

Р. М. ПЕТРУНЯК, О. О. МАТУСЕВИЧ (ДНУЗТ)

Кафедра Електропостачання залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, тел.: +38 (068) 338 14 98, ел. пошта archemond@rambler.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ НА БАЗІ SMART ТЕХНОЛОГІЙ

Вступ

Високовольтне електрообладнання (силові трансформатори, трансформатори струму і напруги, високовольтні вимикачі та засоби захисту від перенапруг) тягових підстанцій (ТП) є найважливішим обладнанням в системі тягового електропостачання. Найдорожчим елементом на будь-якій підстанції є перетворювач напруги – тяговий трансформатор. Більшість цих перетворювачів напруги протягом багатьох років працюють при різних навантаженнях, кліматичних умовах і піддаються зовнішнім та внутрішнім електромагнітним та механічним впливам.

Світовий досвід показує [1], що економічний збиток від випадкової аварії потужного силового трансформатора, пов'язаний як правило із зупинкою руху поїздів через відсутність напру-

ги живлення обчислюється мільйонами гривень, а також супроводжується досить великими затратами на відновлення ресурсу та працездатності трансформатора. З іншого боку, характерною тенденцією системи електропостачання є наростання ступеню зношеності основного силового електрообладнання ТП та недостатні темпи його оновлення [2].

Основний матеріал

В даний час на електрифікованих ділянках залізниць України застосовується постійний та змінний струм з номінальною напругою 3,3 і 27,5 кВ відповідно. Тягове електропостачання залізниць здійснюється від 308 стаціонарних та пересувних ТП. Розподіл тягових підстанцій по терміну експлуатації наведено в табл. 1 [2].

Таблиця 1

Розподіл тягових підстанцій по терміну експлуатації

Тягові підстанції	Кількість	% терміну експлуатації		
		до 30 років	до 40 років	більше 40 років
Всього	308	21,1% (66)	14,6% (45)	64,2% (197)
В тому числі: стаціонарні	295	20,2% (62)	13% (39)	65,1% (193)
пересувні	13	20,5% (3)	63,8% (6)	15,7% (4)

Як бачимо, більше 64% тягових підстанцій системи електропостачання залізниць України мають термін експлуатації більше 40 років.

Також необхідно враховувати аварійні режими та короткі замикання силового обладнання ТП.

Багаторічна статистика по аварійних режимах показує, що на ТП відносна частота різних видів пошкоджень становить [3]:

- трифазні короткі замикання - 2 %;
- двофазні короткі замикання - 7 %;
- однофазні замикання на землю - 45 %;
- подвійні замикання на землю - 15 %;
- аварійні випадки на випрямних блоках - 31 %.

Відомо, що замикання на землю приводить до пошкодження випрямних блоків ТП постійного струму у 91 %. У силових і вимірюваль-

них трансформаторах, як і в кабелях, пошкодження в більшості випадків виникають внаслідок специфічних властивостей паперово-масляної ізоляції.

У цих умовах удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) старіючого обладнання ТП стає не лише завданням підтримки його працездатності, але і завданням підтримки на належному рівні надійності тягового електропостачання в цілому.

На цей час, при дослідженні технічного стану обладнання ТП застосовуються різні методи: математичні, фізичні, експериментальні, статистичні, тощо [4]. Основні ознаки технічного стану обладнання ТП, фізичні закономірності прояву дефекту та методи контролю стану силового обладнання ТП представлено в табл. 2.

Діагностичні ознаки, фізичні закономірності прояву дефекту, методи та засоби контролю

Діагностичні ознаки	Фізична закономірність прояву дефекту	Методи і технічні засоби контролю стану об'єкта
1. Зниження експлуатаційної надійності силового обладнання ТП	Старіння (деструкція). Зволоження. Зміна ізоляційної відстані, тощо.	- вимірювання tgδ вимірювальний міст Р-2026; установка М-4000; вимірювання опору мегомметром на 2500 В; апарат АКІ-70 (АІМ-90). - візуальний контроль, біноклі, лінзи, ендоскопи, волоконно-оптичні пристрої. - оптичний метод. - метод проникаючого випромінювання (рентгено і гамма графування) - електрорентгенографія електричних кабелів і муфт.
2. Погіршення діелектричних характеристик ізоляції обладнання ТП	Зміна електричної ємності. Зміна діелектричної проникності. Зростання струму витоку. Зростання значення tgδ.	- ємнісний метод. - контроль частотних характеристик. - вимірювальний міст Р-2026, установка М-4000. - спеціальні схеми безперервного контролю ізоляції по зміні частотних характеристик.
3. Часткові розряди маслonaповненого обладнання	Поява електромагнітних сигналів. Поява акустичних сигналів.	- метод акустичної емісії. - засоби інфрачервоної техніки, електронно-оптичний дефектоскоп «Філін-3», «Філін-6» та ін - ультразвуковий дефектоскоп ДУК-66ПМ. - тепловізори МФ- 20 телевізорами, Ікар-3, ТВ-03, АГА 782, «Ірис-200» та ін.
4. Поява продуктів розкладання твердої і рідкої ізоляції силового обладнання	Поява різних газів. Поява води і кислот. Поява розчинних газів в маслі апаратів. Зміна фізико-хімічних властивостей ізоляційного матеріалу.	- візуальна перевірка. - метод хроматографування (прилади ЛМХ-80, «Модель 370», Агат та ін). - електрохімічний сигналізатор водню. - використання мегомметра, фронтографа 2500 В.
5. Перегрів контактів і окремих частин електроустановки ТП	Інфрачервоне випромінювання.	- метод амперметра - вольтметра для вимірювання перехідного контакту. - оптичний метод. - вихрострумний метод. - інфрачервоний і тепловізійний контроль (тепловізори НФ 20ТВ, Ікар-3, ТВ-03, Рубін 2, Янтар МТ, пірометри Ікар, ІКД, Термопінт-90 та ін. - інфрачервоний термометр типу ІЧ-10Р - інфрачервоний сканер «Бирег-Е». - термоіндикаторні фарби. - оптичні люмінесцентні датчики.
6. Електромагнітні високочастотні перехідні процеси вимикачів та трансформаторів ТП	Спектр високочастотних сигналів.	- метод частотних характеристик (виявлення деформацій обмоток). - електронний осцилограф типу С9-8.
7. Погіршення характеристик несучих і фіксуючих конструкцій ТП	Дегградація залізобетону. Корозія металу. Знос при терті. Місцевий відпал металу. Зміна положення об'єкта в просторі.	- методи: фізики твердого тіла, опору матеріалів, теоретичної механіки. - використання фізичних ефектів. - вагон-лабораторія контактної мережі (Вікс - 76 , вагон НІЕФА). - інфрачервоний дефектоскоп ІКД. - пірометр «Термопінт 90» фірми AGEMA (Швеція) та ін. - діагностування електрокорозії (пристрою АДО -2М, «Діакор», ІДА - 2. - вимірювання товщини захисного шару бетону - прилад ІЗС -10М; міцність бетону прилади: «Бетон - 5»; УВК- 1М; УК-12П; УК- 14ПМ - діагностування залізобетонних опор контактної мережі тощо.

Вище розглянуті методи та засоби контролю технічного стану силового обладнання ТП в основному виконуються вручну по окремим дефектам. Такий підхід не дозволяє зробити загальний висновок про фактичний технічний стан обладнання ТП. Також до числа недоліків існуючих методик відноситься неможливість створення бази даних в електронному вигляді. За цими причинами, а також з метою підвищення якості обстеження високовольтного обладнання ТП, одним з перспективних напрямків є автоматизація системи діагностування електроустаткування та використання мікропроцесорних пристроїв і цифрових методів обробки результатів вимірювань та випробувань. Даний підхід поки не знайшов широкого і повсюдного застосування у практичній діяльності дистанцій електропостачання залізниць України [5, 8].

Для якісного рішення цієї проблеми бажано застосувати Smart Grid технології. Різні концепції інтелектуальної системи Smart Grid, що існують в даний час, зачіпають багато аспектів у тому числі управління і моніторинг стану електротехнічного устаткування ТП.

При розробці проектів по інтелектуалізації електричних мереж слід пам'ятати, що Smart Grid – це не просто автоматизація процесу управління виробництвом, передачею або розподілом електричної енергії, Smart Grid – це система управління всією електричною мережею, яка зрештою повинна стати повністю автоматичною, а все наявні автоматизовані системи (АСДУ, АСУ ТП, системи моніторингу, системи управління даними і ін.) є лише інструментом для досягнення поставлених цілей.

Порівняння характеристик функціональних властивостей існуючої на сьогоднішній день енергетичної системи та енергетичної системи на базі концепції Smart Grid [6] представлено в табл. 3.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика функціональних властивостей існуючої енергетичної системи та енергетичної системи на базі концепції SMART GRID

Існуюча енергетична система	Енергетична система на базі концепції Smart Grid
Одностороння комунікація між елементами енергетичної системи або її відсутність	Двосторонні комунікації
Централізована генерація (складно інтегрована розподілена генерація)	Розподілена генерація
Топологія (переважно радіальна)	Переважає мережева
Реакція на наслідки аварії	Реакція на запобігання аварії
Робота устаткування до відмови	Моніторинг та самодіагностика, що подовжують строк служби обладнання
Ручне відновлення мережі	Автоматичне відновлення - «самолікуючі мережі»
Схильність до системних аварій	Запобігання розвитку системних аварій
Перевірка технічного стану обладнання за місцем	Дистанційний моніторинг обладнання
Обмежений контроль перетоків потужності	Управління перетіканнями потужності
Недоступна або сильно запізнена інформація про ціну для споживача	Ціна в реальному часі

Інтегровані в єдину платформу існуючі автоматизовані інформаційні системи дозволять по-новому підходити до побудови електричних мереж та організації і контролю режиму їх роботи [7]. Інтелектуальна електрична мережа залежно від умов, що склалися, в автоматичному режимі може здійснювати переконфігурацію електричної мережі з метою досягнення мінімуму витрат енергоресурсів без зниження надійності роботи у тому числі управління і моніторингу стану електротехнічного устаткування ТП. Також актуальність даного питання обумовлена тим, що вдосконалення системи діагностування і методів аналізу інформації підвищує

об'єктивність оцінки технічного стану силового обладнання ТП та дозволяє планувати і своєчасно та якісно проводити ТО і Р. Все це підвищує надійність експлуатації електроустаткування ТП, подовжує ресурс його роботи, економить матеріальні витрати на ТО і Р, знижує ризик збитків і позитивно позначається на енергозбереженні.

Для вирішення вище розглянутої проблеми авторами запропонована блок-схема та алгоритм роботи інтелектуальної системи діагностування і оцінки технічного стану силового обладнання ТП, яка представлена на рис. 1:

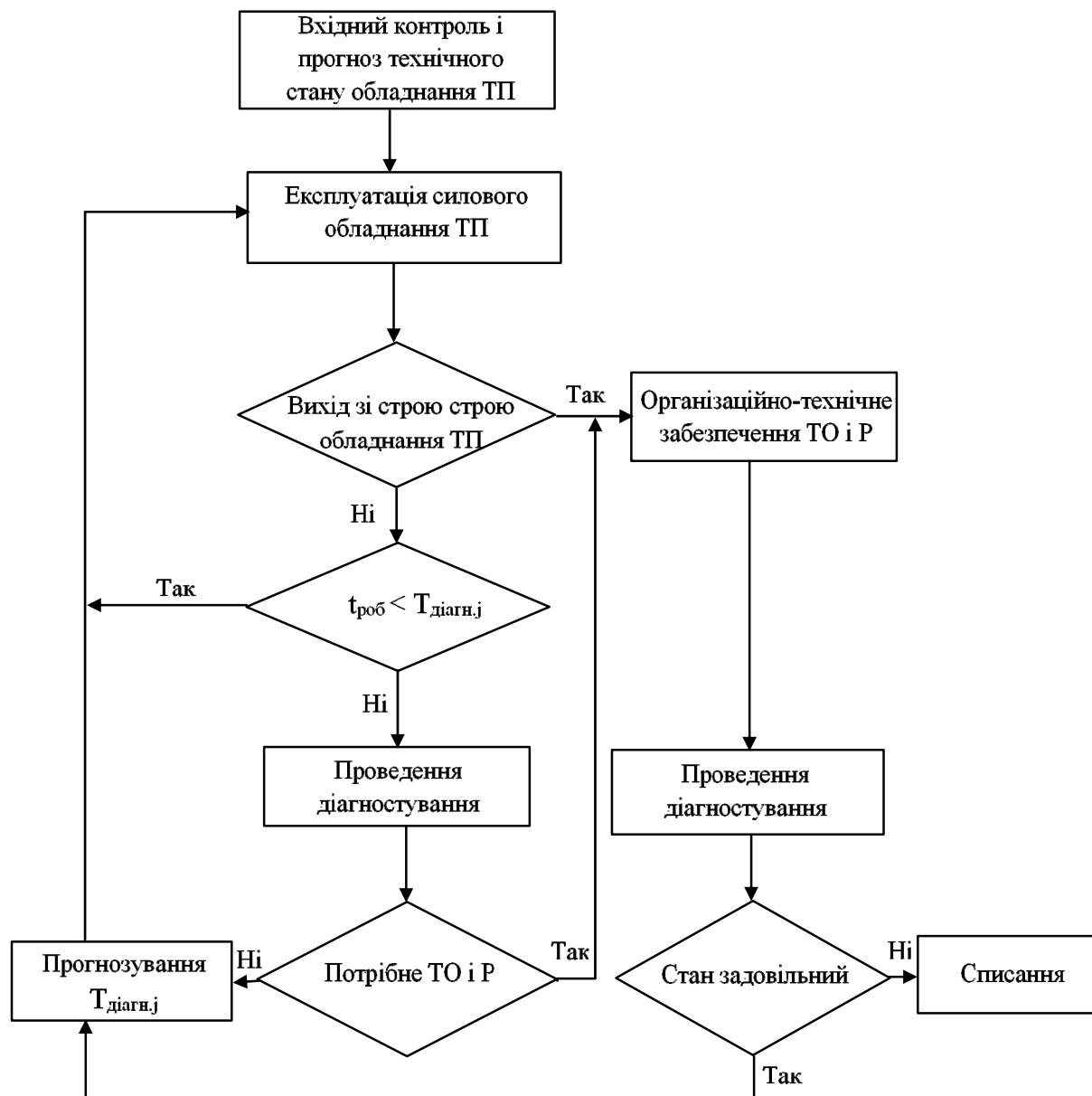


Рис. 1. Блок-схема проведення діагностування обладнання ТП

Висновки

1. При побудові системи діагностики високовольтного обладнання ТП доцільно забезпечити комплексний підхід до автоматизованого безперервного контролю технічного стану електроустаткування ТП. При цьому, в першу чергу, повинен забезпечуватися безперервний моніторинг стану силового обладнання ТП з можливістю подальшого розширення переліку контрольованого обладнання. Створення і впровадження комплексних систем моніторин-

гу та діагностування обладнання ТП є основою для побудови інтелектуальних систем тягового електропостачання залізниць України на базі SMART технологій.

2. Розроблена блок-схема діагностування обладнання ТП дозволяє забезпечити безперервне діагностування силового обладнання ТП і суттєво скорочує експлуатаційні витрати та підвищує надійність системи тягового електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рассальский, А. Н. Методы непрерывного контроля и оценки состояния высоковольтного оборудования подстанции / Рассальский А.Н., Конограй С.П., Сахно А.А. // IV междунар. науч.-техн.

REFERENCES

1. Rassal'skyu, A.N. *Metodi neprerivnoho kontrolya y otsenky sostoyannya visokovol'nogo oborudovannya podstantsyy* [Methods for the continuous monitoring and evaluation of high-voltage substation

конф. "Силовые трансформаторы и системы диагностики", 22-23 июня 2010 г.: докл. – С. 9-10.

2. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2012 році : офіц. текст: - К. : Головне управління електрифікації та електропостачання залізниць, 2013. – 247 с.

3. Насиров, Ш.Н. Интеллектуальная система диагностики аварийных ситуаций в тяговых подстанциях постоянного тока / Ш.Н.Насиров // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна – Д., 2009. – Вип. 28. С. 53 – 57.

4. Балабанов В.Н. Диагностика в системе технического обслуживания и ремонта электроустановок / В.Н. Балабанов // Учебное пособие. – Хабаровск: ДВГУПС, 2003. - с. 81

5. Михеев Г.М. Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования / Г.М. Михеев // — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. — с. 304.

6. Кобец Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. — М.: ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.

7. Петруняк, Р. М. Дослідження та вдосконалення систем діагностики тягової підстанції на базі SMART технологій / Р. М. Петруняк, О. О. Матусевич // Науково-технічний прогрес на залізничному транспорті: тез. 74-ї наук.-техн. конф. / Мін-во освіти і науки України, Дніпропетр. нац. ун-т з-д. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – 83 с.

8. Тутик, В. Л. Засоби моніторингу систем електропостачання залізниць [Електронний ресурс] / Ю.В. Пилипенко, Р.Б. Каменський, П.Й. Тарасович, І.В. Невечера, В.М. Стретович // — Режим доступу: <http://www.ess.kpi.ua/index.php/ru/joomla/arkhiv-konferentsi/ess10>.

equipment]. / Rassal'skiy A.N., Konohray S.P., Sakhno A.A. //IV mezhdunar. nauch.-tehn. konf. "Sylovie transformatori y systemi dyahnostyky", 22-23 yuunya 2010 g.: dokl. – P. 9-10.

2. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsiyi ta elektropostachannya v 2012 rotsi* [Analysis of the work farm electrification and power supply in 2012] : ofits. tekst: - K. : Holovne upravlinya elektryfikatsiyi ta elektropostachannya zaliznyts', 2013. – 247p.

3. Nasyrov, Sh.N. *Intellektual'naya sistema dyahnostyky avaraynykh sytuatsiy v tyahovykh podstantsyakh postoyannoho toka* [Intelligent diagnostic system emergencies in DC traction substations] / Sh.N.Nasyrov // Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'nogo universytetu zaliznychnoho transportu im. akad. V. Lazaryana – D., 2009. – Vyp. 28. P. 53 – 57.

4. Balabanov V.N. *Dyahnostyka v systeme tekhnicheskoho obsluzhyvaniya y remonta elektroustanovok* [Diagnostics in system maintenance and repair of electrical] / V. N. Balabanov // Uchebnoe posobyie. – Khabarovsk: DVHUPS, 2003. – P. 81

5. Mykheev, H.M. *Tsyfrovaaya dyahnostyka visokovol'nogo elektrooborudovaniya* [Digital diagnostics of high-voltage electrical equipment] / H.M. Mykheev // — M.: Yzdatel'skiy dom «Dodeka-XXI», 2008. – P. 304.

6. Kobets, B.B. *Innovatsyonnoe razvytiye elektroenerhetyky na baze kontseptsyy Smart Grid* [Innovative development of electric power based on the concept of Smart Grid] / B.B. Kobets, Y.O. Volkova.— M.: YATs Enerhiya, 2010. – 208 p.

7. Petrunyak, R.M. *Doslidzhennya ta vdoskonalennya system diahnostyky tyahovoyi pidstantsiyi na bazi SMART tekhnolohiy* [Research and improvement of diagnostic traction substation at the SMART technologies] / R. M. Petrunyak, O. O. Matusевич // Naukovo-tehnichniy progress na zaliznichnomu transporti: tez. 74-iy nauk.-tehn. konf. / Min-vo osvitu i nauki Ukrainu, Dnipropetr. nats. un-t z.-d. transp. im. akad. V. Lazaryana.– D.: DNUZT, 2014. – 83 p.

8. Tutyk, V.L. *Zasoby monitorynhu system elektropostachannya zaliznyts'* [Means of monitoring electrical railways] / Yu.V.Pylypenko, R.B. Kamens'kiy, P.Y. Tarasovich, I.V. Nevechera, V.M. Stretyovich // — Rezhym dostupu: <http://www.ess.kpi.ua/index.php/ru/joomla/arkhiv-konferentsi/ess10>.

Надійшла до друку 18.05.2014.

Внутрішній рецензент Сиченко В. Г.

Зовнішній рецензент Денисюк С. П.

На сьогоднішній день діагностування і моніторинг силового обладнання ТП є однією із суттєвих проблем системи тягового електропостачання. Тому створення автоматизованої системи діагностування допоможе вирішити їх.

У статті описано концепцію комплексної діагностики основного високовольтного обладнання ТП. Створення інтелектуальних електроенергетичних систем та підстанцій, що не обслуговуються – не можливе без ефективної системи автоматизованої діагностики обладнання. Запропонований у статті комплексний підхід до безперервної діагностики обладнання, дозволяє суттєво скоротити експлуатаційні витрати та підвищити його ефективність. Також в даній статті розроблено блок – схему проведення діагностування обладнання ТП. Було порівняно функціональні властивості існуючих енергетичних систем діагностування та системи на базі Smart технологій. Наводяться традиційні і нові методи діагностики підстанційного обладнання.

Ключові слова: електроустаткування, тягова підстанція, електрична система, діагностика, прогнозування технічного стану, надійність.

© Петруняк Р. М., Матусевич О. О., 2014

УДК 621.311.4-52

Р. М. ПЕТРУНЯК, О. О. МАТУСЕВИЧ (ДНУЖТ)

Кафедра Электроснабжение железных дорог, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (068) 338 14 98, эл. почта: archemond@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ НА БАЗЕ SMART ТЕХНОЛОГИЙ

На сегодняшний день диагностирование и мониторинг силового оборудования ТП является одной из существенных проблем системы тягового электроснабжения. Поэтому создание автоматизированной системы диагностирования поможет решить их.

В статье описана концепция комплексной диагностики основного высоковольтного оборудования тяговой подстанций. Создание интеллектуальных электроэнергетических систем и необслуживаемых подстанций – не возможно без эффективной системы автоматизированной диагностики оборудования. Предложенный в статье комплексный подход к непрерывной диагностике оборудования позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты и повысить его эффективность. Также в данной статье разработана блок-схема проведения диагностирования оборудования ТП. Было сравнено функциональные свойства существующих энергетических систем диагностирования и системы на базе Smart технологий. Приводятся традиционные и новые методы диагностики подстанционного оборудования.

Ключевые слова: электрооборудование, тяговая подстанция, электрическая система, диагностика, прогнозирование технического состояния, надежность.

Внутренний рецензент Сыченко В. Г.

Внешний рецензент Денисюк С. П.

UDC 621.311.4-52

R.M. PETRUNIAK O.O. MATUSEVICH (DNURT)

Department of Electric Power Supply of Railroads of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (068) 338 14 98, e-mail archemond@rambler.ru

RESEARCHING AND IMPROVING THE DIAGNOSTIC SYSTEM OF THE TRACTION SUBSTATION BASED ON THE SMART TECHNOLOGIES

The diagnostics and monitoring of power equipment TP is one of the major problems of traction power supply. Therefore, the creation of an automated diagnostic system will help to solve them.

The paper describes the concept of comprehensive primary diagnosis of high-voltage substation equipment. Making intelligent power systems and substations unattended - not possible without an effective system of automated diagnostic equipment. Proposed in the paper an integrated approach to continuous diagnostic equipment can significantly reduce operational costs and increase efficiency. Also in this article designed the block diagram of the traction substations diagnostics equipment. Compared the functional properties of existing energy systems diagnosing and system based Smart technology. Shown are traditional and new methods of diagnosis of substation equipment.

Keywords: electrics, traction substation, electrical system, diagnostics, forecasting technical condition, reliability.

Internal reviewer *Sichenko V. G.*

External reviewer *Denisyuk S. P.*