УДК 621.316.54:621.313

СТІЙКІСТЬ НАНОКОМПОЗИТНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ ЗА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ АГРОПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Ставинський А. А.
Миколаївський національний аграрний університет

Повторні пуски електроприводів насосних станцій і зерносушильних комплексів створюють змінні навантаження на ізоляцію комутаційного обладнання. Її стійкість слід оцінювати з урахуванням матеріалу, конструкції вузла та режиму роботи [1].

Часткові розряди в епоксидній ізоляції пов’язані з дефектами та електричним напруженням [2]. Для обмоткових проводів двигунів із широтно-імпульсним живленням напруга початку розрядів залежить від температури й геометрії [3]. У роботі [1] досліджено нанокомпозитні конфігурації для агропромислових систем; для їх порівняння потрібно розмежувати вплив наповнювача, екранування та способу пуску.

Порівняти зміни електричних властивостей ізоляції за опублікованими результатами випробувань та обґрунтувати критерії її оцінювання для високовольтних вимикачів насосних станцій і зерносушильних комплексів.

Узагальнено дані роботи [1] для ненаповненої епоксидної смоли, композиту з діоксидом кремнію та конфігурації з гексагональним нітридом бору й внутрішнім екрануванням. Розмір частинок наповнювачів – 80–120 нм, масова частка – 8 %. Програма включала 1000 пускових циклів, термоциклювання в діапазоні 25–95 °C, вібраційні випробування й аналіз часткових розрядів. Відносне зменшення показників обчислено щодо їхніх початкових значень.

Таблиця 1.

Зменшення електричних показників після навантаження

Матеріал або конфігурація	Зменшення питомого опору, %	Зменшення пробивної напруги, %
Епоксидна смола	47,5	25,7
Композит із діоксидом кремнію	17,1	9,8
Композит із нітридом бору та внутрішнім екрануванням	7,3	7,1

Джерело: розраховано за початковими та кінцевими значеннями таблиці 1 роботи [1].

Після 1000 циклів напруга початку часткових розрядів становила 3,6 кВ для епоксидної смоли, 4,7 кВ для композиту з діоксидом кремнію та 5,5 кВ для екранованої конфігурації [1]. Вимірювання часткових розрядів потребує

калібрування та зіставних умов випробування згідно з IEC 60270:2025 [4].

Моделювання вузлів у роботі [1] показало зменшення максимальної напруженості поля з 8,6 до 5,4 кВ/мм, а максимальної температури – з 96,2 до 78,8 °C при переході від базової до екранованої конфігурації. Оскільки змінювалися і матеріал, і конструкція вузла, ці відмінності характеризують їхній спільний вплив. Окремий ефект наповнювача за наведеними даними визначити неможливо.

На стенді з двигуном потужністю 7,5 кВт середній пусковий струм становив 5,6 номінального струму за прямого пуску та 2,1 – за частотного керування [1]. Приріст температури зменшився з 24,7 до 9,5 °C, тобто на 61,5 %. Це відносна зміна температурного приросту; вона не визначає кількість теплоти або економію електроенергії. Вплив перетворювача на ізоляцію двигуна й високовольтного вимикача слід оцінювати окремо з урахуванням схеми живлення.

До критеріїв оцінювання належать зміни питомого опору й пробивної напруги, напруга початку розрядів, максимуми поля та температури. Під час перевірки на реальному обладнанні слід враховувати частоту пусків, вологість і забруднення. Для прогнозування строку служби потрібні експлуатаційні дані; для перевірки статистичної значущості – первинні результати та обсяг вибірки.

Нанокомпозитні конфігурації краще зберігали електричні властивості після навантаження, ніж ненаповнена епоксидна смола. Найменші зміни отримано за поєднання нітриду бору з внутрішнім екрануванням. Керований пуск зменшував пусковий струм і приріст температури у випробуваній схемі. Вибір ізоляції потребує одночасної перевірки матеріалу, конструкції та режимів пуску.

Список використаних джерел

1. Stavinskiy A., Vakhonina L., Martynenko V., Mardziavko V., Rudenko A. The influence of dynamic operating modes of electric drives of pumping stations and grain drying complexes on the degradation of nanocomposite insulation of high-voltage circuit breakers: Measurement results and recommendations for agricultural engineering. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science. 2026. Vol. 30, No. 2. P. 76–95. DOI: 10.56407/bs.agrarian/2.2026.76.

2. Verginadis D., Karlis A., Danikas M. G., Antonino-Daviu J. A. Investigation of Factors Affecting Partial Discharges on Epoxy Resin: Simulation, Experiments, and Reference on Electrical Machines. Energies. 2021. Vol. 14, No. 20. Article 6621. DOI: 10.3390/en14206621.

3. Lusuardi L., Cavallini A., Gómez de la Calle M., Martínez-Tarifa J. M., Robles G. Insulation design of low voltage electrical motors fed by PWM inverters. IEEE Electrical Insulation Magazine. 2019. Vol. 35, No. 3. P. 7–15. DOI: 10.1109/MEI.2019.8689431.

4. IEC 60270:2025. High-voltage test techniques – Charge-based measurement of partial discharges. IEC, 2025. https://webstore.iec.ch/en/publication/65087