

УДК [621.331: 621.311.4]: 004.896

О. О. МАТУСЕВИЧ^{1*}

^{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

СУЧАСНІ ПІДХОДИ З ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ НА ОСНОВІ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ

Мета. На етапі модернізації та реконструкції електрифікованих залізниць України необхідно врахувати рівень інноваційного розвитку всіх суб'єктів електропостачання на основі передових технологій. У роботі потрібно визначити шляхи підвищення надійності електропостачання електрифікованих залізниць та зниження аварійності силового устаткування тягових підстанцій (ТП). **Методика.** Для досягнення поставленої мети проведено дослідження світового досвіду з питань якісного вирішення проблем електропостачання залізниць на основі ідеології Smart Grid. Проведено дослідження основних методів технічного обслуговування й ремонту (ТО та Р) і діагностування пристроїв ТП електрифікованих залізниць. **Результати.** У результаті дослідження встановлено, що в основі нових методів ТО та Р лежить аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування устаткування за фактичним технічним станом). Також встановлено, що концептуальні визначення Smart Grid вказують на важливу роль інтелектуальної мережі в технологічному й економічному розвитку системи електропостачання. Значний світовий досвід застосування ТО й Р за фактичним технічним станом показує наступну узагальнену оцінку ефективності даного методу: зниження витрат на обслуговування на 75 %; зниження кількості обслуговувань на 50 %; зниження числа відмов на 70 % за перший рік роботи. **Наукова новизна.** В результаті дослідження та удосконалення системи ТО й Р тягових підстанцій, автором запропоновано концепцію інтелектуальної системи ТО й Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП. Визначено основні складові цієї системи. Запропоновано експлуатаційне обслуговування устаткування ТП за фактичним технічним станом із можливістю більш якісного використання ресурсу обладнання. В Інструкції з технічного обслуговування й ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення та секціонування електрифікованих залізниць «ЦЕ-0024» такий підхід із організації та проведення ТО й Р ТП не розглядається. **Практична значимість.** Впровадження даної системи дозволяє: підвищити основні показники системи ТО й Р; знизити витрати на експлуатацію силового устаткування ТП за рахунок застосування ТО й Р за фактичним технічним станом; підвищити надійність обладнання ТП і системи електропостачання електрифікованих залізниць; отримати економічний ефект тощо.

Ключові слова: електропостачання; електрифіковані залізниці; модернізація; реконструкція; Smart Grid; тягова підстанція; обладнання; ТО й Р; діагностування; надійність; система; моніторинг; фактичний технічний стан

Вступ

На етапі модернізації і реконструкції електрифікованих залізниць України необхідно врахувати рівень інноваційного розвитку всіх суб'єктів електропостачання на основі передових технологій. Наприклад, в Європі, США цей термін має досить конкретне значення: це електричні мережі, оснащені в необхідній мірі сучасними засобами телекомунікації, що забезпечують двосторонні взаємодії всіх учасників виробництва, розподілу і споживання електроенергії. Концептуальне визначення Smart Grid

вказує на важливу роль інтелектуальної мережі на технологічному, економічному і екологічному розвитку системи електропостачання. В цей час активно реалізується низка проектів побудови гнучкої електричної мережі [11, 13, 16–18]:

– проект «FENIX» (Flexible Electricity Networks to Integrate the expected Energy Evolution). Передбачає створення гнучкої електричної мережі, основними цілями якої є: розробка механізмів функціонування загальноєвропейської енергосистеми, зокрема розробка концепції віртуальних електростанцій (VPP); розробка

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

алгоритмів ввімкнення в загальну систему розподілених джерел генерації (DER) і поновлюваних джерел енергоресурсів (RES); розробка нових програмно-апаратних платформ для втілення в життя концепції VPP; техніко-економічне обґрунтування застосування VPP; демонстрація розробок на полігонах в Іспанії і Великобританії. Цей проект об'єднав провідних гравців європейського енергетичного ринку, таких як: Iberdrola, Electricite de France, EDF Energy Networks, Red Electrica de Espana, National Grid Transco, Siemens PSE, Areva T&D і ін.;

– проект «ADDRESS» (Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESourceS). Даний проект є складовою частиною європейської концепції мереж майбутнього Smart Grids European Technology Platform і об'єднує роботу 25 компаній з 11 країн Європи, включаючи EDF, ABB, Enel, Kema, Philips і ін.;

– проекти побудови Microgrids окремих енергомережових структур, що розташовані на невеликій території, мають власні генеруючі джерела і здатні взаємодіяти з центральною мережею для вирішення завдань покриття максимуму пікових навантажень. Проекти успішно реалізуються в Європі (консорціум 14 компаній з 7 країн на чолі з Національним технологічним університетом Афін (NTUA)), США (проекти реалізуються консорціумом CERTS, компанією GE), Канаді, Японії;

– проект побудови інтелектуальної енергетичної інфраструктури (розподілена генерація, поновлювані джерела енергії, засоби акумуляції енергії, центри диспетчерського управління) в трьох префектурах Японії, що реалізується компанією Mitsubishi Electric.

Як бачимо, технології інтелектуальних мереж Smart Grid охоплюють різні аспекти розвитку системи електропостачання, у тому числі управління і моніторинг стану електротехнічного устаткування електрифікованих залізниць, і які можна описати такими ознаками [7, 10]:

– підвищення надійності електропостачання залізниць і безвідмовності роботи системи електропостачання;

– підвищення ефективності витрати енергоресурсів зі збереженням необхідних параметрів якості електричної енергії;

– управління і моніторинг стану електротехнічного устаткування тягових підстанцій (ТП);

– перехід на технічне обслуговування і ремонт електротехнічного устаткування ТП по фактичному технічному стану;

– велика кількість датчиків, які вимірюють поточні режимні параметри для оцінювання стану ТП в різних режимах роботи електропостачання;

– система збору і обробки даних (високо інтегровані комплекси оперативного управління в режимі реального часу з врахуванням експертних розрахункових систем ухвалення рішень), а також засоби управління активними елементами системи тягового електропостачання і нетягових споживачів;

– наявність приладів і механізмів, які дозволяють в режимі реального часу змінювати топологічні параметри системи електропостачання;

– засоби автоматичної оцінки поточної ситуації і побудови прогнозів роботи ТП;

– висока швидкодія автоматизованої системи управління електропостачання, інформаційного обміну;

– створення високонадійних магістральних каналів зв'язку управління і дубльованих цифрових каналів обміну інформацією між об'єктами ТП і диспетчерським управлінням.

Мета

Виходячи з вищевозглянутого, метою статті є аналіз світового досвіду управління і моніторинг стану силового обладнання ТП електрифікованих залізниць. Пошук нових більш сучасних методів і підходів підвищення надійності електропостачання електрифікованих залізниць та зниження аварійності силового устаткування ТП.

Методика

Теоретичною базою дослідження стали публікації, які присвячені дослідженню світового досвіду з питань якісного вирішення проблем електропостачання залізниць на основі ідеології Smart Grid. Виконано дослідження основних методів технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) та діагностування пристроїв ТП електрифікованих залізниць.

Утримання технічного обладнання залізничного транспорту на високому експлуатаційному рівні неможливе без об'єктивної інформації про його фактичний стан. Об'єкти залізничного

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

транспорту містять велику кількість пристроїв, тривала експлуатація яких без належного діагностування технічного стану може призвести до виходу їх з ладу та значному матеріальному збитку. Для реалізації ефективного діагностування цих пристроїв необхідна інтелектуалізація електричних мереж. Під час розробки проектів з інтелектуалізації електричних мереж необхідно враховувати досвід мереж Smart Grid. Управління повинно здійснюватись всією електричною мережею системи електропостачання залізниць, яка зрештою повинна стати повністю автоматичною, а всі наявні автоматизовані системи (АСДУ, АСУТП, системи моніторингу, системи управління даними, системи діагностування, тощо) є лише інструментом для досягнення поставлених цілей. Інтегровані в єдину платформу існуючі автоматизовані інформаційні системи дистанції електропостачання дозволять по-новому підходити до побудови електричних мереж та контролю їх роботи. Інтелектуальна електрична мережа залежно від умов, що склалися, в автоматичному режимі повинна здійснювати переконфігурацію системи електропостачання з метою досягнення мінімуму витрат енергоресурсів без зниження надійності роботи, у тому числі: управління системою електропостачання дистанції, діагностування стану електротехнічного устаткування ТП і, також, організацію, планування та здійснення технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) обладнання.

Регламентоване обслуговування, що здійснюється згідно з інструкціями на обладнання, в цілому призначене забезпечувати його працездатність. Проте, інколи таке обслуговування призводить до невиправданих витрат, оскільки реальний технічний стан пристрою в момент виконання робіт може і не вимагати технічного обслуговування, а замінені деталі ще не досягли критичної міри зносу. Однак поступове старіння парку устаткування і зниження запасів міцності гостро порушують питання щодо оцінювання його стану і визначення міри ризику його експлуатації за межами нормованого терміну служби. Розвиток вільного ринку електроенергії і збільшення фінансового тиску стали додатковими чинниками, які, з одного боку, максимально підсилюють необхідність продовження термінів служби устаткування, а з іншого – спрямовані на зниження експлуата-

ційних витрат на його технічне обслуговування і ремонти. Необхідність вирішення цього протиріччя приводить щодо формування нового підходу до оцінки стану устаткування.

У основі нових пропонованих методів управління і ухвалення рішень, що формуються в цей час, лежить аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування устаткування за фактичним технічним станом). Метою ТО і Р за фактичним технічним станом є забезпечення необхідного рівня надійності при зниженні експлуатаційних витрат. При цьому призначають необхідні роботи по ТО і Р залежно від реального технічного стану конкретного об'єкта і передбачуваної зміни його стану в процесі експлуатації. Цей метод полягає в контролі за технічним станом устаткування з використанням сучасних засобів технічної діагностики та виконанням ремонтних робіт лише тоді, коли вони дійсно необхідні, рис. 1.

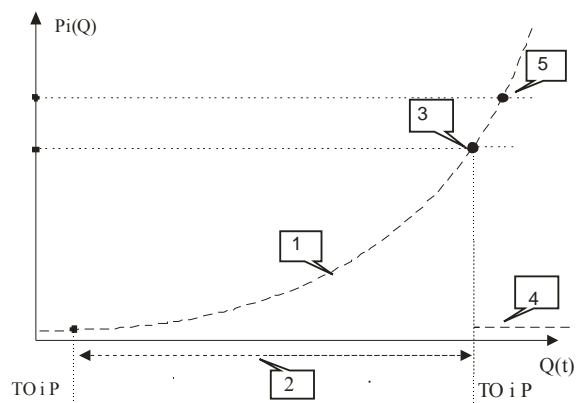


Рис. 1. Обслуговування пристроїв за фактичним технічним станом:

- $P_i(Q)$ – узагальнений показник ресурсу пристрою;
 1 – зміна технічного стану обладнання пристрою ($Q(t)$);
 2 – моніторинг та діагностування технічного стану обладнання; 3 – передвідмовний стан пристрою;
 4 – відновлення ресурсу; 5 – відмова пристрою

Fig. 1. Devices service at actual technical state

В результаті виконання безперервної діагностики експлуатованого устаткування можна добитися зниження об'ємів робіт за рахунок систематичного зменшення причин виникнення дефектів.

Накопичений світовий досвід застосування ТО і Р за фактичним технічним станом дозволяє дати таку узагальнену оцінку ефективності цього методу [1, 5]:

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

– зниження витрат на обслуговування на 75 %;
 – зменшення кількості обслуговувань на 50 %;
 – зменшення відмов на 70 % за перший рік роботи.

Порівняльний аналіз різних методів обслуговування устаткування, за даними Асоціації відкритих систем управління інформацією про стан машин «MIMOSA», виявив, що питомі витрати на ТО і Р в енергетичному секторі США склали в 1998 р.:

– 24 \$ на 1 кВт – при функціонуванні устаткування до виходу з ладу;

– 18 \$ на 1 кВт – при ТО і Р на базі планово-запобіжних ремонтів;

– 12 \$ на 1 кВт – при ТО і Р на базі оцінки фактичного стану устаткування.

Інший приклад економічного ефекту від переходу з обслуговування і ремонту за регламентом на ремонт і обслуговування по фактичному стану, за даними фірми «Brueel and Kjaer» (Данія) [6], наведено в табл. 1.

Також під час переходу на технічне обслуговування за фактичним станом в одному лише депо «Московка», Західно – Сибірської залізниці (Росія), отримано економічний ефект в 1,5 млрд руб. [15].

Розглянутий досвід свідчить, що для вирішення проблеми своєчасного відновлення ресурсу та підвищення надійності пристроїв електропостачання залізниць, скорочення витрат, пов'язаних з ремонтом і простоями, необхідно переходити від регламентованого ТО і Р до інтелектуальної системи обслуговування за фактичним технічним станом.

Доцільність розробки проектів з інтелектуалізації електричних мереж дистанції електропостачання, у тому числі і ТП, також підтверджує аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання залізниць України, [2–4]:

– більше половини парку електроустаткування ТП відпрацювала призначений ресурс;

– темпи старіння обладнання ТП вищі за темпи оновлення;

– необхідність економії засобів на технічне обслуговування і ремонт.

Наприклад, на залізницях України тягове електропостачання здійснюється від 305 стаціонарних і пересувних ТП. З них 233 стаціонарних (76,3 % від загальної кількості) і 10 пересувних ТП працюють з терміном служби понад 30 років.

Таблиця 1

Річний економічний ефект від переходу з ТО і Р за регламентом на ТО і Р за фактичним станом

Table 1

The annual economic impact from the TM and R transition according to the regulations to the TM and R on the actual state

Підприємство	Економічний ефект
1	2
Хімічний комбінат (електричні машини)	Зниження числа ТО і Р – з 274 до 14
Нафтопереробний комбінат (ел. обладн.)	Зниження затрат на ТО і Р – на 75 %
Паперова фабрика (електрообладнання)	Економія 250 000 \$, що в 10 разів перекирило затрати на закупівлю засобів для моніторингу
Атомна електростанція (електрообладнання)	Економія 3 000 000 \$ – за рахунок зниження витрат на ТО і Р
Залізничний транспорт	Зменшення к-ті ТО і Р на 15 %
Коефіцієнт окупності вкладених коштів	Більше 10 разів

На цей час підтримка необхідної міри надійності енергетичного устаткування в процесі експлуатації забезпечувалося, по перше, за рахунок значних коефіцієнтів запасу, які закладені при його створенні, а з другого боку, системою технічного обслуговування і періодичних ремонтів, яка базується на виконанні планових профілактичних робіт після напрацювання певного часу (система планово-попереджувальних ремонтів).

Згідно з ГОСТ 18322-78 «Система технічного обслуговування і ремонту техніки», система ТО і Р обладнання тягового електропостачання залізниць – це сукупність взаємопов'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту та виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості пристроїв, що входять в цю систему. Система ТО і Р включає планування, підготовку, реалізацію технічного обслуговування і ремонту із заданою послідовністю і періодичністю.

В основу діючої системи ТО і Р ТП, згідно з «Інструкцією з технічного обслуговування і ре-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

монту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024 [9], покладено поєднання технічного обслуговування і планово-попереджувальних ремонтів. Залежно від важливості призначення устаткування в технологічному процесі, планово – попереджувальний ремонт може виконуватися за методом планово – періодичного ремонту і ремонту з технічного стану.

Згідно з вимогами цієї Інструкції (пункт 4.14.7), ремонт обладнання за технічним станом виконується у випадку виявлення під час оглядів несправностей, що загрожують нормальній роботі обладнання, після відмов у роботі обладнання та пристроїв релейного захисту і автоматики (РЗА), пошкодження обладнання аварійними струмами, атмосферними і комутаційними впливами, а також у разі виробітку встановленого механічного і комутаційного ресурсу.

Як бачимо, питання визначення фактичного технічного стану обладнання за допомогою діагностування, вимірів, випробувань, тощо – не розглядається, а ТО і Р виконується за фактом пошкодження обладнання, його несправного стану або непрацездатності.

Вище розглянутий закордонний досвід обслуговування за фактичним технічним станом дозволяє, з одного боку, забезпечити працездатність техніки, з іншого – заздалегідь підготуватися до виконання ТО і Р та мінімізувати витрати на нього.

Однак планування ТО і Р пристроїв ТП досить складне у зв'язку з тим, що стан кожного з об'єктів контролюється множиною показників, і по кожному з них повинна розраховуватися дата наступного ТО і Р або іншого виду обслуговування. В існуючій на ТП системі ТО і Р необхідно шукати резерви для скорочення витрат. В цьому напрямі, в першу чергу, згідно з [15], необхідно забезпечити прозорість і обґрунтованість ремонтної програми:

1. Прозорість витрат на ТО і Р – це розуміння того, на що, на які об'єкти і які роботи плануються засоби ремонтного фонду, скільки коштує кожна з цих робіт.

2. Обґрунтованість витрат на ТО і Р – це усвідомлений вибір між витратами на підтримку працездатності устаткування і розміром ризику в разі невиконання ремонту.

Для забезпечення прозорості і обґрунтованості витрат на ТО і Р ТП необхідно:

– впровадити пооб'єктне планування ремонтного фонду;

– прив'язати витрати на ремонт до технічного стану і фактичного завантаження обладнання;

– впровадити оцінку ризику невиконання ремонтів і систему ухвалення рішень на основі ризиків.

Для якісного і ефективного вирішення розглянутих вище проблем та завдань необхідне створення інтелектуальної системи моніторингу і діагностування обладнання ТП [8, 12, 14].

Інтелектуальні системи ТО і Р, моніторингу та діагностування ТП повинні передбачати комплекс організаційних і технічних заходів щодо управління технологічними процесами на ТП, моніторингу і діагностуванню устаткування, плануванню, підготовці і реалізації ТО і Р обладнання ТП за фактичним технічним станом.

Основні концептуальні підходи з вирішення цієї проблеми:

– контроль фактичного стану об'єктів інфраструктури ТП та своєчасна діагностика з використанням інформації різних діагностичних систем;

– аналіз роботи обладнання ТП і дій технічного персоналу відповідно до регламентів для ухвалення управлінських рішень, скорочення часу відновлення і експлуатаційних витрат;

– виконання аналізу ефективності використання діагностичних засобів;

– розробка автоматизованої системи управління ТО і Р ТП, а також автоматизованого робочого місця чергового персоналу ТП (АРМ ТП), з урахуванням таких напрямів: паспортизація обладнання; реєстрація аварійних ситуацій і заявок на обслуговування об'єктів ТП; нормування робіт з ТО і Р; планування матеріалів і запчастин; планування і аналіз витрат на ТО і Р; планування ТО і Р; управління роботами; контроль якості виконаних робіт тощо.

Результати

На основі виконаного аналізу визначено, що в основу нових методів ТО і Р покладено аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування устаткування за фактичним технічним станом). Також встановлено, що концептуальні визначення Smart Grid вказують на важливу роль інтелектуальної мережі щодо технологічного і економічного розвитку системи електропостачання. Значний світовий досвід застосу-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

вання ТО і Р за фактичним технічним станом на таку узагальнену оцінку ефективності даного методу: зниження витрат на обслуговування на 75 %; зменшення кількості обслуговувань на 50 %; зменшення кількості відмов на 70 % за перший

рік роботи. Також визначені основні складові інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання та ТП електрифікованих залізниць, з урахуванням Smart технологій, які наведені на рис. 2.

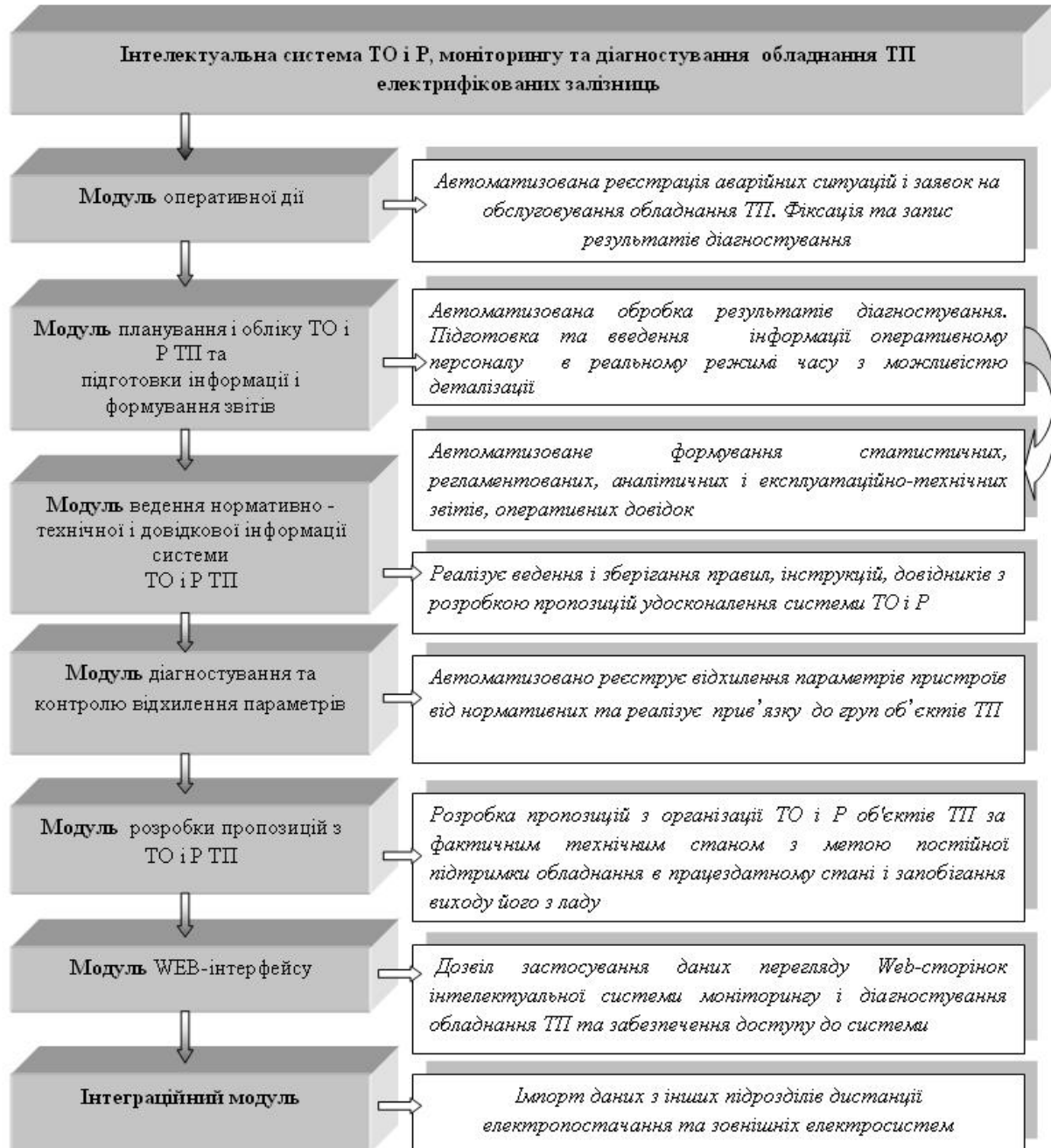


Рис. 2. Концепція інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП електрифікованих залізниць на основі Smart технологій

Fig. 2. The concept of TM and R intelligent system, monitoring and diagnostics of the RS equipment of electrified railways based on Smart technologies

Наукова новизна та практична значимість

Розглянуті нові напрями подальшого удосконалення системи ТО і Р тягових підстанцій електрифікованих залізниць. Автором запропоновано концепцію інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП. Визначені основні складові цієї системи. Запропоновано експлуатаційне обслуговування устаткування ТП за фактичним технічним станом з можливістю більш якісного використання ресурсу обладнання. В Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць «ЦЕ-0024» такий підхід з організації та проведення ТО і Р ТП не розглядається. Впровадження концепції інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП дозволить:

- підвищити основні показники системи ТО і Р;
- забезпечити прозорість та обґрунтованість ТО і Р ТП;
- зменшити технологічні порушення та забезпечити запобігання аварій;
- забезпечити всю вертикаль управління достовірною інформацією про технічний стан устаткування ТП в масштабі реального часу;
- отримувати і обробляти масиви діагностичної інформації про стан електроустаткування підстанцій, необхідної і достатньої для організації ремонтно-експлуатаційного обслуговування устаткування за фактичним технічним станом та якісного використання ресурсу силового обладнання ТП;
- знизити витрати на експлуатацію силового устаткування;
- підвищити надійність електропостачання та знизити аварійність силового устаткування за рахунок:
 - виявлення потенційно небезпечних режимів роботи силового і комутаційного обладнання ТП;
 - оперативного контролю ресурсу силового устаткування, своєчасного попередження про його зниження, запобігання його аварійним ушкодженням;
 - контролю своєчасності планово-профілактичних перевірок і ремонтів силового устаткування;

- можливості переходу від планово-попереджувальної системи ТО і Р до системи обслуговування і ремонтів за фактичним технічним станом;
- централізованого обліку відмов силового устаткування;
- отримати економічний ефект, основними складовими якого є:
 - скорочення витрат на необґрунтоване оновлення устаткування і його комплексне обстеження;
 - скорочення чисельності персоналу в результаті впровадження автоматизованих методів діагностики;
 - зниження витрат на проведення ТО і Р;
 - скорочення випадків відключення подачі електроенергії з причини відмови устаткування;
 - скорочення випадків штрафних санкцій з боку споживачів за заподіяний збиток при виході з ладу електроустаткування тощо.

Висновки

Запропоновано концепцію інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП та визначено основні складові цієї концепції. Також запропоновано здійснення експлуатаційного обслуговування устаткування за фактичним технічним станом з можливістю збільшення ресурсу електроустаткування ТП. В Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць «ЦЕ-0024» такий підхід з організації ТО і Р ТП не розглядається. Порівняно з існуючою системою ТО і Р силового обладнання ТП запропонована система здійснює достовірну, процесну та багатоаспектну оцінку техніко-економічного стану обладнання ТП з використанням нових методів і критеріїв оцінки, які підвищують оперативність і якість організації ТО і Р ТП електрифікованих залізниць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азовцев, Ю. А. Диагностика и прогноз технического состояния оборудования целлюлозно-бумажной промышленности в рыночных условиях [Електронний ресурс] / Ю. А. Азовцев, Н. А. Баркова, В. А. Доронин // Бумага, картон, целлюлоза. – 1999. – Режим доступу: <https://www.google.com.ua/www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book17>. – Назва з екрана.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

2. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2004 році : офіц. текст. – К. : Вид-во ТОВ «ВД «Мануфактура», 2005. – 181 с.
3. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2008 році : офіц. текст. – К. : Вид-во ТОВ «ВД «Мануфактура», 2009. – 244 с.
4. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2012 році : офіц. текст. – К. : Вид-во ТОВ «ВД «Мануфактура», 2013. – 247 с.
5. Бабенко, И. А. Внедрение системы технического обслуживания по фактическому состоянию машинного парка завода [Электронный ресурс] / И. А. Бабенко // Материалы научно-технических проектов молодых специалистов НК ЮКОС. – 2001. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/www.samara.sibintek.ru>. – Назва з екрана.
6. Брюль и Кьер, Мониторизация состояния машинного оборудования. ДК BR 0660-11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book17>. – Назва з екрана.
7. Дорофеев, В. В. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России [Электронный ресурс] / В. В. Дорофеев, А. А. Макаров // Энергоэксперт. – 2009. – № 4 (15). – Режим доступа: https://www.google.com.ua/www.labview.ru/conference/Sbornik_NIDays2013.pdf. – Назва з екрана.
8. Единая Система Мониторинга и Диагностирования (Хозяйство электрификации и электрооборудования) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/www.transset.ru/index.php/esmde>. – Назва з екрана.
9. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць : офіц. текст [Затверджена та введена в дію наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України Укрзалізниця 12. 12. 2007 р., № 618-Ц]. – Біла Церква : Вид-во ТОВ «Інпрес», 2007. – 125 с.
10. Кобец, Б. Б. Smart Grid: Концептуальные положения [Электронный ресурс] / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова // Профession. журн. – 2010. – № 03. – С. 66–72. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/past.tpu.ru/files/est/tom-2.pdf>. – Назва з екрана.
11. Ледин, С. С. Развитие промышленных стандартов внутри- и межсистемного обмена данными интеллектуальных энергетических систем [Электронный ресурс] / С. С. Ледин, А. В. Игнатичев // Автоматизация и IT в энергетике. – 2010. – № 10. – Режим доступа: <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>. – Назва з екрана.
12. Матусевич, О. О. Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій / О. О. Матусевич, В. Г. Сиченко // Энергосбережение на ж.-д. трансп. и в промышленности (11.06–14.06.2013) : тез. IV міжнар. наук.-практ. конф. / МОН України, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В Лазаряна. – Д. : ДНУЖТ, 2013. – С. 78–80.
13. Матусевич, О. О. Интеллектуальные сети Smart Grid – майбутнє електрифікованих залізниць України / О. О. Матусевич // Электрификация ж.-д. трансп. "ТРАНСЭЛЕКТРО 2011" (19.12–21.12.2011) : тез. V міжнар. наук.-практ. конф. / МОН України, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – С. 45–46.
14. Матусевич, О. О. Методика проведення експертизи оцінки надійності функціонування системи автоматизованого керування тягового електропостачання електричного транспорту / О. О. Матусевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 28. – С. 37–39.
15. Романенко, С. Е. Прозрачность и обоснованность затрат на ТО и Р [Электронный ресурс] / С. Е. Романенко, Е. В. Кондратьев. – 2013. – Режим доступа: <http://www.rasc.ru>. – Назва з екрана.
16. Nobody knows the future of Smart Grid, therefore separate the essential in the secondary system [Электронный ресурс] / F. Baldinger, T. Jansen, M. Riet, F. Volberda // Developments in Power System Protection, the 10th IET Intern. Conf. (DPSP 2010), 29 March – 01 April. – 2010. – Manchester. – Режим доступа : https://www.google.com.ua/ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all. – Назва з екрана.
17. Potocvnik, J. European SmartGrids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future [Электронный ресурс] / J. Potocvnik // Office for Official Publications of the European Communities. – Luxembourg, 2006. – 44 p. – Режим доступа : http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html. – Назва з екрана.
18. Transforming America's power industry: The investment challenge 2010–2030 [Электронный ресурс] / M. W. Chupka, R. Earle, P. Fox Penner, R. Hledik // Edison Electric Institute, Washington. – 2008. – Режим доступа : https://www.google.com.ua/www.iea.org/.../Session6_RussConklinISGAN. – Назва з екрана.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. А. МАТУСЕВИЧ^{1*}

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ SMART-ТЕХНОЛОГИЙ

Цель. На этапе модернизации и реконструкции электрифицированных железных дорог Украины необходимо учитывать уровень инновационного развития всех субъектов электроснабжения на основе передовых технологий. В работе необходимо определить пути повышения надежности электроснабжения электрифицированных железных дорог и снижения аварийности силового оборудования тяговых подстанций (ТП). **Методика.** Для достижения поставленной цели проведено исследование мирового опыта по вопросам качественного решения проблем электроснабжения железных дорог на основе идеологии Smart Grid. Проведено исследование основных методов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) и диагностирования устройств ТП электрифицированных железных дорог. **Результаты.** В результате исследования установлено, что в основе новых методов ТО и Р лежит анализ рисков эксплуатации старого оборудования или оборудования с определенными дефектами (обслуживание оборудования за фактическим техническим состоянием). Также установлено, что концептуальные определения Smart Grid указывают на важную роль интеллектуальной сети в технологическом и экономическом развитии системы электроснабжения. Значительный мировой опыт применения ТО и Р за фактическим техническим состоянием показывает следующую обобщенную оценку эффективности данного метода: снижение расходов на обслуживание на 75 %; снижение количества обслуживаний на 50 %; снижение числа отказов на 70 % за первый год работы. **Научная новизна.** В результате исследования и усовершенствования системы ТО и Р тяговых подстанций, автором предложена концепция интеллектуальной системы ТО и Р, мониторинга и диагностирования оборудования ТП. Определены основные составляющие этой системы. Предложено эксплуатационное обслуживание оборудования ТП за фактическим техническим состоянием с возможностью более качественного использования ресурса оборудования. В Инструкции технического обслуживания и ремонта оборудования тяговых подстанций, пунктов питания и секционирования электрифицированных железных дорог «ЦЕ-0024» такой подход к организации и проведению ТО и Р ТП не рассматривается. **Практическая значимость.** Внедрение данной системы позволяет: повысить основные показатели системы ТО и Р; снизить расходы на эксплуатацию силового оборудования ТП за счет применения ТО и Р по фактическому техническому состоянию; повысить надежность оборудования ТП и системы электроснабжения электрифицированных железных дорог; получить экономический эффект и т.п.

Ключевые слова: электроснабжение; электрифицированные железные дороги; модернизация; реконструкция; Smart Grid; тяговая подстанция; оборудование; ТО и Р; диагностирование; надежность; система; мониторинг; фактическое техническое состояние

О. О. МАТУСЕВУЧ^{1*}

^{1*}Dep. «Power Supply of Railways», 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

NEW APPROACHES TO MAINTENANCE AND REPAIRING OF THE TRACTION SUBSTATIONS EQUIPMENT ON ELECTRIFIED RAILWAYS ON THE BASIS OF SMART-TECHNOLOGIES

Purpose. At the stage of modernization and reconstruction of electrified railroads in Ukraine one should take into account the innovative development level of all electric supply subjects on the basis of advanced technologies.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Determination the ways to increase the power supply reliability of electrified railways and reducing the accidents of the traction substation power equipment (TS). **Methodology.** For attainment a goal it's studied the international experience on qualitative power supply of the electrical railways at the basis of the ideology of Smart Grid. It's conducted a research of the major methods of technical servicing, repairing (TS and R) and diagnostics the traction substation devices of electrified railways. **Findings.** As a result of research it was concluded that the basis of the new methods of maintenance and repairing is analysis of the risks of operation of the worned equipment or equipment with some defects (maintenance of equipment on the basis of the actual technical condition). It's also concluded that the conceptual definitions of Smart Grid point to the important role of smart grid technology to the economic development of the electrical system. Significant world experience of maintenance and repairing at the basis of the actual technical state shows the following general assessment of the effectiveness of this method: reducing maintenance costs by 75%, reducing the number of services up to 50%, reduction the number of failures by 70% in the first year. **Originality.** As a research and improvement result of the maintenance and repairing system of traction substations, the author has proposed the concept of maintenance and repairing intelligent system, monitoring and diagnostic of technical process equipment. The basic components of the system are proposed. It's proposed a maintenance of the equipment of traction substation at the actual technical state with better resource parameters. In the normative document for maintenance and repairing of the equipment of traction substations, power points and sectioning posts of the electrified railways "CE-0024", this approach for organizing and conducting the maintenance and repairing of the TS is not considered. **Practical value.** Implementation of this system allows: to increase the main indicators of maintenance and repairing; decrease operating costs of the power equipment by using maintenance and repairing at a basis of the actual technical state; improve the reliability of equipment and the power supply system of TS of electrified railways, obtain economic benefit, and so on.

Keywords: power supply; electrified railway; modernization; reconstruction; Smart Grid; traction substation, equipment; maintenance and repairing; diagnostics; reliability; system; monitoring; actual technical state

REFERENCES

1. Azovtsev Yu.A., Barkova N.A., Doronin V.A. Diagnostika i prognoz tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti v rynochnykh usloviyakh (Diagnosis and prognosis of equipment technical state in pulp and paper industry in market conditions). *Bumaga, karton, tsellyuloza – Paper, paperboard, cellulose*, 1999. Available at: <https://www.google.com.ua/www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book17> (Accessed 10 May 2014).
2. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2004 rotsi* [Work analysis of electrification and power management in 2004]. Kyiv, TOV «VD «Manufaktura» Publ., 2005. 181 p.
3. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2008 rotsi* [Work analysis of electrification and power management in 2008]. Kyiv, TOV «VD «Manufaktura» Publ., 2009. 244 p.
4. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2012 rotsi* [Work analysis of electrification and power management in 2012]. Kyiv, TOV «VD «Manufaktura» Publ., 2013. 247 p.
5. Babenko I.A. Vnedreniye sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya po fakticheskomu sostoyaniyu mashinnogo parka zavoda (Implementation of maintenance on the actual state of the machine park plant). *Materialy nauchno-tekhnicheskikh projektov molodykh spetsialistov NK YuKOS* (Proc. of the scientific-technical projects of young professionals YuKOS), 2001. Available at: <https://www.google.com.ua/www.samara.sibintek.ru> (Accessed 10 May 2014).
6. Bryul i Ker. *Monitorizatsiya sostoyaniya mashinnogo oborudovaniya. DK BR 0660-11* (Monitoring the state machinery. DK BR 0660-11). Available at: <https://www.google.com.ua/www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book17> (Accessed 10 May 2014).
7. Dorofeyev V.V., Makarov A.A. Aktivno-adaptivnaya set – novoye kachestvo YeES Rossii (Active and adaptive network - a new quality of Russia UES). *Energoekspert – Energoexpert*, 2009, no. 4 (15). Available at: https://www.google.com.ua/www.labview.ru/conference/Sbornik_NIDays2013.pdf (Accessed 15 May 2014).
8. *Yedinaya Sistema Monitoringa i Diagnostirovaniya (Khozyaystvo elektryfikatsii i elektroshabzheniya)* (Single monitoring and diagnostics system. (Economy of electrification and power supply)). Available at: <https://www.google.com.ua/www.transset.ru/index.php/esmde> (Accessed 10 May 2014).
9. *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 of electrified railways]. Bila Tserkva, TOV «Inpres» Publ., 2007. 125 p.
10. Kobets B.B., Volkova I.O. Smart Grid: Kontseptualnyye polozheniya (Smart Grid: Conceptual positions). *Professionalnyy zhurnal – Professional Journal*, 2010, no. 03, pp. 66-72. Available at: <https://www.google.com.ua/past.tpu.ru/files/est/tom-2.pdf> (Accessed 10 May 2014).

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

11. Ledin S.S., Ignatichiev A.V. Razvitiye promyshlennykh standartov vnutri- i mezhsystemnogo obmena dannymi intellektualnykh energeticheskikh sistem (Development of industry standards within and inter-system data exchange of energy smart systems). *Avtomatizatsiya i IT v energetike – Automation and IT in the energy sector*, 2010, no. 10. Available at: <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm> (Accessed 21 May 2014).
12. Matushevych O.O., Sychenko V.H. Bahatoaspektna otsinka tekhnichnoho stanu sylovoho ustatkuvannya tiahovykh pidstantsii [Multifaceted technical evaluation of the power equipment of traction substations]. *Tezisy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energoberezhniye na zheleznodorozhnom transporte i v promyshlennosti (11.06-14.06.2013)»* [Proc. of the 4th Int. Scientific and Practical Conf. «Energy-saving reinforced. on transport and industry»]. Dnipropetrovsk, 2013, pp. 78-80.
13. Matushevych O.O. Intelektualni merezhi Smart Grid – maibutnie elektryfikovanykh zaliznyts [Intellectual networks Smart Grid - the future of electrified railways in Ukraine]. *Tezisy V mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Elektrifikatsiya zheleznodorozhnogo transporta «TRANSELEKTRO 2011»»* [Proc. of the 5th Int. Scientific and Practical Conf. «Electrification of Railroad Transport «TRANSELEKTRO 2011»]. Dnipropetrovsk, 2011, pp. 45-46.
14. Matushevych O.O. Metodyka provedennia ekspertyzy otsinky nadiinosti funktsionuvannya systemy avtomatyzovanoho keruvannya tiahovoho elektropostachannia elektrychnoho transportu [Assessment methods of reliability examination of automatic systems for controlling traction power supply of electric transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 28, pp. 37-39.
15. Romanenko S.Ye., Kondratev Ye.V. *Prozrachnost i obosnovannost ztrat na TO i R* (The transparency and reasonableness of expenditures for maintenance and repair). 2013. Available at: <http://www.pacc.ru> (Accessed 16 May 2014).
16. Baldinger F., Jansen T., Riet M., Volberda F. Nobody knows the future of Smart Grid, therefore separate the essential in the secondary system. «*Developments in Power System Protection*», the 10th IET Intern. Conf.». Available at: https://www.google.com.ua/ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all (Accessed 16 May 2014).
17. Potocvnik J. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. Office for Official Publications of the European Communities, 2006. 44 p. Available at: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html (Accessed 16 May 2014).
18. Chupka M.W., Earle R., Fox Penner P., Hledik R. Transforming America's power industry: The investment challenge 2010 – 2030. Edison Electric Institute, 2008. Available at: https://www.google.com.ua/www.iea.org/.../Session6_RussConklinISGAN (Accessed 21 May 2014).

Стаття рекомендована до друку д.фіз.-мат.н., проф. В. І. Гаврилюком (Україна); к.т.н., доц. О. В. Остапчуком (Україна)

Надійшла до редколегії: 24.04.2014

Прийнята до друку: 17.06.2014