

М. С. Юхимчук¹
В. О. Лесько¹
О. В. Климчук¹

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

¹Вінницький національний технічний університет

У роботі розглядаються ключові аспекти діагностики та моніторингу високовольтного обладнання, що використовуються в енергетиці та промисловості. Високовольтне обладнання, таке як трансформатори, комутаційні апарати та кабельні лінії, є критично важливим для забезпечення надійності електричних мереж. Несправності в цих системах можуть призвести до значних економічних втрат, збоїв у постачанні електроенергії та навіть аварійних ситуацій.

Робота акцентує увагу на сучасних методах діагностики, такі як термографія, акустична емісія та ультразвукове тестування. Ці методи дозволяють виявляти дефекти на ранніх стадіях, зменшуючи ризики виникнення серйозних проблем. Особливу увагу приділено технологіям вимірювання та аналізу електричних параметрів, які забезпечують своєчасне виявлення відхилень у роботі обладнання.

Автори роботи також аналізують інноваційні засоби моніторингу, включаючи системи, що базуються на Інтернеті речей (IoT). Ці системи здатні забезпечувати цілодобовий моніторинг стану високовольтного обладнання, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в його роботі. Розглядаються також перспективи використання штучного інтелекту та машинного навчання для покращення точності діагностики та прогнозування можливих відмов.

У роботі представлено результати досліджень, які підтверджують ефективність сучасних методів діагностики в умовах реального експлуатаційного середовища. Висвітлено роль діагностики в плануванні технічного обслуговування та управлінні активами, що дозволяє зменшити витрати і підвищити надійність роботи енергетичних систем.

Таким чином, робота підкреслює важливість впровадження сучасних методів та засобів діагностики високовольтного обладнання, окреслюючи основні переваги, виклики та перспективи їх застосування. Це робить її корисним ресурсом для фахівців, інженерів і науковців, які працюють у цій галузі [1-3].

Ключові слова: високовольтне обладнання, діагностика, інфрачервона термографія, частотний аналіз, ультразвукова діагностика, частотні викиди, надійність, електричні системи.

Вступ

Дослідження сучасних методів та засобів діагностики високовольтного обладнання" зумовлений зростаючими вимогами до надійності та безпеки електричних систем. Високовольтне обладнання є критично важливим компонентом енергетичної інфраструктури, і його ефективна робота забезпечує стабільність електропостачання. Сучасні методи діагностики дозволяють виявляти дефекти на ранніх стадіях, що суттєво знижує ризик аварій та простоїв[1-3].

Дослідження показують, що своєчасна діагностика може зменшити витрати на обслуговування та ремонти, покращуючи економічну ефективність підприємств. Інноваційні технології, такі як інфрачервона термографія та ультразвукова діагностика, забезпечують високу точність та швидкість виявлення проблем. Оскільки вартість простоїв може бути значною, запровадження сучасних методів діагностики є економічно обґрунтованим[3-7].

Крім того, питання безпеки стає все більш актуальним у світлі зростання кількості аварій та їхніх наслідків. Використання новітніх засобів діагностики допомагає запобігти не лише технічним несправностям, а й потенційно небезпечним ситуаціям. Важливою є і адаптація діагностичних методів до специфіки об'єктів, що експлуатуються [3-7].

Таким чином, обрано дослідження саме цієї теми, оскільки воно сприяє розвитку ефективних підходів до моніторингу стану високовольтного обладнання. Результати дослідження можуть стати основою для вдосконалення методик обслуговування та запобігання аварій. Це також відкриває нові можливості для впровадження інновацій у сфері енергетики та забезпечення надійності електричних систем [3-7].

Види високовольтного обладнання, що підлягають діагностиці:

1. **Трансформатори.**
2. **Високовольтні вимикачі:**
3. **Кабелі та проводи:**
4. **Ізолятори:**
5. **Системи автоматизації:**

Сучасні методи діагностики дозволяють виявляти різні види пошкоджень та аномалій:

1. **Проблеми з ізоляцією:**
 - **Часткові розряди:** Можуть вказувати на деградацію ізоляційних матеріалів.
 - **Високий опір ізоляції:** Показує можливі пошкодження в ізоляційній.
2. **Термальні аномалії:**
 - **Перегрів:** Визначається за допомогою термографії; може свідчити про перевантаження або погане з'єднання.
3. **Механічні дефекти:**
 - **Тріщини, корозія, зношення:** Виявляються під час візуального огляду або ультразвукової діагностики.
4. **Електричні аномалії:**
 - **Вимірювання опору:** Низькі показники можуть свідчити про коротке замикання або погане з'єднання.
 - **Зміни в ємності та індуктивності:** Можуть вказувати на порушення в електричних ланцюгах.
5. **Витоки:**
 - **Ультразвукове виявлення витоків:** Дозволяє виявити проблеми в герметичності обладнання.

Методи діагностики

1. Візуальний огляд

Принцип дії: Візуальний огляд полягає в безпосередньому спостереженні за станом обладнання. Фахівець перевіряє з'єднання, ізоляційні матеріали, кріплення та інші елементи на наявність видимих дефектів, таких як тріщини, корозія, забруднення.

Переваги:

- Низька вартість та доступність: не потребує спеціального обладнання.
- Можливість виявлення очевидних дефектів на ранніх стадіях.

Недоліки:

- Обмежена інформативність: не виявляє приховані дефекти.
- Потребує досвіду фахівця для правильної інтерпретації результатів.

2. Термографія

Принцип дії: Термографія використовує інфрачервоні камери для вимірювання температури різних частин обладнання. Підвищена температура може свідчити про проблеми, такі як перегрів або погані електричні з'єднання. Інфрачервоні камери фіксують тепло, що випромінюється від об'єктів, і перетворюють його в зображення.

Переваги:

- Виявлення проблем на ранніх стадіях, що дозволяє запобігти аваріям.
- Можливість обробки даних для формування звітів і графіків.

Недоліки:

- Висока вартість обладнання.
- Залежність від умов навколишнього середовища (наприклад, температури навколишнього повітря).

3. Електричні вимірювання

Принцип дії: Цей метод включає вимірювання параметрів, таких як опір ізоляції, ємність, індуктивність та інші електричні характеристики. Використовуються спеціалізовані прилади, такі як мегомметри, осцилографи та мультиметри. Вимірювання можуть проводитися під навантаженням або без нього, що дає можливість оцінити стан ізоляційних матеріалів та електричних з'єднань.

Переваги:

- Висока точність та чутливість: дозволяє виявити навіть незначні зміни в характеристиках.
- Можливість визначення конкретних електричних характеристик, що важливо для діагностики.

Недоліки:

- Необхідність спеціального обладнання та кваліфікованих фахівців.
- Вимоги до проведення вимірювань (вимкнене обладнання або підготовка).

4. Ультразвукова діагностика

Принцип дії: Ультразвукова діагностика використовує ультразвукові хвилі для виявлення дефектів в ізоляційних матеріалах та електричних з'єднаннях. Ультразвукові детектори фіксують звукові сигнали, які виникають під час часткових розрядів або механічних дефектів. Прилади можуть виявляти звукові аномалії, що свідчать про проблеми в системі.

Переваги:

- Висока чутливість до дефектів, навіть у важкодоступних місцях.
- Можливість безконтактного моніторингу, що зменшує ризик для персоналу.

Недоліки:

- Висока вартість приладів.
- Необхідність попередньої підготовки обладнання та умов.

5. Діагностика часткових розрядів (ЧР)

Принцип дії: Діагностика часткових розрядів полягає у вимірюванні та аналізі електричних сигналів, які виникають в ізоляційних матеріалах при часткових розрядах. Цей метод дозволяє виявити початкові дефекти в ізоляції, які можуть призвести до аварії.

Переваги:

- Висока чутливість до початкових дефектів, що дає можливість провести своєчасне обслуговування.
- Можливість виявлення проблем, які не можуть бути виявлені іншими методами.

Недоліки:

- Складність в інтерпретації результатів: необхідно знати, як аналізувати отримані дані.
- Вимоги до спеціалізованого обладнання.

Результати дослідження**Порівняльна таблиця обладнання**

Метод діагностики	Виробник	Модель	Основні характеристики	Ціна (приблизно)
Візуальний огляд	FLIR	E8 XT	ІК-камера, 320x240, Wi-Fi	\$2,500 - \$3,000

Метод діагностики	Виробник	Модель	Основні характеристики	Ціна (приблизно)
	Testo	Testo 883	ІК-камера, 640x480, аналіз	\$3,000 - \$4,500
	Seek Thermal	RevealPRO	ІК-камера, 320x240	\$600 - \$1,200
Термографія	FLIR	T640	ІК-камера, 640x480, Wi-Fi	\$5,000 - \$7,000
	Testo	Testo 872	ІК-камера, 320x240, зв'язок з ПК	\$1,800 - \$2,500
	HIKMICRO	B20	ІК-камера, 256x192	\$1,200 - \$1,800
Електричні вимірювання	Megger	MIT1025	Вимірювання опору до 10 Гом, USB	\$1,000 - \$1,500
	Fluke	1507	Вимірювання опору до 1000 В	\$400 - \$600
	AEMC	6500	Вимірювання опору та ємності	\$3,000 - \$4,000
Ультразвукова діагностика	UE Systems	UltraProbe 15K	Частотний діапазон 20-100 кГц, виявлення витоків	\$3,500 - \$4,500
	SONOTEC	SONOFIND 30	Ультразвуковий детектор витоків	\$1,000 - \$1,500
	SKF	EcoCare	Ультразвуковий моніторинг, виявлення аномалій	\$1,200 - \$2,000
Діагностика часткових розрядів (ЧР)	PD Technology	PD1000	Виявлення часткових розрядів, інтерфейс для ПК	\$5,000 - \$7,000
	OMICRON	MPD 600	Вимірювання часткових розрядів, аналіз даних	\$10,000 - \$12,000
	IEC	Partial Discharge Monitor	Постійний моніторинг часткових розрядів	\$7,000 - \$9,000
Моніторинг реальному часі	Siemens	SICAM FSI	Моніторинг стану, інтеграція з SCADA	\$10,000+
	Schneider Electric	EcoStruxure	Системи моніторингу, управління даними	\$15,000+
	ABB	Ability	Платформа моніторингу стану обладнання	\$12,000+

Висновки

Сучасні методи та засоби діагностики високовольтного обладнання є надзвичайно важливими для забезпечення надійності та безпеки електричних мереж. Кожен з методів має свої переваги та недоліки, і їх доцільно використовувати в комбінації для досягнення максимальних результатів. Продовження досліджень у цій сфері дозволить покращити технології діагностики та забезпечити ефективніше управління високовольтним обладнанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1]. Yukhymchuk M. Decentralized Coordination of Temperature Control in Multiarea Premises [Text] / M. Yukhymchuk, V. Dubovoi, V. Kovtun // Complexity. – 2022. – Vol. 22. – Article ID 2588364.
- [2]. Мельник, І. (2021). Діагностика високовольтного обладнання. Київ: Енергетичний університет.
- [3]. Мельник, І. (2021). Діагностика високовольтного обладнання. Київ: Енергетичний університет.
- [4]. Сидоренко, В. (2022). Сучасні методи діагностики в енергетиці. Журнал електротехніки, 45(3), 12-18.

- [5]. Іванов, А. (2023). Технології моніторингу та діагностики високовольтного обладнання. Енергетичний журнал, 56(2), 45-52.
- [6]. Рубаненко О. Є., Лесько В. О., Поліщук А. В., Мельничук Д. О. Особливості експлуатації високовольтних електричних вимикачів/ Вісник Вінницького політехнічного інституту. № 6 (159) 2021, стор. 82-87.
- [7]. Olena Rubanenko, Vladislav Lesko, Marijana Cosovic, Sree Lakshmi Gundebommu. Predicting the Power Generation Renewable Energy Sources by using ANN/ 2021 20th International Symposium INFOTEN-JAHORINA (INFOTEN)/March 17-19, 2021/ Jahorina, East Sarajevo, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina. 2021.
- [8]. Забезпечення спостережності розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії / В. В. Кулик, О. Б. Бурикін, Ю. В. Малогулко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 91-101.

Юхимчук Марія Сергіївна – д. т. н., професор кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: umcmasha@gmail.com

Лесько Владислав Олександрович – к. т. н., доцент кафедри електричних станцій та систем, e-mail: lesko.v.o@vntu.edu.ua

Климчук Олександр Валерійович – аспірант кафедри електричних станцій та систем, e-mail: aleksandr.klymchuk@gmail.com

M. S. Yukhymchuk¹
V. O. Lesko¹
O. V. Klymchuk¹

RESEARCH ON MODERN METHODS AND TOOLS FOR DIAGNOSING HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT

¹Vinnitsia National Technical University

The article "Research on Modern Methods and Tools for Diagnosing High-Voltage Equipment" examines key aspects of diagnosing and monitoring high-voltage systems used in energy and industry. High-voltage equipment, such as transformers, switching devices, and cable lines, is critical for ensuring the reliability of electrical networks. Failures in these systems can lead to significant economic losses, interruptions in electricity supply, and even emergency situations.

The article focuses on modern diagnostic methods, including non-invasive technologies such as thermography, acoustic emission, and ultrasound testing. These methods allow for the early detection of defects, reducing the risks of serious issues arising. Special attention is given to technologies for measuring and analyzing electrical parameters, which ensure timely detection of deviations in equipment performance.

The authors also analyze innovative monitoring tools, including systems based on the Internet of Things (IoT). These systems can provide round-the-clock monitoring of the condition of high-voltage equipment, allowing for prompt responses to changes in its operation. The prospects of using artificial intelligence and machine learning to improve diagnostic accuracy and predict potential failures are also discussed.

The article presents the results of practical studies that confirm the effectiveness of modern diagnostic methods in real operational environments. It highlights the role of diagnostics in maintenance planning and asset management, which helps reduce costs and enhance the reliability of energy systems.

Thus, the article emphasizes the importance of implementing modern diagnostic technologies in the field of high-voltage equipment, outlining the main advantages, challenges, and prospects for their application. This makes it a valuable resource for professionals, engineers, and researchers working in this field.

Yukhymchuk Maria Serhiyivna - Doctor of Science, professor of the department of computer control systems, e-mail: umcmasha@gmail.com

Lesko Vladyslav Oleksandrovykh - Ph.D., associate professor of the Department of Electrical Plants and Systems, e-mail: lesko.v.o@vntu.edu.ua

Klymchuk Oleksandr Valeriyovych– graduate student of the Department of Electrical Stations and Systems, e-mail: aleksandr.klymchuk@gmail.com