

тепловой защиты, которые могут быть применены при разработке современных систем диагностики состояния электропривода.

**Ключевые слова:** электропривод, система диагностирования, тепловая модель, токовая защита, перегрузочная характеристика электродвигателя, алгоритмы защиты.

Надійшла 28.05.2019

Received 28.05.2019

УДК 621.331:621.311.4:621.3

**В. М. Кутін** д-р техн. наук, професор  
**Є. А. Бондаренко** д-р техн. наук, доцент  
**М. В. Кутіна** канд. техн. наук, доцент  
Вінницький національний технічний університет

## МЕТОД РИЗИК-АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

В статті запропоновано метод ризик-аналізу для прогнозування технічного стану електрообладнання трансформаторних підстанцій. Розглянуто функціональну стратегію ризик менеджменту для подальшого вдосконалення експлуатації електрообладнання шляхом підвищення якості і ефективності системи технічного обслуговування і ремонту на основі виявлення областей ризику та їх оцінювання, запобігання виникнення небажаних наслідків шляхом прогнозування та оцінювання технічного стану електрообладнання для прийняття рішень.

**Ключові слова:** силове електрообладнання, технічна експлуатація, менеджмент, діагностика, ризик-аналіз

**Вступ.** Існуюча система технічного обслуговування і ремонту (СТОП) трансформаторних підстанцій складається з моніторингу технічного стану (ТС) електрообладнання, аналізу отриманих результатів ТС, проведення ремонтів - відновлення ресурсу електрообладнання, оцінювання матеріальних і фінансових витрат [1, 2, 3].

Найбільш поширеною формою проведення технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) є комплексний метод виконання робіт [2]. Цей метод базується на принципі сумісництва виконання робіт за місцем і часом, що дозволяє зменшити витрати часу на підготовчі заключні операції, переходи, переїзди, ефективніше використовувати засоби механізації, підвищити рівень керівництва роботами, їх виконання.

Для керування технічним станом роботи групуються в комплекси, які відрізняються за періодичністю і номенклатурою. У загальному випадку [4] елемент трансформаторної підстанції (ТП) відмовить і буде відновлений до моменту попереджувального відновлення з ймовірністю

$$Q(T_p) = \int_{T_{\min}}^{T_p} f(T) dT, \quad (1)$$

де  $f(T)$  – щільність розподілу напрацювання на відмову;  $T_{\min}$  – мінімальний час напрацювання на відмову.

Середнє напрацювання на відмову за умови, що воно виникло до  $T$  визначають як

$$T' = \int_{T_{\min}}^{T_p} T \cdot f(T) dT / Q(T_p). \quad (2)$$

Середній використаний ресурс елемента ТП  $\bar{R}$  з урахуванням відновлення через відмови і попереджувальної заміни через напрацювання  $T_p$

$$\bar{R} = \int_{T_{\min}}^{T_p} T \cdot f(T) dT + T_p (1 - Q(T_p)). \quad (3)$$

Якщо відсутні попередні втрати пов'язані з попереджувальним відновленням елемента, питомі витрати

$$C_{II} = \frac{(C_0 - C_p) Q(T_p) + C_p}{\bar{R}}, \quad (4)$$

де  $C_0$  – рівень втрат від відмови елемента;  $C_p$  – втрати пов'язані з попереджувальним відновленням елемента.

Із виразів (2-4) видно, що зменшуючи  $T_p$  можна знизити імовірність відмови елемента, а збільшуючи  $T_p$  – збільшити середній використаний ресурс, тобто при застосуванні комплексного методу виконання робіт маємо два види втрат - відмова одних елементів і недовикористання ресурсів інших. Зменшити один вид витрат без одночасного збільшення іншого неможливо, з іншого боку присутня недосконалість планування. Недосконалість планування в сучасних умовах експлуатації і організації ремонтних робіт, зменшення витрат на проведення технічного обслуговування, використання запасних частин низької якості суттєво знизило ефективність планово-запобіжного ремонту електрообладнання ТП.

В зв'язку з цим на підприємствах електроенергетичної системи (ЕЕС) актуальним стає питання підвищення ефективності системи менеджменту та удосконалення внутрішнього контролю експлуатації електрообладнання.

**Метою роботи** є підвищення ефективності системи менеджменту експлуатації електрообладнання шляхом удосконалення методики та математичної моделі ризик-аналізу для проведення внутрішнього контролю стану силового електрообладнання підстанції електроенергетичної системи.

**Результати дослідження.** Ефективна система менеджменту експлуатації електрообладнання повинна забезпечувати: постійне усвідомлення й відстеження ймовірності і наслідків виникнення аварійних ситуацій (ризиків); формування і постійне оновлення методів оцінювання ризиків; розроблення рекомендацій щодо формування стратегії і ефективного розподілу ресурсів з урахуванням ступеня ризику; визначення межі ризику і своєчасне відображення величини ризиків у інформаційних системах.

Якісна і вартісна ідентифікація ризик-індикаторів повинна бути покладена в основу процесу аудиту та менеджменту експлуатації обладнання підстанцій. Інформаційний ризик можна визначити як агреговане поняття, що об'єднує технічні, технологічні, інформаційні ризики, які виникають в поточній операційній діяльності. Ризики можна розбити на такі [5, 6, 7]: техногенний, тобто такі фактори, які мають техногенне походження, джерелом якого є техніка і обладнання, що використовується у виробництві; ризик персоналу, пов'язаний з можливими помилками співробітників; ризик організаційної структури управління проявляється у додаткових фінансових затратах та організаційних труднощах у зв'язку з нечітким розподілом зон відповідальності між підрозділами підприємства.

Діагностика ризиків [6] – це комплексний аналіз параметрів технічного обслуговування та напрямків діяльності підприємства з метою ідентифікації, опису та класифікації ризиків. Методи діагностування ризиків базуються на статистичних спостереженнях, які є найбільш об'єктивними і точними. Виявлення ризиків є основою побудови системи ризик-менеджменту.

Процес менеджменту експлуатації обладнання підстанцій з урахуванням процесу ризику містить послідовність пов'язаних етапів управління: обміну інформацією між внутрішніми і зовнішніми учасниками цього процесу, ідентифікації та оцінювання ризиків, розроблення та впровадження керуючих рішень, вдосконалення менеджменту експлуатації обладнання підстанцій завдяки контролю за фактичним станом керованого процесу з урахуванням припустимого значення ризику. Процес управління починається з обміну інформацією з внутрішніми і зовнішніми учасниками цього процесу. Визначаються зовнішні і внутрішні параметри організації процесу ризик-менеджменту, критерії оцінки, розроблення та впровадження керуючих рішень методи аналізу. На етапі ідентифікації ризиків відбувається конкретизація ситуації ризику відносно досягнення поставленої мети. При аналізі ризиків визначається рівень ризику через ймовірність його виникнення та наслідки ситуації ризику, причини і фактори виникнення ризику, уточнюються і оцінюються моделі й методи оцінювання та контролю ризиків

Оцінювання ризиків здійснюється шляхом порівняння існуючого рівня ризику з припустимим значенням. Існуючий рівень ризику визначають з урахуванням співвідношення між потенційною вигодою і негативними наслідками ситуації з урахуванням характеру цього впливу. Далі відбувається розроблення

та впровадження керуючих рішень з метою збільшення потенційної вигоди і зниження потенційних витрат відносно ситуації ризику. Якщо не відбувається прийняття рішення щодо ризику, то процес повторюють після зміни вимоги до критерію оцінювання ризиків або їх структури і методів аналізу.

Оцінювання ризиків здійснюється шляхом порівняння існуючого рівня ризику з припустимим значенням. Існуючий рівень ризику визначають з урахуванням співвідношення між потенційною вигодою і негативними наслідками ситуації з урахуванням характеру цього впливу. Далі відбувається розроблення та впровадження керуючих рішень з метою збільшення потенційної вигоди і зниження потенційних витрат відносно ситуації ризику. Якщо не відбувається прийняття рішення щодо ризику, то процес повторюють після зміни вимоги до критерію оцінювання ризиків або їх структури і методів аналізу. Слід зауважити, що відстеження та аналіз ефективності процесу менеджменту з урахуванням ризиків необхідно проводити на кожній стадії процесу прийняття рішень.

Використовуючи основні принципи теорії ризиків [8], розробимо модель і методу аналізу експлуатації силового електрообладнання. За функцію цілі приймемо якість експлуатації обладнання ТП. Функцію можна подати у вигляді вектора основних показників експлуатації

$$\bar{Z}(t) = (D_k(t), B_{\Sigma}(t), B_i(t), T_i(t)), \quad (5)$$

де  $D_k(t)$  – результати діагностування ТС електрообладнання;  $B_{\Sigma}(t)$  – загальна кількість відмов електрообладнання;  $B_i(t)$  – кількість відмов  $i$ -того елемента електрообладнання;  $T_i(t)$  – тривалість відмови  $i$ -того елемента електрообладнання.

Якість експлуатації залежить від умов експлуатації електрообладнання, які можна описати вектором, що характеризує умови експлуатації

$$X(t) = (A(t), P(t)), \quad (6)$$

де  $A(t)$  – техніко-економічні показники роботи підстанції;  $P(t)$  – вектор керованих впливів, що характеризує процес експлуатації обладнання ТП.

Результати статистичного аналізу експлуатації силового обладнання ТП показує стохастичний характер відмов обладнання [4], тому доцільно процес експлуатації обладнання ТП, розглядати як динамічний керований процес. При завданні управління станом обладнання ТП за прогнозованими параметрами необхідно оцінювати прогнозовані значення в умовах відомої інформації про фактичний стан обладнання  $Z(t)$  і керовані впливи  $P(t)$  які спрямовані на підтримку такого стану протягом часу  $t$ .

Формалізація задачі прогнозування стану обладнання ТП можна описати рівнянням у формі Ланжевена з адитивним білим шумом [4, 10]

$$\bar{Y} = f(y, u, t) + \xi(t), \quad (7)$$

де  $\bar{Y}$  – повна похідна вектора показників технічного стану обладнання ТП яка оцінює якість стану утримання обладнання ТП за час  $t$ ;  $f$  – векторна функція векторних аргументів, показників у технічного стану електрообладнання ТП і показників у управління технічним станом електрообладнання ТП;  $t$  – скалярний аргумент часу;  $\xi(t)$  – випадковий процес білого шуму з нульовим математичним сподіванням.

Знаходження ТС зводиться до задачі ідентифікації, де на основі первинних даних про стан обладнання ТП і умов управління та експлуатації необхідно знайти векторну функцію  $f$  що належить деякому класу функцій, які допускають існування рішень у просторі станів у яких дана безперервна функція може бути вирішена.

Фактичні показники стану  $Z$  можуть бути визначені умовами експлуатації і обчислюватись через сукупність вхідних даних і в загальному випадку описуватись операторною формою зв'язку  $A_t$  з показниками експлуатаційної діяльності ( $X$ ) в попередні моменти часу  $t_0$  за період спостережень  $t_0 \in T$  за виразом

$$Y(t) = A_t X(t_0). \quad (8)$$

Оцінювання та прогнозування показників ТС електрообладнання ТП можна здійснити в два етапи. Спочатку на основі рівняння (8) методами ідентифікації при спостереженні значень  $y(t)$  і  $x(t_0)$  оцінюється значення  $A_t^*$ , істинного оператора  $A_t$ . Потім знайдена оцінка оператора  $A_t^*$  і значень  $X(t)$ , що спостерігаються, дозволяє оцінити значення  $Y^*(t)$  ТС електрообладнання ТП на підставі виразу

$$Y^*(t) = A_t^* X(t) \quad (9)$$

Для визначення класу функцій виразу (10) і вибору коректного методу ідентифікації та математичне

сподівання функції втрат між фактичним і оцінюваним ТС електрообладнання ТП накладається вимога близькості оцінки оператора  $A^*$  до істинного значення оператора  $A$ . При ідентифікації об'єктів управління, пошук оператора здійснюється за критерієм мінімуму середнього квадрата помилки, тобто

$$\varepsilon[Y_t, Y_t^*] = (Y_t - Y_t^*)^2. \quad (10)$$

Виходячи з (10) рівняння для визначення оптимальної з позиції мінімуму середнього квадрата помилки оцінки оператора  $A$  можна скористатися виразом

$$Y(t) = A^* X(t) = X \{Z(t) | X_{t_0}; t_0 \in T\}, \quad (11)$$

тобто оптимальним оператором, що описує стан електрообладнання ТП у першому наближенні можна вважати клас лінійних операторів.

В залежності від умов експлуатації  $Z(t)$  та враховуючи процеси управління  $P(t)$  станом електрообладнання ТП  $Z(t)$  як об'єкта моделювання, може бути описано через оператор зв'язку  $A$

$$Z(t) = A(X(t), P(t), \xi(t)). \quad (12)$$

Побудова моделі ТС електрообладнання ТП  $Z^*(t) = A^*(X(t), P(t), \xi(t))$  зводиться до пошуку оцінювання оператора моделі електрообладнання ТП  $Z^*(t)$ , яка здійснюється методами параметричної ідентифікації [9, 10].

Параметри оператора моделі  $A^*$  знаходять на основі запису у вигляді багатовимірною рівняння регресії виду

$$Z_t^* = a_{m,t} X_{m,t} + a_{(m-1),t} X_{(m-1),t} + \dots + a_{0,t} + \xi_t, \quad (13)$$

де  $Z_t^*$  – оцінка дискретних значень вихідного показника в дискретні моменти часу  $t$ ;  $X_{m,t}$  – дискретні значення експлуатаційних і керованих факторів, що використовуються при побудові моделі;  $a_{m,t} \dots a_{0,t}$  параметри моделі,  $m$  – кількість використаних факторів в моделі.

Для забезпечення управління якістю електрообладнання ТП за прогнозованим станом, необхідно знати не тільки фактичні значення вектора показників стану електрообладнання  $Z^* = [Z_1^*, Z_2^* \dots Z_k^*]$  у моменти часу  $t = 1, 2, \dots, r$ , що спостерігаються, але і їх прогнозовані значення.

Як метод прогнозування значень показників стану електрообладнання ТП і значень ризиків доцільно скористатись методом, який базується на побудові авторегресійної моделі однокрокової процедури прогнозування [11]

$$Z_{(t+1)} = \sum_{j=1}^r a_j Z_{t-j} + \xi_t, \quad (14)$$

де  $Z_{(t+1)}$  – прогнозоване значення показника;  $a_j$  – коефіцієнт рівняння авторегресії  $j = 0, 1, 2, \dots, r$ ;  $\xi_t$  – значення шуму апроксимації  $Z_{(t+1)}$  авторегресії кінцевої довжини.

Функціональна схема запропонованої математичної моделі ризик-аналізу та прогнозування технічного стану наведена на рис. 1

Вхідні дані моделі  $\bar{Z}(t)$ , надходять у вигляді вектора динамічних показників умов експлуатації з інформаційних систем аналізу та оцінювання параметрів технічного стану видів обладнання ТП автоматизованою інтелектуальною системою. Діагностичні параметри визначаються за двома основними вимогами: параметр служить індикатором працездатності обладнання і може бути відновлений до вихідного значення в результаті проведення ТОР.

Вихід схеми об'єкта ризик-моделювання  $Z(t)$  характеризує фактичний стан якості експлуатації електрообладнання ТП, і визначається виразом (1) і надходить з інформаційних систем.

Вихід  $Z^*(t)$  характеризується вектором оцінювання показників

$$Z^*(t) = D_k(t), B(t), B_i(t), T_i(t) + \Delta W(t). \quad (15)$$

Як інтегральний показник збитку по ТП прийнято  $\Delta W(t)$  недовипуск електроенергії.

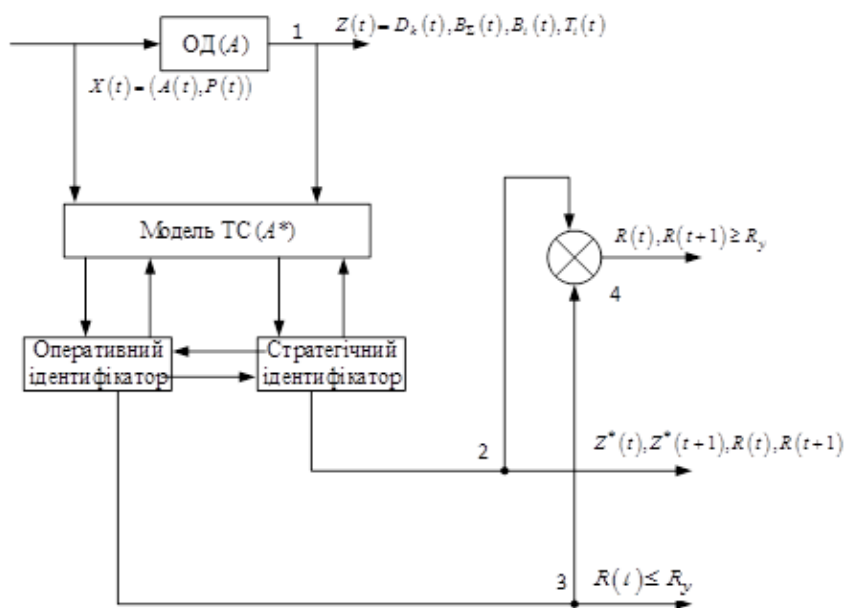


Рисунок 1 – Структурна схема ризик-аналізу та прогнозування ТС електрообладнання

Оцінка  $Z^*(t)$  на відміну від  $Z(t)$  визначається статистичною формулою показників ТС електрообладнання ТП. Показник  $Z(t+1)$  вектор прогнозованих значень за один період спостережень вперед, який визначається методом аналітичного прогнозування. На цьому виході моделі ще формуються оцінки обчислювальних ризиків ТС електрообладнання ТП  $R(t)$  та прогноз ризиків  $R(t+1)$ . Це дозволяє здійснити комплексну оцінку ТС електрообладнання ТП як

$$k(t) = F(R_n(t), P(t)) + \xi_n, \quad (16)$$

де  $F$  – функціонал від найбільш ймовірних значень факторів;  $\xi_n$  – найбільш ймовірна помилка  $\xi_n(t)$  ризику  $R_n$ .

На третьому виході (рис. 1) моделі формуються обчислювальні нормативно допустимі верхні  $R_{dv}$  та нижні  $R_{dn}$  межі діапазонів цільових ризиків  $R_y$  в рамках обраної довірчої ймовірності. На четвертому (рис. 1) виході моделі аналізується виконання цільових показників ризику  $R_y$  у зіставленні з поточним фактичним ТС ризику  $R(t)$ . Коли  $R(t) \leq R_y$ , то виявляють причини відхилень, виконуються обслуговування та ремонт електрообладнання ТП на вимогу і за прогнозованим ТС.

#### Висновок

Запропонований метод ризик-аналізу електрообладнання трансформаторної підстанції забезпечує оцінювання якості його обслуговування завдяки прийняттю стратегії обслуговування основаної на порівнянні поточних і цільових показників ризиків порушень та їх наслідків. Аналіз ризиків експлуатації електрообладнання дозволяє дати оцінку ефективності і контролювати реалізацію управлінських рішень, спрямованих на вдосконалення правил експлуатації і СТОР електрообладнання ТП.

#### Список використаної літератури

1. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. – К. : Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики», 2003. – 329 с.
2. Справочник по ремонту и техническому обслуживанию электрических сетей / под ред. К. Антипова, И. Е. Бандуилова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
3. Синягин Н. Н. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики / Синягин Н. Н., Афанасьев Н. А., Новиков С. А. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
4. Кутин В. М. Выбор стратегии ремонтно-обслуживающих действий системы электроснабжения промышленности и агропромышленного комплекса / В. М. Кутин // Энергетика и электрификация. – 2003. – № 9. – С. 47 - 51.
5. Алехин Е. И. Теория риска и моделирования рискованных ситуаций [Текст] / Е. И. Алехин – Орел: Изд-во ОГУ, 2008 – 152с.

6. Матусевич О. О. Математична модель ризик-аналізу технічного стану силового обладнання тягових підстанцій [Текст] / О. О. Матусевич, Д. В. Міронов // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2015 – Вип. 93 – С. 48 – 50.

7. Бондаренко Є. А. Оцінювання ризику електротравматизму методом пробіт-аналізу для менеджменту з електробезпеки / Є. А. Бондаренко, В. М. Кутін // НТУУ «КПІ». "ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія". – 2015. – № 3 (41). – С. 69-72.

8. Галкин А. Г. Теоретические принципы построения модели риск-анализа процессов содержания объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» [Текст] / А. Г. Галкин, С. А. Митрофанов // Изд. Академии управления: теория, стратегия инновации : теоретический и научно-методический журнал – Самара, Изво «Самарский муниципальный институт управления», 2011 – №3(4) – С. 29-39.

9. Семенычев В. К. Информационные системы в экономике. Эконометрическое моделирование инноваций. Ч. 1: учебн. пособие / В. К. Семенычев, Е. В. Семенычев, – Самара: Изд-во Самара гос. аэрокосм. Ун-та, 2006 – 217с.

10. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Оценка параметров и состояний [Текст] / П. Эйкхофф – Москва: Мир, 1975 – 680с.

11. Кутін В. М. Діагностика електрообладнання: навчальний посібник/ В. М. Кутін, М. О. Люхін, М. В. Кутіна – Вінниця: ВНТУ, 2014 –161с.

**V. Kutin**, Dr. Eng. Sc., Prof.

**Y. Bondarenko**, Dr. Eng. Sc., Assoc. Prof.

**M. Kutina**, PhD in Technical Sciences, Assoc. Prof.

**State Institution of Higher Education**  
**«Vinnitsa National Technical University»**

#### **RISK ANALYSIS METHOD FOR FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF TRANSFORMER SUBSTATIONS**

*In the work it is shown that today there is a significant reduction of the efficiency of the system of planned and preventive repair of electric equipment of electric power systems due to imperfection of planning and organization of repair works, reduction of maintenance costs, lack of quality spare. Therefore, the issue of development and introduction of modern methods and methods for increasing the efficiency of the system of internal control and risk management of electrical equipment electrical energy systems becomes actual.*

*Taking into account the risk management process, the method of risk analysis and forecasting of the technical condition of electrical equipment of transformer substations is proposed. The functional strategy of risk management for the further improvement of the operation of electrical equipment in order to improve the quality and efficiency of the maintenance and repair system based on the identification of risk areas and their assessment, prevention of risks through the forecasting and evaluation of the technical state of electrical equipment for decision making*

**Keywords:** *power electrical equipment, technical operation, diagnostics, management, risk analysis.*

1. Technical operation of power plants and networks. Rules. – Kyiv, Union of Energy Enterprises "Industry Reserve and Investment Fund for Energy Development", 2003, 329 p. (Ukr).

2. Antipov K., Banduilova I., Directory of repair and maintenance of electrical networks. – Moskov, Energoatomizdat, 1987, 560 p. (Rus).

3. Sinyagin N. N., Aphonasev N. A, Novikov S. A. System of planned-preventive repair of equipment and networks of industrial energy. – Moskov, Energoatomizdat, 1984, 448 p. (Rus).

4. Kutin V. M. Choice of strategy of repair and maintenance actions of power supply systems of industry and agro-industrial complex./ Energetika i elektrifikaciya, 2003, Vol. 9, P. 47 – 51 (Rus).

5. Alekhin E. I. Risk Theory and Risk Modeling [Text]. – Oryol, izd-vo OGU, 2008, 152 p. (Rus).

6. Matusevich O. O., Mironov D. V. Mathematical model of risk-analysis of the technical camp of power possession of traction power [Text]. Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka, 2015, Vol. 93, P. 48 – 50 (Ukr).

7. Bondarenko E. A., Kutin V. M. Estimation of electro-traumatic risk by probit analysis for electrical safety management./ "ENERHETYKA: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya. – Kyiv: NTTU "KPI", 2015, Vol. 3, P. 69-72 (Ukr).

8. Galkin A. G. Mitrophanov S. A. Theoretical principles of construction of the model of risk-analysis of processes of maintenance of infrastructure objects of OJSC "Russian Railways" [Text]/ Izd-vo Academies of Management: Theory, Strategy of Innovation: Theoretical and Scientific and Methodological Journal – Samara, Izd-vo "Samara Municipal Institute of Management", 2011, Vol. 4, P. 29-39 (Rus).

9. Semenychev V. K., Semenyche E. V Information systems in the economy. Econometric modeling of innovation. Part 1: textbook. Allowance. – Samara: Izd-vo Samara gos. Aerokosmos, 2006, 217p. (Rus).

10. Eikhoff P. Fundamentals of identification of control systems. Estimation of parameters and states [Text]. – Moskov: Mir, 1975, 680p (Rus).

11. Kutin V.M. Ilyuxin M. O., Kutina M. V. Electrical diagnostics: initial installation. – Vinnitsa: VNTU, 2014, 161p. (Ukr).

УДК 621.331:621.311.4:621.3

**В. М. Кутин**, д-р техн. наук, проф.

**Е. А. Бондаренко**, д-р техн. наук, доц.

**М. В. Кутина**, канд. техн. наук, доц.

**Винницький національний технічний університет**

## **МЕТОД РИСК-АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

*В работе показано, что сегодня происходит существенное снижение эффективности использования системы планово-предупредительного ремонта электрооборудования электроэнергетических систем, это обусловлено несовершенством планирования и организации ремонтных работ, уменьшение затрат на проведение технического обслуживания, отсутствием качественных запасных. Поэтому актуальным становится вопрос разработки и внедрения современных методов и способов повышения эффективности системы внутреннего контроля и менеджмента эксплуатации электрооборудования электроэнергетических систем. Учитывая процесс риск менеджмента в статье предложен метод риск-анализа и прогнозирования технического состояния электрооборудования трансформаторных подстанций. Рассмотрена функциональная стратегия риск менеджмента для дальнейшего совершенствования эксплуатации электрооборудования с целью повышения качества и эффективности системы технического обслуживания и ремонта на основе выявления областей риска и их оценки, предотвращение возникновения рисков путем прогнозирования и оценки технического состояния электрооборудования для принятия решений.*

**Ключевые слова:** *силовое электрооборудование, техническая эксплуатация, диагностика, менеджмент, риск-анализ.*

Надійшла 29.08.2019

Received 29.08.2019

УДК 681.51

**О.А. Жученко**, канд. техн. наук, доц. **ORCID** 0000-0001-5611-6529

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

## **КЕРУВАННЯ ЦИКЛІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В УМОВАХ ДИСКРЕТНОГО ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ЗАВДАННЯ**

*У багатьох галузях промисловості існують технологічні процеси, які мають циклічний характер. При керуванні такими процесами високу ефективність продемонстрував метод керування з ітеративним навчанням (КІН). Стаття представляє нову модифікацію метода керування з ітеративним навчанням (КІН) в умовах, коли завдання системи задається сукупністю значень вихідних змінних у певних точках у*