

УДК 621.331: 621.311.4

О.О. Матусевич, канд. техн. наук, Д.В. Міронов

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РИЗИК-АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Вступ

Експлуатація складних технічних систем, у тому числі обладнання тягових підстанцій (ТП) електрифікованих залізниць, пов'язана з довгостроковим плануванням його застосування та прийняттям рішень про можливість експлуатації без проведення ремонтно-відновлювальних робіт протягом заданого терміну служби. Для вирішення цього завдання розробляються і використовуються методики призначення залишкового ресурсу технічних систем, які дозволяють з тією чи іншою точністю прогнозувати момент настання їх граничного стану, тривала експлуатація яких без належного діагностування та якісного технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), може привести до виходу їх з ладу та значних матеріальних збитків. Також, поступове старіння парку устаткування, зниження запасів міцності в обладнанні гостро поставили питання оцінки його стану і ступеня ризику експлуатації за межами нормованого терміну служби.

Функціонування системи ТО і Р включає в себе моніторинг технічного стану обладнання, аналіз отриманих результатів, своєчасне проведення ремонтів з частковим або повним відновленням ресурсу обладнання при прийнятному рівні матеріальних і фінансових витрат. Однак, на даний час спостерігається суттєве зниження ефективності використовуваної системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР)

обладнання системи тягового електропостачання (СТЕ). Це викликано недосконалістю планування в сучасних умовах експлуатації та організації ремонтних робіт у частині необґрунтованого зменшення витрат на проведення технічного обслуговування та ремонту, відсутністю якісних запасних частин, тощо. Тому актуальним стає питання розробки і впровадження сучасних методів і способів підвищення ефективності існуючої системи, одним з яких є формування на підприємствах електрифікованих залізниць України системи внутрішнього контролю та управління ризиками експлуатації обладнання тягових мереж. Управління ризиками, в першу чергу, має на увазі їх ідентифікацію, аналіз і прогноз ймовірності їх настання.

Мета роботи

Розробка моделі комплексного дослідження і прогнозування ризиків відмов основного електрообладнання тягових підстанцій та розробка теоретичних принципів вдосконалення системи ТО і Р з застосуванням основних положень ризик-аналізу.

Результати дослідження

В сучасних умовах експлуатації обладнання СТЕ увага з боку керівництва підприємства до управління ризиками обумовлена необхідністю посилення контролю над незапланованими матеріальними і фінансовими витратами при експлуатації обладнання, а також зниження збитку від виходу його з ладу.

Управління ризиками (ризик-менеджмент) - це логічний і систематичний процес, який можна застосовувати для вибору шляху подальшого вдосконалення експлуатації обладнання, підвищення ефективності функціонування системи ТО і Р та який передбачає ретельний аналіз технічного стану пристрів СТЕ для прийняття рішень.

Ризик-менеджмент включає в себе стратегію і тактику управління [1, 2]. Під стратегією управління розуміються напрям і спосіб використання засобів досягнення поставленої мети. Під тактикою розуміються конкретні методи і прийоми для досягнення стратегічної мети в конкретних умовах. Завданням тактики управління є вибір оптимального рішення і найбільш прийнятних методів і прийомів управління.

Головним принципом побудови системи ризик-менеджменту діяльності дистанції електропостачання електрифікованих залізниць, є комплексний облік ризику при прийнятті рішень з планування діяльності, оцінка результатів діяльності підрозділів дистанції електропостачання та конкретних керівників.

Реалізація системи ризик-менеджменту передбачає:

- організацію ризик-менеджменту (формування спеціальних функцій і процедур в управлінні процесами підприємства та забезпечення їх виконання);
- формування необхідного методологічного забезпечення діяльності з управління ризиками;
- розробку інформаційно-аналітичних систем ризик-менеджменту і їх практичну реалізацію.

Система управління ризиками повинна ґрунтуватися на наступних принципах:

- цілеспрямоване постійне усвідомлення і відстеження ризиків;
- оцінка ймовірності та наслідків виникнення тієї чи іншої несприятливої ситуації;
- формування і постійне оновлення інструментарію управління ризиками;
- встановлення лімітів ризику (максимально точно визначення межі шкоди);
- розробка рекомендацій щодо формування стратегії і ефективного розподілу ресурсів з урахуванням ступеня ризику;
- повнота і своєчасність відображення величин ризиків у системах управлінської інформації (інформаційних системах).

Діагностика ризиків являє собою аналіз бізнес-процесів [3] підприємства з метою виявлення факторів ризику і реалізується в ході ризик-аудиту підприємства, що представляє собою комплексний аналіз параметрів і ділянок діяльності підприємства з метою ідентифікації, опису та класифікації ризиків. Найбільш поширений метод при діагностиці ризиків заснований на статистичних спостереженнях, які є найбільш об'єктивними і точними, але часто важко реалізованими, в першу чергу, внаслідок труднощів формалізації історичних даних і надання їм аналітично прийнятної форми, а часто через відсутність необхідної історичної вибірки. Виявлення ризиків є пріоритетним етапом, фундаментом побудови системи управління ризиками. На ньому ґрунтуються всі інші процедури ризик - менеджменту, так як, зрештою, якісна діагностика визначає успішність управління ризиками та рівень ефективного корпоративного управління в цілому.

Враховуючи розглянутий підхід управління ризиками, розробимо модель і методику аналізу та оцінки якості експлуатації обладнання ТП з використанням основних принципів теорії ризиків [4, 5, 2].

Модель оцінки технічного стану обладнання тягових підстанцій в загальному вигляді має ймовірнісний характер, а в якості параметрів процесу виступають статистичні характеристики.

Фактичну якість експлуатації обладнання ТП можна формалізувати у вигляді вектора динамічних показників експлуатаційної роботи:

$$Y(t) = [D_j(t), K_{з.відм}(t), K_{відм.i}(t), T_{відм.i}(t), N_{затп.n}(t), T_{затп.n}(t)], \quad (1)$$

де: $D_j(t)$ - діагностичні оцінки технічного стану j видів обладнання ТП; $K_{з.відм}(t)$ - загальна кількість відмов обладнання ТП; $K_{відм,i}(t), T_{відм,i}(t)$ - кількість і тривалість відмов i технічних пристроїв обладнання ТП за j видами; $N_{затр,n}(t), T_{затр,n}(t)$ - кількість і час затриманих поїздів по n видам - вантажних, пасажирських, приміських.

Вектор динамічних показників експлуатаційної роботи - $Y(t)$ залежить від умов експлуатації обладнання ТП на діагностованій ділянці, які характеризуються вектором динамічних показників умов експлуатації:

$$X(t) = [A_{ткм}(t), V_{дiл}(t), M_B(t), N_{Пn}(t), W_{епс}(t), U_{пез}(t)], \quad (2)$$

де: $A_{ткм}(t)$ - перевізна тонно-кілометрова робота в вантажному русі на ділянці, млн. ткм, брутто; $V_{дiл}(t)$ - швидкість на ділянці, км/год; $M_B(t)$ - середня маса вантажного поїзда, т; $N_{Пn}(t)$ - кількість обертаючихся на ділянці поїздів по n видам - вантажних, пасажирських, приміських; $W_{епс}(t)$ - тягове електроспоживання поїздів; $U_{пез}(t)$ - вектор регулюючих факторів, що визначають процес експлуатації обладнання ТП.

В результаті проведеного статистичного аналізу процесу експлуатації силового електрообладнання ТП виявлено стохастичний характер відмов обладнання, тому в подальшому процес експлуатації обладнання ТП будемо розглядати, як динамічний керований стохастичний процес.

При цьому при постановці завдання *управління станом обладнання ТП по прогнозованому стану* необхідно оцінювати прогнозовані значення в умовах відомої ретроспективної інформації про фактичний стан обладнання Y , так і про керовані впливи U , які спрямовані на підтримку даного стану на протязі часу t [6-11].

Формалізацію задачі прогнозування стану обладнання ТП можна здійснити при описі її векторним диференціальним рівнянням у формі Ланжевена з адитивним білим шумом, запис якого в безперервному вигляді має вигляд:

$$\dot{y} = f(y, u, t) + \xi(t), \quad (3)$$

де: \dot{y} - повна похідна вектора показника технічного стану обладнання тягових підстанцій, як оцінки якості стану утримання обладнання ТП за час t ; f - векторна функція векторних аргументів показників технічного стану обладнання ТП (y) і показників управління технічним станом обладнання ТП (u); t - скалярний аргумент часу; $\xi(t)$ - випадковий процес білого шуму з нульовим математичним очікуванням.

При розгляді процесу експлуатації обладнання тягових підстанцій у вигляді (3) знаходження оцінки технічного стану \dot{y} зводиться до вирішення задачі ідентифікації, яка полягає в тому, що на підставі первинних діагностичних і експериментальних даних про стан обладнання ТП і про умови управління та експлуатації необхідно знайти векторну функцію f , що належить деякому класу функцій які допускають існування рішень у всьому просторі станів щодо \dot{y} або в підгалузях простору станів, в яких дана безперервна функція може мати своє вирішення.

У свою чергу, з урахуванням стохастичного характеру технічного стану обладнання ТП, фактичні показники стану (y) можуть залежати або визначатися умовами експлуатації обладнання (наприклад, інтенсивністю руху, швидкістю на ділянці, обсягом тонно-км роботи, тощо), носити інтегруючий характер і обчислюватися спираючись на сукупність вихідних даних (наприклад, рівня ризику та наслідків відмов обладнання ТП) і в загальному випадку описуватися операторною формою взаємозв'язку A_t з показниками експлуатаційної діяльності (x) в попередні моменти часу (s) за період спостереження, $s \in T$ і використанням виразу:

$$y(t) = A_t x(s). \quad (4)$$

В окремому випадку, коли показники управління u технічним станом обладнання в попередні моменти часу s за період спостереження T змінюються не частіше, ніж $x(s)$, їх також можна віднести до показників, що підпорядковуються співвідношенню (4).

Оцінка та прогнозування показників технічного стану обладнання ТП проходить у два етапи. Спочатку на підставі рівняння (4) методами ідентифікації при спостережуваних значеннях $y(t)$ і $x(s)$ визначається оцінка A_t^* істинного оператора A_t . Потім знайдена оцінка оператора A_t^* і спостережуваних значень $x(t)$ дозволяє визначити оцінку y^* технічного стану обладнання ТП на підставі виразу

$$y^*(t) = A_t^* x(t). \quad (5)$$

Для визначення класу функцій виразу (5) і вибору коректного методу ідентифікації на математичне очікування функції втрат між фактичним і оцінюваним технічним станом обладнання ТП $\rho[y_t, y_t^*]$ накладається вимога мінімуму:

$$M\{\rho[y_t, y_t^*]\} = \min \quad (6)$$

і в цьому сенсі накладається вимога близькості оцінки оператора A_t^* до істинного значення оператора A_t . При ідентифікації об'єктів управління, як і в більшості практичних випадків, пошук оптимального оператора здійснюється за критерієм мінімуму середнього квадрата помилки, тобто

$$\rho[y_t, y_t^*] = (y_t - y_t^*)^2. \quad (7)$$

Відомо, що при критерії (7) рівняння для визначення оптимальної з точки зору мінімуму середнього квадрата помилки оцінки оператора A_t являє собою вираз виду

$$y(t) = A_t^* x(s) = M\{Y(t)/x_s; s \in T\}, \quad (8)$$

тобто є оператором умовного математичного очікування або регресією вихідної змінної $Y(t)$ щодо вхідної $x(s)$. Таким чином, з точки зору критерію (7) оптимальним оператором, що описує стан обладнання ТП, в першому наближенні можна вважати клас лінійних операторів.

З урахуванням визначеного вище класу операторів моделі і характеру технічного стану обладнання ТП як багатовимірною і стохастичною, який залежить від умов експлуатації $X(t)$ і включає процеси управління $U_{PEГ}(t)$ станом обладнання ТП $Y(t)$, як об'єкта моделювання, він може бути описаний через операційну форму зв'язку A_t , тобто $Y(t) = A_t(X(t), U_{PEГ}(t), \xi(t))$, де ξ – стохастична складова через невраховані фактори. Побудова моделі технічного стану обладнання ТП – $Y^*(t) = A_t^*(X(t), U_{PEГ}(t), \xi(t))$ зводиться до пошуку оцінки оператора моделі обладнання ТП (A_t^*), розв'язуваної методами параметричної ідентифікації [12,13].

Параметри оператора моделі A_t^* знаходилися на базі його представлення у вигляді багатовимірною рівняння регресії виду:

$$Y_t^* = a_{0,t} + a_{1,t}X_{1,t} + a_{2,t}X_{2,t} + \dots + a_{m,t}X_{m,t} + \xi_t, \quad (9)$$

де: Y_t^* - оцінка дискретних значень вихідного показника в дискретні моменти часу t ; $X_{1,t} \div X_{m,t}$ - дискретні значення експлуатаційних і керованих факторів (показників), що використовуються при побудові моделі; m - кількість використовуваних факторів у моделі; $a_{0,t} \div a_{m,t}$ - параметри моделі.

Для вирішення поставленого завдання - управління якістю утримання обладнання ТП за прогнозним станом, необхідно знати не тільки фактичні, спостережувані значення вектора показників стану обладнання $Y^* = [y_1^*, y_2^*, \dots, y_r^*]$ в моменти часу $t = 1, 2, \dots, r$ або обчислювані їх оцінки $Y^* = [y_1^*, y_2^*, \dots, y_r^*]$, але і їх прогнозовані значення. При прогнозуванні момент часу t на один період вперед позначається, як момент часу $(t+1)$, а прогнозовані значення показника як $Y(t+1)$. Моменти часу, що передують прогнозованому, - як $(t-2)$, $(t-1)$, $(t-2)$, ..., $(t-r)$, де r - останній момент часу в аналізованому ряді. Відповідно, показники в дані моменти часу позначаються як $Y(t)$, $Y(t-1)$, $Y(t-2)$, ..., $Y(t-r)$. В яко-

сті методу прогнозування значень показників стану обладнання ТП і значень ризиків використаємо метод, заснований на побудові авторегресійної моделі однокрокової процедури прогнозування:

$$Y_{t+1} = \sum_{j=0}^r a_j Y_{t-j} + \xi_t, \quad (10)$$

де: j - поточний номер коефіцієнтів a_j рівняння авторегресії, $j = 0, 1, 2, \dots, r$; ξ_t - значення шуму апроксимації Y_{t+1} авторегресії кінцевої довжини.

Функціональну схему розробленої математичної моделі ризик-аналізу та прогнозування технічного стану обладнання ТП представимо на рис. 1.

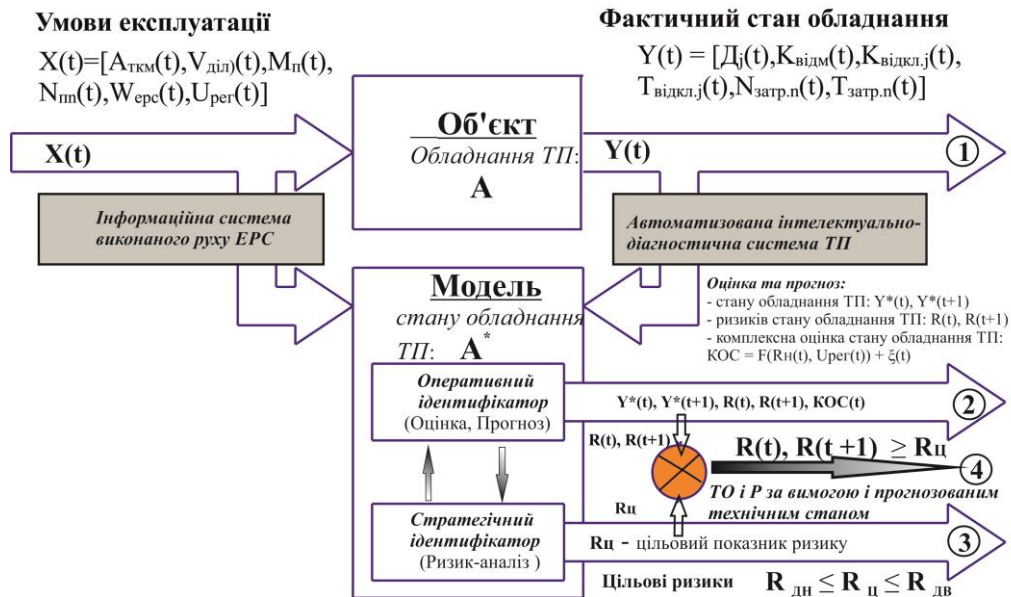


Рис. 1. Модель ризик-аналізу та прогнозування технічного стану обладнання ТП

Вхідні дані *Моделі* про умови функціонування обладнання $X(t)$ надходять у вигляді вектора динамічних показників умов експлуатації з інформаційних систем аналізу та обліку виконання графіку руху ЕРС. Діагностична оцінка параметрів технічного стану j видів обладнання ТП $D_j(t)$ надходить в *Модель* у вигляді результатів діагностичних обстежень обладнання автоматизованою інтелектуально-діагностичною системою ТП. При цьому, загальний підхід до встановлення *визначальних* діагностичних параметрів технічного стану (ДПТС) обладнання ТП полягає у визначенні таких параметрів технічного стану, які при виході за допустимі межі (ознаки) призводять до відмови обладнання. Діагностичні параметри технічного стану повинні задовольняють двом основним вимогам:

- параметр служить індикатором працездатності обладнання;
- параметр відновлюється до вихідного (близького до вихідного) значення в результаті проведення ТО і Р.

Для встановлення ДПТС необхідне проведення комплексу робіт з аналізу проектної документації і даних з експлуатації об'єкту, аналізу результатів контролю його технічного стану, тощо. Методика встановлення ДПТС представлена на рис. 2. У блоках 1, 2, 12 (рис. 2) показані початкові та кінцевий етапи встановлення ДПТС обладнання ТП. В дужках літерами від а до е вказані дані, на основі яких приймається відповідне рішення визначення ДПТС обладнання.

Процедура визначення ДПТС обладнання полягає у наступному: якщо показник технічного стану не є чисельним, після перевірки необхідності його обліку проводиться аналіз на можливість експертного прогнозування даного параметра технічного стану обладнання. Якщо така можливість відсутня, ставиться завдання по розробці відповідних методик, засобів діагностики і т. ін., що дозволяють чисельно оцінити параметр технічного стану або забезпечують можливість експертного прогнозування даного параметра. Далі перелік ДПТС уточнюється, і процедура визначення ДПТС повторюється.

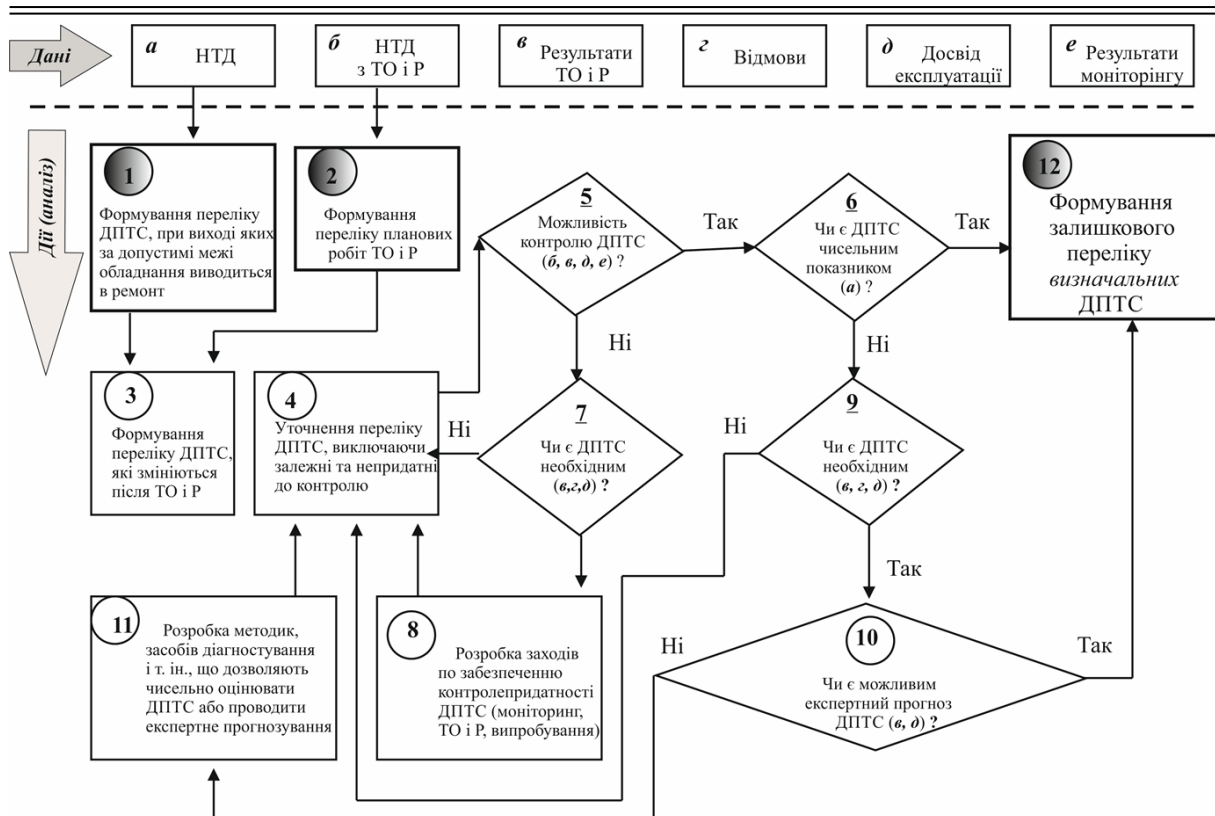


Рис. 2. Процедура встановлення визначальних діагностичних показників технічного стану обладнання тягових підстанцій

Перший вихід схеми об'єкта ризик-моделювання (рис. 1) характеризує фактичний стан якості експлуатації обладнання ТП $Y(t)$. Склад вектора $Y(t)$ визначено виразом (1). У модель дані про фактичний технічний стан устаткування $Y(t)$ надходять з інформаційних систем.

Другий вихід моделі характеризується вектором оцінок показників:

$$Y^*(t) = [D_j(t), K_{з.відм}(t), K_{відм.i}(t), T_{відм.i}(t), A_{з.ткм}(t)] \quad (11)$$

В якості інтегрального показника збитку по господарству електрифікації прийнятий $A_{з.ткм}$ - збиток в поїзній роботі від затримки поїздів (по видам - вантажних, пасажирських, приміських), який формується з показників входу і виходу як:

$$A_{з.ткм}(t) = (T_{затр}(t) \cdot V_{дiл}(t) \cdot N_{затр}(t) \cdot m_{п}(t)) \quad (12)$$

де $T_{затр}(t)$ - час затримки поїздів на момент часу t ; $V_{дiл}(t)$ - значення швидкості поїздів на даній ділянці на момент часу t ; $N_{затр}(t)$ - кількість затриманих поїздів; $m_{п}(t)$ - середня вага поїзда на момент часу t .

Оцінки $Y^*(t)$ відмінні від $Y(t)$ статистичною формою подання показників технічного стану обладнання ТП на базі наступних обчислень: математичного очікування показників (M), модального значення (mod), стандартного відхилення (σ), ранжируваних значень показників (АВС-аналіз) і ступеня взаємодії показників. Показник $Y^*(t+1)$ - вектор прогнозних значень $Y^*(t)$ на один період спостережень вперед, який визначається методом лінійного прогнозу.

Також на даному виході моделі формуються оцінки обчислюваних ризиків стану обладнання ТП $R(t)$ та прогноз ризиків $R(t+1)$. Оцінка найбільш ймовірних ризиків R_H подій, порушень і збитку визначається як добуток значення модальної ймовірності та модального значення відповідного показника, наприклад $R_{Аз.н} = P_{Аз} \cdot mod A_{з.ткм}$.

Так само, на другому виході моделі формується показник *комплексна оцінка стану* обладнання ТП: $KOC(t) = F(R_H(t), U_{PEГ}(t)) + \xi_H$, де: F - функціонал від найбільш вірогідних значень факторів; ξ_H - найбільш ймовірна помилка $\xi(t)$.

На *третьому виході* моделі формуються обчислювані нормативно допустимі верхні $R_{де}$ і нижні $R_{дн}$ межі діапазонів ризиків в рамках обраної довірчої ймовірності.

На *четвертому виході* моделі аналізується виконання цільових показників ризику $R_{Ц}$ в зіставленні з поточним фактичним станом ризику $R(t)$. При знаходженні значень ризиків в допустимому діапазоні, тобто $R(t) \leq R_{Ц}$ виконуються штатні заходи ТО і Р з технічного утримання і ремонту устаткування ТП. При $R(t) \geq R_{Ц}$ здійснюються заходи з метою виявлення причин відхилень, а також проводиться обслуговування та ремонт обладнання ТП за вимогою і прогнозованому технічному стану.

Висновок

В результаті проведених досліджень розроблено модель ризик-аналізу та прогнозування технічного стану обладнання тягових підстанцій. Описано основні положення теорії ризиків та шляхи її застосування стосовно системи технічного обслуговування і ремонту електроустаткування. Розглянуто математичний апарат запропонованої моделі. Розроблена модель ризик-аналізу технічного стану обладнання тягових підстанцій дозволяє оцінювати рівень якості його обслуговування, а також приймати оптимальні рішення про стратегії ТО і Р при порівнянні поточних і цільових показників ризиків та їх наслідків. Розглянута функціональна стратегія управління ризиками спрямована на подальше вдосконалення експлуатації обладнання ТП, регламентує підвищення якості і ефективності системи ТО і Р на базі виявлення потенційних областей ризику та їх оцінки, попередження виникнення ризиків на основі їх систематичного прогнозування та оцінки технічного стану пристроїв ТП для прийняття рішень.

Список літератури

1. Авдийский, В. И., Курмашов Ш. Р. Прогнозирование и анализ рисков в деятельности хозяйствующих субъектов : монография [Текст] / В. И. Авдийский, Ш. Р. Курмашов, под общ. ред. М. А. Эскиндарова // М.: ФА, 2003. – 392 с.
2. Тарасов, Е. М. Основные подходы к оценке рисков вложения инвестиций в систему организации железнодорожного транспорта [Текст] / Е. М. Тарасов // Самара: СНЦ РАН, 2010. – 124 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения.
4. Галкин, А. Г. Теоретические принципы построения модели риск-анализа процессов содержания объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» [Текст] / А. Г. Галкин, С. А. Митрофанов // Известия Академии управления: теория, стратегия, инновации: теоретический и научно-методический журнал. – 2011. – № 3 (4). – С. 29–39.
5. Галкин, А. Г. Статистический анализ адекватности оценки состояния контактной сети на филиалах ОАО «РЖД» [Текст] / А. Г. Галкин, С. А. Митрофанов // Инновационный транспорт: научно-публицистическое издание – 2011. – № 1(1). – С. 48–54.
6. Веников, В. А. Кибернетические модели электрических систем : учеб. пособие для вузов [Текст] / В.А. Веников, О.А. Суханов // М.: Энергоиздат, 1982. – 328 с.
7. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике [Текст] / В. С. Зарубин, А. П. Крищенко // М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 496 с.
8. Клейн, Д. Ж. Статистические методы в имитационном моделировании [Текст] / Д.Ж. Клейн // М.: Статистика, 1978. – 251 с.
9. Райбман Н. С. Построение моделей процессов производства [Текст] / Н.С. Райбман, В.М. Чадеев // М.: Энергия, 1975. – 375 с.
10. Чхартишвили, Г. С. Идентификация динамических объектов. Автоматическое управление [Текст] / Г.С. Чхартишвили, В.И. Доценко // М.: МЭИ, 1980. – 40 с.
11. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния [Текст] / П. Эйкхофф // М.: «Мир», 1975. – 680 с.
12. Сошникова, Л. А. Многомерный статистический анализ в экономике : учеб. пособие для вузов [Текст] / Л. А. Сошникова, В. Н. Тамашевич, Г. Узбе, М. Шеффер // М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.
13. Семенычев, В. К. Информационные системы в экономике. Эконометрическое моделирование инноваций. Ч. 1 : учеб. пособие [Текст] / В. К. Семенычев, Е. В. Семенычев // Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 217 с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Костіним М.О.