

КОНЦЕПЦІЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВУЗЛІВ РОЗПОДІЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

Д.В. Мелешук, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна

e-mail: mdimav1975@gmail.com

У статті розглянута одна з проблем, що виникла в енергетичній інфраструктурі України внаслідок регулярних руйнувань її об'єктів під час війни. Вона стосується способів підвищення безпеки вузлів розподільної системи енергетичної інфраструктури України в процесі подальшого її відновлення та модернізації. Зроблено огляд відповідних питань, що виникають у разі використання різних способів у процесі досягнення поставленої мети. Указано на важливість проблеми захисту електричних підстанцій енергетичної розподільної інфраструктури та необхідність відповідних досліджень і розробок для створення оптимального способу захисту. Зазначена актуальність розробки методу та засобів захисту важливого елементу підстанцій – силового трансформатора. Описано один із варіантів оптимальної концепції відповідного захисту. Він передбачає розташування трансформаторів у земляній ніші, відповідно сформованій та обладнаній допоміжними елементами. Цей варіант простий, технологічний та економічно вигідний. Такий спосіб захисту трансформаторів має забезпечити їх від уламків вибухових пристроїв та вибухової хвилі. Запропонована концепція має перспективу для удосконалення. Бібл. 4, рис. 2.

Ключові слова: електромережа, трансформатор, безпека, укриття, концепція.

Однією з головних проблем в енергетичній інфраструктурі України є забезпечення доставки електричної енергії до споживачів. Ця проблема, як відомо, пов'язана з руйнуванням та пошкодженням елементів системи передачі електроенергії. У результаті постійних масованих повітряних атак ворожих військових засобів ураження велика кількість перетворювальних та передавальних установок електроенергії було зруйновано або зіпсовано. Для забезпечення стабільності подальшої роботи енергетичної системи України у воєнний та повоєнний часи необхідно зайнятися зокрема питанням майбутнього збереження та захисту цих основних вузлів мережі електропостачання. Головна загроза для руйнування конструкцій енергетичної мережі під час війни пов'язана з різного роду літальними апаратами з вибуховою речовиною. Тому необхідно під час відновлення енергетичної інфраструктури України подбати про її безпеку від повітряних обстрілів. У роботі розглянута концепція захисту головних вузлів розподілу електроенергії від повітряних загроз.

На рис. 1 спрощено зображено структуру розподілу електроенергії в Україні [1]. Дуже важливими вузлами в системі розподілу електроенергії є трансформаторні та розподільні підстанції. До складу підстанцій входить багато елементів. Вони є вразливими для зовнішніх пошкоджень та зазнали багато ворожих повітряних атак. Це призвело до частоті багатогодинної відсутності електроенергії та порушення її нормального постачання до споживачів. Звісно, пошкоджень зазнають й інші елементи системи енергетичної інфраструктури. Найбільш уразливими, напевно, є повітряні лінії електропостачання через їхню відкритість та просторову протяжність. Тож зрозуміло, що для створення системи безпеки від руйнування основних вузлів передачі електроенергії необхідно розробити відповідні заходи. Такі роботи в Україні ведуться. Це озвучив прем'єр-міністр Денис Шмигаль під час спілкування з журналістами: «Протягом весни-літа ми вже розробили відповідні проекти захисту від бетонних шелтерів, бетонних накривтів до заглиблення під землю на достатній рівень для того, щоб ні дрони, ні ракети не могли пошкодити розподільну мережу, підстанції» [2].

Тож розглядаються дві позиції методу захисту розподільних підстанцій. Перша передбачає підземне розташування. «Треба будувати нові модульні трансформаторні підстанції під землею. Це максимально убезпечить їх від ракетних ударів... На ці нові підстанції просто перевести повітряні лінії (електропередачі) та зробити це так, щоб було не дуже помітно...



Рис. 1

чайно, мають свої недоліки. Перший підхід, що передбачає підземне розташування підстанцій або їхніх частин досить складний, трудомісткий і дуже коштовний та потребує вирішення багатьох супутніх технічних проблем, таких як розробка самих укриттів і технологій їхнього створення. Чималими проблемами будуть також питання нормальної експлуатації обладнання підстанцій та його обслуговування (забезпечення доступу до елементів обладнання, відповідне охолодження, ремонт та заміна пошкодженого обладнання, забезпечення електричної ізоляції та інше). Другий підхід передбачає створення навколо елементів підстанцій різного виду зовнішніх укриттів. Цей спосіб захисту значно простіший та дешевший. Однак у такому разі ступінь захисту буде значно нижчим. Вибухова хвиля може знищити бетонний паркан навколо станції та зруйнувати чи пошкодити цільне укриття (сучасні засоби враження дуже потужні та мають значну руйнівну силу). За цих обставин існує велика імовірність пошкодження пристрою, що знаходиться за укриттям. Навіть незначні пошкодження складових підстанції виведуть її з ладу, повністю або надовго. Існуючі та ті, що плануються засоби та методи захисту електропідстанцій, їхні схеми, конструкції та характеристики з метою безпеки не оголошуються.

Отже, постає питання розроблення найбільш оптимальної концепції для вирішення проблеми захисту критичних вузлів енергетичної інфраструктури країни, зважаючи на технічні та економічні аспекти. Захистити всі елементи системи розподілу електроенергії практично неможливо. Безперечно, до цього треба прагнути, але доводиться враховувати реальну ситуацію, що склалася зараз та прогнозується найближчим майбутнім. Необхідно проаналізувати характер проблем в енергетичній системі України, що виникли внаслідок пошкоджень від ворожих атак під час війни. «Але де ж саме виявилось слабке місце в цьому ланцюгу енергосистеми? Експерти і чиновники вказують, що найчастіше ціллю ракетних ударів ставали саме великі трансформаторні підстанції. Тобто вузлики, що "зшивають" українську енергосистему до купи» [3]. Головним елементом трансформаторних підстанцій є силовий трансформатор з додатковим навісним обладнанням. Проблема відновлення та заміни цих пристроїв викликала минулого року великі труднощі в енергетичних компаніях України. Тож можна зробити висновок, що першочергово в системі електропостачання до споживачів до-

Підстанцію, яку приховали, за-бетонувавши під землею, її вже буде, м'яко кажучи, важче дістати» [3]. Представники другої позиції критично ставляться до ідеї підземного розташування трансформаторних підстанцій. Запропонований інший спосіб захисту підстанцій передбачає встановлення зовнішньої захисної конструкції для підстанцій. «Магістральні підстанції – дуже великі об'єкти, на яких розташовані десятки великих трансформаторів, які мають чітко прописані умови експлуатації і розміщення. Під землею можна розмістити лише окремі не надто потужні трансформаторні будки... Такі масштабні станції можливо захистити, лише посиливши протиповітряну оборону і встановивши навколо них бетонний паркан». [3].

Обидва варіанти, зви-

даткового захисту потребують силові трансформатори. Лінії електропередач зазвичай також суттєво руйнуються під час обстрілів, що призводить до зникнення електропостачання окремих споживачів. Але захистити повітряні лінії електропостачання практично неможливо. До того ж їх легше відновити.

Трансформатори розподільної мережі складні та різноманітні. Їхнє виготовлення досить коштовне та займає тривалий час [4]. Крім того, за час повномасштабної війни їхній запас в Україні дуже зменшився, а виробництво – обмежене. Саме поновлення (заміна) трансформаторів найімовірніше буде викликати в майбутньому суттєві проблеми в процесі відновлення енергетичної інфраструктури України. Вірогідність влучення засобів ураження (ракет, дронів) саме в трансформатор не дуже велика. Але у разі вибуху поряд з трансформатором він зазнає значних ушкоджень (від уламків, вибухової хвилі, розповсюдження пожежі). Тому треба застосувати технічно простий, економний, технологічний та ефективний спосіб захисту трансформаторів підстанцій розподілу електроенергії. На відміну від раніше описаних способів (підземне розташування, застосування бетонного паркану чи укриття) можна запропонувати дещо середнє, а саме просте розташування трансформаторів у земляних заглибленнях. На рис. 2 наведено схематичне зображення укриття трансформатора підстанції.

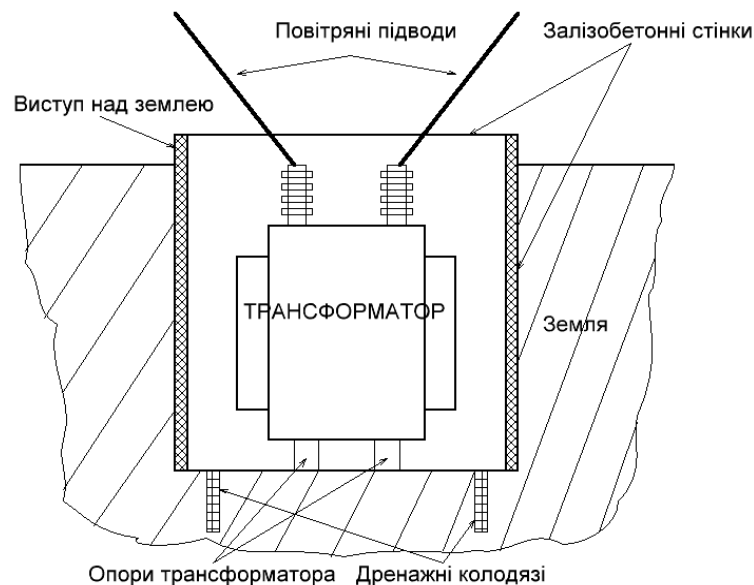


Рис. 2

Запропонована концепція не передбачає зміни конфігурації підстанції. Це дасть змогу достатньо швидко, економно та ефективно забезпечити захист таких важливих, дефіцитних та коштовних вузлів підстанцій, як силові трансформатори. Згідно з концепцією необхідні роботи із захисту підстанцій стосуються лише вертикального розташування силових трансформаторів. На час робіт трансформатор демонтується. На місці його розташування викопується в земляній поверхні відповідне заглиблення. Із чотирьох сторін земляна ніша обкладається залізобетонним каркасом (товщина стін має бути розрахована). Каркас має виступати над рівнем земляної поверхні для уникнення попадання в нішу зайвої води під час опадів. Крім того, сформований таким способом бордюр буде виступати захистом для ізоляції виводів трансформатора. До того ж він буде корисний у разі можливого подальшого удосконалення укриття. Трансформатор розташований посередині ніші на опорах. Практично всі норми з установки трансформатора залишаються незмінними. Питання розміру заглиблення трансформатора також є окремою науковою задачею. Потрібно розрахувати оптимальне значення, щоб забезпечити ефективний захист іззовні і електроізоляцію виводів трансформатора та з'єднувальних дротів (з мінімальними переробками під'єднань). Для уникнення затоплення укриття під час опадів необхідно передбачити відповідний дренаж ніші. Дренаж може бути достатньо простим (пасивним) і відповідно економічним. Достатньо буде декількох неглибоких (залежно від складу ґрунту) колодязів у підлозі ніші. Запропонована концепція пе-

редбачає залишення всіх під'єднань ліній електропередачі до виводів трансформатора незмінними. Повітряні лінії лишаються так само повітряними, підземні – так само підземними. За таких умов постає наукова задача забезпечення відповідної електроізоляції підводів до виводів трансформатора. Якщо будуть потрібні якісь зміни в конфігурації системи під'єднання трансформатора до ліній електропередачі, то вони будуть незначними.

У запропонованому укритті трансформатор буде захищений від попадання уламків від вибухів збоку та вибухової хвилі. Таке розташування дасть змогу вільного доступу до обслуговування трансформатора та не буде ускладнювати його демонтаж і заміну за необхідності. Крім того, у такому укритті буде збережено пасивне повітряне охолодження трансформатора. У разі подальшої розробки цієї концепції можна передбачити деякі засоби захисту трансформаторів зверху від уламків і дронів. Такими засобами можуть бути захисні сітки різної конструкції. Можна передбачити часткове закриття заглиблення деякою покрівлею (наприклад, залізобетонними плитами). Це дасть змогу захистити трансформатор у разі прямого ураження (що прийдеться за закриту частину) засобом з невеликою руйнівною силою.

Питання помітності місця розташування трансформаторів, найімовіріше, не має дуже впливового значення. Існує достатньо способів для визначення місць знаходження підстанцій і трансформаторів (супутникові фото, направлення повітряних ліній електропостачання, розвідка, людський фактор та інші). Звичайно, це питання має враховуватись, але не є пріоритетним.

Головною науковою проблемою цієї концепції буде питання забезпечення відповідного функціонування силових трансформаторів системи енергопостачання за нових умов (після проведення відповідних заходів із захисту). Головні задачі під час впровадження запропонованої концепції – це розробка технічних характеристик укриття для трансформатора, дослідження оптимальної глибини занурення трансформатора відносно рівня поверхні та забезпечення електричної ізоляції підводів ліній електропередачі до виводів трансформатора в нових умовах. Для впровадження цієї концепції необхідне системне вирішення пов'язаних між собою проблем. Це потребує комплексу відповідних досліджень та розробок.

Висновки. Енергетична інфраструктура України у процесі відновлення та модернізації має зазнати конструктивних змін, що передбачають підвищення безпеки її основних вузлів від можливих механічних ушкоджень (зокрема, під час воєнних дій).

Наразі зміни стосуються створення умов безпеки основного обладнання підстанцій системи розподілу електроенергії (зокрема силових трансформаторів) від можливих механічних пошкоджень.

Запропонована концепція передбачає швидко реалізований, економічно оптимальний та достатньо ефективний захист силових трансформаторів підстанцій від пошкоджень, що можуть бути завдані повітряними засобами ураження та іншими побічними впливами.

Розглянуте питання є важливим і має бути ретельно досліджено. Має бути знайдено оптимальне вирішення проблеми. Захист основних блоків енергетичної інфраструктури може покращити майбутнє безпечне існування системи розподілу електроенергії в Україні.

1. Моїсєєв В. Як влаштована система розподілу електроенергії та як її ремонтують. URL: <https://thepage.ua/economy/sistema-raspredeleniya-elektroenergii-v-ukraine-kak-ustroena-i-kak-ee-remontiruyut>
2. Богданьок О. Бетонні шелтери, заглиблення під землю. Шмигаль обіцяє захистити енергетичні об'єкти. URL: <https://suspilne.media/403385-betonni-selteri-zagliblenna-pid-zemlu-smigal-obicae-zahistiti-energetichni-obekti/>
3. Черніш О. Росія нищить українські трансформатори. Як їх захистити і чим вони важливі. BBC News Україна. 1 грудня 2022. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-63801303>
4. Номенклатурный каталог ZTR. URL: http://www.ztr.ua/files/ztr_d76-ztr_nomenklaturnyi_katalog_2014.pdf

THE CONCEPT OF ENHANCING THE SECURITY OF NODES OF THE ENERGY DISTRIBUTION INFRASTRUCTURE OF UKRAINE

D.V. Meleshchuk

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Beresteiskiy ave., 56, Kyiv, 03057, Ukraine

e-mail: mdimav1975@gmail.com

The issue of one of the problems that arose in the energy infrastructure of Ukraine as a result of the regular destruction of its facilities during the war is considered. It concerns ways of increasing the security of nodes of the distribution system of the energy infrastructure of Ukraine during its further restoration and modernization. An overview of the relevant issues that arise when using different methods to achieve the set goal is made. The importance of the problem of protection of electrical substations of the energy distribution infrastructure and the need for appropriate research and development to create an optimal method of protection are indicated. The urgency of developing a method and means of protection of an important element of substations (power transformer) is noted. One of the variants of the optimal concept of the corresponding protection is described. It provides for the location of transformers in an earthen niche, accordingly formed and decorated with auxiliary elements. This option is simple, technological and economically beneficial. This method of protecting transformers should protect them from fragments of explosive devices and blast waves. The proposed concept has room for improvement. Ref. 4, fig. 2.

Keywords: power grid, transformer, safety, shelter, concept.

1. Moiseev V. How the electricity distribution system is arranged and how it is repaired. URL: <https://thepage.ua/economy/sistema-raspredeleniya-elektroenergii-v-ukraine-kak-ustroena-i-kak-ee-remontiruyut> (Ukr)
2. Bohdanyok O. Co Olena ncrete shelters, digging underground. Shmyhal promises to protect energy facilities. URL: <https://suspilne.media/403385-betonni-selteri-zagliblenna-pid-zemlu-smigal-obicae-zahistiti-energetichni-obekti/> (Ukr)
3. Chernysh O. Russia destroys Ukrainian transformers. How to protect them and why they are important. BBC News Ukraine. December 1, 2022. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-63801303> (Ukr)
4. Nomenclature catalog ZTR. URL: http://www.ztr.ua/files/ztr_d76-ztr_nomenklatyrnyi_katalog_2014.pdf (Rus)

Надійшла: 08.06.2023

Прийнята: 04.09.2023

Submitted: 08.06.2023

Accepted: 04.09.2023