

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРА ПІД ЗЕМЛЕЮ З ДОТРИМАННЯМ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

Т. Д. Мешков¹, Д. О. Данильченко², М. Вольтер³

*КЗ «Харківський ліцей № 55 Харківської міської ради»,
вул. Валентинівська, 13Д, м. Харків, 61168, Україна,
тел.: (068) 833-88-34, e-mail: tymofey.meshkov@gmail.com*

Досвід ведення бойових дій продемонстрував, що в сучасній війні об'єкти критичної інфраструктури стають першочерговою ціллю для атак. Ці об'єкти не мають відповідного захисту від ракетних та авіаційних атак. Про це свідчать атаки та руйнування на електричних станціях та високовольтних підстанціях. Внаслідок атак у 2022–2023 роках було зруйновано 49 силових трансформаторів з 91 [1]; більшість з них є системоутворюючими високовольтними трансформаторами.

Для того, щоб в подальшому уникати подібних ситуацій та підвищити надійність та енергоефективність під час ведення бойових дій, пропонується перенести трансформатор у підземний бункер. Це ускладнить ураження трансформаторів під час ведення бойових дій.

Мета роботи полягає в підвищенні захищеності та ефективності енергосистеми шляхом перенесення трансформаторів у підземні бункери. Оскільки розміщення трансформатора під землею є комплексним питанням, як головну проблему було вибрано тепловий режим роботи. Для досягнення мети були поставлені такі задачі: визначення основних конструктивних параметрів бункера для розміщення в ньому трансформатора; розробка математичних моделей для визначення температури масла та гарячої точки; аналіз норми температурних режимів роботи трансформатора; визначення необхідного рівня вентиляції для охолодження та підтримання номінальної температури трансформатора; проведення розрахунків теплового режиму при роботі силового трансформатора.

У результаті роботи визначено розміри підземного бункера та необхідну потужність його системи вентиляції для охолодження трансформатора. Для підтвердження ефективності запропонованої системи вентиляції було проведено розрахунок теплового режиму, який враховує такі фактори, як зміна дня та ночі в літню пору року й навантаження на енергосистему. У підсумку визначено, що запропонована система охолодження здатна підтримувати температуру на допустимому рівні. Було також визначено строк служби трансформатора за таких умов роботи. Він становитиме 24 роки з 20 номінальних [2].

Для перевірки точності розрахунків було проведено аналогічний розрахунок теплового режиму за допомогою методу кінцевих елементів у застосунку SOLIDWORKS Flow Simulation. Шляхом порівняння результатів розрахунків було визначено, що похибка становить не більше 4 %.

Запропоновані методи розрахунків та результати мають практичну цінність та можуть бути використані при проектуванні підземних бункерів та вентиляції для розміщення трансформаторів. Усі методи розрахунків та математичні моделі є універсальними, тому підходять для розрахунку високовольтних силових трансформаторів.

Ключові слова: трансформатор, тепловиділення, бункер, охолодження, укриття.

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF PLACING THE TRANSFORMER UNDERGROUND WITH OBSERVANCE OF THE THERMAL REGIME

T. D. Meshkov¹, D. O. Danylchenko², M. Wolter³

*Kharkiv lyceum № 55 of the Kharkiv City Council,
13D Valentynivska str., Kharkiv, 61168, Ukraine,
phone: (068) 833-88-34, e-mail: tymofey.meshkov@gmail.com*

The experience of warfare has shown that in modern warfare, critical infrastructure facilities are the primary target for attacks. These facilities do not have adequate protection against missile and air attacks. This is evidenced by attacks and damage to power plants and high-voltage substations. As a result of the attacks in 2022-2023, 49 out of 91 power transformers were destroyed [1], most of which are systemically important high-voltage transformers.

In order to avoid such situations in the future and to increase reliability and energy efficiency during hostilities, it is proposed to move the transformer to an underground bunker. This will make it more difficult to damage transformers during hostilities.

The aim of the work is to increase the security and efficiency of the power system by moving transformers to underground bunkers. Since the placement of a transformer underground is a complex issue, the thermal operation was chosen as the main problem. To achieve this goal, the following tasks were set: determination of the main design parameters of the bunker for placing a transformer in it; development of mathematical models for determining the oil temperature and hot spot; analysis of the norms of temperature conditions of the transformer; determination of the required level of ventilation to cool and maintain the rated temperature of the transformer; calculations of the thermal regime during the operation of a power transformer.

As a result of the work, the dimensions of the bunker and the required capacity of the underground bunker ventilation system for cooling the transformer were determined. To confirm the effectiveness of the proposed ventilation system, the thermal regime was calculated, taking into account such factors as the change of day and night in the summer and the load on the power system. As a result, it was determined that the proposed cooling system is able to maintain the temperature at an acceptable level. The service life of the transformer under such operating conditions was also determined. It will be 24 years out of 20 nominal years [2].

To verify the accuracy of the calculations, a similar calculation of the thermal regime was performed using the finite element method in the SOLIDWORKS Flow Simulation application. By comparing the calculation results, it was determined that the error was no more than 4%.

The proposed calculation methods and results are of practical value and can be used in the design of underground bunkers and ventilation for transformers. All calculation methods and mathematical models are universal and therefore suitable for the calculation of high-voltage power transformers.

Keywords: transformer, heat release, bunker, cooling, shelter

ORCID: ¹0009-0004-2026-7877; ²0000-0001-7912-1849, ³0000-0003-0281-0501

ПОСИЛАННЯ

1. Stern D. L. In Ukraine, Russia's winter attacks on infrastructure have started. Washington Post. URL: <https://www.washingtonpost.com/world/2023/10/10/winter-ukraine-russia-infrasturcture-attacks/> (дата звернення: 06.11.2023).
2. IEEE guide for loading mineral-oil-immersed transformers and step-voltage regulators. IEEE Standard P.57.91-2011. 2011. P. 106.