

УДК 621.629.4.083

*Наталія Чигирик, к.т.н.,
(доцент кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу,
Українського державного університету залізничного транспорту)*

*Андрій Сумцов, к.т.н.,
(старший викладач кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу,
Українського державного університету залізничного транспорту)*

*Іван Вихопень,
(аспірант кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу,
Українського державного університету залізничного транспорту)*

*Дмитро Яценко, студент
(магістрант кафедри Експлуатація та ремонт рухомого складу,
Українського державного університету залізничного транспорту)*

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО УСТАТКУВАННЯ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

У роботі представлені результати застосування методу дистанційної діагностики високовольтного устаткування тягового електрорухомого складу. Приведені принципи і критерії визначення дефектності високовольтної апаратури. Проведені роботи по апробації методики на прикладі діагностування чотирьох контакторів головного контролера електровоза. Отримані результати дозволяють позитивно оцінити перспективу застосування даного методу діагностики.

***Ключові слова:** тяговий електрорухомий склад, діагностика, високовольтне устаткування, головний контролер, електромагнітне випромінювання, енергетичний спектр, міра дефектності*

Вступ. Великий об'єм наукових розробок в області діагностики високовольтного електротехнічного устаткування (ВУ), встановленого на різного виду силових підстанціях, дозволили значно підвищити надійність і безаварійність його роботи. Нині особлива увага приділяється розробці методів, що забезпечують контроль стану під робочою напругою. На відміну від [1], де пропонується динамічний інтегрований метод діагностики несправностей, що ґрунтується на байєсовській мережі, існує безперервний, а частіше і автоматичний контроль, який забезпечується шляхом аналізу розчинених газів, реєстрацією фізико-хімічних характеристик ізоляції, виміром рівнів часткових розрядів, параметрів електроенергії [2, 3, 4, 5, 6] і т.п.

Надійність діагностування істотно підвищується при використанні декількох незалежних параметрів, що мають детерміновану цінність.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-6

До їх переліку відноситься і метод діагностики, що ґрунтується на аналізі спектрів власного електромагнітного випромінювання устаткування.

Ця робота представляє результати апробації використання методики діагностики високовольтного устаткування електрорухомого складу по спектру власного електромагнітного випромінювання під навантаженням, з демонстрацією кореляційної залежності між дефектом і флуктуаціями в спектрі випромінювання.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. У зв'язку з ускладненням конструкції електроустаткування тягового електрорухомого складу, питання забезпечення працездатності електротехнічних пристроїв, що виконують важливі функції, усе більш актуалізуються.

Відмови і некоректна робота апаратів високої напруги (АВН) служать істотною причиною виведення із експлуатації тягового рухомого складу, що, у свою чергу, веде до великих економічних витрат, а частіше є причиною аварійних ситуацій. Підтримка необхідної міри працездатності високовольтного устаткування в процесі його експлуатації забезпечується системою технічного обслуговування і ремонтів.

Традиційно ця система базується на періодичному проведенні планових профілактичних робіт і є системою обслуговування за часом напрацювання. Перспективнішим є перехід до технічного обслуговування за поточним станом устаткування. Це обумовлено тим, що аварійні ситуації, пов'язані з відмовою АВН, досить часто безпосередньо не пов'язані з їх напрацюванням.

Вони є наслідком незначної поломки (несправності), раннє виявлення якої могло б захистити апаратуру і усе електроустаткування від відмови. Крім того, обслуговування АВН за часом обробки приводить до невиправданих відключень працездатного устаткування. Таким чином, єдиним надійним способом захисту від відмов є діагностування АВН в реальному часі і під навантаженням [7]. Уперше на можливість діагностики точкових джерел електромагнітних шумів було вказано в роботі [8]. У ній викладені принципи побудови діагностичної моделі і еквівалентних схем виміру шумів, а також приведені рівняння, що описують рішення задачі діагностики. Подальший розвиток теорія діагностики за спектрами електромагнітного випромінювання отримала в роботах [9, 10, 11], у яких сформульовано положення про те, що діагностична інформація міститься в інформативних частотних смугах спектрів власного електромагнітного випромінювання устаткування, що визначається розмірами випромінюючих елементів конструкції. Опис фізики шумових процесів, а також методичних аспектів шумової діагностики знайшло своє відображення в роботах [12-14].

Показано, що шум може бути обумовлений як самими процесами протікання електричного струму, так і хаотичними змінами інших неелектричних параметрів устаткування, які перетворюються в зміни величин струмів і напруги. Методика діагностування, що базується на шумовій випромінюючій моделі, дозволяє оцінювати стан зовнішніх і внутрішніх конструктивних елементів, тим самим істотно поглиблюючи і підвищуючи надійність діагностування.

Мета і завдання дослідження. Метою проведених досліджень є визначення можливості застосування аналізу спектрів власного електромагнітного випромінювання високовольтного устаткування тягового електрорухомого складу для діагностики його технічного стану в процесі експлуатації під навантаженням.

Поставлена мета досягається рішенням таких основних завдань:

– аналіз основних положень електромагнітного способу оцінки технічного стану високовольтного устаткування на основі реєстрації і аналізу спектрів його власного електромагнітного випромінювання (ЕМВ);

– проведення натурних випробувань на устаткуванні тягового електрорухомого складу з метою підтвердження правомірності основних положень електромагнітного способу ранньої діагностики високовольтного устаткування;

– розробка принципів формування архівів і бази даних спектрів власного ЕМВ високовольтного устаткування.

Матеріали та методи дослідження. Найбільш логічним напрямом розвитку засобів контролю, покликаних давати оцінку поточного стану експлуатованих машин і механізмів є перехід на технології моніторингу [15]. Головний принцип моніторингу - відстеження змін контрольованих параметрів в часі з кількісною оцінкою природних флуктуацій і трендів, для чого необхідно накопичувати велику кількість результатів послідовних вимірів цих параметрів.

Межі (зону) допустимих змін цих параметрів можна визначати по природних флуктуаціях, а параметр вважати діагностично значимим для конкретного виду дефекту (групи дефектів), якщо при небезпечному зростанні величини дефекту, значення цього параметра виходить із зони допустимих значень. Так що завжди можна почати впроваджувати технологію моніторингу на основі найзагальнішої інформації про те, на які параметри контрольованих процесів можуть впливати типові дефекти.

Початкові межі при моніторингу ЕМВ визначаються за первинними оцінками природних флуктуацій рівня ЕМВ в частотних смугах, забезпечуючи розумну величину вірогідності неправдивого виявлення дефекту.

Виміри величини електромагнітного випромінювання в частотних смугах при моніторингу технічного стану високовольтної апаратури (ВА) необхідно проводити досить часто, тому система моніторингу має бути або стаціонарною, або переносні засоби виміру мають бути доступні черговому персоналу, що обслуговують контрольовані агрегати і мають мінімальну підготовку по виконанню операцій виміру.

У випадку з тяговим електрорухомим складом доцільно розглядати розробку і впровадження стаціонарних стендів з діагностування ВА, що використовують метод аналізу власного ЕМВ.

Проведення діагностики, наприклад, головного контролера, з певною періодичністю в стаціонарних повторюваних умовах, дозволить спостерігати динаміку зміни в спектрах власного ЕМВ апарату, тим самим визначати розвиток того або іншого дефекту (групи дефектів). Важлива та обставина, що з кожною процедурою діагностики, попередня накопичена і проаналізована інформація, дозволяє все з більшою достовірністю виносити рішення про технічний стан устаткування.

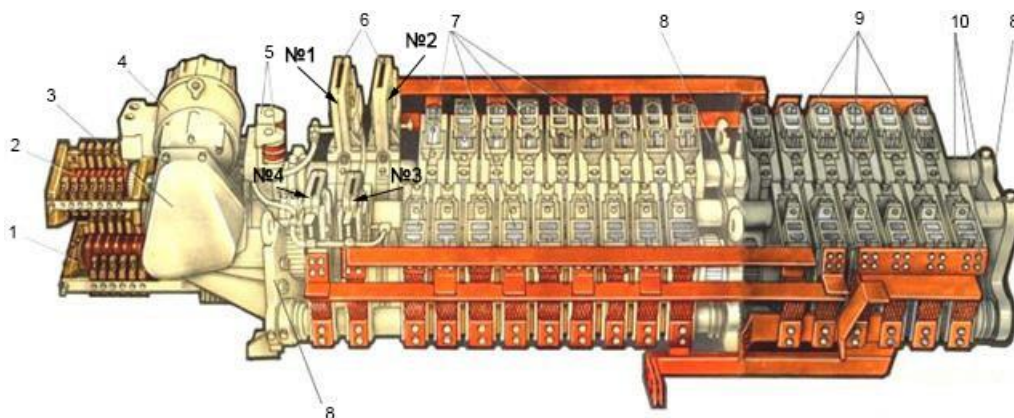
Кореляційна залежність між видом дефекту і певною флуктуацією в одній з частотних смуг ЕМВ визначається або шляхом зняття спектрограми ЕМВ з подальшою дефектацією деталей і складальних одиниць апарату в процесі традиційного розбирання і підготовки до ремонту, або шляхом примусового впровадження дефекту у ВА, що діагностується, з подальшим його визначенням в картині спектру власного ЕМВ.

В остаточному варіанті для кожного виду ВА має бути відомий увесь список типових дефектів і їх ознак, задані межі спектру, в яких ведеться їх пошук в сигналі ЕМВ.

За наявності великих об'ємів інформації про діагностику конкретного високовольтного апарату перспективним напрямом в обробці і аналізі спектру є впровадження штучних нейронних мереж (ШНМ). Здатність ШНМ до самонавчання дозволить в разі збільшити достовірність ухваленого рішення про поточний технічний стан, конкретно взятого ВА.

В порядку накопичення досвіду робіт в діагностиці високовольтного устаткування рухомого складу електротяги під навантаженням, проведені початкові дослідження спектрів власного ЕМВ конструктивних елементів головного контролера ЕКГ-8Ж електровозу ВЛ80.

Головний контролер (рис. 1) служить для перемикання під навантаженням тягових вторинних обмоток трансформатора, з метою зміни напруги, що підводиться до ТЕД електровоза.



- 1 – блокувальний пристрій контролера (17 контактів); 2 – блокувальний пристрій приводу (14 контактів); 3 – редуктор; 4 – сервомотор;
 5 – електропневматичний вентиль; 6 – контактор з дугогасінням (4 шт.);
 7 – контактор перемикача ступенів (18 шт.); 8 – підстави несучих рам;
 9 – контактор перемикача обмоток; 10 – ізольовані труби

Рис. 1. Головний контролер

Виходячи з документації про відмови і несправності досліджуваного контролера, основними несправностями в його роботі стали:

– прохід фіксованого положення або відсутність фіксації на позиціях – 5 випадків. Ймовірна причина - відсутність гальмівного кола привідного двигуна за рахунок поганого стану контактних з'єднань і контактів пускового контактора;

– підвищений знос кулачків граничної муфти редуктора – 2 випадки. В першому випадку через відсутність розмикання кінцевих блокувань ГПО-32, ГПП1-33 і ГП1 при повертанні валів за крайні позиції до упору, у другому – порушення включення кінцевих блокувань;

– збільшений люфт контактної важеля силових контакторів відносно привідного важеля – 10 випадків, через підвищений знос гумової втулки;

– підгоряння основних контактів контакторів з дугогасінням - 7 випадків, внаслідок відсутності розхилу основних контактів у момент торкання дугогасильних контактів, послаблення кріплень дугогасильних контактів.

Дослідження головного контролера методом аналізу спектру власного електромагнітного випромінювання під навантаженням проведені в умовах цеху по ремонту електроустаткування. У зв'язку із складною конструкцією високовольтного апарату об'єктами дослідження на першому етапі вибрані чотири контакти з дугогасінням. Виміри проведені на відстані 100 мм від кожного з них.

Виміри ЕМВ здійснювалися аналізатором спектру SPECTRAN V5 модель HF – 8060 VS (компанія Agoria, Німеччина), який розраховано на роботу у діапазоні частот від 9 кГц до 6ГГц з інтервалом вимірів рівня потужності від мінус 200 до плюс 100 дБм.

Аналізатор працював в режимі "самописця", при якому у файл записувалися вимірювані приладом значення рівня потужності сигналу в найбільш інформативній смузі частот від 10 до 200 МГц [15].

Згідно методики викладеної в [15], оцінка технічного стану ЕКГ-8Ж базується на розрахунку інтегральної потужності спектрів власного електромагнітного випромінювання у виділеній інформативній смузі за формулою

$$P_{инт} = \int_{f_{min}}^{f_{max}} S^2(f)df, \quad (1)$$

де $P_{инт}$ – інтегральна потужність випромінювання встаткування в смузі частот $f_{min} \leq f \leq f_{max}$;

$S(f)$ – щільність інтегральної потужності випромінювання частоти f .

Дані із записаної бази оброблені програмою, що дозволяє порівнювати спектри власних ЕМВ, проводити розрахунок коефіцієнта інтегральної потужності, визначуваного за формулою

$$K_{инт} = 10 \lg (P_{инт} / P_{инт \text{ етал}}), \quad (2)$$

де $P_{инт}$ – інтегральна потужність електромагнітного випромінювання, що зареєстрований поблизу устаткування в межах частотної смуги;

$P_{инт \text{ етал}}$ – еталонне значення інтегральної потужності електромагнітного випромінювання в межах частотної смуги.

Значення ефективного коефіцієнта інтегральної потужності $K_{эф}$ (дБ) для кожної одиниці устаткування, виражені в дБ, обчислюються як сума коефіцієнтів інтегральної потужності в усіх даних інформативних частотних смугах

$$K_{эф(дБ)} = \int_{n=1}^{n=m} K_{n_i(дБ)}, \quad (3)$$

де m – число інформативних частотних смуг, використовуваних для контролю устаткування.

Висновки про міру дефектності устаткування робиться на підставі розрахованих значень $K_{\text{эф(дБ)}}$: якщо значення $K_{\text{эф(дБ)}}$ лежать в межах від 1 до 3 дБ, то вважається, що устаткування має слабку дефектність; від 3 до 8 дБ - помірну дефектність; від 8 і вище - сильну дефектність [15].

На першому етапі експерименту проведені виміри власного ЕМВ поперемінно кожного з чотирьох контакторів з дугогасінням в процесі їх включення під навантаженням.

Для прикладу на рис. 2 приведена ділянка спектру власного ЕМВ для контактора №3. Усі контактори з дугогасінням оглянуті, почищені і відрегульовані згідно технології ремонту в умовах локомотивного депо. Назвемо їх еталонними.

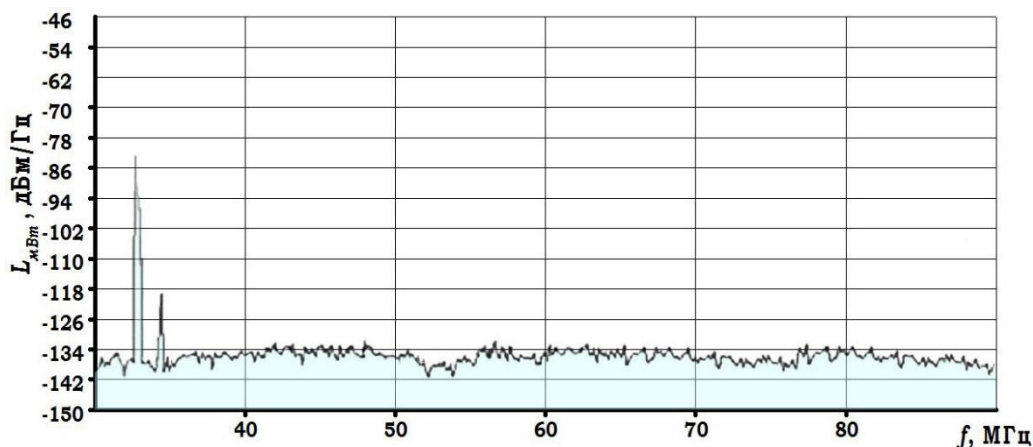


Рис. 2. Ділянка спектру власного ЕМВ для контактора №3 без дефектів (еталон)

На графіку $L_{\text{мВт}}, \text{дБм/Гц}$ – це рівні спектральної щільності потужності - "децибельний" аналог одиниці мВт/Гц (потужність на номінальному навантаженні в смузі частот 1 Гц з центром на заданій частоті - тут опорний рівень 1 мВт/Гц).

Як видно з рисунку 2, при замиканні контактора спостерігається невеликий сплеск коливань до - 88 дБ з подальшою стабілізацією рівня випромінювання в межах -142 ... - 133 дБ.

Для з'ясування реакції спектру власного ЕМВ на наявність дефекту в роботі контактора проведені роботи з послаблення кріплень дугогасильних контактів в усіх чотирьох контакторах. Міра послаблення для кожного контактора різна, що дасть нам розуміння як рівень важкості одного і того ж дефекту відбивається у флуктуаціях спектру власного ЕМВ, і в яких частотних смугах.

Проведені виміри показали дійсну зміну в картині спектру ЕМВ, виражену у виникненні, ймовірно характерних для цього дефекту, сплесках рівня і в незначному зростанні спектральної щільності потужності. Подальші виміри з накопиченням у базі даних і їх аналіз дозволить з більшою достовірністю описати картину спектру ЕМВ при виникненні такого дефекту.

На рис. 3 приведений графік спектральної потужності контактора №3 зі свідомо впровадженим в нього дефектом.

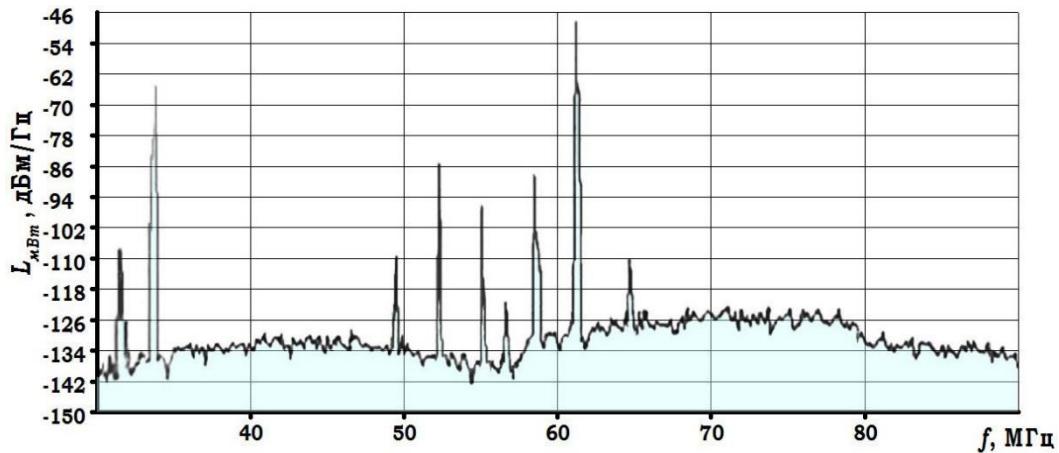


Рис. 3. Ділянка спектра власного ЕМВ для контактора №3 зі свідомо впровадженим в нього дефектом

Результати розрахунку величини значень ефективного коефіцієнта інтегральної потужності $K_{эф(дБ)}$ наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Значення ефективного коефіцієнта інтегральної потужності $K_{эф(дБ)}$

№ контактора	$\int_{j=1}^{j=m} P_{ij(дБ)}, дБм/Гц$		$K_{эф(дБ)}$
	еталоний	з дефектом	
1	-132	-95	1,34
2	-148	-102	1,45
3	-129	-125	1,04
4	-138	-124	1,11

Як видно з проведених вимірів введені дефекти безумовно міняють картину спектру власних ЕМВ, а за рівнем дефектності згідно методики [15] контактори можна віднести до слабodefектних.

Висновки. Діагностика з використанням аналізу спектрів власного електромагнітного випромінювання високовольного устаткування, що працює під навантаженням, є ефективним інструментом для оцінки технічного стану.

Глибина і ефективність діагностування істотно розширюються при ретельному обліку інформації в усіх складових спектрів, а також при обліку стану зовнішніх і внутрішніх конструктивних елементів

Основним напрямом, що визначає підвищення якості інформаційних технологій контролю і оцінки технічного стану, слід вважати інтелектуалізацію процесів обробки діагностичної інформації з використанням теорії штучних нейронних

мереж, які здатні забезпечити підвищення якості розпізнавання і прогнозування технічного стану і ресурсу об'єкта.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wensheng G., Cuifen B., Tong L. A Dynamic Integrated Fault Diagnosis Method for Power Transformers. *The Scientific World Journal*. 2015, Vol. 15, article ID 459268, 8 P.
2. Peimankar A., Weddell S.J., Jalal T., Laphorn A.C. Evolutionary multi-objective fault diagnosis of power transformers. *Swarm and Evolutionary Computation*. 2017. Vol. 36, P. 62–75.
3. Sikorski W., Walczak K., Przybylek P. Moisture Migration in an Oil-Paper Insulation System in Relation to Online Partial Discharge Monitoring of Power Transformers. *Energies*. 2016. Vol. 9 (12), 1082 P.
4. Hong Q., Zhang J., Xie Q., Liang S., Xu Y., Li S., Hu W. Transformer's Condition Assessment Method Based on Combination of Cloud Matter Element and Principal Component Analysis. *Energy and Power Engineering*. 2017. N9. P. 659–666.
5. Akolkar, S. M., Kushare B. E. Remaining Life Assessment of Power Transformer. *Journal of Automation and Control*. 2014. Vol. 2. N2. P. 45–48.
6. Nelson A. A., Jaiswal G. C., Ballal M. S., Tutakne D. R. Remote condition monitoring system for distribution transformer. *Proceedings of the 8th National Power Systems Conference (NPSC '14): IEEE, Guwahati, India*. 2014. P. 1–5.
7. Кудаярова А. А., Хузина Л. Н., Дорофеев А. О. Повышение надежности работы электрооборудования путем применения методов диагностики. *Электротехнические комплексы и системы: матер. междунар. науч.-практ. конф. Уфа: ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», 2016. С. 244–247.*
8. Киншт Н. В., Кац М. А. Диагностика точечных источников электромагнитных шумов. *Электричество*. 1999. № 4. С. 40–42.
9. Силин Н. В. Электромагнитный способ оценки технического состояния высоковольтного оборудования. *Промышленная энергетика*. 2006. № 1. С. 8–11.
10. Киншт Н. В., Лосев В. Л., Силин Н. В., Клоков В. В., Попович А. Б., Белушкин М. Ю. О способе контроля высоковольтного оборудования на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения. *Промышленная энергетика*. 2007. № 4. С. 24–29.
11. Силин, Н. В. Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого электромагнитного поля. *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2008. № 3. С. 86–91.
12. Силин, Н. В., Шевердин Д. Г. Шумовая диагностика электротехнического оборудования. *Ползуновский вестник*. 2011. № 2–1. С. 132–139.
13. Силин Н. В., Шевердин Д. Г., Павлов Е. Н. К вопросу шумовой диагностики электротехнического оборудования. *Ползуновский вестник*. 2011. № 2–2. С. 195–201.
14. Клоков В. В., Лосев В. Л., Игнатъев Н. И., Силин Н.В. Шумовая диагностика электротехнического оборудования морского транспорта. *Морские интеллектуальные технологии*. С.-Пб.: Моринтех. 2015. № 3 (29). С. 142–147.
15. Барков, А.В. Как использовать достижения вибрационного мониторинга и диагностики машин и механизмов. Лекция для технических руководителей предприятий. Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования "Северо-западный учебный центр". Вибрационная диагностика. – URL: <https://vibro-expert.ru/kak-ispolzovat-dostijeniya-vibracionnogo-monitoringa-i-dagnostiki-mashin-i-mexanizmov.html>, (Дата обращения : 16.05.2019).

REFERENCES

1. Wensheng, G., Cuifen, B., & Tong, L. (2015). A Dynamic Integrated Fault Diagnosis Method for Power Transformers. *The Scientific World Journal*, Vol. 15, article ID 459268, 8 pages [in English].
2. Peimankar, A., Weddell, S.J., Jalal, T., & Laphorn, A.C. (2017). Evolutionary multi-objective fault diagnosis of power transformers. *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. 36, 62-75 [in English].
3. Sikorski, W., Walczak, K., & Przybylek, P. (2016). Moisture Migration in an Oil-Paper Insulation System in Relation to Online Partial Discharge Monitoring of Power Transformers. *Energies*, Vol. 9 (12), 1082 [in English].

4. Hong, Q., Zhang, J., Xie, Q., Liang, S., Xu, Y., Li, S., & Hu, W. (2017). Transformer's Condition Assessment Method Based on Combination of Cloud Matter Element and Principal Component Analysis, *Energy and Power Engineering*. N 9, 659-666 [in English].
5. Akolkar, S.M., & Kushare, B.E. (2014). Remaining Life Assessment of Power Transformer. *Journal of Automation and Control*, Vol. 2, N2. 45-48 [in English].
6. Nelson A.A., Jaiswal G.C., Ballal M.S., & Tutakne D.R. (2014). Remote condition monitoring system for distribution transformer: *Proceedings of the 8th National Power Systems Conference (NPSC '14) IEEE, Guwahati, India (pp. 1-5)* [in English].
7. Kudayarova, A. A., Huzina, L. N., & Dorofeev A. O. (2016). Povyishenie nadezhnosti raboty elektrooborudovaniya putem primeneniya metodov diagnostiki [Improving the reliability of electrical equipment through the use of diagnostic methods]. *Electrical complexes and systems – Electrical complexes and systems: mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (pp. 244-247)*. Ufa: GOU VPO «Ufimskiy gosudarstvenniy aviatsionniy tehniche-skiy universitet» [in Russian].
8. Kinsht, N.V., & Kats M.A. (1999). Diagnostika tochechnykh istochnikov elektromagnitnykh shumov [Diagnostics of point sources of electromagnetic noise]. *Elektrichestvo – Electricity*. 4. 40-42 [in Russian].
9. Silin, N.V. (2006). Elektromagnitniy sposob otsenki tehniceskogo sostoyaniya vyisoko-voltного oborudovaniya [Electromagnetic method for assessing the technical condition of high-voltage equipment]. *Promyshlennaya energetika – Industrial energy* 1, 8-11 [in Russian].
10. Kinsht, N.V., Losev V.L., Silin, N.V., Klokov, V.V., Popovich, A.B., & Belushkin, M.Yu. (2007). O sposobe kontrolya vyisokovoltного oborudovaniya na osnove analiza spektrov ego sobstvenного elektromagnitного izlucheniya [On a method for controlling high-voltage equipment based on an analysis of the spectra of its own electromagnetic radiation]. *Promyshlen-naya energetika – Industrial energy* 4, 24-29 [in Russian].
11. Silin, N.V. (2008). Otsenka tehniceskogo sostoyaniya elektroenergeticheskogo oborudovaniya po spektralnyim harakteristikam izluchaemogo elektromagnitного polya [Assessment of the technical condition of electric power equipment by the spectral characteristics of the radiated electromagnetic field]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energetics* 3, 86-91 [in Russian].
12. Silin, N.V. & Sheverdin. D.G. (2011). Shumovaya diagnostika elektrotehnicheskogo oborudovaniya [Noise diagnostics of electrical equipment]. *Polzunovskiy vestnik – Polzunovsky Bulletin*. 2-1, 132-139 [in Russian].
13. Silin, N.V., Sheverdin., D.G., & Pavlov, E.N. (2011). K voprosu shumovoy diagnostiki elektrotehnicheskogo oborudovaniya [To the issue of noise diagnostics of electrical equipment]. *Polzunovskiy vestnik – Polzunovsky Bulletin*. 2-2. 195-201 [in Russian].
14. Klokov, V.V., Losev, V.L., Ignatev, N.I., & Silin, N.V. (2015). Shumovaya diagnostika elektrotehnicheskogo oborudovaniya mor-skogo transporta [Noise diagnostics of electrical equipment of maritime transport]. *Morskie intellektualnyie tehnologii – Marine Intelligent Technology*, S.-Pb.: Morinteh, Vol. 3 (29), 142-147 [in Russian].
15. Barkov, A.V. Kak ispolzovat dostizheniya vibratsionного monitoringa i diagnostiki mashin i mekhanizmov. Lektsiya dlya tehniceskikh rukovoditeley predpriyatiy [How to use the achievements of vibration monitoring and diagnostics of machines and mechanisms. Lecture for technical managers of enterprises]. *Chastnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie dopolnitelnого professionalного obrazovaniya "Severo-zapadniy uchebniy tsentr". Vibratsionnaya diagnostika*. Retrieved from: <https://vibro-expert.ru/kak-ispolzovat-dostizheniya-vibratsionного-monitoringa-i-diagnostiki-mashin-i-mekhanizmov.html> [in Russian].

*Наталья Чигирик, к.т.н.,
(доцент кафедры Эксплуатация и ремонт ру-хомого состава,
Украинского государственного университета железнодорожного тра-
нспорту)*

*Андрей Сумцов, к.т.н.,
(старший преподаватель кафедры Эксплуатация и ре-монт
подвижного состава, Украинского государственного университета
железнодорожного транспорта)*

*Иван Выхопень,
(аспирант кафедры Эксплуатация и ремонт подвижного состава,
Украинского государственного университета железнодорожного
транспорта)*

*Дмитрий Яценко, студент
(магистрант кафедры Эксплуатация и ре-монт подвижного состава,
Украинского государственного университета железнодорожного
транспорта)*

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В работе представлены результаты применения метода дистанционной диагностики высоковольтного оборудования тягового электроподвижного состава. Приведены принципы и критерии определения дефектности высоковольтной аппаратуры. Проведены работы по апробации методики на примере диагностики четырех контакторов главного контролера электровоза. Полученные результаты позволяют положительно оценить перспективу применения данного метода диагностики.

***Ключевые слова:** тяговый электроподвижной состав, диагностика, высоковольтное оборудование, главный контролер, электромагнитное излучение, энергетич ный спектр, мера дефектности*

Natalia Chygyryk, PhD (Tech). (Associate Professor, Ukrainian State University of Railway Transport)

Andrii Sumtsov, PhD (Tech). (Senior lecture, Ukrainian State University of Railway Transport)

Ivan Vykhopen. (Postgraduate student, Ukrainian State University of Railway Transport)

Dmitry Yatsenko (Student, Ukrainian State University of Railway Transport)

DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT OF TRACTION ROLLING STOCK

A large amount of scientific research in the field of diagnostics of high-voltage electrical equipment installed on various types of power substations, has significantly improved the reliability and trouble-free operation of it. Particular attention is now being paid to the development of methods that ensure state monitoring under operating voltage. In contrast to the dynamic integrated fault diagnosis method, based on the Bayesian network, there is continuous, and more often automatic control, provided by analyzing dissolved gases, recording the physicochemical characteristics of insulation, measuring partial discharges, electrical parameters, and the like.

Diagnostic reliability is significantly improved by using several independent parameters of deterministic value. Their list also includes a diagnostic method based on an analysis of the spectra of the equipment's own electromagnetic radiation.

This work presents the results of testing the use of a diagnostic technique for high-voltage equipment of electric rolling stock by the spectrum of its own electromagnetic radiation under load, with a demonstration of the correlation between the defect and fluctuations in the radiation spectrum.

It is shown that noise can be caused both by the processes of electric current flow and by chaotic changes in other non-electrical parameters of the equipment, which will turn into changes in the values of currents and voltages. A diagnostic technique based on a noise emitting model allows one to evaluate the state of external and internal structural elements, thereby substantially deepening and increasing the reliability of diagnostics.

The purpose of the research is to determine the possibility of using the analysis of the spectra of the own electromagnetic radiation of high-voltage equipment of traction electric rolling stock to diagnose its technical condition during operation under load.

On the other hand, when monitoring electromagnetism of frequency, monitored by the first estimates of natural fluctuations of electromagnetism in frequency smugs, the value of the error is incorrect.

Measurements of the magnitude of electromagnetic radiation in the frequency bands when monitoring the technical condition of high-voltage equipment must be carried out quite often, so the monitoring system should be either stationary or portable measuring instruments should be available to the duty personnel serving the controlled units and have minimal training in performing measurement operations.

In the case of traction electric rolling stock, it is advisable to consider the development and implementation of stationary stands for the diagnosis of high-voltage equipment, which uses the method of analysis of its own electromagnetic radiation.

Keywords: *traction electric rolling stock, diagnostics, high-voltage equipment, main controller, electromagnetic radiation, energy spectrum, defectiveness measure*