

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ФАКТИЧНОГО ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

В умовах розвитку ринкових відносин у галузі енергоремонту система планово-попереджувальних ремонтів у багатьох випадках не забезпечує прийняття оптимальних рішень. Центральними проблемами забезпечення надійності та живучості старіючого устаткування є проблема оцінки індивідуального ресурсу обладнання та гнучке планування ремонтних робіт. В даній роботі авторами запропонована методика оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання в реальному часі на основі даних експлуатації, яка дозволяє автоматизувати моніторинг узагальненого технічного стану устаткування. Розроблено алгоритм оперативного моніторингу технічного стану обладнання, який дозволяє безперервно вести оцінку поточного технічного стану устаткування і попереджувати аварійні ситуації та відмови контрольованого обладнання. Запропоновано підхід до пріоритетного планування ремонтно-профілактичних робіт на основі оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання з використанням узагальнених діагностичних показників, що дозволяє обґрунтовано встановити черговість проведення ремонтно-профілактичних робіт для парку однотипного обладнання. На основі методики оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання розроблена автоматизована система для безперервного моніторингу та розрахунку фактичного залишкового ресурсу. Бібл. 11, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: електропостачання; тягова підстанція; технічне обслуговування; діагностування; залишковий ресурс; автоматизована система.

В условиях развития рыночных отношений в отрасли энергоремонта система планово-предупредительных ремонтов во многих случаях не обеспечивает принятия оптимальных решений. Центральными проблемами обеспечения надежности и живучести стареющего оборудования является проблема оценки индивидуального ресурса оборудования и гибкое планирование ремонтных работ. В данной работе авторами предложена методика оценки фактического остаточного ресурса электрооборудования в реальном времени на основе данных эксплуатации, которая позволяет автоматизировать мониторинг обобщенного технического состояния оборудования. Разработан алгоритм оперативного мониторинга технического состояния оборудования, который позволяет непрерывно вести оценку текущего технического состояния и предупреждать аварийные ситуации и отказы контролируемого оборудования. Предложен подход к приоритетному планированию ремонтно-профилактических работ на основе оценки фактического остаточного ресурса электрооборудования с использованием обобщенных диагностических показателей, что позволяет обоснованно установить очередность проведения ремонтно-профилактических работ для парка однотипного оборудования. На основе методики оценки фактического остаточного ресурса электрооборудования разработана автоматизированная система для непрерывного мониторинга и расчета фактического остаточного ресурса. Библ. 11, табл. 2, рис. 3.

Ключевые слова: электроснабжение; тяговая подстанция; техническое обслуживание; диагностирование; остаточный ресурс; автоматизированная система.

Вступ. В умовах розвитку ринкових відносин у галузі енергоремонту система планово-попереджувальних ремонтів (ППР) у багатьох випадках не забезпечує прийняття оптимальних рішень. Це пов'язане з тим, що планування профілактичних робіт не залежить від технічного стану конкретної одиниці електрообладнання (ЕО), що призводить до появи додаткових матеріальних і трудових витрат. Методи, обсяг і періодичність контролю при діагностиці технічного стану агрегату вибираються таким чином, щоб забезпечити високу надійність експлуатації всіх вузлів ЕО. Накопичений досвід оцінки стану елементів ЕО і порядок продовження їх ресурсу після тривалої експлуатації показує, що при напрацюванні, яке перевищує проектне більш ніж в 2 рази, повинні бути виконані спеціальні ресурсні дослідження, вимірювання і розрахунки. За результатами цих досліджень встановлюється індивідуальний ресурс елемента ЕО, тобто максимальне наближення до граничного стану устаткування при дотриманні вимог до його безвідмовної роботи.

Звідси випливає, що центральними проблемами забезпечення надійності та живучості старіючого

устаткування є проблема оцінки індивідуального ресурсу обладнання та гнучке планування ремонтних робіт. Новим напрямком у розвитку системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) є розробка підходів, заснованих на індивідуальному спостереженні за реальними змінами технічного стану обладнання в процесі експлуатації [1-3]. Для цього необхідно розробляти засоби отримання діагностичної інформації, а також математичні методи і моделі, що дозволяють врахувати основні фактори, що впливають на технічний стан ЕО. Ще більш важливим завданням у цьому випадку є створення комплексного методу визначення технічного стану, здатного об'єднати різнобічну діагностичну інформацію і на цій базі розрахувати інтегральну кількісну характеристику рівня технічного стану. Вирішення цих проблем відкриває додаткові шляхи для отримання економічного ефекту, дозволяє попереджувати можливі відмови і непередбачені досягнення граничних станів, більш правильно планувати режими експлуатації, профілактичні заходи та постачання запасними частинами. Більше того, перехід до індивідуальної оцінки веде до

© Д.В. Міронов, В.Г. Сиченко, О.О. Матусевич

збільшення середнього ресурсу обладнання, оскільки зменшує частку агрегатів, що передчасно знімаються для ремонту, і відкриває шлях для обґрунтованого вибору оптимального терміну експлуатації. У ряді випадків рентабельна експлуатація може бути продовжена в умовах знижених навантажень. Тому можна розглядати оцінювання індивідуального залишкового ресурсу як свого роду систему управління процесом експлуатації та технічного обслуговування. Порівнюючи отримане значення з допустимими межами його зміни, можна дати рекомендації про необхідність виведення ЕО в ремонт або про продовження його експлуатації. Не менш важливою проблемою є задача прогнозування залишкового ресурсу ЕО.

Мета та завдання. Розробити методику та алгоритм оцінки фактичного залишкового ресурсу ЕО для створення автоматизованої системи моніторингу та прогнозування залишкового ресурсу обладнання тягових підстанцій.

Методика оцінки фактичного залишкового ресурсу енергетичного обладнання. Вирішення проблеми оцінки індивідуального ресурсу на практиці ускладнюється з наступних причин:

- поточний контроль стану обладнання може бути здійснений лише за обмеженою кількістю показників, у той час як прийняття рішення щодо продовження ресурсу потребує поточної оцінки по всій множині діагностичних показників;
- необхідно розглядати не тільки локальні часткові показники ресурсу, але і формувати узагальнені агреговані показники, що відображають стан агрегату в цілому, на основі яких можна було б приймати достовірні рішення з планування ремонтних робіт.

Таким чином, для реалізації індивідуального підходу до планування ремонтних робіт необхідна не тільки наявність діагностичних систем контролю стану електрообладнання, а й відповідна алгоритмічна та методична база оцінки залишкового ресурсу енергоагрегату за його поточним станом, заснована на систематизації інформації про діагностичні показники експлуатації [4-6]. Ідентифікація показників процесу зміни ресурсу обладнання при експлуатації повинна здійснюватися на основі інформації з різних джерел, таких, як результати обстежень під час ремонтних робіт, результати поточного контролю з використанням різних методів, статистики аварій, експертні оцінки [7, 8].

Для складних агрегатів число контрольованих діагностичних показників становить десятки і більше. Відповідно, по кожному з параметрів оцінюється свій частковий ресурс. Таким чином, контрольований агрегат, який є об'єктом спостереження, характеризується безліччю часткових ресурсів:

$$\{r_i(t) : i \in I_r\}, \quad (1)$$

де $r_i(t)$ – частковий ресурс агрегату по i -му показнику працездатності; I_r – індексна множина часткових ресурсів.

На сьогоднішній день існує безліч методів контролю та діагностики технічного стану обладнання, які, в основному, спрямовані на виявлення найбільш проблемних вузлів контрольованого агрегату [9].

Даний підхід до оцінки ресурсу агрегату передбачає виявлення таких показників працездатності, за якими частковий ресурс контрольованого агрегату є мінімальним. Аналітично даний підхід можна записати в наступному вигляді:

$$r_{\min}(t) = \min_{(i \in I_r)} \{r_i(t)\}, \quad (2)$$

де $r_{\min}(t)$ – оцінка критичного ресурсу агрегату.

Такий підхід для окремих агрегатів, безумовно, є виправданим, оскільки дозволяє одночасно вирішувати задачу діагностики стану обладнання та попереджати виникнення аварій на основі цілеспрямованих профілактичних ремонтів. Тому деталізований контроль часткових показників є обов'язковим для всіх методик оцінки передаварійних ситуацій.

Однак даний підхід має недоліки. По-перше, обсяг контрольованих показників працездатності завжди є обмеженим. Неконтрольовані параметри можуть зумовити непрогнозовану аварійну ситуацію. Тому оцінка критичного ресурсу контрольованого агрегату є неповною і повинна розглядатися в якості однієї з можливих, хоча й досить представницьких оцінок, але потребуючої подальшого уточнення. По-друге, на практиці, як правило, не представляється можливим одночасно проводити діагностику всього парку контрольованого обладнання традиційними методами. Більш того, деякі методи діагностики вимагають виведення обладнання з експлуатації. У зв'язку з цим, особливо важливе значення має вирішення завдання моніторингу загального технічного стану обладнання в реальному часі, з метою виявлення окремих агрегатів, що вимагають проведення більш детальних обстежень відомими методами. Тут знання узагальненого технічного стану обладнання дозволяє оцінити надійність всього технологічного комплексу в цілому і правильно розподілити ресурси на проведення ремонтно-профілактичних робіт за видами обладнання.

Для усунення зазначених вище недоліків розроблено методику оцінки узагальненого залишкового ресурсу електрообладнання, наведену далі. Методика передбачає введення додаткової оцінки залишкового ресурсу агрегату на основі використання узагальненого діагностичного показника технічного стану електрообладнання D [10].

У процесі експлуатації електрообладнання піддається впливу різних експлуатаційних факторів, кожен з яких певною мірою впливає на зміну його технічного стану. Припустимо, що при роботі електрообладнання в реальних умовах на нього впливають N різних експлуатаційних факторів, які характеризуються величиною y_i . Фактором може бути як деякий одиничний вимірюваний параметр, так і комплекс величин, що характеризують природу досліджуваного експлуатаційного фактору. Припустимо, що на конкретне електрообладнання діє деякий фактор y_i . При збільшенні інтенсивності впливу фактору y_i на величину Δy_i фактичний залишковий ресурс електрообладнання зменшується в k_i разів, а при зменшенні – збільшується в k_i разів. Тому можна записати наступний вираз для обчислення фактичного залишкового ресурсу електрообладнання залежно від зміни величини y_i .

$$R_{res}(t) = R_0 \cdot k_i(t), \quad (3)$$

де $R_{res}(t)$ – фактичний залишковий ресурс електроустаткування; R_0 – нормативний ресурс електрообладнання при $y_i = y_{nom}$; $k_i(t)$ – параметричний показник зміни діагностичного параметру y_i . Параметричний показник $k_i(t)$ обчислюється за наступним виразом:

$$k_i(t) = \frac{y_{perm}^{em} - y_i(t)}{y_{perm}^{em} - y_{nom}}, \quad (4)$$

де $y_i(t)$ – поточне значення діагностичного параметру; y_{perm}^{em} – граничне (аварійне) значення $y_i(t)$; y_{nom} – номінальне (робоче) значення $y_i(t)$.

Формула (3) справедлива для випадку, коли на електрообладнання впливає один єдиний i -й фактор y_i . В реальних умовах експлуатації на зміну технічного стану електрообладнання впливає безліч факторів. Для аналізу результатів діагностичних вимірювань, уніфікації інформації та отримання узагальненої оцінки технічного стану електрообладнання пропонується використання методики, представленої в [10]. З врахуванням цього вираз (3) можна представити у наступному вигляді:

$$R_{res}^i(t) = R_0 \cdot \frac{D_{perm}^{em} - D_i(t)}{D_{perm}^{em} - D_{nom}}, \quad (5)$$

де $D_i(t)$ – поточне значення узагальненого діагностичного показника; D_{perm}^{em} – граничне (аварійне) значення $D_i(t)$ ($D_{perm}^{em} = 0,37$); D_{nom} – номінальне (робоче) значення $D_i(t)$ ($D_{nom} = 0,8$).

Розроблену методику можна використовувати для оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання різного типу. Розглянемо приклад застосування методики для оцінки фактичного залишкового комутаційного ресурсу швидкодіючого вимикача постійного струму ВАБ-43. Згідно з [11] визначено види контрольованих діагностичних параметрів та межі їх припустимих значень. За методикою, представленою в [10], виконано перетворення діагностичних параметрів в часткові функції бажаності. Значення контрольованих параметрів та результати розрахунку часткових d і узагальнених D функцій бажаності представлені у табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1

Значення контрольованих параметрів вимикачів типу ВАБ-43

	Номер досліджуваного вимикача		
	1	2	3
y_1	10	46	70
y_2	90	78	73
y_3	89	78	82
y_4	33	32	23
y_5	14	17	4
y_6	2	2,4	3,2
y_7	2,4	3,6	1
y_8	3,4	4,1	2,2
y_9	20	15,8	12
y_{10}	2,4	1,5	4,2
y_{11}	4,8	5,5	7,9
y_{12}	2,1	2,2	1,6
y_{13}	38	34	49
y_{14}	198	196	205

Функції бажаності

	Номер досліджуваного вимикача		
	1	2	3
d_1	0,764	0,59	0,438
d_2	0,697	0,518	0,43
d_3	0,684	0,518	0,584
d_4	0,704	0,634	0,331
d_5	0,8	0,537	0,325
d_6	0,726	0,533	0,329
d_7	0,8	0,348	0,37
d_8	0,8	0,548	0,397
d_9	0,8	0,579	0,37
d_{10}	0,8	0,45	0,342
d_{11}	0,701	0,555	0,372
d_{12}	0,8	0,653	0,444
d_{13}	0,704	0,488	0,4
d_{14}	0,653	0,444	0,37
D	0,753	0,517	0,377
	добре	задов.	погано

Користуючись даними табл. 2 розрахуємо фактичний залишковий комутаційний ресурс швидкодіючих вимикачів за виразом (5). При цьому, згідно з [11] нормативний комутаційний ресурс швидкодіючого вимикача ВАБ-43 $R_0 = 80$ відключень.

$$R_{res}^1 = R_0 \cdot \frac{D_{perm}^{em} - D_1}{D_{perm}^{em} - D_{nom}} = 80 \cdot \frac{0,37 - 0,753}{0,37 - 0,8} = 71,256 \approx 71 \text{ відключення};$$

$$R_{res}^2 = R_0 \cdot \frac{D_{perm}^{em} - D_2}{D_{perm}^{em} - D_{nom}} = 80 \cdot \frac{0,37 - 0,517}{0,37 - 0,8} = 27,349 \approx 27 \text{ відключень};$$

$$R_{res}^3 = R_0 \cdot \frac{D_{perm}^{em} - D_3}{D_{perm}^{em} - D_{nom}} = 80 \cdot \frac{0,37 - 0,377}{0,37 - 0,8} = 1,302 \approx 1 \text{ відключення}.$$

Отримані значення фактичного залишкового ресурсу дозволяють оцінити поточний технічний стан контрольованого обладнання. Результати розрахунку можуть бути використані для коригування графіку ремонтно-профілактичних робіт (РПР) на тягових підстанціях, що дозволяє перейти від системи ППР до обслуговування обладнання за фактичним технічним станом.

При розгляді цілого парку енергетичного обладнання і, як правило, дефіцитному ремонтному фонді підприємства, найчастіше виникає завдання оперативного планування ремонтно-профілактичних робіт по фактичному стану обладнання. По суті, необхідно обґрунтовано встановити чітку черговість виведення того чи іншого обладнання в ремонт. З використанням даної методики реалізований підхід до оперативного планування ремонтно-профілактичних робіт, заснований на розстановці ремонтних пріоритетів контрольованого обладнання. Розстановка ремонтних пріоритетів здійснюється, виходячи з виробітку

узагальненого залишкового ресурсу однотипного обладнання:

$$B_k(t) = \left(1 - \frac{R_{res}^i(t)}{R_0^i}\right) \cdot 100\%, \quad (6)$$

де $B_k(t)$ – вироблення залишкового ресурсу i -го обладнання; $R_{res}^i(t)$ – залишковий ресурс i -го обладнання на момент прийняття рішення; R_0 – нормативний ресурс електрообладнання при $y_i = y_{nom}$.

Далі необхідно провести ранжування отриманих значень вироблення в порядку спадання і присвоїти кожному з агрегатів відповідний номер. Кожному агрегату присвоюється ремонтний пріоритет, який відображається на графіку у верхній частині стовбчастої діаграми. Одиниця присвоюється агрегату з найбільшою виробленням залишкового ресурсу. Чим більше вироблення залишкового ресурсу агрегату, тим вище його ремонтний пріоритет.

Проведемо розстановку ремонтних пріоритетів за результатами розрахунку фактичного залишкового ресурсу $R_{res}^1 - R_{res}^3$.

Призначення ремонтних пріоритетів контрольного обладнання дозволяє встановлювати чітку черговість проведення ремонтно-профілактичних робіт

однотипного обладнання, а аналіз фактичного залишкового ресурсу – необхідність їх проведення на момент прийняття рішень в умовах дефіциту матеріальних ресурсів.

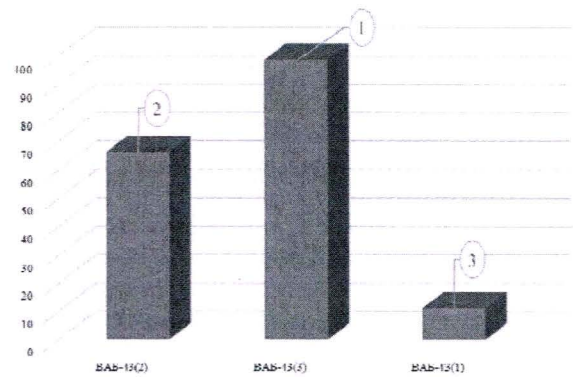


Рис. 1. Ремонтні пріоритети для швидкодіючих вимикачів ВАБ-43

Алгоритм оперативного моніторингу технічного стану електрообладнання. Використовуючи методику оцінки фактичного залишкового ресурсу енергетичного обладнання можна вирішити задачу оперативного моніторингу технічного стану ЕО. Алгоритм вирішення даної задачі представлений на рис. 2.

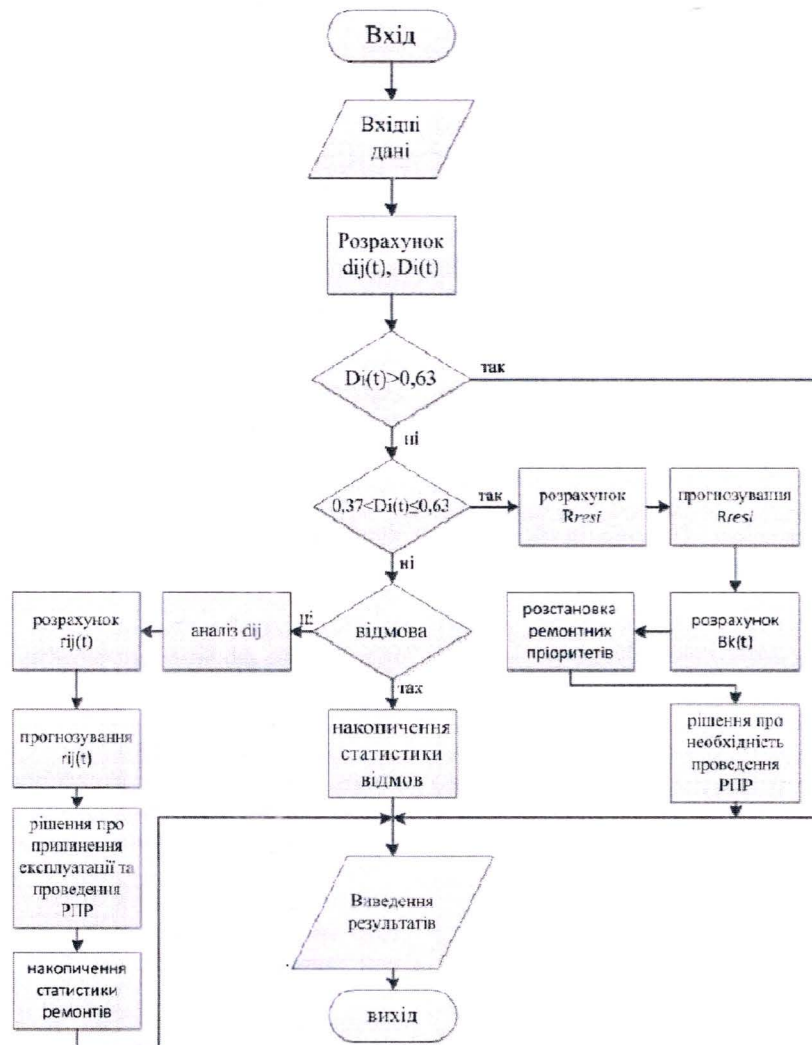


Рис. 2. Алгоритм оперативного моніторингу технічного стану ЕО

Алгоритм реалізується наступним чином:

- введення початкових даних (нормативний ресурс ЕО; номінальне (робоче), поточне та граничне (аварійне) значення діагностичного параметру);
- розрахунок часткових та узагальнених діагностичних показників;
- співставлення значення розрахованих величин з пороговими рівнями:
 - виконання умови $D_i(t) > 0,63$ свідчить про нормальний робочий стан обладнання;
 - виконання умови $0,37 < D_i(t) \leq 0,63$ свідчить про перед аварійний стан обладнання; розраховується та прогнозується фактичний залишковий ресурс обладнання, виробіток узагальненого залишкового ресурсу та виноситься рішення про проведення РПР;
 - виконання умови $D_i(t) \leq 0,37$ свідчить про аварійний стан обладнання; проводиться аналіз часткових діагностичних показників, розраховується та прогнозується частковий залишковий ресурс обладнання, виноситься рішення про виведення обладнання із експлуатації та проведення РПР.

Даний алгоритм дає змогу попереджувати можливі відмови і аварійні ситуації на контрольованому обладнанні за рахунок моніторингу та прогнозуванню поточного технічного стану ЕО, що підвищує надійність і безвідмовність роботи обладнання тягових підстанцій.

Автоматизована система моніторингу і прогнозування фактичного залишкового ресурсу обладнання тягових підстанцій. За допомогою описаної вище методики та алгоритму розроблена автоматизована система моніторингу і прогнозування фактичного залишкового ресурсу обладнання тягових підстанцій. Дана система призначена для моніторингу і прогнозування фактичного залишкового ресурсу енергетичного обладнання, а також для ведення інформаційної бази даних енергетичного устаткування. Структура системи зображена на рис. 3.

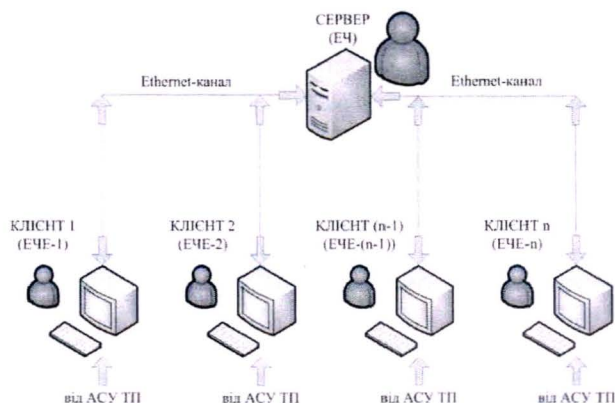


Рис. 3. Структура автоматизованої системи моніторингу і прогнозування фактичного залишкового ресурсу обладнання тягових підстанцій

Автоматизована система забезпечує виконання наступних функцій:

- ведення інформаційної бази даних показників працездатності та ремонтної статистики обладнання;
- розрахунок і графічне відображення критичного і залишкового ресурсів обладнання;
- прогнозування залишкового ресурсу обладнання на заданий інтервал часу;
- розрахунок і графічне відображення ремонтних пріоритетів обладнання.

Автоматизована система складається з наступних модулів: сервера з інформаційною базою даних (встановлюється на дистанції електропостачання), клієнта (встановлюється на тяговій підстанції), модуль вводу даних, модуль розрахунку фактичного залишкового та критичного ресурсів, програмного забезпечення (ПЗ) адміністрування (персонал дистанції електропостачання) та операторів виробничих відділів (персонал тягової підстанції).

В інформаційній базі даних зберігаються відомості про структуру тягових підстанцій, інформація про основні експлуатаційні характеристики агрегатів, параметри розрахунку узагальненого і критичного ресурсу. При кожному додаванні в базу даних нових записів про параметри експлуатаційних характеристик агрегату активізується модуль розрахунку фактичного та узагальненого залишкового ресурсу.

Модуль вводу даних дозволяє автоматично вводити поточні значення контрольованих діагностичних показників в електронну базу даних з існуючої АСУ ТП в автоматичному режимі. При відсутності АСУ ТП оператор має змогу здійснювати ручне введення в базу даних значень показників експлуатації.

Налаштування параметрів роботи системи здійснюється за допомогою програмного забезпечення адміністрування. Тут редагуються структурні елементи тягової підстанції, задаються граничні значення діагностичних показників контрольованого обладнання, вносяться відомості про аварії та ремонти. Також дане ПЗ забезпечує розрахунок і графічне відображення критичного і залишкового ресурсів обладнання, часткових ресурсів по окремим контрольованим показникам, розрахунок і відображення прогнозних значень залишкового ресурсу обладнання, а також графіків ремонтних пріоритетів.

ПЗ операторів виробничо-технічних відділів призначено для вводу у ручному режимі поточних значень експлуатаційних характеристик контрольованих агрегатів, отриманих в результаті міжремонтних випробувань. Разом з цим дане ПЗ забезпечує графічне відображення критичного і залишкового ресурсів обладнання, графічне відображення часткових ресурсів по окремим контрольованим показникам, а також відкоригованих графіків ремонтно-профілактичних робіт.

Висновки.

1. Запропонована методика оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання в реальному

часі на основі даних експлуатації, яка дозволяє автоматизувати моніторинг узагальненого технічного стану устаткування.

2. Розроблено алгоритм оперативного моніторингу технічного стану ЕО, який дозволяє безперервно вести оцінку поточного технічного стану ЕО і попереджувати аварійні ситуації та відмови контролюваного обладнання.

3. Запропоновано підхід до пріоритетного планування ремонтно-профілактичних робіт на основі оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання з використанням узагальнених діагностичних показників, що дозволяє обґрунтовано встановити черговість проведення ремонтно-профілактичних робіт для парку однотипного обладнання.

4. На основі методики оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання розроблена автоматизована система для безперервного моніторингу та розрахунку фактичного залишкового ресурсу, що дозволяє оперативно реагувати на зміну технічного стану контролюваного обладнання і виділяти найбільш критичні одиниці технічного устаткування. Це дає змогу реалізувати систему технічного обслуговування обладнання тягових підстанцій за фактичним технічним станом, що дозволить значно скоротити матеріальні та фінансові затрати на проведення ремонтно-профілактичних робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Матусевич О.О., Міронов Д.В. Дослідження експлуатації силового обладнання системи тягового електропостачання залізниць // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 1 (55). – С. 62-77. doi: 10.15802/stp2015/38245.
2. Oleksandr Matushevych, Viktor Sychenko, Andrzej Bialon Continuous improvement of technical servicing and repair system of railway substation on the basis of FMEA methodology // TTS, 2016, № 1-2, pp. 75-79.
3. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
4. Henryk Maciejewski, George Anders Problem of model selection for Estimation of Equipment Remaining Life / Proc. of 2nd International Conference on Dependability of Computer Systems, 2007.
5. Журахівський А.В., Кінаш Б.М., Пастух О.Р. Надійність електричних мереж і систем. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с.
6. Lawless J.F., Statistical Models and Methods for Lifetime Data, Wiley, 1982.
7. Henryk Maciejewski, George Anders, John Endrenyi On the use of statistical methods for predicting the end of life of electric power equipment / Proc. of the 2001 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. – Spain, 2011.
8. Henryk Maciejewski Reliability Centered Maintenance of Repairable Equipment / Proc. of the 4th International Conference on Dependability of Computer Systems, 2009.
9. Кузнецов В.Г., Галкін О.Г., Єфімов О. В., Матусевич О. О. Надійність і діагностика пристроїв тягового електропос-

тачання: навчальний посібник. – Д. : Вид-во Маковецький, 2009. – 248 с.

10. Міронов Д.В. Удосконалення системи ТО і Р обладнання тягових підстанцій з використанням узагальнених критеріїв // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2015, № 3 (41). – С. 107-116.

11. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць. – К. : ТОВ «Інпрес», 2008. – 125 с.

REFERENCES

1. Matushevych O.O., Mironov D.V. Study of the manual power equipment of traction electrification system of the railways. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnohy transport imeni akademika V. Lazariana – Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2015, iss.1(55), pp. 62-77. (Ukr). doi: 10.15802/stp2015/38245.
2. Oleksandr Matushevych, Viktor Sychenko, Andrzej Bialon. Continuous improvement of technical servicing and repair system of railway substation on the basis of FMEA methodology. *TTS*, 2016, no. 1-2, pp. 75-79.
3. Barzilovich E. Yu. *Modeli tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnykh sistem* [The model of complex systems maintenance]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982. 231 p. (Rus).
4. Henryk Maciejewski, George Anders Problem of model selection for Estimation of Equipment Remaining Life. *Proc. of 2nd International Conference on Dependability of Computer Systems*, 2007.
5. Zhurakhiv's'kyi A.V., Kinash B.M., Pastukh O.R. *Nadiynist' elektrychnykh merezh i system* [Reliability of electric networks and systems]. Lviv, Lviv Polytechnic Publ., 2012. 280 p. (Ukr).
6. Lawless J.F. *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*, Wiley, 1982.
7. Henryk Maciejewski, George Anders, John Endrenyi. On the use of statistical methods for predicting the end of life of electric power equipment. *Proc. of the 2001 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*. Spain, 2011.
8. Henryk Maciejewski. Reliability Centered Maintenance of Repairable Equipment. *Proc. of the 4th International Conference on Dependability of Computer Systems*, 2009.
9. Kuznetsov V.H., Halkin O.H., Yefimov O.V., Matushevych O.O. *Nadiynist' i diahnozyka prystroyiv tyahovoho elektro-postachannya: navchal'nyy posibnyk* [Reliability and diagnostic the devices of traction power supply]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2009. 248 p. (Ukr).
10. Mironov D.V. Improving the maintenance and repair of the equipment of traction substations with the use of generalized criteria. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya – Energy: economy, technology, ecology*, 2015, no.3(41), pp. 107-116. (Ukr).
11. *Instruktsiya z tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu obladnannya 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. (Ukr).

Надійшла (received) 02.04.2016

Міронов Дмитро Вікторович¹, аспірант,
Сиченко Віктор Григорович¹, д.т.н., проф.,
Матусевич Олександр Олександрович¹, к.т.н., доц.,
¹ Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна,
49010, Дніпро, вул. Лазаряна, 2,
тел./phone +38 056 373 15 25, e-mail: mironov.epz@yandex.ua

D.V. Mironov¹, V.G. Sychenko¹, O.O. Matusevych¹
¹ Dnipropetrovsk National University of Railway Transport
named after Academician V. Lazaryan,
2, Lazaryan str., Dnipro, 49010, Ukraine.

Automated system of monitoring and predicting the actual residual life of the traction substations equipment.

Purpose. The aim of this work is to develop the method and algorithm of estimating the electrical equipment actual residual life to create an automated system of monitoring and forecasting the traction substations equipment residual resource. **Methodology.** The basic principles of the theory of reliability, methods of structural-functional and multi-factor analysis, methods of mathematical and numerical modeling were used to solve the above mentioned tasks. To describe the algorithm and create the automated system of monitoring and forecasting the electrical equipment residual life, computer simulation and programming have been applied. **Results.** We offer a method of the real-time estimation of the electrical equipment actual residual life basis of the operation data, which allows automating the monitoring of the equipment general technical condition. We have developed an algorithm of the real-life monitoring the equipment technical condition. This allows continuous assessment of the

current technical state of equipment as well as preventing accidents, and the controlled equipment failure. We propose an approach to the prioritized planning of the maintenance activities based on the assessment of the actual residual life of electrical equipment using generalized diagnostic indicators which reasonably prioritizes repair and maintenance work for a fleet of similar equipment. We have developed an automated system for continuous monitoring and calculating the actual equipment remaining life on the basis of the method of evaluating the actual residual life of electrical equipment. **Originality.** We developed a method of the estimation of the power equipment actual residual life using generalized diagnostic indicators, which allows solving the problem of optimal planning of maintenance and repair work. On the basis of this method an algorithm for real-life monitoring the technical condition of the electrical equipment and an automated system of monitoring and forecasting the electrical equipment residual life has been developed. **Practical value.** The method of evaluating the power equipment actual residual life allows assessing the current technical condition of the controlled equipment. The results can be used for adjusting the schedule of maintenance and repair work on traction substations, which allows implementing the system of maintenance based on the actual technical condition of the electrical equipment rather than that of scheduled preventive one. This will reduce material and financial costs of maintenance and repair work as well as the equipment downtime caused by planned inspections and repair improving reliability and uptime of electrical equipment. References 11, tables 2, figures 3.
Key words: electricity; traction substation; maintenance; diagnostics; residual life; the automated system.