

3. Jing Li J., Wei W., Xiang J.A Simple Sizing Algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery Hybrid Microgrids // *Energies*, 2012. – V.5, p. 5307-5323. [Electronic Source]. – Access mode: www.mdpi.com/journal/energies.

4. Kostiuk V.O., Khanytska O.O. The combination of requirements management and reliability problems in the rational configuration of the hybrid electric provider systems using renewable // *Zbirnyk tez dopovidei XII Mizhnarodnoi konferentsii "Kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh (KUSS-2014)"*. – Vinnytsia, VNTU. – 2014. – p.145.

5. Bernal-Agustin J.L. Dufo-Lopez R. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems 2009 // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2009. –V.13, p. 2111–2118

6. Galushkin N.E., Yazvinskaya N.N., Galushkina I.A. Analysis of the use of empirical relations to estimate the capacity of nickel-cadmium batteries the company SAFT long discharge mode [Electronic Source]. – Access mode: http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=9999946

УДК 620.92 + 621.31

А.Л. Радченко, канд. техн. наук

Институт общей энергетики НАН Украины

**РАСЧЕТ КОМПЛЕКСА «ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК - АККУМУЛЯТОР» С
МАКСИМАЛЬНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРИРУЕМОЙ ЭНЕРГИИ**

В работе представлен алгоритм расчета емкости аккумуляторной батареи в процессе эксплуатации.

Для устранения влияния изменения значения емкости аккумулятора разработан порядок ее расчета, в котором использован в качестве главного показателя аккумулятора значение энергии, которую он содержит в процессе работы комплекса «возобновляемый источник - аккумулятор».

Ключевые слова: аккумулятор, возобновляемые источники энергии, максимальное использование энергии.

Надійшла 18.10.2015

Received 18.10.2015

УДК 621.331:621.311.4-047.38

Д. В. Міронов, асистент кафедри Електропостачання залізниць

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТО І Р ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ
ПІДСТАНЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ УЗАГАЛЬНЕНИХ КРИТЕРІЇВ**

Дані, отримані в процесі діагностування технічного стану силового обладнання, важко порівняти між собою, і вони не завжди задовольняють умовам, які дозволили б обґрунтовано застосувати для їх аналізу статистичні методи оцінки експлуатаційних показників. Складність постановки висновку полягає в тому, що за окремими технічними показниками устаткування або параметрами роботи дати суб'єктивну оцінку його стану практично неможливо. Необхідно визначити узагальнені характеристики рівня експлуатації силового обладнання та проводити їх багатофакторний аналіз. Для вирішення цього завдання розглянуто можливість застосування функції бажаності Харінгтона для оцінки технічного стану обладнання тягових підстанцій з урахуванням багатофакторності процесу. На прикладі швидкодіючого вимикача постійного струму ВАБ-43 проведено розрахунок узагальненого критерію якості об'єкта діагностування.

Запропоновано методіку оцінки технічного стану обладнання тягових підстанцій, яка передбачає використання сучасних методів діагностики та кваліметрії і дозволяє створити систему управління якістю процесу діагностування, що підвищує ефективність існуючої системи ТО і Р електрообладнання. Використання узагальненого критерію якості об'єкта діагностування може служити основою нового методу обробки діагностичної інформації.

Ключові слова: тягова підстанція, діагностування, технічне обслуговування, функція бажаності Харінгтона, багатофакторний аналіз, стратегія ТО і Р.

Вступ

Ефективність і надійність функціонування електротехнічного обладнання підстанцій електрифікованих залізниць залежить від його технічного стану. Сучасне електротехнічне обладнання має достатньо високі розрахункові показники надійності, однак у процесі експлуатації під дією зовнішніх умов і режимів роботи початковий стан обладнання безперервно погіршується, що призводить до додаткових втрат енергії, зниження експлуатаційної надійності і зростання аварійності обладнання та кількості відмов. Надійність функціонування електроустаткування протягом життєвого циклу залежить не тільки від якості виготовлення, але і від умов експлуатації, якісного технічного обслуговування і своєчасного ремонту.

Забезпечення контролю, експертизи, нормування та моніторингу технічного стану енергетичного обладнання, використання інноваційних технологій діагностування є основою стратегії підвищення експлуатаційної надійності будь-якого технічного об'єкту [1, 2]. Сучасне енергетичне обладнання представляє собою складні технічні об'єкти, надійність роботи яких повинна забезпечуватися, прогнозуватися і діагностуватися на всіх етапах життєвого циклу. Для електрообладнання принципово важливо визначити, які параметри контролювати і які чинники враховувати при оцінці його технічного стану, тобто вирішити питання про глибину діагностування. Як відомо, при оцінці технічного стану аналізу підлягають механічні (вібраційні), теплові, електричні і інші чинники, що мають різну фізико-хімічну природу. При цьому згадані чинники призводять до зміни окремих властивостей електроустаткування. У цьому випадку оцінка технічного стану за окремими властивостями електрообладнання виконується більш менш задовільно. Проте загальна оцінка технічного стану пристрою надзвичайно ускладнена через необхідність зіставлення показників різної фізичної природи і відсутності між ними взаємозв'язку, який можна описати аналітичним виразом. Ця проблема примушує шукати інший підхід до загальної оцінки технічного стану електрообладнання.

Для адекватної оцінки якості експлуатаційних показників енергетичного обладнання необхідно користуватися узагальненими характеристиками їх роботи, в тому числі і визначеними на основі теорії нечітких множин значеннями функції бажаності. При аналізі технічного стану енергетичного обладнання одним з найбільш зручних для практичного використання методів математичного моделювання є, зокрема, методика теорії нечітких множин, заснована на об'єднанні часткових показників якості в узагальненій - в так звану узагальнену функцію бажаності D (функцію Харінгтона) [3-8].

Мета та завдання

Розглянути можливість використання узагальненої функції бажаності Харінгтона для оцінки технічного стану обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць.

Матеріал і результати досліджень

Для побудови узагальненої функції бажаності D пропонується перетворити виміряні значення різних критеріїв у безрозмірну шкалу бажаності d [3, 6]. Шкала бажаності, в яку перетворюються значення часткових критеріїв, є безрозмірною психофізичною шкалою. Вона встановлює відповідність між значеннями критеріїв у фізичних шкалах і психофізичними параметрами – суб'єктивними оцінками бажаності того чи іншого значення відповідного критерію. Шкала влаштована так, що кращому значенню критерію відповідає більше значення бажаності. Для перетворення значень критерію в шкалу бажаності, множина значень кожного критерію поділяється на підмножини, щодо яких дослідник може сказати, що якість об'єкта на кожному з них близька до оцінки “добре”, “задовільно”, “погано” (градацій може бути і більше).

Побудова шкали бажаності, яка встановлює співвідношення між значенням критерію y і відповідним йому значенням d (частковою функцією бажаності), є суб'єктивною і відображає ставлення дослідника до окремих критеріїв [9].

Для побудови шкали бажаності зручно використовувати метод кількісних оцінок з інтервалом значень бажаності d від нуля до одиниці, хоча можливі й інші варіанти шкали. Значення $d = 0$ (або $D = 0$) відповідає найгіршому значенню критерію, а $d = 1$ ($D = 1$) – найкращому значенню, причому подальше поліпшення критерію або неможливе, або не представляє інтересу. Проміжні значення бажаності і відповідні їм числові значення наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Базові позначки шкали бажаності	
Кількісна відмітка на шкалі бажаності d	Бажаність значення критерію y
0,80 - 1,00	Дуже добре
0,63 - 0,80	Добре
0,37 - 0,63	Задовільно
0,20 - 0,37	Погано
0,00 - 0,20	Дуже погано

Найпростішим типом перетворення служить таке, в якому існує верхня і (або) нижня межа значень критеріїв, причому ці межі є єдиними і не допускають змін. Поза цими межами значення $d = 0$, між ними значення $d = 1$.

Часткова функція бажаності при односторонньому обмеженні має вигляд:

$$\begin{aligned} d &= 0, y < y_{\min} \\ d &= 1, y \geq y_{\min} \end{aligned} \quad (1)$$

Аналогічним чином можна отримати часткову функцію бажаності, якщо задано обмеження критерію зверху.

Якщо для даного параметру існує двостороннє обмеження, то:

$$\begin{aligned} d &= 0, y < y_{\min} \text{ і } y > y_{\max}, \\ d &= 1, y_{\min} \leq y \leq y_{\max}. \end{aligned} \quad (2)$$

Завжди бажано, щоб значення відгуку знаходилося не тільки між граничними значеннями, але і на певній відстані від них через властиві виробничому процесу випадкові коливання. Для двостороннього обмеження перетворення вимірюваного критерію y в шкалу d виконується за допомогою виразу:

$$d = \exp\left(-\left|y'\right|^n\right), \quad (3)$$

де n - додатне число, не обов'язково ціле;

$$y' = \frac{2y - (y_{\max} + y_{\min})}{y_{\max} - y_{\min}} \quad (4)$$

Показник ступеня n можна обчислити, задавши вимірюваному значенню y відповідне значення бажаності, переважно в інтервалі $0,6 < d' < 0,9$ за формулою:

$$n = \frac{\ln\left(\ln \frac{1}{d'}\right)}{\ln\left|y'\right|} \quad (5)$$

Для односторонніх обмежень виду $y \leq y_{\max}$ або $y \geq y_{\min}$ більш зручною формою перетворення y в d служить інша експоненціальна залежність:

$$d = \exp\left[-\exp(-y')\right] \quad (6)$$

де d - часткова функція бажаності, а y' обчислюється за формулою:

$$y' = b_0 + b_1 y \quad (7)$$

Коефіцієнти b_0 і b_1 можна визначити, якщо задати для двох значень y відповідні значення бажаності, переважно в інтервалі $0,2 < d < 0,8$.

Маючи кілька критеріїв, перетворених в шкалу бажаності d , можна ввести узагальнений показник якості процесу D , як згортку часткових функцій бажаності. У термінах цієї шкали можна сконструювати середню геометричну згортку:

$$D_G = \prod_{1 \leq i \leq q} d_i^{\alpha_i} = \exp\left[-\sum_{i=1}^q \alpha_i \exp(-y'_i)\right], \quad (8)$$

де i - число аналізованих параметрів;

α_i - вагові коефіцієнти, які вказують на значимість часткових критеріїв:

$$0 \leq \alpha_i \leq 1, \sum_{i=1}^q \alpha_i = 1.$$

Для α_i пропонується скористатися методом часткових статистик [10, 11]. Даний метод дозволяє отримати значення вагових коефіцієнтів на основі статистики по частковим критеріям y_i . Для цього розраховуються оцінки середнього квадратичного відхилення по кожному критерію

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{n-1}}. \quad (9)$$

Для обчислення α_i використовується співвідношення

$$\alpha_i = \frac{s_j}{\sum_{j=1}^q s_j}. \quad (10)$$

Число аналізованих параметрів систем або об'єктів, які підлягають оцінці та порівнянню шляхом використання функції бажаності, може бути неоднаковим. Це дозволяє порівнювати узагальнені коефіцієнти навіть тоді, коли відсутні частина параметрів або їх значення. Корінь n -го ступеню «згладжує» виникаючі відхилення, а отриманий результат дозволяє оцінювати об'єкт (систему) досить точно. При цьому, якщо який-небудь один відгук є абсолютно незадовільним, узагальнена функція бажаності D повинна дорівнювати нулю, незалежно від значення інших відгуків.

В даній роботі на прикладі швидкодіючого вимикача постійного струму типу ВАБ-43 було виконано оцінку технічного стану шляхом використання функції бажаності. Зроблено припущення, що залежність між контрольованим параметром та відповідною йому частковою функцією бажаності лінійна. Тобто, гранично допустимому значенню параметра відповідає найменший рівень бажаності, а найкращому значенню параметра – найбільше значення бажаності d . Види контрольованих параметрів та межі їх припустимих значень визначено згідно з [12]. При цьому одностороннє обмеження мають наступні контрольовані параметри:

- площа прилягання головних контактів – не менше 70%;
- площа прилягання якоря до магнітопроводу – не менше 70%;
- комутаційний ресурс в залежності від кількості відключень – не більше 80 циклів;
- комутаційний ресурс в залежності від сумарного відключеного струму – не більше 1000 кА.

Двостороннє обмеження накладається на такі контрольовані параметри:

- натискання головних контактів – $25 \leq y \leq 45$ кгс;
- натискання дугогасних контактів – $5 \leq y \leq 20$ кгс;
- провал головного контакту ($\delta 1$) – $0,5 \leq y \leq 3,0$ мм;
- провал дугогасного контакту ($\delta 2$) – $1,0 \leq y \leq 3,5$ мм;
- зазор між дугогасним контактом і рогом ($\delta 6$) у передввімкненому положенні – $2,0 \leq y \leq 5,0$ мм;
- зазор між головними контактами ($\delta 7$) – $12 \leq y \leq 26$ мм;
- зазор між рухомим контактом та упором ($\delta 8$) – $1,0 \leq y \leq 4,0$ мм;
- сумарний зазор між шийками осі і торцями пазів у важелі якоря ($\delta 3$) – $1,0 \leq y \leq 8,0$ мм;
- вільний хід тяги блок-контактів ($\delta 10$) – $1,5 \leq y \leq 2,5$ мм;
- натяг вимикаючих пружин – $30 \leq y \leq 50$ кгс;
- довжина вимикаючих пружин у ввімкненому положенні вимикача – $195 \leq y \leq 205$ мм.

Для односторонніх обмежень до контрольованих параметрів виду $y \leq y_{\max}$, $y \geq y_{\min}$ перетворення значень контрольованих параметрів y в часткові бажаності d виконувалося за виразом (6). Для визначення коефіцієнтів b_0 і b_1 , які входять до виразу (7), з врахуванням лінійної залежності між y та d було встановлено наступні співвідношення: гранично допустимому значенню контрольованого параметра згідно з [12] відповідає рівень бажаності, рівний 0,37 (“погано”), а найкращому – найбільше значення бажаності 0,8 (“дуже добре”) (табл. 2).

Таблиця 2 - Базові значення функцій бажаності і відповідні значення контрольованих параметрів

Вид контрольованого параметра	Значення контрольованого параметра	Значення часткової функції бажаності	Бажаність значення параметра
Комутаційний ресурс в залежності від кількості відключень y_1 , шт.	0	0,8	добре
	80	0,37	погано
Комутаційний ресурс в залежності від сумарного відключеного струму y_2 , кА	0	0,8	добре
	1000	0,37	погано
Площа прилягання головних контактів y_3 , %	100	0,8	добре
	70	0,37	погано
Площа прилягання якоря до магнітопроводу y_4 , %	100	0,8	добре
	70	0,37	погано

Відповідно до (6) маємо:

$$0.8 = \exp[-\exp(-y')], \text{ звідси } y' = 1.5;$$

$$0.37 = \exp[-\exp(-y')], \text{ звідси } y' = 0.0058.$$

Система рівнянь, що визначає коефіцієнти b_0 і b_1 для площі прилягання головних контактів y_3 , має вигляд:

$$\begin{cases} b_0 + 100 \cdot b_1 = 1.5, \\ b_0 + 70 \cdot b_1 = 0.0058. \end{cases}$$

В результаті розв'язання даної системи отримаємо $b_0 = -3.481$, $b_1 = 0.05$. Аналогічно за даними табл. 2 визначено коефіцієнти b_0 і b_1 для комутаційного ресурсу в залежності від кількості відключень y_1 , від сумарного відключеного струму y_2 та для площі прилягання якоря до магнітопроводу y_4 .

В результаті отримано залежності часткових функцій бажаності від нормативних значень контрольованих параметрів вимикача:

$$d_1 = \exp[-\exp(-1.5 + 0.0187 \cdot y_1)], \quad (11)$$

$$d_2 = \exp[-\exp(-1.5 + 0.0015 \cdot y_2)], \quad (12)$$

$$d_3 = \exp[-\exp(3.481 - 0.05 \cdot y_3)], \quad (13)$$

$$d_4 = \exp[-\exp(-1.5 + 0.0187 \cdot y_4)]. \quad (14)$$

При наявності двосторонніх обмежень для контрольованих параметрів виду $y_{\min} \leq y \leq y_{\max}$ перетворення значень контрольованих параметрів y в часткові бажаності d виконувалося за виразом (3). Для визначення показника ступеню n , який входить до виразу (3), з врахуванням лінійної залежності між значенням контрольованого параметра та значенням часткової функції бажаності встановлені наступні співвідношення: гранично допустимому значенню контрольованого параметра (y_{\max} , y_{\min}) надається значення бажаності, рівне 0,37, а найкращому – 0,8 (табл. 3).

Таблиця 3 - Базові значення функцій бажаності і відповідні значення контрольованих параметрів

Вид контрольованого параметра	Значення контрольованого параметра	Значення часткової функції бажаності	Бажаність значення параметра
Натискання головних контактів y_5 , кгс	35	0,8	добре
	25	0,37	погано
Натискання дугогасних контактів y_6 , кгс	12,5	0,8	добре
	5	0,37	погано
Провал головного контакту ($\delta 1$) y_7 , мм	1,75	0,8	добре
	0,5	0,37	погано
Провал дугогасного контакту ($\delta 2$) y_8 , мм	2,25	0,8	добре
	1,0	0,37	погано
Зазор між дугогасним контактом і рогом ($\delta 6$) y_9 у передввімкненому положенні, мм	3,5	0,8	добре
	2	0,37	погано
Зазор між головними контактами ($\delta 7$) y_{10} , мм	19	0,8	добре
	12	0,37	погано
Зазор між рухомим контактом та упором ($\delta 8$) y_{11} , мм	2,5	0,8	добре
	1	0,37	погано
Сумарний зазор між шийками осі і торцями пазів у важелі якоря ($\delta 3$) y_{12} , мм	4,5	0,8	добре
	1	0,37	погано
Вільний хід тяги блок-контактів ($\delta 10$) y_{13} , мм	2	0,8	добре
	2,5	0,37	погано
Натяг вимикаючих пружин y_{14} , кгс	40	0,8	добре
	10	0,37	погано
Довжина вимикаючих пружин у ввімкненому положенні вимикача y_{15} , мм	200	0,8	добре
	195	0,37	погано

Визначимо коефіцієнт n для натискання головних контактів y_5 за виразом (5), попередньо визначивши коефіцієнт y' за виразом (4):

$$y' = \frac{2 \cdot 34 - (45 + 25)}{45 - 25} = -0,1;$$

$$n = \frac{\ln[\ln(\frac{1}{0,8})]}{\ln|y'|} = 0,651.$$

Аналогічно за даними табл. 3 визначимо коефіцієнт n для натискання головних контактів y_5 , натискання дугогасних контактів y_6 , провалу головного контакту ($\delta 1$) y_7 , провалу дугогасного контакту ($\delta 2$) y_8 , зазору між дугогасним контактом і рогом ($\delta 6$) y_9 у передввімкненому положенні, зазору між головними контактами ($\delta 7$) y_{10} , зазору між рухомих контактом та упором ($\delta 8$) y_{11} , сумарного зазору між шийками осі і торцями пазів у важелі якоря ($\delta 3$) y_{12} , вільного ходу тяги блок-контактів ($\delta 10$) y_{13} , натягу вимикаючих пружин y_{14} , довжини вимикаючих пружин у ввімкненому положенні вимикача y_{15} .

В результаті отримано залежності часткових функцій бажаності від нормативних значень контрольованих параметрів вимикача:

$$d_5 = \exp[-\exp(y'_5)^{0,651}] \quad (15)$$

$$d_6 = \exp[-\exp(y'_6)^{0,932}] \quad (16)$$

$$d_7 = \exp[-\exp(y'_7)^{0,707}] \quad (17)$$

$$d_8 = \exp[-\exp(y'_8)^{0,707}] \quad (18)$$

$$d_9 = \exp[-\exp(y'_9)^{0,554}] \quad (19)$$

$$d_{10} = \exp[-\exp(y'_{10})^{0,771}] \quad (20)$$

$$d_{11} = \exp[-\exp(y'_{11})^{0,554}] \quad (21)$$

$$d_{12} = \exp[-\exp(y'_{12})^{0,422}] \quad (22)$$

$$d_{13} = \exp[-\exp(y'_{13})^{0,932}] \quad (23)$$

$$d_{14} = \exp[-\exp(y'_{14})^{0,651}] \quad (24)$$

$$d_{15} = \exp[-\exp(y'_{15})^{0,932}] \quad (25)$$

Значення контрольованих параметрів шести вимикачів, отримані в результаті міжремонтних випробувань, приведені в табл. 4. За виразами (11-25) ці значення перераховані в часткові функції бажаності d (табл. 5). За формулами (9-10) розраховані вагові коефіцієнти α для кожного з критеріїв, з урахуванням яких за формулою (8) обчислено узагальнену функцію бажаності D .

Таблиця 4 - Значення контрольованих параметрів вимикачів типу ВАБ-43

	Номер досліджуваного вимикача					
	1	2	3	4	5	6
y_1	40	45	48	50	46	46
y_2	450	400	500	612	587	400
y_3	83	80	90	73	78	73
y_4	85	82	89	74	78	82
y_5	30	32	33	26	32	23
y_6	15	16	14	18	17	4
y_7	1,4	1,3	2	2,8	2,4	3,2
y_8	2,8	2,7	2,4	1,3	3,6	1
y_9	3,2	3	3,4	2,4	4,1	2,2

Продовження таблиці 4

	Номер досліджуваного вимикача					
	1	2	3	4	5	6
y_{10}	22,8	23	20	11,2	15,8	12
y_{11}	1,9	2	2,4	0,9	1,5	4,2
y_{12}	5,5	3,6	4,8	1,5	5,5	7,9
y_{13}	2,3	2,2	2,1	1,5	2,2	1,6
y_{14}	36	35	38	32	34	49
y_{15}	197	196	198	195	196	206

Таблиця 5 - Функції бажаності

	Номер досліджуваного вимикача						Значення вагового коеф. α
	1	2	3	4	5	6	
d_1	0,624	0,596	0,578	0,566	0,59	0,59	0,01
d_2	0,645	0,666	0,624	0,572	0,584	0,666	0,022
d_3	0,599	0,551	0,697	0,43	0,518	0,43	0,055
d_4	0,629	0,584	0,684	0,448	0,518	0,584	0,044
d_5	0,529	0,634	0,704	0,393	0,634	0,331	0,079
d_6	0,698	0,612	0,8	0,473	0,537	0,325	0,089
d_7	0,666	0,615	0,726	0,413	0,533	0,329	0,081
d_8	0,572	0,615	0,8	0,439	0,348	0,37	0,091
d_9	0,664	0,58	0,8	0,431	0,548	0,397	0,079
d_{10}	0,536	0,522	0,8	0,337	0,579	0,37	0,088
d_{11}	0,548	0,58	0,8	0,355	0,45	0,342	0,091
d_{12}	0,555	0,569	0,701	0,392	0,555	0,372	0,065
d_{13}	0,537	0,653	0,8	0,368	0,653	0,444	0,084
d_{14}	0,577	0,529	0,704	0,421	0,488	0,4	0,059
d_{15}	0,537	0,444	0,653	0,368	0,444	0,32	0,064
D	0,585	0,579	0,746	0,405	0,517	0,369	
	задов.	задов.	добре	задов.	задов.	погано	

Проаналізуємо результати розрахунку на прикладі швидкодіючого вимикача №6. Значення функції D для даного вимикача дорівнює 0,369, а згідно з табл. 1 дане значення відповідає рівню бажаності “погано”, що, в свою чергу, свідчить про незадовільний технічний стан вимикача. Для визначення причин необхідно проаналізувати часткові функції бажаності контрольованих параметрів даного вимикача. З табл. 5 чітко видно, що значення d_5 , d_6 , d_7 , d_{11} та d_{15} відповідають рівню бажаності “погано”, а це означає, що значення контрольованих параметрів “натискання головних контактів”, “натискання дугогасних контактів”, “провал головного контакту”, “зазор між рухомим контактом та упором” та “довжина вимикаючих пружин у ввімкненому положенні вимикача” знаходяться за межами, встановленими в [12]. Тому рекомендується для вимикача №6 проведення профілактичних робіт з метою усунення дефектів. Дана методика аналізу функції D застосовується і для інших п’яти вимикачів.

Отримане значення узагальноної функції бажаності D являється комплексною оцінкою технічного стану електроустаткування і визначає наступні задачі технічного обслуговування: коригування та оптимізація термінів та обсягів ТО і Р, визначення та безперервна діагностика найбільш критичних за результатами розрахунку часткових функцій бажаності елементів. В залежності від значення узагальноної функції бажаності D пропонуються наступні стратегії ТО і Р:

- для $D \leq 0,37$ – обладнання знаходиться у передаварійному стані. Проводиться безперервне діагностування усіх елементів електроустаткування. При досягненні ними граничного стану проводиться попереджувальний ремонт устаткування. Для забезпечення задовільного технічного стану необхідне покращення контрольованих параметрів та розробка рекомендацій по управлінню якістю утримання обладнання на підставі обслуговування та ремонту за поточним технічним станом. В подальшому при

повторюванні даного результату є сенс розглядати питання про заміну окремих елементів або обладнання в цілому;

- для $0,37 \leq D \leq 0,63$ – обладнання знаходиться у задовільному стані. Питання про призначення термінів ТО і Р вирішується на основі періодичного діагностування за планом, який включається в календарні графіки. Проводиться аналіз часткових функцій бажаності з метою визначення “слабших” показників, по відношенню до яких проводиться безперервне діагностування в процесі експлуатації;

- для $D \geq 0,63$ – обладнання знаходиться на даний момент у гарному стані. В ремонтний цикл, як основну операцію технічного обслуговування, необхідно включити графік контролю технічного стану електрообладнання. На підставі діагностування міжремонтний період кожної одиниці електрообладнання коригується залежно від його фактичного технічного стану.

Як зазначалося вище, діагностування електрообладнання тягових підстанцій пов’язане з отриманням і подальшою обробкою великого об’єму інформації шляхом проведення вимірювань різними діагностичними методами, які за інформативністю і достовірністю різняться між собою. Аналіз результатів вимірювання ряду параметрів обладнання пов’язаний з використанням великої кількості обчислювальних ресурсів, а процес математичної обробки діагностичної інформації є досить складним і об’ємним. Цей процес вимагає значних затрат часу та матеріальних ресурсів. Тому одним із способів підвищення якості діагностування електрообладнання є розробка діагностичного комплексу, який дав би змогу з необхідною точністю і з мінімальними затратами ресурсів визначити технічний стан обладнання. Даний комплекс повинен виконувати наступні задачі:

- оцінка технічного стану електрообладнання перед та після проведення різних видів робіт обслуговуючого характеру;
- поточна оцінка технічного стану електрообладнання в процесі його експлуатації в режимі реального часу.

При вирішенні першого виду задач виконується невелика кількість вимірювань основних діагностичних параметрів електрообладнання під час проведення регламентованих робіт. За результатами даних вимірювань робиться висновок про працездатність обладнання і надаються рекомендації по його подальшій експлуатації.

При вирішенні задач другого виду відбувається багаторазове отримання інформації про стан обладнання під час його експлуатації. При цьому характер і розмірність даних параметрів різняться між собою (для порівняння, різке підвищення температури одного з елементів електрообладнання та поява аномального шуму під час роботи устаткування).

Одним із шляхів зниження об’єму та уніфікації діагностичної інформації, яка вводиться в комплекс, і, відповідно, підвищення швидкодії системи є використання узагальненого діагностичного показника якості. В ролі такого показника використовується узагальнена функція бажаності D . Показник якості спрощує процес обробки великого об’єму діагностичних даних та надає диференційовану оцінку технічного стану обладнання, яка не залежить від способу діагностики.

Висновки

Застосування функції бажаності Харінгтона є доцільним для комплексної оцінки якості ТО і Р обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць, про що свідчить дєвість розрахунків, продемонстрованих на прикладі швидкодіючого вимикача постійного струму ВАБ-43. Дана методика розрахунку узагальненого критерію може бути використана для оцінки технічного стану різних типів електрообладнання тягових підстанцій, незалежно від кількості та виду контрольованих параметрів. Можливість багаторівневого застосування функції бажаності Харінгтона та гнучкість запропонованого інструменту дозволяє забезпечити виконання розрахунків комплексної оцінки якості шляхом порівняння різних за характеристиками параметрів, що підтверджує простоту застосування та реальну практичну корисність. Стосовно автоматизації процесу діагностування запропонована методика розрахунку узагальненої функції бажаності D може служити основою нового методу обробки діагностичної інформації.

Аналіз узагальненої функції бажаності D дає змогу будувати оптимальну стратегію ТО і Р, базуючись на фактичному технічному стані електроустаткування, що дозволить зменшити матеріальні та фінансові витрати на проведення технічного обслуговування і ремонту обладнання у порівнянні з системою планово-переджувальних ремонтів. Розглянутий підхід представляє науковий і практичний інтерес для оцінки і вдосконалення процесів в складних технічних системах, до яких можна віднести систему ТО і Р обладнання тягових підстанцій.

Список літератури

1. Матусевич, О.О. Дослідження експлуатації силового обладнання системи тягового електропостачання залізниць / О.О. Матусевич, Д. В. Міронов // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2015. - № 1 (55). – С. 62-77.

2. Міронов, Д. В. Удосконалення технічного обслуговування обладнання тягових мереж на основі процесного підходу / Д. В. Міронов // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2014. – № 6(54). – С. 78-86.
3. Harrington E. C. The desirability function. *Industrial Quality Control*, 1965, no. 21(10), p. 124.
4. Жарков, Ю. Системи управління якістю: моніторинг роботи органів з оцінки відповідності з використанням методу Харінгтона / Ю. Жарков, О. Цициліано // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – №1. – С.24-27.
5. Жарков, Ю. Оптимізація критеріїв роботи органів з оцінки відповідності з використанням методу Харінгтона / Ю. Жарков, О. Цициліано // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2004. – №4. – С.36-38.
6. Ахназарова, С. Л. Использование функции желательности Харрингтона при решении оптимизационных задач химической технологии / С. Л. Ахназарова, Л. С. Гордеев. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. – 76 с.
7. Пичкалев, А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств / А. В. Пичкалев // Исследования наукограда. – 2012. – №1 (1). – С. 25-28.
8. Федулова, І. Підходи до оцінки рівня готовності підприємства щодо інноваційного розвитку / І. Федулова // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2011. – № 124/125. – С. 36-40.
9. Чайка, Т. Ю. Проблемы формирования интегрального показателя конкурентоспособности товаров (услуг) / Т. Ю. Чайка // БізнесІнформ. – 2014. – №8. – С. 198 – 204.
10. Ахназарова, С. Л. Статистические методы обработки и планирования экспериментов / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1972. – 65 с.
11. Анохин, А. М. Методы определения коэффициентов важности критериев / А. М. Анохин, В. А. Глотов, В. В. Павельев, А. М. Черкашин // Автоматика и телемеханика. – 1977. – № 8. – С. 3-35.
12. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць. – К. : ТОВ «Інпрес», 2008. – 125 с.

D. V. Mironov

**Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan
IMPROVEMENT THE SYSTEM OF MAINTENANCE SERVICE AND REPAIR FOR TRACTION
SUBSTATIONS EQUIPMENT USING THE GENERALIZED CRITERIA**

It is difficult to compare with each other the data obtained in the process of diagnosing technical condition of power equipment, and they do not always meet the conditions that would reasonably be applied to the analysis of statistical methods for evaluating operational performance. The complexity of setting conclusion is that on certain technical indicators parameters of the equipment or the date subjective assessment of his condition is almost impossible. You must define generalized characteristics of power equipment operation and make their multivariate analysis. To solve this problem consider applying Harrington desirable function for evaluate the technical condition of equipment traction substations taking into account the diversity process. The generalized quality criterion of diagnosing object for high-speed DC circuit breaker VAB-43 was calculate.

The method of estimation the technical condition of the equipment traction substations was propose. It involves the use of modern methods of diagnostics and quality control and to create a quality management system for diagnosis process, which increases the effectiveness of the existing system of maintenance service and repair for electrical equipment. Using generalized quality criterion of diagnosing object can serve as basis for a new method of processing the diagnostic information.

Keywords: traction substation, diagnostics, maintenance service, Harrington desirability function, multivariate analysis, strategy of maintenance service and repair.

References

1. Matusевич О. О., Mironov D. V. Doslidzhennya ekspluatatsiyi sylovoho obladdannya systemy tyahovoho elektropostachannya zaliznyts' [Study of the manual power equipment of traction electrification system of the railways]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnohj transport imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2015, issue 1 (55), pp. 62-77.
2. Mironov D. V. Udoskonalennya tekhnichnoho obsluhovuvannya obladdannya tyahovykh merezh na osnovi protsesnoho pidkhodu [The improvement of maintenance service for traction networks equipment on the base of process approach]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnohj transport imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2014, issue 6 (54), pp. 78-86.
3. Harrington E. C. The desirability function. *Industrial Quality Control*, 1965, no. 21(10), p. 124.
4. Zharkov Yu., Tsytsyliano O. Systemy upravlinnya yakystyu: monitorynh roboty orhaniv z otsinky vidpovidnostiz vykorystannyammetodu Kharinhhtona [Quality management systems: monitoring of of conformity

assessment authorities using the Harrington method]. *Standartyzatsiya, sertyfikatsiya, yakist'*. – *Standardisation, certification, quality*, 2005, no. 1, pp. 24-27.

5. Zharkov Yu., Tsytsyliano O. Optymizatsiya kryteriyiv roboty orhaniv z otsinky vidpovidnosti z vykorystanniammetodu Kharinhona [Optimization the works criteria of conformity assessment authorities using the method Harrington]. *Standartyzatsiya, sertyfikatsiya, yakist'*. – *Standardisation, certification, quality*, 2004, no.4, pp. 36-38.

6. Akhnazarova S. L., Gordeev L. S. *Ispol'zovanie funktsii zhelatel'nosti Kharringtona pri reshenii optimizatsionnykh zadach khimicheskoy tekhnologii* [Using the desirability Harrington function in solving the optimization problems of chemical technology]. Moscow, RHTU Publ., 2003. 76 p.

7. Pichkalev A.V. Obobshchennaya funktsiya zhelatel'nosti Kharringtona dlya sravnitel'nogo analiza tekhnicheskikh sredstv [Generalized desirability function Harrington for the comparative analysis of technical means]. *Issledovaniya naukograda – Research of science city*, 2012, no. 1 (1), pp. 25-28.

8. Fedulova I. Pidkhody do otsinky rivnya hotovnosti pidpryemstva shchodo innovatsiynoho rozvytku [Approaches to the assessment of the readiness of enterprises for innovation development]. *Visnyk Kyivskoho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka* [Bulletin of Kyiv National University named after Taras Shevchenko], 2011, no. 124/125, pp. 36-40.

9. Chayka T. Yu. Problemy formirovaniya integral'nogo pokazatelya konkurentosposobnosti tovarov (uslug) [Problems the formation of the integral index of competitiveness the goods (services)]. *BiznesInform – BusinessInform*, 2014, no. 8, pp. 198 – 204.

10. Akhnazarova S. L., Kafarov V. V. *Statisticheskie metody obrabotki i planirovaniya eksperimentov* [Statistical methods of processing and design of experiments]. Moscow, MHTI Publ., 1972. 65 p.

11. Anokhin A. M., Glotov V. A., Pavel'ev V. V., Cherkashin A. M. Metody opredeleniya koeffitsientov vazhnosti kryteriev [Methods for determination of the coefficients of importance criteria]. *Avtomatika i telemekhanika – Automatics and telemekhanics*, 1977, no. 8, pp. 3-35.

12. *Instruktsiya z tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu obladdannya tyahovykh pidstantsiy, punktiv zhyvlennya i sektionuvannya elektryfikovanykh zaliznyts'* [Instructions for maintenance service and repair the equipment of traction substations, power and sectioning points of electrified railways]. Kyiv, Inpress Publ., 2008. 125 p.

УДК 621.331:621.311.4-047.38

Д. В. Миронов, ассистент кафедры Электроснабжение железных дорог,
Днепропетровский национальный университет
железнодорожного транспорта имени ак. В. Лазаряна

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТО И Р ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННЫХ КРИТЕРИЕВ

Данные, полученные в процессе диагностирования технического состояния силового оборудования, трудно сравнить между собой, и они не всегда удовлетворяют условиям, которые позволили бы обоснованно применить для их анализа статистические методы оценки эксплуатационных показателей. Сложность постановки вывода заключается в том, что по отдельным техническим показателям оборудования или параметрам работы дать субъективную оценку его состоянию практически невозможно. Необходимо определять обобщенные характеристики уровня эксплуатации силового оборудования и проводить их многофакторный анализ. Для решения этой задачи рассмотрена возможность применения функции желательности Харрингтона для оценки технического состояния оборудования тяговых подстанций с учетом многофакторности процесса. На примере быстродействующего выключателя постоянного тока ВАБ-43 проведен расчет обобщенного критерия качества объекта диагностирования.

Предложена методика оценки технического состояния оборудования тяговых подстанций, которая предусматривает использование современных методов диагностики и квалитетрии и позволяет создать систему управления качеством процесса диагностирования, повышает эффективность существующей системы ТО и Р электрооборудования. Использование обобщенного критерия качества объекта диагностирования может служить основой нового метода обработки диагностической информации.

Ключевые слова: тяговая подстанция, диагностирование, техническое обслуживание, функция желательности Харрингтона, многофакторный анализ, стратегия ТО и Р.

Надійшла 02.09.2015

Received 02.09.2015