

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.331:621.311.4

О. О. МАТУСЕВИЧ^{1*}, Д. В. МИРОНОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 17, ел. пошта al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

^{2*}Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, ел. пошта mironov.epz@yandex.ua, ORCID 0000-0002-5717-4322

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

Мета. В роботі проводились дослідження експлуатації силового обладнання тягових підстанцій (ТП) електрифікованих залізниць України. Необхідним є пошук нових сучасних методів і підходів удосконалення системи моніторингу, діагностування та технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) силового обладнання ТП. **Методика.** Для досягнення поставленої мети досліджено динаміку зміни технічного стану обладнання ТП за останні 11 років на основі звітів аналізу роботи господарства електрифікації та електропостачання Укрзалізниці. Проведено дослідження основних систем із організації ТО і Р пристроїв ТП електрифікованих залізниць. **Результати.** У результаті дослідження встановлено, що в основі нових стратегій ТО і Р лежить аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування устаткування за фактичним технічним станом). Проведене дослідження основних причин порушень за період із 2002 по 2012 рр. нормальної роботи системи тягового електропостачання залізниць України показує, що 80 % причин порушень складають: пошкодження основного силового обладнання ТП; відключення живлення енергосистемою; перевантаження та перенапруга; вплив метеорологічних умов. Із них 43 % складають відмови основного силового обладнання ТП. Тому в існуючих умовах експлуатації силового електрообладнання ТП актуальними є постійний моніторинг, випробування й діагностика стану обладнання зі створенням і використанням мікропроцесорних інтелектуальних автоматизованих систем моніторингу та діагностування. **Наукова новизна.** Розглянуті нові напрями подальшого удосконалення системи ТО і Р тягових підстанцій електрифікованих залізниць України, які не розглядаються в «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024. Визначені основні проблеми, які необхідно вирішити для впровадження даних стратегій. **Практична значимість.** Встановлено, що система ППР в умовах жорсткого централізованого планування й керування у нових економічних умовах не забезпечує в багатьох випадках ухвалення та прийняття ефективних рішень при організації та проведенні ТО і Р. Досліджено, що і після нормативного терміну служби значна частина силового обладнання ТП зберігає свою працездатність при своєчасному проведенні випробувань, діагностувань, ТО і Р та якісному їх виконанні.

Ключові слова: електропостачання; електрифіковані залізниці; тягова підстанція; обладнання; стратегії; ризики ТО і Р; діагностування; надійність; моніторинг; фактичний технічний стан; система технічної експлуатації

Вступ

Однією з найважливіших проблем сучасності є проблема надійності. Питання про надійність

електроенергетичних об'єктів і систем є основним в комплексі вимог, що пред'являються до них. Ефективне функціонування електрифікованого залізничного транспорту в основному

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

залежить від надійності електропостачання. У свою чергу надійність функціонування електротехнічного обладнання тягових підстанцій (ТП) залежить від його технічного стану. Сучасне електротехнічне устаткування має високі розрахункові показники надійності, однак в процесі експлуатації під впливом різних чинників, умов і режимів роботи стан обладнання ТП безперервно погіршується, знижується експлуатаційна надійність і збільшується небезпека виникнення відмов. Надійність силового обладнання ТП залежить не лише від якості виготовлення, але і від науково обґрунтованої експлуатації, правильного технічного обслуговування і своєчасного ремонту. В основі процесу експлуатації електроустаткування ТП лежать послідовні в часі зміни технічного стану обладнання ТП, наявність резерву, своєчасність ремонту, якісне технічне обслуговування та зберігання, здійснення моніторингу стану технічного обладнання, тощо.

На сьогодні значна частина обладнання електроенергетичної інфраструктури залізничного транспорту України вже вичерпала свій ресурс і потребує заміни або поетапної реконструкції та оновлення. Крім того, необхідно підвищувати ефективність використання існуючого обладнання, застосовувати нові методи діагностування фактичного технічного стану обладнання, скорочувати експлуатаційні витрати і переходити на ресурсозберігаючі та енергозберігаючі технології. Надійна робота пристроїв електропостачання відіграє важливу роль з питань вирішення проблеми безпеки руху на залізницях України. При цьому більшості відмов електроустаткування дистанцій електропостачання передують той або інший вид накопичених ушкоджень. Наприклад, внаслідок пошкодження пристроїв електропостачання на залізницях України за 2012 рік було затримано 982 поїзди на 959 годин, у 2011 році – 832 поїзди на 656 годин. Це на 17,0 % більше за кількістю і на 46,0 % більше за часом [1].

Як бачимо, проблема забезпечення надійності електроустаткування та зниження аварійності силового обладнання ТП в процесі експлуатації стає першочерговим завданням системи електропостачання електрифікованих залізниць.

Мета

Виходячи з вищезрозглянутої проблеми, метою статті є дослідження експлуатації силового обладнання ТП електрифікованих залізниць

України та пошук нових сучасних методів і підходів удосконалення системи моніторингу, діагностування і технічного обслуговування в процесі експлуатації ТП. Підтримка необхідного рівня надійності тягового електропостачання та зниження аварійності силового устаткування.

Методика

Теоретичною базою дослідження стали результати аналізу роботи господарства електрифікації та електропостачання Укрзалізниці, а також публікацій, які присвячені дослідженню досвіду з питань якісного вирішення проблем надійного електропостачання залізниць.

Підтримка необхідного рівня надійності обладнання ТП в процесі його експлуатації забезпечується системою технічного обслуговування і ремонтів. Відповідно до [3] системи ТО і Р обладнання тягового електропостачання залізниць – це сукупність взаємозв'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту та виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості пристроїв, що входять в цю систему. Метою системи ТО і Р є управління технічним станом обладнання протягом їх терміну служби або ресурсу.

Утримання технічного обладнання залізничного транспорту на високому експлуатаційному рівні неможливе без об'єктивної інформації про їх фактичний технічний стан. Об'єкти залізничного транспорту містять велику кількість пристроїв, тривала експлуатація яких без належного діагностування технічного стану може призвести до виходу їх з ладу та значного матеріального збитку.

Основним технологічним завданням господарства електропостачання залізниць України («Е») є якісне, безперебійне забезпечення електроенергією тягових та нетягових споживачів. Для виконання цього завдання підрозділи господарства «Е» перетворюють електричну енергію на тягових підстанціях, передають електроенергію заданих параметрів через контактну мережу до електрорухомого складу для тяги поїздів, а також живлять сторонніх споживачів через райони електропостачання. Технічне забезпечення виконання основного завдання господарства «Е» можна розділити на групи:

1. Експлуатація технічних пристроїв електропостачання, яка включає в себе:

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

– моніторинг та діагностику технічного стану обладнання тягових підстанцій, контактної мережі та районів електропостачання;

– технічне обслуговування і ремонт обладнання тягових підстанцій, постів секціонування, пунктів паралельного з'єднання та обладнання районів електропостачання.

2. Забезпечення процесу експлуатації силового обладнання ТП з вирішенням проблем модернізації і оновлення обладнання; виділення коштів на експлуатаційні витрати; забезпечення кваліфікованим персоналом; забезпечення запасними частинами; здійснення моніторингу та якісного діагностування обладнання ТП.

На сьогодні розвиток швидкісного руху та зростання його інтенсивності, застосування електрорухомого складу нового покоління вимагають заміни застарілого обладнання низької експлуатаційної надійності на високотехнологічні пристрої підвищеної надійності і збільшеного ресурсу, впровадження нових методів діагностування технічного стану обладнання ТП та вдосконалення існуючої системи технічного обслуговування і ремонту пристроїв електропостачання електрифікованих залізниць України.

Зазначені обставини вказують на необхідність розробки науково-обґрунтованого комплексу методів і засобів, спрямованих на підвищення надійності системи тягового електропостачання (СТЕ). Цей комплекс повинен базуватися на детальному аналізі виходу з ладу електрообладнання СТЕ зі застосуванням сучасних математичних моделей і методів. Результати такого дослідження можна використовувати:

– під час розробки заходів з підвищення надійності тягового електропостачання залізниць України;

– під час розробки концепції стратегії оперативного управління СТЕ;

– для вирішення задачі безперервної та надійної роботи обладнання ТП з мінімальними витратами на ТО і Р;

– для аналізу проблем виникнення аварійних ситуацій тягового електропостачання залізниць;

– для вирішення проблеми скорочення простой обладнання та позапланових робіт з ТО і Р обладнання ТП.

З метою вирішення проблеми підвищення якості ТО і Р системи тягового електропостачання залізниць України виконаємо дослідження надійності обладнання системи та розгляне-

мо порушення нормальної роботи пристроїв електропостачання різного ступеня тяжкості.

Аналіз динаміки зміни даних показників за 11 років показав [1, 2], що в період з 2002 по 2007 р. спостерігається зменшення кількості відмов силового обладнання. А починаючи з 2007 р., цей показник та кількість причин, що викликають його, навпаки зростають (рис. 1). В першу чергу це стосується порушень на контактній мережі та тягових підстанціях.

З наведених графіків бачимо, що починаючи з 2007 р., зростає кількість порушень як по всіх підрозділах служби «Е» в цілому, так і по ТП зокрема. Для ТП це зростання склало з 9 випадків в 2007 р. до 20 випадків в 2012 р.

За кількістю затриманих поїздів в результаті порушень (відмов) силового обладнання тягових підстанцій також спостерігається динаміка зростання затримки поїздів за досліджуваний період (рис. 2).

З метою виявлення причин порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання залізниць України виконано дослідження основних причин порушень за період з 2002 по 2012 р., результати якого наведені у табл. 1.

Однак, така велика кількість виявлених порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання, які наведені у табл. 1, ускладнює можливість якісно виявити та надати оцінку порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання.

Для вирішення цієї проблеми є багато сучасних методів. У цьому напрямі японські вчені в період становлення науки про якість відібрали сім основних методів. Заслуга вчених полягає в тому, що вони забезпечили простоту, наочність, візуалізацію багатьох статистичних методів, перетворивши їх фактично в ефективні інструменти оперативного контролю якості [9]. Одним з семи методів є закон Парето, принцип якого заснований на відокремленні важливих факторів від малозначущих і несуттєвих та дозволяє сфокусувати зусилля і ресурси на усунення найбільш значимих проблем.

Побудована діаграма Парето з причин порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання електрифікованих залізниць України, які наведені у табл. 1, зображена на рис. 3.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

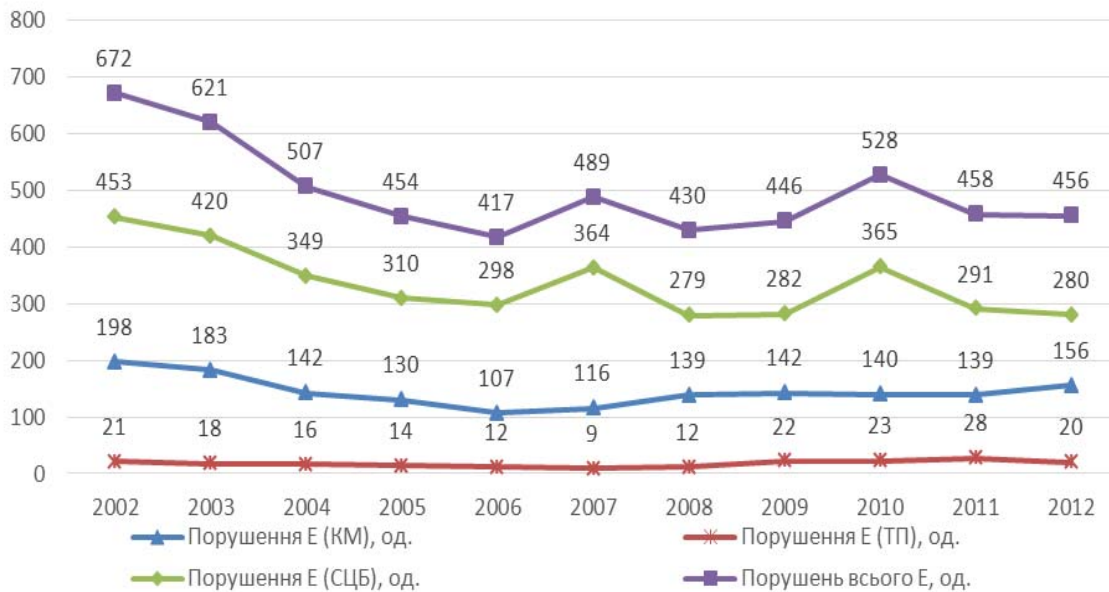


Рис. 1. Динаміка порушень нормальної роботи пристроїв електропостачання по господарству «Е»

Fig. 1. The dynamic violation of normal work of the electric supply device on the economy «E»

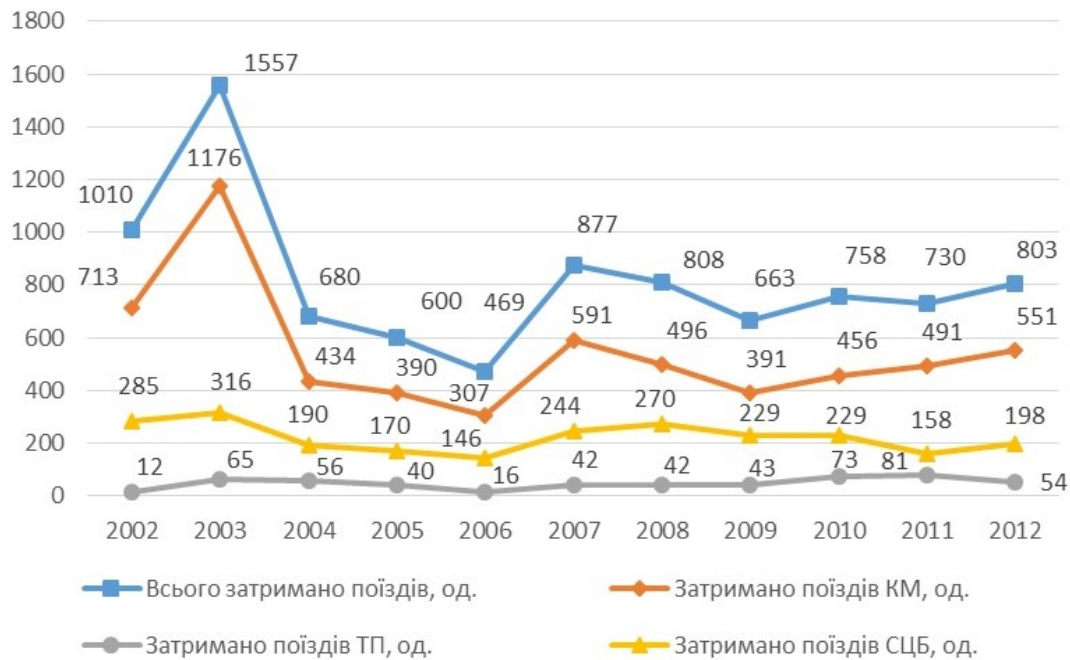


Рис. 2. Динаміка кількості затриманих поїздів в результаті відмов пристроїв електропостачання

Fig. 2. Dynamics of the number of delayed trains as a result of power supply failure

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

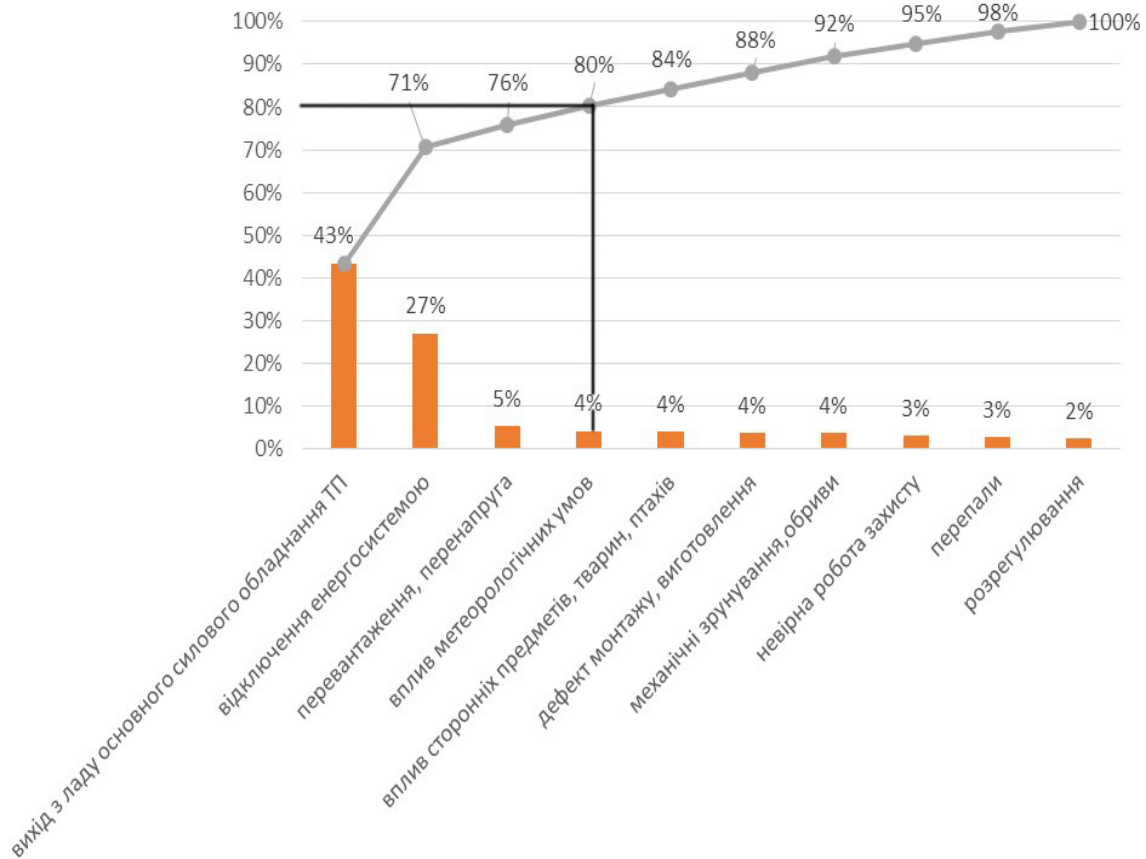


Рис. 3. Причини порушення роботи обладнання ТП

Fig. 3. Causes of traction substation work disturbances

Таблиця 1

Причини порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання електрифікованих залізниць України

Table 1

Causes of normal work disturbances of the traction electric of Ukrainian electrified railways

Рік	Вихід з ладу основного силового обладнання ТП	Перепали	Механічні зрунування, обриви	Розрегулювання	Перевантаження, перенапряга	Дефект монтажу, виготовлення	Вплив метеорологічних умов (ожеледь, вітер, температура)	Вплив сторонніх предметів, тварин, птахів	Невірна робота захисту	Відключення енергосистемою
2012	16	1	3	3	7	2	1		2	5
2011	23	2			3	2	3	1	4	26
2010	9				1	2	4	3		25
2009	25	2			3	1	1		4	25
2008	25	1			4		1	1		34
2007	8	1			4		1	1		13
2006	15		3		2		2	3		21

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Закінчення табл. 1

Рік	Вихід з ладу основного силового обладнання ТП	Перепали	Механічні зруйнування, обриви	Розрегулювання	Перевантаження, перенапруга	Дефект монтажу, виготовлення	Вплив метеорологічних умов (ожеледь, вітер, температура)	Вплив сторонніх предметів, тварин, птахів	Невірна робота захисту	Відключення енергосистемою
2005	32	1	3	1	3	1	2	6	1	2
2004	41	2	2	8		3	5	4	1	8
2003	35	1	8	2	3	3	5	1	2	5
2002	55	7	5	2	5	5	3	6	6	13

Аналіз діаграми показує, що 80 % причин порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання електрифікованих залізниць України за досліджуваний період складають: пошкодження основного силового обладнання ТП; відключення живлення енергосистемою;

перевантаження та перенапруга; та вплив метеорологічних умов. З них 43 % складають відмови основного силового обладнання ТП. Результати дослідження відмов основного силового обладнання ТП електрифікованих залізниць України за 2000–2012 роки [1, 2], наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Розподіл порушень нормальної роботи основного обладнання ТП електрифікованих залізниць України

Table 2

The distribution of the abnormal operation of the main equipment of traction substation of electrified Railways of Ukraine

Рік	Порушення Всього	Трансформатори			Вимикачі					Розрядники		Кмпенс. згляд. пристрої	Ізолятори	Перетворювачі	Роз'єднувачі	Рел. захист
		Силові	Постійного струму	Змінного струму	Вимірвальні	Швидкодіючі	6-35 кВ	110-220 кВ	Фідерні 27,5 кВ	Постійного струму	Змінного струму					
2012	49	3		1	1	6	3		2			2	4		1	7
2011	58	2	4		4	5	3	3	1	1				1		9
2010	44				1	5	3	3	3			1	4	1	5	2
2009	43	2	1	3	4			1	1	1			4	1		
2008	28	2	3		1	1	2	2	2	1			3			
2007	28	2			1	1		1	2	1		1				2
2006	28				4	1	1	1	2		2		1		1	
2005	45		1		11		2	3	4		3		4	1	2	1
2004	58	1		1	6	4	2	2	1			1	5		2	9
2003	64			3	7	4	1	3	5		1	3	4		4	4
2002	96	3	1	3	8	5	5	2	8	1	3	4	9	2	3	6
2001	95	3	1	4	3	5	6	9	8	11		4	3	1	5	4
2000	120	1	1	3	5	7	3	2	4	3	3	14	9	2	3	19

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

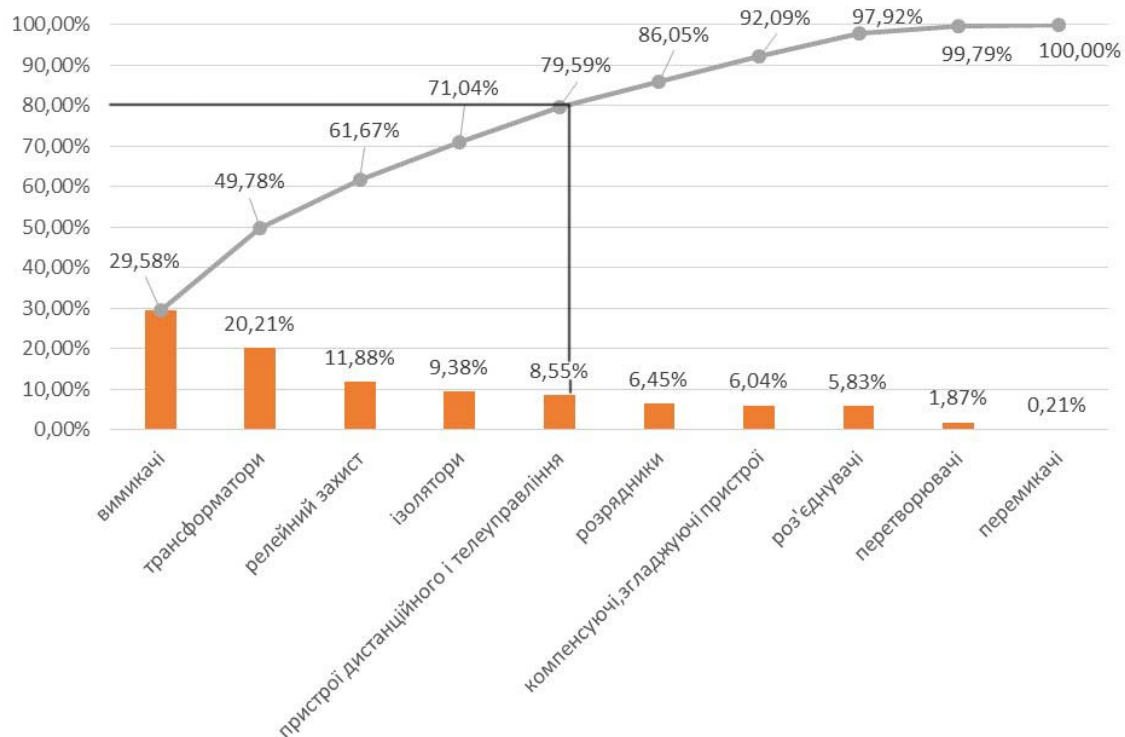


Рис. 4. Розподіл порушень роботи обладнання ТП за типами устаткування

Fig. 4. The distribution of failures of traction substation equipment on types of equipment

Для виявлення обладнання ТП, стану якого необхідно приділити першочергову увагу під час здійснення моніторингу, діагностування та ТО і Р, побудуємо діаграму Парето за результатами дослідження, які наведені у табл. 2 (рис. 4).

Аналіз діаграми показує, що основним обладнанням з вини якого здійснюється 79,59 % порушень нормальної роботи ТП електрифікованих залізниць України за досліджуваний період є: вимикачі, трансформатори (як силові, так і вимірювальні), пристрої релейного захисту, ізолятори та пристрої дистанційного і телеуправління. Також бачимо, що основні порушення нормальної роботи ТП відбуваються за рахунок виходу з ладу вимикачів (29,58 %) та трансформаторів (20,21 %).

У електроенергетичних системах високовольтні вимикачі відносяться до одних з найбільш відповідальних видів електрообладнання. Якість функціонування високовольтних вимикачів визначає ступінь надійності і енергобезпеки роботи всієї системи передачі і розподілу електроенергії як в нормальних, так і в аварійних режимах. Ця проблема також стосується системи тягового електропостачання залізниць.

За допомогою високовольтних вимикачів здійснюються відключення аварійних струмів короткого замикання, операції комутації електропостачання, а також комутації, пов'язані зі зміною напрямку потоків потужностей в електроенергетичних системах. Очевидно, що залежно від роботи вимикача його комутаційний ресурс витрачається нерівномірно. Будь-яким вимикачем можна виконати набагато більше операцій комутації номінального робочого струму, ніж аварійного, який в декілька десятків разів перевищує робочий струм вимикача. Оскільки спроби експлуатації вимикачів після вичерпання їхнього комутаційного ресурсу призводять до значних збитків, важливою технічною задачею є своєчасна оцінка залишкового комутаційного ресурсу цього класу пристроїв.

Основний парк вимикачів 110 кВ становлять вимикачі типу МКП з терміном експлуатації до 25 років (близько 70 %) [1], які зняті з виробництва, трудомісткі в експлуатації і не мають запасних частин.

Середньорічна кількість аварійних відключень на один живлячий фідер контактної мережі в 2012 р. становить 178 проти 207,5 у 2011 році.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

У 2012 році по залізницях замінено 26 швидкодіючих вимикачів постійного струму із запланованих 27, на цей час залишається в експлуатації 425 морально застарілих вимикачів постійного струму типу АБ-2/4.

На змінному струмі експлуатуються масляні вимикачі типу ВМО-27,5 та ВМК-25, що мають низький ресурс відключень, потребують позачергових ремонтів і підлягають заміні. До того ж, ці вимикачі на сьогодні зняті з виробництва і відсутній обмінний фонд запчастин для виконання ремонтів. У 2012 році із запланованих 13 вимикачів замінено лише 7.

Тому в таких умовах експлуатації ТП дуже актуальними є технічний контроль і діагностика стану високовольтних вимикачів, що дозволяють своєчасно виявляти дефекти або несправності, а потім оперативно усувати їх. Очевидно, що діагностиці високовольтних вимикачів, які знаходяться в експлуатації дистанцій електропостачання, слід приділяти підвищену увагу. В цей час для вирішення цієї проблеми в системі електропостачання залізниць, в тому числі і діагностиці високовольтного електроустаткування, важливу роль відіграють сучасні методи з використанням цифрових пристроїв та систем на мікропроцесорній елементній базі. Ці методи мають важливе значення для зношеного електрообладнання, в першу чергу для масляних вимикачів, які на сьогодні експлуатуються значно більше, ніж іншого силового обладнання ТП.

Наступним напрямом вирішення проблеми підвищення надійності системи тягового електропостачання є ефективне та якісне діагностування фактичного технічного стану силових трансформаторів ТП з метою повного використання його ресурсу.

Трансформатори ТП дистанцій електропостачання зумовлені особливою значущістю у забезпеченні надійної роботи системи тягового електропостачання залізниць, високою вартістю, небезпекою виникнення ушкоджень, які викликають значні наслідки.

Діаграма розподілу порушень роботи обладнання ТП за типами устаткування (рис. 4) показує, що пошкодження трансформаторів відносяться до основних значущих проблем порушення нормальної роботи тягового електропостачання.

На цей час на залізницях України з 422 понижувальних та тягових трансформаторів напругою 110–220 кВ знаходяться в експлуатації

337 трансформаторів зі строком служби понад 25 років, що складає 79 % від загальної кількості понижувальних та тягових трансформаторів. За наявності трансформаторів з терміном експлуатації понад 25 років, службами електропостачання Південної залізниці (48 трансформаторів – 70 %), Південно-Західної залізниці (43 трансформаторів – 60 %), Одеської залізниці (37 трансформаторів – 59 %) у 2011 році роботи з ремонту і заміни навіть не планувались. В 2012 році виконано капітальний ремонт 11 тягових трансформаторів [1].

Згідно з додатком 2 «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» (ЦЕ-0024), термін служби трансформатора складає не менше 25 років, при цьому через 12 років необхідно виконувати капітальний ремонт [6].

Виконаний аналіз технічного стану силових трансформаторів ТП показав, що з 2006 по 2012 рр. відбулося 30 пошкоджень та відмов трансформаторів [1, 2]. Із числа пошкоджених замінені 17 трансформаторів. Аналіз розподілу відмов і пошкоджень силових трансформаторів залежно від періоду їх експлуатації наведено на рис. 5.

Аналіз розподілу відмов і пошкоджень силових трансформаторів залежно від періоду їх експлуатації дозволяє зробити такий висновок:

- розподіл має чітко виражений максимум, найбільша кількість відмов і пошкоджень силових трансформаторів спостерігається після 10 і 30 років. Пошкоджуваність трансформаторів на рівні 15...20 % в перші 10...15 років роботи пояснюється, в основному, проявом істотних заводських дефектів конструкції і виготовлення;

- максимум пошкоджуваності силових трансформаторів в період експлуатації 10...15 років збігається з терміном капітального ремонту, який в умовах тягових підстанцій, як правило, не виконується через відсутність ремонтної бази;

- зниження пошкоджуваності до 25...30 років експлуатації пояснюється виробленим вибракуванням обладнання з істотними дефектами шляхом його заміни і частково виконанням ремонтів;

- зростання пошкоджуваності після 30 років експлуатації свідчить про недосконалість системи діагностування та ТО і Р. Можливістю істотно продовжити термін експлуатації транс-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

форматора та повного використання залишкового ресурсу є здійснення якісного і своєчасного діагностування, раннього усунення виявлених дефектів шляхом недорогого відновлювального ремонту.

Досвід експлуатації силових трансформаторів показує, що і після нормативного терміну служби значна частина трансформаторів збері-

гає свою працездатність за умови дотримання допустимих навантажувальних режимів, своєчасного виконання випробувань, діагностування, технічного обслуговування, ремонтів і якісного їх виконання, з іншого боку термін служби трансформатора залежить від його залишкового ресурсу [4, 13, 12].

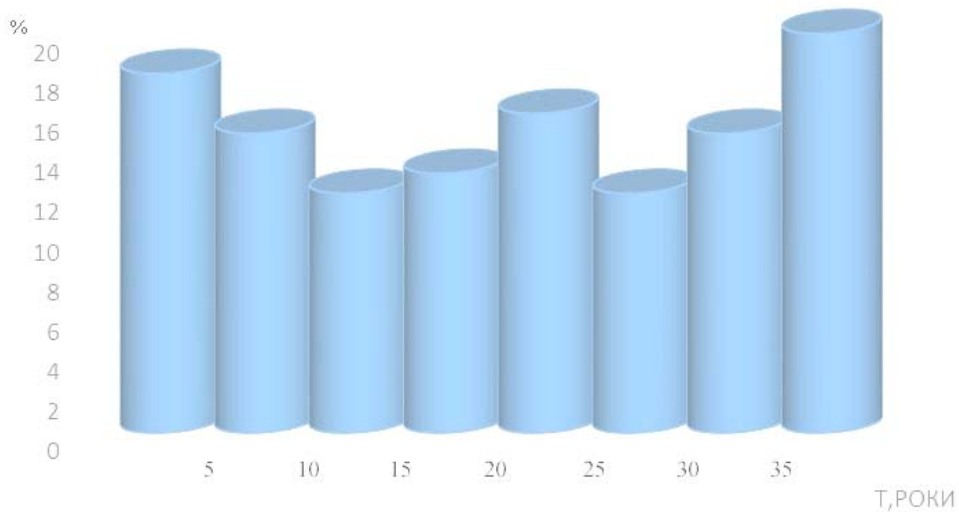


Рис. 5. Розподіл відмов і пошкоджень силових трансформаторів за періодами експлуатації, %

Fig. 5. The distribution of failures and damages of power transformers by periods of operation, %

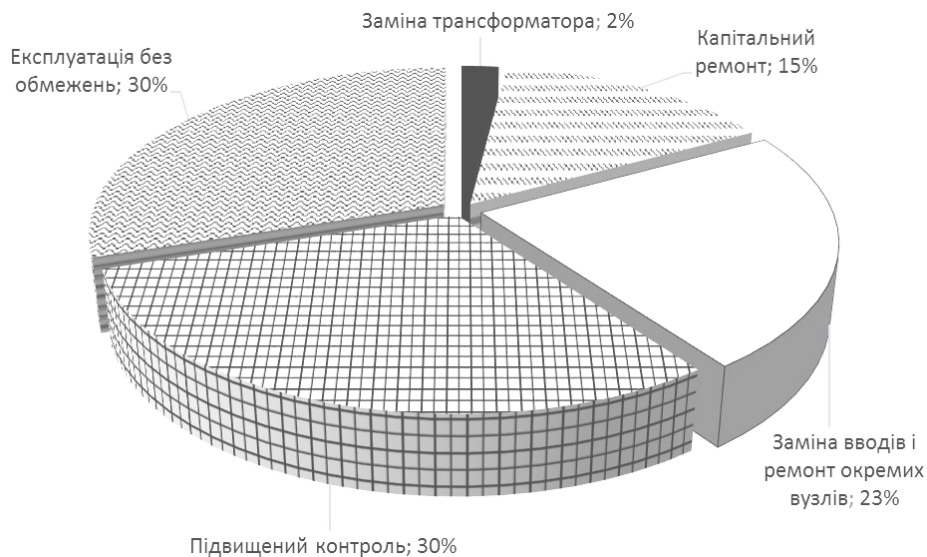


Рис. 6. Результати обстежень трансформаторів

Fig. 6. The results of the transformers tests

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Підтвердженням цього є результати обстежень більше двохсот трансформаторів потужністю від 6,3 до 1 000 МВт, виготовлених в Україні, Росії, Швеції і Бельгії і встановлених в різних кліматичних зонах [10]. Майже 70 % з обстежених трансформаторів мали напрацювання більше 25 років. Близько половини з них відноситься до великих (більше 100 МВт). Узагальнені результати комплексних діагностичних обстежень наведені на рис. 6.

За результатами обстежень видно, що 30 % трансформаторів, з числа обстежених, можуть продовжувати експлуатуватися без жодних обмежень. І всього лише 2 % мають бути замінені. Інші трансформатори вимагають або капітального ремонту (15 %), або відносно невеликих і недорогих відновних ремонтів (23 %), або просто підвищеного контролю (30 %).

Тому поряд з плановою заміною застарілого обладнання найважливішим завданням є використання повного робочого ресурсу трансформаторів за рахунок комплексного застосування сучасних методів діагностування та технологій ремонту за фактичним технічним станом обладнання.

На цей час підтримка необхідної міри надійності обладнання системи тягового електропостачання залізниць в процесі експлуатації забезпечується, по-перше, за рахунок значних коефіцієнтів запасу, які закладені під час його створення, по-друге системою технічного обслуговування і періодичних ремонтів.

В основу діючої системи ТО і Р ТП системи тягового електропостачання залізниць, згідно з «Інструкцією з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024 [6], покладено поєднання технічного обслуговування і планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Принципи, які покладені в основу системи ППР [8]:

- чим старіше устаткування, тим вище вірогідність виходу його з ладу;
- накопичена статистика дозволяє розрахувати середній час роботи устаткування та норми періодичності ремонтів;
- планування засноване на попереджувальній профілактичній дії.

Основним техніко-економічним критерієм системи ППР служить мінімум простоїв устаткування на основі жорсткої регламентації ремонтних циклів. Відповідно до цього критерію

періодичність і об'єм робіт з технічного обслуговування і ремонту обладнання ТП визначаються заздалегідь встановленими для усіх видів устаткування типовими нормативами. Такий підхід попереджує прогресуючий знос обладнання і зменшує вірогідність виходу його з ладу. Система ППР дає можливість підготувати керовану і прогнозовану на тривалий період ремонтну програму за видами ремонтів, типами обладнання, дистанціями тягового електропостачання та служби ЦЕ Укрзалізниці. Це спрощує планування профілактичних заходів, дозволяє здійснити попередню підготовку ремонтних робіт, дозволяє виконувати їх в мінімальні терміни, підвищує якість ремонту, що забезпечує необхідну надійність енергопостачання споживачів. Таким чином, система ППР призначена для забезпечення надійності електроустаткування системи електропостачання залізниць України в умовах жорсткого централізованого планування і керування, стабільного завантаження потужностей ТП при мініальному їх резерві. Однак у нових економічних умовах система ППР не забезпечує у багатьох випадках ухвалення та прийняття ефективних і оптимальних рішень. Це пояснюється такими причинами та обставинами [8, 11]:

- усереднені і застарілі нормативи інструкцій з організації ТО і Р ТП;
- призначення профілактичних робіт здійснюється за регламентом і не залежить від фактичного технічного стану обладнання ТП на початок ремонту (біля 50 % робіт виконується без фактичної необхідності);
- плани-графіки профілактичних робіт не встановлюють пріоритет виводу в ремонт різних видів електроустаткування ТП залежно від реального фактичного технічного стану обладнання;
- під час складання планів-графіків не враховується низка обмежень (технологічних, матеріальних, тимчасових, трудових), а також не передбачається їх оптимізація з позиції раціонального управління станами процесу експлуатації і повного використання ресурсу кожної одиниці електроустаткування ТП;
- виконується заміна деталей з великим залишковим ресурсом;
- велика трудомісткість профілактичних робіт;
- значна чисельність ремонтного персоналу.

Технічне переобладнання і модернізація вимагають значних інвестицій, а систему техні-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ного обслуговування і ремонту можна удосконалити шляхом впровадження нових прогресивних форм її організації і управління [7, 5]. У ході досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних авторів було виявлено, що якщо витрати на експлуатацію по стратегії ППР прийняти за 100 %, то витрати по стратегії аварійних ремонтів складатимуть 130 %, а по стратегії ремонтів за фактичним технічним станом – 70 %.

Виходячи з виконаного дослідження, можна зробити висновок, що існуюча система ППР стала неадекватною економічним умовам функціонування системи тягового електропостачання та експлуатації силового обладнання ТП електрифікованих залізниць і протирічить ринковим механізмам виробничо-господарської діяльності об'єктів господарства електропостачання Укрзалізниці. На сучасному етапі розвитку залізниць України удосконалення системи ТО і Р електроустаткування ТП стає однією з основних задач підвищення надійності тягового електропостачання та вирішення проблеми скорочення витрат на ТО і Р.

Нездатність традиційної системи організації ТО і Р ефективно і надійно запобігати відмовам електроустаткування потребує застосування нових підходів з організації ТО і Р ТП дистанцій електропостачання. Для вирішення цієї проблеми необхідний вибір та застосування сучасних стратегій та методів управління ТО і Р силового електрообладнання ТП протягом всього строку служби з урахуванням різних режимів його функціонування.

На цей час для здійснення переходу від ППР електрообладнання ТП можна запропонувати такі стратегії організації ТО і Р силового електрообладнання ТП (ці підходи з організації ТО і Р не розглядаються в «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024 [6]), а саме:

- обслуговування за фактичним технічним станом силового електрообладнання ТП;
- суміщення ППР з ремонтом за фактичним технічним станом;
- обслуговування, яке орієнтоване на надійність – методика RCM (Reliability-Centered Maintenance);
- планування на основі оцінки ризиків прогнозованого залишкового ресурсу електрообладнання ТП;

– процесний підхід до управління системою ТО і Р електрообладнання ТП;

– системний підхід з організації та управління ТО і Р електрообладнання ТП.

Впровадження запропонованих стратегій обслуговування і ремонту електроустаткування ТП дозволить: підвищити надійність обладнання ТП і тягового електропостачання дистанції в цілому; скоротити витрати на виконання ТО і Р та аварійні витрати за рахунок аналізу ризиків; скоротити витрати на утримання обладнання ТП за рахунок відмови від непотрібних ремонтів і замін; скоротити час підготовки і виконання робіт (підвищення їх продуктивності) за рахунок детального планування; скоротити планові втрати, пов'язані з виконанням ремонтів за рахунок оптимізації графіка і поєднання робіт; скоротити складські запаси за рахунок детального планування; понизити закупівельні ціни на необхідний матеріально-технічний ресурс за рахунок детального планування; понизити вартість підрядних робіт за рахунок детального планування, тощо.

Однак для реалізації цих стратегій необхідно вирішити такі проблеми:

– забезпечити постійний моніторинг та оцінку технічного стану електроустаткування ТП електрифікованих залізниць;

– вдосконалити методи діагностики та методи прогнозування фактичного технічного стану електроустаткування ТП;

– розробити комбіновані технічні засоби діагностики і прогнозування технічного стану електроустаткування ТП;

– розробити сучасні мікропроцесорні датчики виміру основних параметрів силового електрообладнання ТП з метою створення інтелектуальних автоматизованих систем моніторингу та діагностування;

– розробити автоматизоване робоче місце (АРМ) чергового персоналу ТП;

– розробити автоматизовану систему планування ТО і Р, моніторингу та діагностування, обліку матеріально-технічного забезпечення, витрат ресурсів на обслуговування і контролю виконання робіт, аналізу відмов та технічних порушень, тощо;

– постійно підвищувати кваліфікацію і професіоналізм персоналу ТП, який обслуговує електроустаткування.

Впровадження прогресивних систем та методів обслуговування, як правило, первинно

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

витратне, але в подальшому використання запропонованих концепцій дозволить підвищити надійність експлуатації електроустаткування ТП, зменшити простой устаткування, максимально використати ресурс електрообладнання (економія фінансових витрат), скоротити витрати на виконання ТО і Р, знизити ризики збитків, тощо.

Результати

У результаті дослідження встановлено, що в основі нових методів ТО і Р лежить аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування електрообладнання ТП за фактичним технічним станом).

Надійна робота пристроїв електропостачання відіграє важливу роль з питань вирішення проблеми безпеки руху на залізницях України. При цьому більшості відмов електроустаткування дистанцій електропостачання електрифікованих залізниць передують той або інший вид накопичених ушкоджень.

Виконане дослідження основних причин порушень за період з 2002 по 2012 р. нормальної роботи системи тягового електропостачання залізниць України показує, що 80 % причин порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання за досліджуваний період складають: пошкодження основного силового обладнання ТП; відключення живлення енергосистемою; перевантаження та перенапруга; та вплив метеорологічних умов. З них 43 % складають відмови основного силового обладнання ТП.

У ході дослідження відмов основного силового обладнання ТП електрифікованих залізниць України за 2000–2012 роки встановлено, що основним обладнанням, з причини якого здійснюється 79,59 % порушень нормальної роботи ТП, за досліджуваний період є: вимикачі, трансформатори (як силові, так і вимірювальні), пристрої релейного захисту, ізолятори та пристрої дистанційного і телеуправління. В результаті дослідження встановлено, що основні порушення нормальної роботи ТП відбуваються за рахунок виходу з ладу вимикачів (29,58 %) та трансформаторів (20,21 %).

На цей час основний парк вимикачів 110 кВ становлять вимикачі типу МКП з терміном експлуатації до 25 років (близько 70 %), які

зняті з виробництва, трудомісткі в експлуатації і не мають запасних частин. Також на змінному струмі експлуатуються масляні вимикачі типу ВМО-27,5 та ВМК-25, що мають низький ресурс відключень, потребують позачергових ремонтів і підлягають заміні.

У 2012 році по залізницях замінено 26 швидкодіючих вимикачів постійного струму із запланованих 27, на цей час залишається в експлуатації 425 морально застарілих вимикачів постійного струму типу АБ-2/4.

Що стосується експлуатації трансформаторів, то за їх наявності з терміном експлуатації понад 25 років, службами електропостачання Південної залізниці (48 трансформаторів – 70 %), Південно-Західної залізниці (43 трансформаторів – 60 %), Одеської залізниці (37 трансформаторів – 59 %) у 2011 році роботи з ремонту і заміни навіть не планувались.

Тому в таких умовах експлуатації силового електрообладнання ТП дуже актуальними є постійний моніторинг, технічний контроль і діагностика стану обладнання, це дозволяє своєчасно виявляти дефекти або несправності та оперативно усувати їх.

Наукова новизна та практична значимість

Розглянуті нові напрями подальшого удосконалення системи ТО і Р тягових підстанцій електрифікованих залізниць. Вперше запропоновані сучасні стратегії та методи управління ТО і Р ТП електрифікованих залізниць України, які не розглядаються в «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024 та визначені основні проблеми, які необхідно вирішити для впровадження цих стратегій.

Встановлено, що система ППР в умовах жорсткого централізованого планування і керування у нових економічних умовах не забезпечує у багатьох випадках ухвалення та прийняття ефективних і оптимальних рішень під час організації та виконання ТО і Р.

Досліджено, що і після нормативного терміну служби значна частина силового електрообладнання ТП зберігає свою працездатність за умови дотримання допустимих навантажувальних режимів, своєчасного виконання випробувань, діагностування, технічного обслугову-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

вання, ремонтів та якісного їх виконання, з іншого боку термін служби електрообладнання залежить від його залишкового ресурсу.

Висновки

1. На сьогодні значна частина обладнання електроенергетичної інфраструктури залізничного транспорту України вже вичерпала свій ресурс і потребує заміни або поетапної реконструкції та оновлення. Крім того, необхідно підвищувати ефективність використання існуючого обладнання, застосовувати нові методи діагностування фактичного технічного стану обладнання, скорочувати експлуатаційні витрати і переходити на ресурсозберігаючі та енергозберігаючі технології.

2. Технічне переобладнання і модернізація ТП електрифікованих залізниць вимагають значних інвестицій, а систему ТО і Р можна удосконалити шляхом впровадження нових прогресивних форм її організації і управління. У цьому напрямі дослідження як вітчизняних, так і зарубіжних авторів показують, що якщо витрати на експлуатацію по стратегії ППР прийняти за 100 %, то витрати по стратегії аварійних ремонтів складатимуть 130 %, а по стратегії ремонтів за фактичним технічним станом – 70 %.

3. У ході виконаного дослідження виявлено, що існуюча система ППР стала неадекватною економічним умовам функціонування системи тягового електропостачання та експлуатації силового обладнання ТП електрифікованих залізниць протиричить ринковим механізмам виробничо-господарської діяльності об'єктів господарства електропостачання Укрзалізниці. На сучасному етапі розвитку залізниць України удосконалення системи ТО і Р електроустаткування ТП стає однією з основних задач підвищення надійності тягового електропостачання та вирішення проблеми скорочення витрат на ТО і Р.

4. Метою сучасних підходів щодо управління ТО і Р устаткування, пристроїв ТП є: уникнення або мінімізація наслідків відмов пристроїв; забезпечення ремонту за фактичним станом обладнання; вирішення завдань з виявлення відмов; оптимізація планового обслуговування тощо.

5. Найбільш ефективним в довгостроковій перспективі є перехід на системи ТО і Р, які якісно та повно відображають поточний стан електроустаткування ТП. Для цього необхідне

впровадження сучасних, перевірених вітчизняною і зарубіжною практикою систем ТО і Р, а це: ТО і Р за фактичним технічним станом; обслуговування, яке орієнтоване на надійність – методика RCM (Reliability-Centered Maintenance); планування на основі оцінки ризиків прогнозованого залишкового ресурсу електрообладнання ТП тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2012 році. – Київ : Мануфактура, 2013. – 248 с.
2. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2011 році. – Київ : Мануфактура, 2012. – 245 с.
3. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Основные термины и определения. – Москва : Изд-во стандартов, 1979. – 12 с.
4. Долин, А. П. Опыт проведения комплексных обследований силовых трансформаторов / А. П. Долин, Н. Ф. Першина, В. В. Смекалов // *Электр. станции*. – 2000. – № 6. – С. 46–52.
5. Дунаев, Д. В. Анализ отказов и методы контроля рельсовых цепей / Д. В. Дунаев, И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 32. – С. 212–217.
6. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць. – Київ : Інпрес, 2008. – 125 с.
7. Капиця, М. І. Стратегії експлуатації, технічного обслуговування та ремонту локомотивів / М. І. Капиця, Р. О. Коренюк // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 63–66.
8. Матусевич, О. О. Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій / О. О. Матусевич, В. Г. Сиченко // *Енергосбережение на ж.-д. транспорте и в промышленности : тез. IV міжнар. наук.-практ. конф. (11.06-14.06.2013) / МОН України, Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. В. Лазаряна*. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 78–80.
9. Николаева, Э. К. Семь инструментов качества в японской экономике / Э. К. Николаева. – Москва : Изд-во стандартов. – 1990. – 45 с.
10. Смекалов, В. В. Оценка состояния и продление срока службы силовых трансформаторов [Электронный ресурс] / В. В. Смекалов, А. П. Долин, Н. Ф. Першина // *SIGRE2002*. – 2011. – 10 с. – Режим доступа: <http://www.ts-electro.ru/publi>

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- cation.php?k=2. – Назва з екрана. – Перевірено : 07.10.2014.
11. Холоденин, А. А. Сравнение стратегий технического обслуживания электрооборудования [Электронный ресурс] / А. А. Холоденин // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону : Материалы X регион. научно-техн. конф. – 2006. – Режим доступа: <http://www.ncstu.ru>. – Назва з екрана. – Перевірено : 07.10.2014.
 12. Gockenbach, E. Condition monitoring and diagnosis of power transformers / E. Gockenbach, H. Borsi // Condition Monitoring and Diagnosis, 2008. CMD 2008. Intern. Conference on: Proc. of Int. Conf. (21.04 – 24.04.2008). – Beijing, 2008. – P. 894–897. doi : 10.1109/cmd.2008.4580427.
 13. Sun, H.-Ch. Fault Diagnosis of Power Transformers Using Computational Intelligence: A Review / H.-Ch. Sun, Ya.-Ch. Huang , Ch.-M. Huang // Energy Procedia. – 2012. – Vol. 14. – P. 1226–1231. doi : 10/1016/j.egypro.2011.12.1080.

А. А. МАТУСЕВИЧ^{1*}, Д. В. МИРОНОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 17, эл. почта al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

^{2*}Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, эл. почта mironov.epz@yandex.ua, ORCID 0000-0002-5717-4322

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Цель. В работе проводились исследования эксплуатации силового оборудования тяговых подстанций (ТП) электрифицированных железных дорог Украины. Необходим поиск новых современных методов и подходов совершенствования системы мониторинга, диагностирования и технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) силового оборудования ТП. **Методика.** Для достижения поставленной цели проведено исследование динамики изменения технического состояния оборудования ТП за последние 11 лет, на основе отчетов анализа работы хозяйства электрификации и электроснабжения Укрзализныци. Проведено исследование основных систем по организации ТО и Р устройств ТП электрифицированных железных дорог. **Результаты.** В результате исследования установлено, что в основе новых стратегий ТО и Р лежит анализ рисков эксплуатации старого оборудования или оборудования с определенными дефектами (обслуживание оборудования по фактическому техническому состоянию). Проведенное исследование основных причин нарушений за период с 2002 по 2012 гг. нормальной работы системы тягового электроснабжения железных дорог Украины показывает, что 80% причин повреждения системы тягового электроснабжения за исследуемый период составляют: повреждение основного силового оборудования ТП; отключение питания энергосистемой; перегрузки и перенапряжение; влияние метеорологических условий. Из них 43 % составляют отказы основного силового оборудования ТП. Поэтому в существующих условиях эксплуатации силового электрооборудования ТП очень актуальны: постоянный мониторинг, испытания и диагностика состояния оборудования с созданием и использованием микро-процессорных интеллектуальных автоматизированных систем мониторинга и диагностирования. **Научная новизна.** Рассмотрены новые направления дальнейшего совершенствования системы ТО и Р тяговых подстанций электрифицированных железных дорог. Впервые предложены современные стратегии и методы управления ТО и Р ТП электрифицированных железных дорог Украины, которые не рассматриваются в «Инструкции по техническому обслуживанию и ремонту оборудования тяговых подстанций, пунктов питания и секционирования электрифицированных железных дорог» ЦЭ-0024. Определены основные проблемы, которые необходимо решить для внедрения данных стратегий. **Практическая значимость.** Установлено, что система ППР в условиях жесткого централизованного планирования и управления в новых экономических условиях не обеспечивает во многих случаях одобрения и принятия эффективных и оптимальных решений при организации и проведении ТО и Р. Исследовано, что и после нормативного срока службы значительная часть силового электрооборудования ТП сохраняет свою работоспособность при своевременном проведении испытаний, диагностики, технического обслуживания, ремонтов и качественном их выполнении.

Ключевые слова: электроснабжение; электрифицированные железные дороги; тяговая подстанция; оборудование; стратегии; риски ТО и Р; диагностирование; надежность; мониторинг; фактическое техническое состояние, система технической эксплуатации

O. O. MATUSEVYCH^{1*}, D. V. MIRONOV^{2*}

^{1*}Dep. «Power Supply of Railway Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 17, e-mail al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

^{2*}Dep. «Power Supply of Railway Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 25, e-mail mironov.epz@yandex.ua, ORCID 0000-0002-5717-4322

STUDY OF THE MANUAL POWER EQUIPMENT OF TRACTION ELECTRIFICATION SYSTEM OF THE RAILWAYS

Purpose. Investigation of the operation of power equipment of traction substations (TS) of Ukrainian electrified railways. The search of the new modern methods and approaches improved monitoring, diagnostics and maintenance of power equipment TS during operation to maintain the required level of reliability of the traction power supply of electrified railway and limit the power equipment accidents TS. **Methodology.** The study of changes of a technical condition of TSs' equipment over the last 11 years was done for achieving this goal. This research was done for solving problems of power supply railways with high quality on the base of the reports analysis of the management and power supply of Ukrzaliznytsia. **Findings.** It was found that on the base of the new methods of maintenance is the risk analysis of old equipment or equipment with some defects (rev servicing equipment for the actual technical condition). Reliable performance of power supply devices has significant impact for solving the problem of safety on the railways of Ukraine. Different kinds of accumulated damage are at the first place before of failures of an electric power supply of electrified railway. The study of main causes of violations from 2002 to 2012 year showed that 80% of the reasons disorders normal operation of the traction power supply over the period constitutes next factors. There are damage to the main power equipment TS; power off the grid; overload and surge; and the impact of weather conditions. The primary power equipment failure of TS are constituted about 43%. Relevant constant monitoring, testing and diagnostics of the equipment with the creation and use of micro-processor smart automated monitoring and diagnosis are topical in the current operating conditions. **Originality.** The new directions for further improvement of maintenance electrified traction substations for electrified railways were considered. Modern strategies and management techniques and maintenance TS electrified railways of Ukraine were proposed at the first time. This methods aren't covered in the "Instructions for maintenance and repair of equipment of traction substations, power points and sectioning electrified railways" IT-0024. The basic problems for implementation of these strategies were identified. **Practical value.** It was established that system outage under tight central planning and management in the new economy does not provide, in many cases, approval and adoption of effective and optimal solutions in organization and carrying out maintenance. It was investigated that a significant portion of electric power equipment of TS even after normative life maintains its performance under the terms. There are allowable stress regimes, timely testing, diagnosis, maintenance, repair and quality of execution; on the other hand the service life of electrical equipment depends on its residual life.

Keywords: electricity; electrified railway; traction substation; equipment; strategies; risks of maintenance; diagnosis; reliability; monitoring; actual technical state system of technical exploitation

REFERENCES

1. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2012 rotsi* [Analysis of the work management electrification and power supply in 2012]. Kyiv, Manufaktura Publ., 2013. 248 p.
2. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2011 rotsi* [Analysis of the work management electrification and power supply in 2002-2011]. Kyiv, Manufaktura Publ., 245 p.
3. GOST 18322-78. *Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki. Osnovnyye terminy i opredeleniya* [State standard 18322-78. System maintenance and repair of equipment. Basic terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 1979. 12 p.
4. Dolin A.P., Pershina N.F., Smekalov V.V. Opyt provedeniya kompleksnykh obsledovaniy silovykh transformatorov [Experiences comprehensive surveys of power transformers]. *Elektricheskiye stantsii – Electric power stations*, 2000, no. 6, pp. 46-52.
5. Dunayev D.V., Romantsev I.O., Gavrilyuk V.I. Analiz otkazov i metody kontrolya relsovykh tsepey [Failure Analysis and Control Methods of rail circuits]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 212-217.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

6. *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu obladnannia tiahovykh pidstantsii, punktiv zhyvlennia i sektionuvannia elektryfikovanykh zaliznyts* [Instructions for maintenance and repair of equipment of traction substations, power points and sectioning electrified railways]. Kyiv, Inpres Publ., 2008. 125 p.
7. Капытсия М.И., Кореиук Р.О. Стратегии эксплуатации, технического обслуживания та ремонту локомотивов [Strategies for operation, maintenance and repair of locomotives]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 63-66.
8. Матусевич О.О., Сыченко В.Г. Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій [Multifaceted technical evaluation of the power equipment of traction substations]. *Tezisy IV mizhnarodnoi naukovo- praktichnoi konferentsii «Energoberezheniye na zheleznodorozhnom transporte i v promyshlennosti (11.06 -14.06.2013)»* [Proc. of IV Int. Sci.-Practical Conf. «Power save on railway transport and in industry (11.06 -14.06.2013)»]. Dnipropetrovsk, 2013, pp. 78-80.
9. Николаева Е.К. *Сем инструментов качества в японской экономике* [Seven quality tools in the Japanese economy]. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 45 p.
10. Smekalov V.V., Dolin A.P., Pershina N.F. *Otsenka sostoyaniya i prodleniye stroka sluzhby silovykh transformatorov* (Assessment of the status and life extension of power transformers). *SIGRE 2012*, 2011. 10 p. Available at: <http://www.ts-electro.ru/publication.php?k=2> (Accessed 07 October 2014).
11. Kholodenin A.A. *Sravneniye strategiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya elektrooborudovaniya* [Comparing Strategies maintenance of electrical equipment]. *Materialy X regionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Vuzovskaya nauka – Severo-Kavkazskomu regionu»* [Materials of X regional Sci.-Technical Conf. «University Science to North Caucasus region»], 2006. Available at: <http://www.ncstu.ru>. (Accessed 07 October 2014).
12. Gokenbach E., Borsi E. Condition monitoring and diagnosis of power transformers. Proc. of the Int. Conf. «Condition Monitoring and Diagnosis, 2008. CMD 2008. International Conference on» (21.04 - 24.04.2008). Beijing, 2008, pp. 894-897. doi: 10.1109/cmd.2008.4580427.
13. Sun H.-Ch., Huang Ya.-Ch., Huang Ch.-M. Fault Diagnosis of Power Transformers Using Computational Intelligence: A Review. *Energy Procedia*, 2012, no. 14, pp. 1226-1231. doi: 10/1016/j.egypro.2011.12.1080

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцем (Україна); д.т.н., проф. Г. К. Гетьманом (Україна)

Надійшла до редколегії 05.11.2014

Прийнята до друку 26.12.2014