

Згідно [3], для деякого показника підвищення надійності C може бути розглянута нечітка множина

$$C = \{\mu_c(a_1)/a_1; \mu_c(a_2)/a_2; \dots; \mu_c(a_m)/a_m\}, \quad (1)$$

де $\mu_c(a_i) \in [0,1]$ – експертна оцінка підвищення надійності варіанту (a_i) за показником C .

Допустимо, є чотири варіанти підвищення надійності функціонування системи автоматизованого керування тягового електропостачання: a_1, a_2, a_3, a_4 . Рівень підвищення надійності функціонування системи (P_a) оцінимо за чотирима напрямками показників: C_1 – *стандарти, норми*; C_2 – *організаційні*; C_3 – *технічні*; C_4 – *програмні*.

Наприклад, в результаті підвищення надійності функціонування системи керування отримані наступні дані експертної оцінки, які характеризують ступінь відповідності показників підвищення надійності функціонування системи керування заданим вимогам для варіантів (a_1, a_2, a_3, a_4):

$$C_1 = \{0,8/a_1; 0,75/a_2; 0,9/a_3; 0,85/a_4\}$$

$$C_2 = \{0,65/a_1; 0,6/a_2; 0,7/a_3; 0,8/a_4\}$$

$$C_3 = \{0,75/a_1; 0,85/a_2; 0,9/a_3; 0,8/a_4\}$$

$$C_4 = \{0,85/a_1; 0,6/a_2; 0,8/a_3; 0,7/a_4\}$$

Згідно [4], рівень підвищення надійності функціонування системи

$$P_a = \prod_{j=1}^m \overline{C}_j^{\omega_j}, \quad (2)$$

де \overline{C}_j – значення j -го показника;

ω_j – ваговий коефіцієнт j -го показника.

При рівній важливості показників ($\omega_j = 0,25$) рівень підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання для варіантів (a_1, a_2, a_3, a_4) згідно формули (2) складає:

$$P_{a1} = 0,759; \quad P_{a2} = 0,692;$$

$$P_{a3} = 0,821; \quad P_{a4} = 0,786.$$

Порівняння результатів рівня підвищення надійності функціонування системи, при рівній важливості показників, представлено на графіку (рис. 1).

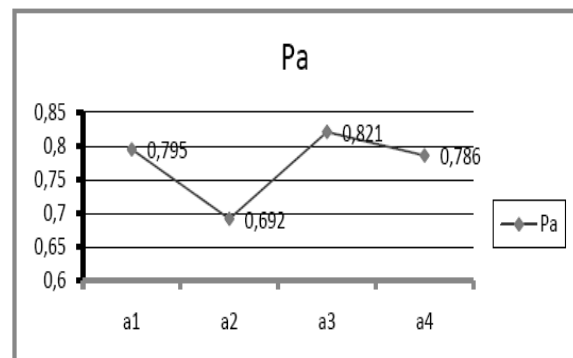


Рис. 1. Рівень підвищення надійності функціонування системи керування при рівній важливості показників

З графіку бачимо, що найкращим варіантом підвищення надійності функціонування системи керування у розглянутому випадку є варіант a_3 .

2. Вибір варіанту підвищення надійності функціонування системи автоматизованого керування при різній важливості показників.

При ухваленні рішення про вибір якнайкращого варіанту підвищення надійності функціонування системи виникає задача визначення важливості (ваги) параметрів підвищення надійності.

Огляд основних методів визначення коефіцієнтів важливості розглядається в літературі [3]. Для вирішення практичних завдань автори [3, 5] пропонують визначити вагові коефіцієнти шляхом розрахунку середнього геометричного із співвідношення

$$\omega_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}; \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де a_{ij} – коефіцієнти матриці парних порівнянь.

$$\omega_i \geq 0; \quad i = \overline{1, n}; \quad \sum_{i=1}^n \omega_i = 1. \quad (4)$$

Розглянемо приклад визначення коефіцієнтів відносної важливості показників підвищення надійності на основі методу парних порівнянь (метод Сааті). Шкала для оцінки відносної важливості показників наведена в табл. 1

Допустимо, в результаті експертної оцінки відносної важливості показників підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання отримана наступна матриця парних порівнянь:

$$\omega = \begin{pmatrix} 0,1/a_{11} & 0,15/a_{12} & 0,1/a_{13} & 0,15/a_{14} \\ 0,15/a_{21} & 0,15/a_{22} & 0,16/a_{23} & 0,17/a_{24} \\ 0,45/a_{31} & 0,5/a_{32} & 0,52/a_{33} & 0,48/a_{34} \\ 0,3/a_{41} & 0,2/a_{42} & 0,22/a_{43} & 0,2/a_{44} \end{pmatrix}$$

Згідно співвідношення (3) та даних матриці парних порівнянь, визначимо відносну важливість ω_i показників C_1, C_2, C_3, C_4 .

$$\omega_{C_1} = \frac{\sqrt[4]{\omega_{a11} \cdot \omega_{a12} \cdot \omega_{a13} \cdot \omega_{a14}}}{\omega_0} = 0,113;$$

$$\omega_{C_2} = \frac{\sqrt[4]{\omega_{a21} \cdot \omega_{a22} \cdot \omega_{a23} \cdot \omega_{a24}}}{\omega_0} = 0,16;$$

$$\omega_{C_3} = \frac{\sqrt[4]{\omega_{a31} \cdot \omega_{a32} \cdot \omega_{a33} \cdot \omega_{a34}}}{\omega_0} = 0,496;$$

$$\omega_{C_4} = \frac{\sqrt[4]{\omega_{a41} \cdot \omega_{a42} \cdot \omega_{a43} \cdot \omega_{a44}}}{\omega_0} = 0,231,$$

де

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \sqrt[4]{\omega_{a11} \cdot \omega_{a12} \cdot \omega_{a13} \cdot \omega_{a14}} + \\ &+ \sqrt[4]{\omega_{a21} \cdot \omega_{a22} \cdot \omega_{a23} \cdot \omega_{a24}} + \\ &+ \sqrt[4]{\omega_{a31} \cdot \omega_{a32} \cdot \omega_{a33} \cdot \omega_{a34}} + \\ &+ \sqrt[4]{\omega_{a41} \cdot \omega_{a42} \cdot \omega_{a43} \cdot \omega_{a44}}. \end{aligned}$$

Таблиця 1

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
0,1	Рівна важливість порівнюваних вимог
0,3	Помірна (слабка) перевага однієї над іншою
0,5	Сильна (істотна) перевага
0,7	Очевидна перевага
0,9	Абсолютна перевага
0,2; 0,4; 0,6; 0,8	Проміжні рішення між двома сусідніми оцінками

Порівняння результатів визначення коефіцієнтів відносної важливості показників підвищення надійності функціонування системи представлено на графіку (рис. 2).

З графіку бачимо, що найважливішим показником підвищення надійності функціонування системи керування у розглянутому випадку є показник C_3 .

У випадку, якщо показники підвищення надійності мають різну відносну важливість, кожному з них приписується число ω_i (чим важливіше вимога, тим більше ω_i) і загальне правило вибору набуває вигляду:

$$P_a = C_1^{\omega_1} \cap C_2^{\omega_2} \cap \dots \cap C_n^{\omega_n}. \quad (5)$$

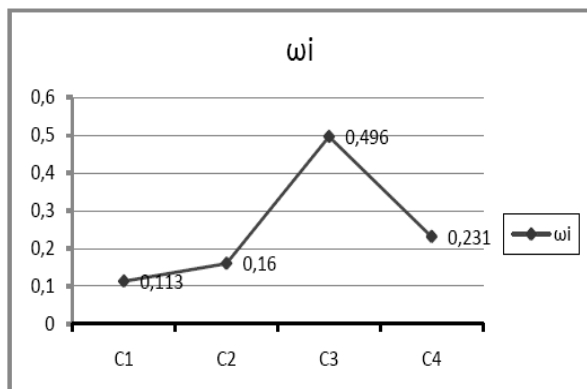


Рис. 2. Коефіцієнти відносної важливості показників підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання

Хай є чотири варіанти рішення задачі підвищення надійності функціонування системи автоматизованого керування тягового електропостачання: (a_1, a_2, a_3, a_4) , які розглянуті вище. Варіанти оцінюються за тими ж напрямками показників: C_1 – *стандарти, норми*; C_2 – *організаційні*; C_3 – *технічні*; C_4 – *програмні*. Відносна важливість показників підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання визначена та представлена на рис. 2:

$$\omega_1 = 0,113; \omega_2 = 0,16; \omega_3 = 0,496; \omega_4 = 0,231.$$

Припустимо, що нечіткі множини, що характеризують альтернативні варіанти підвищення надійності функціонування системи керування, мають вигляд

$$C_1 = \{0,8/a_1; 0,75/a_2; 0,9/a_3; 0,85/a_4\};$$

$$C_2 = \{0,65/a_1; 0,6/a_2; 0,7/a_3; 0,8/a_4\};$$

$$C_3 = \{0,75/a_1; 0,85/a_2; 0,9/a_3; 0,8/a_4\};$$

$$C_4 = \{0,85/a_1; 0,6/a_2; 0,8/a_3; 0,7/a_4\}.$$

Модифікуємо множини

$$\begin{aligned} C_1^{0,113} &= \{0,8^{0,113}/a_1; 0,75^{0,113}/ \\ &/a_2; 0,9^{0,113}/a_3; 0,85^{0,113}/a_4\} = \\ &= \{0,975/a_1; 0,968/a_2; 0,988/ \\ &/a_3; 0,982/a_4\}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2^{0,16} &= \{0,65^{0,16}/a_1; 0,6^{0,16}/ \\ &/a_2; 0,7^{0,16}/a_3; 0,8^{0,16}/a_4\} = \\ &= \{0,933/a_1; 0,922/a_2; 0,945/ \\ &/a_3; 0,965/a_4\}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_3^{0,496} &= \{0,75^{0,496}/a_1; 0,85^{0,496}/ \\ &/a_2; 0,9^{0,496}/a_3; 0,8^{0,496}/a_4\} = \\ &= \{0,867/a_1; 0,923/a_2; 0,949/ \\ &/a_3; 0,895/a_4\}; \\ C_4^{0,231} &= \{0,85^{0,231}/a_1; 0,6^{0,231}/ \\ &/a_2; 0,8^{0,231}/a_3; 0,7^{0,231}/a_4\} = \\ &= \{0,963/a_1; 0,889/a_2; 0,95/ \\ &/a_3; 0,921/a_4\}. \end{aligned}$$

Відповідно до (1) та (2), отримаємо множину P_a :

$$P_a = \{0,860/a_1; 0,654/a_2; 0,850/ \\ /a_3; 0,746/a_4\}.$$

Порівняння результатів підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання з врахуванням відносної важливості показників підвищення надійності представлено на графіку (рис. 3).

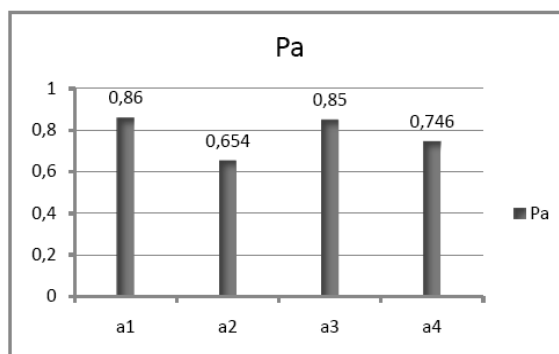


Рис.3. Рівень підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання

З графіку бачимо, що максимальне значення P_a має альтернатива a_1 – її і вибираємо як варіант підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання електричного транспорту згідно заданих вимог.

Висновки

У статті автором розроблено метод системного підходу з підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання електричного транспорту в умовах внутрішніх і зовнішніх силових дій на основі експертної інформації з урахуванням важливості показників. Даний метод дає змогу проводити експертну оцінку стану функціонування системи керування та прогнозувати і вибирати раціональний варіант підвищення надійності функціонування системи керування

тягового електропостачання з урахуванням не тільки технічних, але й організаційно-правових та програмних заходів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Панкова, Л. А. Организация экспертизы и анализ экспертной информации [Текст] / Л. А. Панкова, А. М. Петровский, Н. В. Шнейдерман. – М.: Наука, 1984. – 214 с.
2. Матусевич, А. А. Методы защиты аппаратуры автоматики и телемеханики железных дорог от внутренних и внешних воздействий [Текст] / А. А. Матусевич // Сб. науч. тр. – 2006. – № 48. – Екатеринбург: Урал. гос. ун-т путей сообщения, 2006. – С. 162-167.
3. Методы определения коэффициентов важности критериев [Текст] / А. М. Анохин и др. // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 8. – С. 3-35.
4. Брахман, Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике [Текст] / Т. Р. Брахман. – М.: Радио и связь, 1984. – 287 с.
5. Гуткин, Л. С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества [Текст] / Л. С. Гуткин. – М.: Радио, 1975. – 367 с.
6. Принятие решения на основе нечетких моделей: примеры использования [Текст] / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига: Знание, 1990. – 184 с.

Надійшла до редколегії 18.03.2009.