

КУТІН ВАСИЛЬ

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2438-7065>e-mail: vmkytin@gmail.com**КУТІНА МАРИНА**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7185-6795>e-mail: mkytina@gmail.com**КОВАЛЬОВ АРТЕМ**

АТ «Вінницяобленерго»

<https://orcid.org/0000-0002-2212-7577>e-mail: kovallowartem@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВИБРАНОЇ СУКУПНОСТІ ДІАГНОСТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОНТРОЛЬОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Проведено дослідження зміни технічного стану електроустановок в процесі експлуатації. Показано, що можна виділити таку сукупність показників (параметри технічного стану конструктивних елементів або діагностичні) які можуть змінюватись в процесі експлуатації та суттєво впливати на роботу здатність об'єкта. Для виявлення пошкодження на ранній стадії його розвитку, застосовують методи та засоби, які забезпечують високий рівень чутливості до зміни технічного стану елемента. Для складних систем вартість таких засобів може перевищувати економічний ефект від діагностування, тому намагаються зменшити кількість контрольованих показників. В роботі запропоновано методика визначення впливу зміни технічного стану кожного параметра на роботу здатність об'єкта і інформаційне оцінювання вибраної сукупності показників.

Ключові слова: технічний стан, пошкодження, оцінка стану об'єкта.

KUTIN VASYL**KUTINA MARYNA****KOVALOV ARTEM**

Vinnytsia National Technical University

INFORMATIONAL ASSESSMENT OF A SELECTED SET OF DIAGNOSTIC INDICATORS OF A CONTROLLED OBJECT

A study of changes in the technical condition of electrical installations during operation has been conducted. It has been shown that it is possible to distinguish such a set of indicators (parameters of the technical condition of structural elements or diagnostic) that can change during operation and significantly affect the operability of the object. To detect damage at an early stage of its development, methods and means are used that provide a high level of sensitivity to changes in the technical condition of the element (object of diagnosis). For complex systems, the cost of such means may exceed the economic effect of diagnostics, therefore studies are being conducted to reduce the number of controlled indicators. In addition, a large number of indicators leads to the processing of significant amounts of information, which is not always justified. The paper proposes a methodology for determining the impact of changes in the technical condition of each parameter on the operability of the object and an informational assessment of the selected set of indicators.

It is shown that by assessing the amount of information carried by each indicator, it is possible to determine the probability of a correct assessment of the actual technical condition of the object, which can be obtained when performing the selected inspection. Determining the probability requires taking into account two factors: the weighting characteristic of each indicator and the technical characteristic of the object. Knowing the probability of a correct assessment of the actual condition of the object, it is possible to determine the degree of uncertainty of the object's condition, which remains when controlling a limited number of indicators. It is also possible to determine the information about the actual condition of the object, which we will obtain when performing an inspection or a set of inspections, and calculate it. The paper considers an example of information assessment.

Keywords: technical condition, damage, correct assessment of the condition of the object

Стаття надійшла до редакції / Received 28.05.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.06.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Для отримання найбільшого ефекту від використання електрообладнання під час його експлуатації здійснюють керуючі дії з часткового, або повного відновлення властивостей машини, або дії з попередження очікуваного погіршення. Вибір відновлювальних дій тісно пов'язаний зі зміною властивостей електрообладнання з часом, тобто погіршенням його технічного стану. Першопричиною зміни властивостей електрообладнання є деградація його елементів під руйнуючими діями експлуатаційних навантажень різної природи, що змінює його якісні показники — вихідні параметри, які повинні відповідати нормативно-технічній документації. При виготовленні електрообладнання кожен із параметрів виконує свою певну функцію і по-своєму важливий на етапі створення електрообладнання. Але якщо розглядати електрообладнання з позиції його технічного обслуговування та ремонту (ТОР), то підхід до значення параметрів інший. Є така група параметрів, яка хоч і змінюється в процесі експлуатації, однак практично не впливає на якість електрообладнання до його утилізації. В той час, коли можна виділити таку групу параметрів, які змінюються в процесі експлуатації і впливають на властивості електрообладнання безпосередньо або через інші елементи настільки, що доводиться вживати заходів з їх відновлення декілька

разів до повного морального або фізичного зносу електрообладнання. Це деградує параметри конструктивних елементів — їх називають параметрами технічного стану (ТС) конструктивних елементів або діагностичними параметрами, оскільки вони змінюються в процесі експлуатації і впливають на властивості електрообладнання. З другого боку для складних об'єктів кількість показників може бути значною. Для контролю кожного з них потрібно вибрати метод контролю та засіб цього реалізації. Для визначення пошкодження на ранній стадії його розвитку потрібно забезпечити високий рівень чутливості і реалізацію складного вимірювального кола, тому намагаються зменшити їх кількість [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним із найбільш розповсюджених методів вибору сукупності контрольованих показників є дослідження їх впливу на технічний стан об'єкта [3,4]. Наприклад, розглянемо процедуру вибору контрольованих показників для об'єкта, діагностична модель якого подана характеристичним рівнянням

$$F(x, \bar{\lambda}) = x^n + a_{n-1}(\lambda_{n-1}) \cdot x^{n-1} + \dots + a_1(\lambda_1)x + a_0(\lambda_0) = 0, \quad (1)$$

де $\lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{n-1})$ — n -вимірний вектор показників.

Для упорядкування показників можна використати вектор відносних чутливостей $T_{\lambda p} = (t_{1p}, t_{2p}, \dots, t_{np})$. Його компоненти для простих векторів визначаються як

$$t_{kp} = \left| \frac{1}{R_0 x_k^0} \cdot \frac{\partial F / \partial \lambda_p}{\partial F / \partial x_k} \cdot (x_k^0, \lambda_0) \right| \quad (k = 1 \dots n). \quad (2)$$

Упорядкування показників здійснюється за формулою норми векторів

$$|T_{\lambda p}| = \sqrt{\sum_{i=1}^n t_{ip}^2}. \quad (3)$$

При цьому вважається, що $\lambda_p \geq \lambda_m$, якщо $T_{\lambda p} \geq T_{\lambda m}$.

Здійснивши повне упорядкування показників можна вибрати сукупність контрольованих показників.

При оцінці роботоздатності об'єкта за його характеристиками або параметрами для вибору сукупності контрольованих показників можуть бути використані значення їх чутливостей до змін, які відбуваються в стані виробу.

Мета роботи. Визначення інформативності вибраної сукупності контрольованих показників для визначення технічного стану об'єкта.

Виклад основного матеріалу

Відомо, що в загальному вигляді інформація визначається як відомості про фізичну систему, яка може бути об'єктом передачі, перетворення або пам'яті сигналу. Перед початком діагностування існує повна невизначеність про технічний стан об'єкта. Перевірка кожного показника зменшує ступінь невизначеності і дає певну інформацію про стан об'єкта. Оцінивши об'єм інформації, яку дає кожний показник, можна визначити ймовірність $P(v)$ правильної оцінки дійсного стану об'єкта, яка досягається при здійсненні вибраної категорії перевірок. При визначенні $P(v)$ враховують два фактори: вагу кожного показника в оцінці ТС (надають найбільшу вагу тому показнику, який найсуттєвіше впливає на роботоздатність об'єкта або навпаки, який є найбільш чутливим до змін, що відбуваються в об'єкті); технічну реалізацію об'єкта, тобто тип елементів, із яких складається об'єкт, та спосіб їх з'єднання. В останньому випадку кожен об'єкт може характеризуватись ймовірністю безвідмовної роботи P_i елементів вузлів, що визначають формування показників. Ймовірність можна визначити як [4]

$$P(v) = \frac{\sum_{i=1}^m k_i S_i z_i}{\sum_{i=1}^n k_i S_i z_i}, \quad (4)$$

де m, n — відповідно, кількість контрольованих показників та загальна кількість показників, які характеризують роботоздатність об'єкта; $k_i = \frac{1}{P_i}$ — коефіцієнт, який враховує безвідмовність при технічній реалізації i -го показника; S_i — чутливість i -го показника; z — індекс i -го показника.

Знаючи $P(v)$ можна визначити міру невизначеності $H(\alpha)$ стану об'єкта, яка залишається при контролі обмеженої сукупності показників, що характеризують технічний стан. Можна також визначити інформацію $I(\alpha_i, \alpha)$ про дійсний стан об'єкта, яку ми отримаємо при здійсненні перевірки або сукупності перевірок та розрахувати її як середнє значення випадкової величини. Наприклад, перед початком оцінювання роботоздатності об'єкт характеризується невизначеністю (ентропією)

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i = \log_2 n, \dots \dots \dots (5)$$

де n — загальна кількість показників, що визначають технічний стан об'єкта.

Використання m показників несе інформацію

$$I(m) = H - H(m), \dots \dots \dots (6)$$

де $H(m) = P(v) \cdot \log_2 P(v) + (1 - P(v)) \cdot \log_2 (1 - P(v))$ — умовна ентропія після здійснення перевірки.

Рекомендується використовувати таку сукупність показників, яка має $P(v) > 0,5$.

Приклад. Діагностична модель об'єкта подана передатною функцією вигляду, типу

$$W(g) = \frac{10}{[0.01(g+2+9.8j)(g+2-9.8j)(g+5)(g+9)]},$$

де корені характеристичного рівняння: $g_1 = -2 - 9.8j$; $g_2 = -2 + 9.8j$; $g_3 = -5$; $g_4 = -9$; ($i = 1, 2, 3, 4$).

Потрібно вибрати сукупність контрольованих показників для оцінювання роботоздатності об'єкта. Визначимо відносну чутливість передатної функції до коренів g_i характеристичного рівняння за формулою

$$S(g_i) = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln g_i} = |S(g_i)|e^{j\phi_i}.$$

Підставивши величини коренів, отримаємо: $|S(g_1)| = 1.11$; $|S(g_2)| = 0.915$; $|S(g_3)| = 0.98$; $|S(g_4)| = 0.249$.

Визначимо ймовірність правильної оцінки стану об'єкта при контролюванні положення кожного кореня g_i :

$$P(g_i) = \frac{Sg_i}{\sum_{i=1}^4 Sg_i}; P(g_1) = 0.278; P(g_2) = 0.228; P(g_3) = 0.245; P(g_4) = 0.249.$$

Розрахуємо невизначеність H та кількість інформації, яку можна отримати у випадку контролю положення кожного g_i

$$I(g_1, g) = \log_2 n - [P(g_1) \log P(g_1) + (1 - P(g_1)) \log_2 (1 - P(g_1))] = 0.585.$$

Аналогічно:

$$I(g_2, g) = 0.510; I(g_3, g) = 0.5; I(g_4, g) = 0.49.$$

Відкинемо два найменш інформативні корені й спростимо діагностичну модель завдяки зниженню степеня характеристичного рівняння, тобто

$$W'(g) = \frac{k}{0.012(g-g_1)(g-g_2)} = \frac{k}{T^2 g^2 + 2\xi T g + 1};$$

де $T = 0.1$; $\xi = 0.2$; $k = 10$.

Знайдемо втрату інформації за рахунок відсутності контролю положення коренів g_3 і g_4 .

$$P(g_{34}) = P(g_3) + P(g_4) = 0.494;$$

$$I(g_3, g_4) = P(g_{34}) \cdot \log_2 P(g_{34}) + (1 - P(g_{34})) \cdot \log_2 (1 - P(g_{34})) = 0.505.$$

Визначимо чутливість коренів g_i спрощеної моделі об'єкта до зміни параметрів, які передбачаються до контролю: $\mathbf{d}(\mathbf{p}) = \mathbf{k}; T, \xi$

$$t_{kg} = \left| \frac{1}{\text{Re} g_k^{(0)}} \frac{\partial W / \partial \alpha_p}{\partial W / \partial g_k} \left(g_k^{(0)}, d_{(p)}^{(0)} \right) \right|,$$

$$t_{kg1} = t_{kg2} = 0.76; t_{Tg1} = t_{Tg2} = 165.8; t_{\xi g1} = t_{\xi g2} = 5.01.$$

Якщо відома ймовірність відмови, що враховує технічну реалізацію об'єкта: $p_k = 0.99$; $p_T = 0.95$; $p_\xi = 0.9$, то величини коефіцієнтів

$$k_k = 1/0.99 = 1.01; k_T = 1/0.95 = 1.05; k_\xi = 1/0.9 = 1.11.$$

Знайдемо величини ймовірностей правильної оцінки роботоздатності об'єкта при контролі кожного показника, при цьому як S_i будемо підставляти величини норми векторів $T(t_{kg1}, t_{kg2})$, тоді отримаємо:

$$P(k) = 0.761/180.823 = 0.0042; P(T) = 174.589/180.823 = 0.965; P(\xi) = 5.567/180.823 = 0.0308.$$

Оскільки $P(k)$ і $P(\xi)$ менше 0,5, то для оцінювання стану об'єкта необхідно використовувати не один показник, а їх сукупність.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропоновано метод ранжування показників по ступеню їх впливу на зміну технічного стану об'єкта і метод оцінювання їх інформативності при обмеженні їх кількості.

Література

1. Вибір діагностичних параметрів на основі топографічної моделі об'єкта /В.М. Кутін, М.в. Кутіна, М.О.Ілюхін //Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського.-2008. – Вип.4 (51), ч 2. –С 70-73.
- 2.Вибір сукупності діагностичних показників для оцінки працездатності ізоляції відносно землі мережі 6- 35 кВ. /В.М. Кутін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету .- 2006.- Вип. 3, ч.1. –С. 48 -49.
3. Романюк М.І. Теорія інформації та кодування. Підручник.– К.,Вища школа, 2001, -255с.
4. Приходько С.І.Основи теорії інформації та кодування:навч. посібник /С.І. Приходько, К.А. Трубочінова,О.П. Батаєв – Харків, Укр ДУЗТ, - 2017. – 111 С.

References

1. Vybir diahnostychnykh parametriv na osnovi topohrafichnoi modeli obiektu /V.M. Kutin, M.v. Kutina, M.O.Iliukhin //Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu im. Mykhaila Ostrohradskoho.-2008. – Vyp.4 (51), ch 2. –S 70-73.
- 2.Vybir sukupnosti diahnostychnykh pokaznykiv dlia otsinky praitsezdatsnosti izoliatsii vilnosno zemli merezhi 6- 35 kV. /V.M. Kutin // Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu .- 2006.- Vyp. 3, ch.1. –S. 48 -49.
3. Romaniuk M.I. Teoriia informatsii ta koduvannia. Pidruchnyk.– K.,Vyshcha shkola, 2001, -255s.
4. Prykhodko S.I.Osnovy teorii informatsii ta koduvannia:navch. posibnyk /S.I. Prykhodko, K.A. Trubchynova,O.P. Bataiev – Kharkiv, Ukr DUZT, - 2017. – 111 S.