

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КРУЕ З ГАЗОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ ПІД ЧАС ВІДБУДОВИ ПОШКОДЖЕНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Запропоновано науково-технічний підхід до обґрунтування застосування комплектних розподільних установок з газовою ізоляцією під час реконструкції та відбудови пошкоджених підстанцій. Показано, що в сучасних умовах вибір КРУЕ має визначатися не тільки компактністю та електричною надійністю, а й здатністю забезпечувати фізично захищене компонування, скорочення термінів будівельно-монтажних робіт, локалізацію пошкоджень і підвищення живучості підстанцій. Обґрунтовано необхідність урахування життєвого циклу обладнання, контролю газового середовища, екологічних обмежень щодо SF<sub>6</sub> та перспектив поступового переходу до альтернативних газоізоляційних технологій.*

**Ключові слова:** КРУЕ, GIS, газова ізоляція, підстанція, відбудова, реконструкція, фізична стійкість, підземне розташування, SF<sub>6</sub>, non-SF<sub>6</sub> технології.

### Abstract

*A scientific and technical approach to substantiating the application of gas-insulated switchgear during the reconstruction and restoration of damaged substations is proposed. It is shown that under current conditions the selection of GIS should be determined not only by compactness and electrical reliability, but also by the ability to provide physically protected arrangement, reduce construction and installation time, localize damage, and increase substation survivability. The need to consider equipment life cycle, gas monitoring, environmental restrictions on SF<sub>6</sub>, and the prospects for gradual transition to alternative gas-insulated technologies is substantiated.*

**Keywords:** gas-insulated switchgear, GIS, gas insulation, substation, restoration, reconstruction, physical resilience, underground arrangement, SF<sub>6</sub>, non-SF<sub>6</sub> technologies.

Реконструкція підстанцій в Україні в умовах воєнних пошкоджень не може розглядатися як відновлення попередньої конфігурації обладнання за принципом прямої заміни. Вона потребує переходу до архітектури, у якій електрична надійність поєднується з фізичною захищеністю, ремонтпридатністю, скороченням термінів відновлення та адаптацією до нових ризиків. За оновленою оцінкою потреб України у відновленні та реконструкції, енергетичний сектор належить до найбільш постраждалих секторів, що підтверджує необхідність не просто ремонту, а технологічного переосмислення інфраструктурних рішень [1].

Додатковим чинником є системний характер атак на енергетичну інфраструктуру. За матеріалами International Energy Agency, енергосистема України залишається під впливом постійних загроз, а пошкодження об'єктів генерації, передачі та розподілу безпосередньо впливають на енергетичну безпеку країни [2]. У таких умовах відкриті розподільні пристрої, попри простоту огляду й ремонту, мають суттєву просторову вразливість через значні ізоляційні відстані, відкритість струмопровідних частин і залежність від стану навколишнього середовища.

КРУЕ з газовою ізоляцією змінює саму логіку компонування підстанції. Якщо у відкритому розподільному пристрої електрична міцність забезпечується переважно повітряними проміжками, то у КРУЕ основні струмопровідні та комутаційні елементи розміщуються в герметичних металевих оболонках із газовим ізоляційним середовищем. Це дозволяє істотно зменшити габарити розподільного пристрою,

обмежити зону впливу зовнішніх факторів і створити передумови для розміщення обладнання в приміщеннях, захищених спорудах або підземних об'єктах.

У контексті відбудови пошкоджених підстанцій компактність КРУЕ набуває не лише економічного, а й безпекового значення. Менша площа розміщення дає змогу використовувати капітальні будівлі, заглиблені конструкції, залізобетонні захисні оболонки або комбіновані рішення, у яких найбільш відповідальні комутаційні вузли винесені з відкритого простору. Такий підхід не гарантує абсолютного захисту, але знижує ймовірність масового пошкодження струмопровідних частин, шинних систем і комутаційних апаратів від вторинних факторів ураження, уламків, пожежі, забруднення або кліматичних впливів.

З технічної точки зору КРУЕ доцільно розглядати як модульну систему з високим рівнем заводської готовності. Стандартизовані комірки, газові відсіки, збірні шини, вимикачі, роз'єднувачі, заземлювачі, трансформатори струму та напруги формують не набір окремих апаратів, а єдиний функціональний вузол. Для розподільних пристроїв з газовою ізоляцією в металевій оболонці на номінальну напругу понад 52 кВ технічні вимоги регламентуються ДСТУ EN IEC 62271-203:2024 [3]. Наявність такого нормативного підґрунтя є важливою для уніфікації проектних рішень, випробувань, контролю газощільності та оцінювання працездатності обладнання.

Важливою перевагою КРУЕ є секціонування газових об'ємів. У разі дефекту або втрати тиску пошкодження може бути локалізоване в межах окремого відсіку, без виведення з роботи всього розподільного пристрою. Для підстанцій, що відновлюються після пошкоджень, це має принципове значення, оскільки скорочується час діагностики, зменшується обсяг ремонтної зони та підвищується ймовірність збереження в роботі непошкоджених приєднань. Тому показник живучості КРУЕ має оцінюватися не тільки за ймовірністю відмови, а й за здатністю обмежувати наслідки пошкодження.

Разом з тим застосування КРУЕ висуває підвищені вимоги до експлуатаційної дисципліни. Критичними стають контроль густини газового середовища, герметичність фланцевих з'єднань, стан ущільнень, робота приводів, наявність сигналізації та блокувань, а також кваліфікація персоналу. Процедури поводження з газами для ізоляції або комутації у високовольтному обладнанні визначаються IEC 62271-4:2022 [4]. Це означає, що ефективність КРУЕ залежить не тільки від конструкції, а й від правильно організованої системи експлуатації, сервісного обслуговування та контролю життєвого циклу.

Окремим критерієм вибору є екологічна складова. Історично основним газовим середовищем для КРУЕ був SF<sub>6</sub>, який має високі ізоляційні та дугогасні властивості, але належить до фторованих парникових газів. Regulation (EU) 2024/573 посилює вимоги до фторованих парникових газів і обладнання, що їх містить або функціонування якого від них залежить [5]. Тому для українських проектів реконструкції вже сьогодні доцільно враховувати не лише початкову вартість елегазового обладнання, а й майбутні вимоги до контролю витоків, обліку газу, повторного використання, утилізації та можливого переходу на альтернативні технології.

Перспектива використання non-SF<sub>6</sub> рішень не повинна трактуватися спрощено. Заміна ізоляційного газу змінює вимоги до ізоляційних відстаней, тиску, конструкції відсіків, теплового режиму, випробувань і технічного обслуговування. У технічній брошурі CIGRE TB 802 підкреслюється, що застосування альтернативних газів і газових сумішей у розподільних пристроях середньої та високої напруги потребує спеціальної адаптації конструкцій та вимог безпечної експлуатації [6]. Отже, для України раціональною є поетапна стратегія: на першому етапі — застосування перевірених КРУЕ з жорстким контролем SF<sub>6</sub>, на наступному — підготовка до впровадження обладнання з альтернативними газовими середовищами.

Науково-технічне обґрунтування вибору КРУЕ для реконструкції підстанцій має виконуватися за сукупністю критеріїв. До них належать: клас напруги, кількість і тип приєднань, обмеження території, можливість розміщення в захищеній або підземній споруді, строк відновлення об'єкта, рівень фізичних загроз, вимоги до резервування, очікувана ремонтпридатність, вартість життєвого циклу, екологічні

обмеження та доступність сервісної підтримки. Саме багатокритеріальний підхід дозволяє уникнути спрощеного вибору між відкритим розподільним пристроєм і КРУЕ лише за вартістю обладнання.

Для післявоєнної відбудови підстанцій найбільш доцільним є селективне застосування КРУЕ. Воно є особливо обґрунтованим для вузлових підстанцій, міських і промислових енерговузлів, об'єктів з дефіцитом площі, підстанцій з високою системною значущістю, а також для приєднань, втрата яких призводить до значного порушення електропостачання. У менш критичних точках мережі відкриті розподільні пристрої можуть залишатися економічно прийнятними. Тому КРУЕ не є універсальною заміною всіх технічних рішень, але є важливим інструментом підвищення стійкості найбільш відповідальних елементів енергосистеми.

### Висновки

Застосування КРУЕ з газовою ізоляцією під час реконструкції та відбудови пошкоджених підстанцій є технічно обґрунтованим у випадках, коли поряд з електричною надійністю необхідно забезпечити компактність, фізичну захищеність, швидкість монтажу та керовану локалізацію пошкоджень. В умовах воєнних ризиків особливого значення набуває можливість розміщення КРУЕ в приміщеннях, захищених спорудах або підземному виконанні. Вибір такого обладнання має здійснюватися на основі багатокритеріальної оцінки, що охоплює технічні, режимні, безпекові, екологічні та життєво-циклові параметри. Перспективним напрямом є поєднання використання надійних SF<sub>6</sub>-рішень із поступовою підготовкою до впровадження non-SF<sub>6</sub> технологій відповідно до європейських тенденцій розвитку високовольтного обладнання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment Released. World Bank. 2026. URL: <https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2026/02/23/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released>.
2. Ukraine's energy system under attack. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter/ukraines-energy-system-under-attack>.
3. ДСТУ EN IEC 62271-203:2024. Пристрої контрольні розподільчі високовольтні. Частина 203. Розподільчі пристрої з газовою ізоляцією в металевій оболонці на номінальну напругу понад 52 кВ (EN IEC 62271-203:2022, IDT; IEC 62271-203:2022, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024.
4. IEC 62271-4:2022. High-voltage switchgear and controlgear. Part 4: Handling procedures for gases for insulation and/or switching. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2022.
5. Regulation (EU) 2024/573 of the European Parliament and of the Council of 7 February 2024 on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014. Official Journal of the European Union. 2024. URL: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L\\_202400573](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202400573).
6. Application of non-SF<sub>6</sub> gases or gas-mixtures in medium voltage and high voltage gas-insulated switchgear. CIGRE Technical Brochure 802. Paris : CIGRE, 2020. URL: <https://www.e-cigre.org/publications/detail/802-application-of-non-sf6-gases-or-gas-mixtures-in-medium-and-high-voltage-gas-insulated-switchgear.html>.

**Гмиря Максим Андрійович** — студент групи 2ЕСМ-226 факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Вишневецький Святослав Янович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: [svyato.vish.ua@gmail.com](mailto:svyato.vish.ua@gmail.com)

**Гмыря Maksym A.** — student, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Sviatoslav Ya. Vyshnevskiy** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: [svyato.vish.ua@gmail.com](mailto:svyato.vish.ua@gmail.com)