

В. А. Глива, Д. Б. Осадчий

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

## ЗАСОБИ НОРМАЛІЗАЦІЇ РІВНІВ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДСТАНЦІЯХ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

**Анотація.** Досліджено рівні електромагнітних полів, шуму, концентрацій аероіонів у повітрі приміщень диспетчерських служб електричних підстанцій високої напруги. Встановлено, що напруженості електромагнітних полів промислової частоти та щільності потоків енергії електромагнітних полів ультрависокої частоти перебувають на нормативному рівні. Електромагнітні поля радіочастот та імпульсний шум перевищують гранично допустимі рівні. Спостерігається деіонізація повітря. Встановлено, що джерелом ненормативних рівнів полів є шафи вторинних ланцюгів. При цьому, біля релейних шаф концентрації аероіонів значно вищі за мінімально допустимі. Нормалізація рівнів електромагнітних та акустичних полів досягається застосуванням універсального перфорованого екрана, виготовленого з композиційного матеріалу на основі карбонільного заліза. Матриця виготовлялася зі стандартного лаку ХС. У результаті застосування екранування рівні електромагнітних полів радіодіапазону знижено до значень, набагато нижчих за нормативні. Індекси зниження шуму середніх та високих частот складає 8–12 дБ. Враховуючи, що імпульсний шум середньо та високочастотний, цей результат є задовільним. Нормалізація концентрацій аероіонів обох полярностей досягається за рахунок переміщення аероіонів від шаф вторинних ланцюгів робочих місць спрямованим рухом повітря крізь отвори електромагнітного та акустичного екрана. Перевагою композиційного екрана є відсутність накопичення статичних зарядів, які нейтралізують заряди аероіонів.

**Ключові слова:** електрична підстанція, електромагнітне поле, шум, аероіони.

### Вступ

Підстанції високої напруги є найбільш поширеними об'єктами критичної інфраструктури. Від стабільності їх роботи залежить безперебійне функціонування промислових підприємств, об'єктів інфраструктури тощо. Тому умови праці персоналу із обслуговування електричних підстанцій повинні забезпечувати максимально сприятливу обстановку для виконання службових обов'язків. В той же час на робочих місцях персоналу присутні техногенні чинники, які за певних умов можуть мати ненормативні значення. Це електромагнітні поля та електромагнітні фактори – деіонізація повітря та магнітний шум. У багатьох випадках ці фактори є взаємозалежними, тому засоби їх нормалізації доцільно розглядати у комплексі, що крім технічного може мати економічний ефект за рахунок застосування універсальних засобів захисту.

**Стан питання.** Безпечності енергетичних об'єктів для працюючих та населення приділяється багато уваги як в Україні, так і у світі. В Україні граничні рівні електромагнітних полів визначаються санітарними нормами [1], виробничого шуму [2], концентрацій аероіонів [3]. Усі вони мають незначні розбіжності із міжнародними нормативами. Дослідження електромагнітних полів та визначення засобів їх зниження стосуються, здебільшого, повітряних ліній електропередачі через їх велику розгалуженість [4, 5]. Дослідження щодо інших факторів – шуму, іонізації також стосуються системи передачі та перетворення електроенергії [6]. Більш сучасні дослідження у цьому напрямі виконані для офісних та побутових приміщень, що не відповідає умовам електричних підстанцій [7]. У дослідженнях [8, 9] визначалися та розроблялися засоби нормалізації електромагнітних полів, шуму та концентрацій аероіонів на об'єктах генерації електричної енергії. Зокрема показано, що на головних пунктах керування теплових

електростанцій рівні фізичних чинників потребують нормалізації. Але на таких робочих місцях електромагнітне оточення відрізняється від умов роботи диспетчерів електричних підстанцій високої напруги. Умовам праці на підстанціях високої напруги практично не приділяється уваги. Поодинокі роботи з цієї тематики [10] певним чином застаріли, тому актуальною задачею є дослідження рівнів фізичних чинників на електричних підстанціях високої напруги.

**Мета роботи** – дослідити рівні електромагнітних полів, концентрації аероіонів та шуму на робочих місцях персоналу електричних підстанцій високої напруги та визначити засоби їх нормалізації.

### Викладення основного матеріалу

Об'єктом дослідження була електрична підстанція з номінальною напругою 330 кВ. Вимірювання рівнів магнітних та електричних полів промислової частоти здійснювалися каліброваним приладом ПЗ-50, електромагнітних полів дуже високої частоти – ПЗ-31. Вимірювання концентрацій аероіонів обох полярностей – лічильником іонів МАС-01.

Рівні шуму визначалися шумоміром ОКТАВА-110А. Вимірювання здійснювались за умов штатного режиму роботи підстанції при типовому (номінальному) навантаженні.

Вимірювання напруженостей електричного та магнітного поля промислової частоти на робочих місцях персоналу підстанції (диспетчерів) свідчить, що напруженість електричного поля не перевищує 3 В/м, індукція магнітного поля – 0,25 мкТл. Щільності потоків енергії електромагнітних вимірювань ультрависоких частот – 11–24 мкВт/м<sup>2</sup>. Усі ці значення набагато нижчі за гранично допустимі рівні згідно [1]. Не дивлячись на наявність джерел магнітного та електричного поля великих напруженостей за межами приміщень, вони екрануються металевими конструкціями й розташовані на достатньо великій відстані. В той же час, має місце перевищення гранично

допустимих рівнів електромагнітних полів радіодіапазону. Визначено, що джерелом радіовипромінювання є шафи вторинних ланцюгів, та інші насичені комутаційними пристроями панелі систем технологічного керування підстанцією, які розташовані поблизу робочих місць. Таке розташування є типовим для усіх підстанцій високої напруги. При цьому біля шаф вторинних ланцюгів, спостерігаються високі концентрації аероіонів обох полярностей. Це обумовлене іскровими розрядами між контактами реле, які також є джерелами електромагнітних полів радіодіапазону. При цьому на робочих місцях персоналу концентрації аероіонів нижчі за нормативні ( $n^- = 600 \text{ см}^{-3}$ ,  $n^+ = 400 \text{ см}^{-3}$  [3]).

Приміщення диспетчерських обладнанні системою примусової вентиляції, тому було досліджено зміни аероіонного складу повітря у таких системах.

Вимірювання виконувалися за температури зовнішнього повітря  $27^\circ\text{C}$ , і температури у приміщенні  $-24^\circ\text{C}$ . Відносна вологість складала  $52\text{--}53\%$ . Тиск  $762\text{--}763 \text{ мм. рт. ст.}$  Повітровод вироблений з оцинкованого заліза. Переріз повітроводу  $0,5 \times 0,5 \text{ м}$ , довжина  $18 \text{ м}$ . Швидкість руху повітря у повітроводі  $6 \text{ м/с}$ . Результати вимірювань наведені у табл. 1.

Аналіз даних табл. 1 свідчить, що у повітропроводі системи примусової вентиляції відбувається часткова деіонізація повітря. Це добре корелює з результатами, отриманими у [11]. Деякі розбіжності обумовлені різницею перерізів повітроводів, нашаруванням пилу тощо.

Таблиця 1 – Зміна концентрації аероіонів на робочих місцях диспетчерів під впливом примусової вентиляції

Умови вимірювання	Концентрації аероіонів, $\text{см}^{-3}$	
	$n^-$	$n^+$
за межами приміщення	810–850	730–760
на робочих місцях (вентиляція вимкнена)	290–300	270–300
на робочих місцях (вентиляція ввімкнена)	250–320	390–410

Вимірювання рівнів шуму свідчить, що його еквівалентне значення  $L_{\text{екв}} = 62\text{--}67 \text{ дБА}$ , що приблизно відповідає нормативним умовам для роботи диспетчерських служб ( $65 \text{ дБА}$ , [2]). Але значення імпульсного шуму досягає  $72\text{--}75 \text{ дБА}$ . Джерелом цього шуму є спрацювання комутаційно-релейних пристроїв. Перевищення значення постійного шуму на  $7 \text{ дБ}$  вимагає врахування додаткового шуму згідно [2].

Враховуючи, що джерелами електромагнітних полів радіодіапазону та шуму є пристрої релейного захисту, і той факт, що поблизу цих пристроїв генеруються аероіони з високими концентраціями, доцільним є розроблення універсальних засобів нормалізації електромагнітного й електрозалежних фізичних чинників на робочих місцях персоналу. Схема розташування робочих місць, джерел фізичних чинників та засобів захисту наведено на рис. 1.

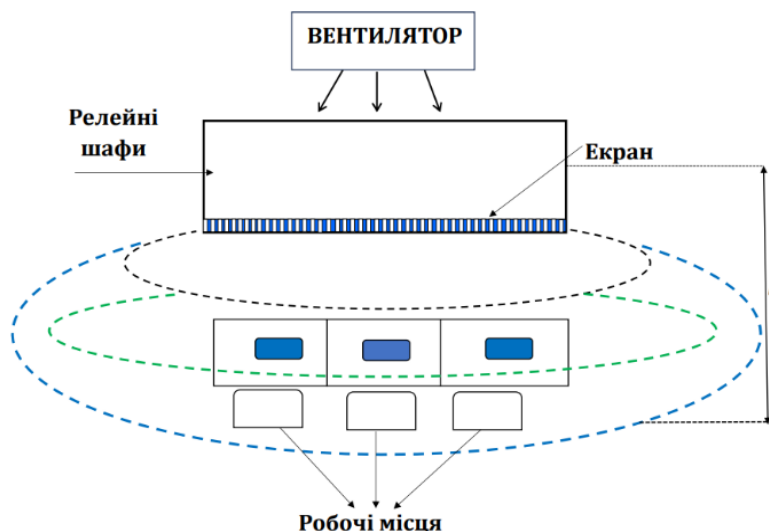


Рис. 1. Схема розташування робочих місць, джерел техногенних чинників та засобів захисту на електричній підстанції напругою  $330 \text{ кВ}$ :  $1 \text{ Н } 3 \text{ м}$ , концентрації аероіонів складають: 1)  $n^+ = 1100 \text{ см}^{-3}$ ,  $n^- = 900 \text{ см}^{-3}$ ; 2)  $n^+ = 700 \text{ см}^{-3}$ ,  $n^- = 800 \text{ см}^{-3}$ ; 3)  $n^+ = 500 \text{ см}^{-3}$ ,  $n^- = 600 \text{ см}^{-3}$

Вентилятор переносить потоком повітря аероіони, які генеруються шафами вторинних ланцюгів у бік робочих місць. Вимірювання свідчать, що на таких відстанях рекомбінація аероіонів не знижує їх концентрації до значень, нижчих з нормативні. При цьому концентрації аероіонів обох полярностей у зоні робочих місць перевищують мінімально допустимі значення. Тобто, навіть за умови нейтралізації аероіонів внаслідок електризації поверхонь (крісла,

поверхні столів, підлоги) зниження концентрацій нижче мінімального рівня не відбувається.

Електромагнітний та шумозахисний екран виготовлявся з металополімерного композиційного матеріалу на основі лаку ХС та карбонільного заліза. Товщина екрана складала  $5 \text{ мм}$ . Перфорація екрана утворюється отворами діаметрами  $30 \text{ мм}$ . Такі отвори є непроникними для електромагнітних полів радіодіапазону.

Ефективність екрана щодо екранування електромагнітних полів радіодіапазону наведено на рис. 2.

Шумозахисні властивості екрана наведено на рис. 3.

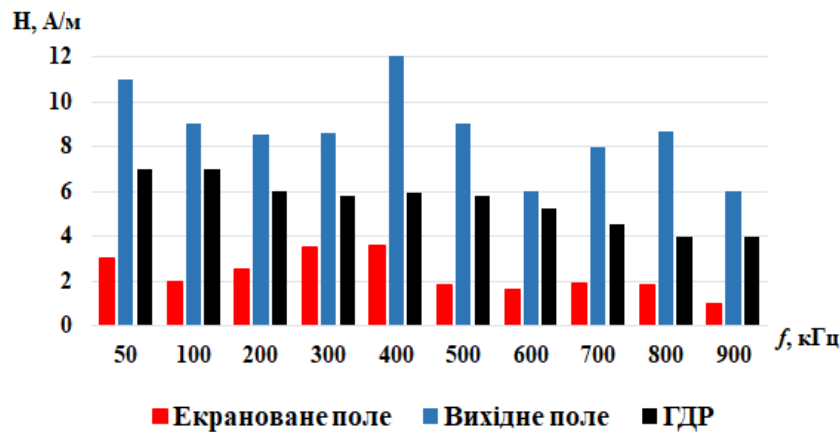


Рис. 2. Зниження напруженості магнітних складових електромагнітних полів радіодіапазону композиційним електромагнітним екраном

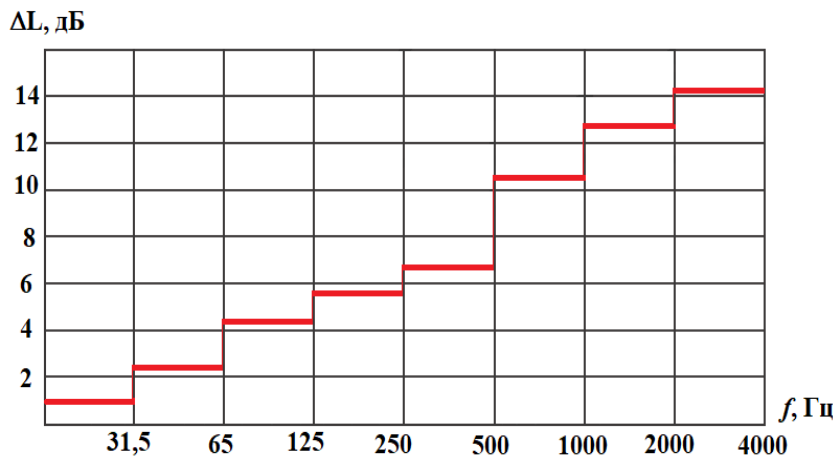


Рис. 3. Індекси зниження шуму захисним екраном у октавних смугах частот

Як видно з рис. 3, індекси зниження низькочастотного шуму незначні, що цілком прогнозовано, але зниження шуму середніх та високих частот задовільне.

Імпульсний шум середньо та високочастотний, тому прогнозований захист є ефективним.

Перфорація екрана сприяє шумопоглинанню та забезпечує перенос аероіонів, генерованих пристроями релейного захисту у зону перебування людей потоком повітря від вентилятора. Цей потік додатково забезпечує охолодження обладнання у теплу пору року.

Перевагою розробленого металополімерного матеріалу є відсутність електризації поверхні внаслідок трибоелектричного ефекту. На відміну від металевих екранів він не нейтралізує заряди аероіонів у процесі протікання повітря крізь отвори перфорації.

Наведена компоновка робочих місць та пристроїв релейного захисту є типовою для усіх електричних підстанцій високої напруги, починаючи з 35 кВ. Тому розроблені засоби нормалізації рівнів електромагнітних полів та електрозалежних фізичних чинників можна вважати універсальними.

## Висновки

1. Визначено, що головним джерелом ненормативних рівнів електромагнітних полів, концентрацій аероіонів у повітрі та шуму у приміщеннях диспетчеризації електромагнітних підстанцій високої напруги є шафи вторинних ланцюгів.

2. Розроблений комплекс організаційно-технічних заходів нормалізації рівнів фізичних чинників дозволяє одночасно нормалізувати напруженості електромагнітних полів радіодіапазону, концентрації аероіонів обох полярностей та рівні шуму.

3. Зниження рівнів електромагнітних та акустичних полів досягається за рахунок застосування перфорованого металополімерного екрана на основі карбонільного заліза.

Крім високої ефективності екранування такий матеріал не накопичує електростатичні заряди, які деіонізують повітря. Нормалізація аероіонного складу повітря на робочих місцях досягається переміщенням аероіонів від шаф вторинних ланцюгів, де вони генеруються, до робочих місць спрямованим потоком повітря.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСНіП 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Чинний від 2003-03-13]: затв. наказом М-ва охорони здоров'я України від 18.12.2002 р. № 476. Київ, 2003. 16 с. (Державні санітарні норми України).
2. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова Міністерство охорони здоров'я від 01.12.1999 № 37. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text>
3. ДСНтаП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затв. Наказом МОЗ України від 8.04.2014 № 248. [Чинний від 2014-05-30] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>
4. M. Rezinkina, O. Rezinkin, I. Karpaliuk and V. Grabko, "Control and Monitoring of Power Transmission Lines Condition over Wide Area with the Help of UAVs," 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 172-175, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160150.
5. Карпалюк І. Т. Методи та засоби оцінки впливу коронного розряду на якість електропостачання: дис. д-ра техн. наук спец. 05.09.03: Харків, 2020. – 333 с.
6. Карпалюк І.Т., Гриб О.Г., Швець С.В. Рудевич Н.В., Захаренко Н.С. коронного розряду на струмопровідних частинах електричної системи за акустичними коливаннями. Науково-технічний збірник гірничо електро-механіка та автоматика Національного ТУ «Дніпровська політехніка»: Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2019. №102. С. 3–7
7. Volibrukh, B., Glyva, V., Kasatkina, N., Levchenko, L., Tykhenko, O., Panova, O., Bogatov, O., Petrunok, T., Aznaurian, I., & Zozulya, S. (2022). Monitoring and management ion concentrations in the air of industrial and public premises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(10(115)), 24–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>.
8. Паньків Х.В., Глива В.А. Методи визначення та зниження впливу електромагнітних полів енергетичних об'єктів на персонал. Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. 2013. Вип. 758. С. 51–56.
9. Паньків Х.В. Нормалізація фізичних факторів виробничого середовища енергетичних об'єктів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 Київ, 2016. 22 с.
10. Шевченко С. Ю., Окунь А. А. Исследование электрических полей промышленной частоты типовых подстанций ВН в городской черте. Гігієна населених місць. 2011. Вип 58. С. 199–206.
11. Tykhenko, O., Glyva, V., Levchenko, L., Burdeina, N., Biruk, Y., Zozulya, S., Krasnianskyi, G., Nikolaiev, K., Aznaurian, I., & Zozulia, L. (2024). Study of air deionization factors. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(10 (128)), 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300909>

Received (Надійшла) 20.05.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.08.2025

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Глива Валентин Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізики, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна;

**Valentyn Glyva** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [hlyva.va@knuba.edu.ua](mailto:hlyva.va@knuba.edu.ua), ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57210185162>.

**Осадчий Дмитро Борисович** – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна;

**Dmytro Osadchyi** – PhD student at the Department of Environmental Protection Technologies and Labour Protection, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [osadchyi\\_db-2023@knuba.edu.ua](mailto:osadchyi_db-2023@knuba.edu.ua), ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0002-9977-8738>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59413002900>.

**Means of normalising the levels  
of physical factors at high-voltage electrical substations**

Valentyn Glyva, Dmytro Osadchyi

**Abstract.** The levels of electromagnetic fields, noise, and concentrations of air ions in the air of the premises of the control rooms of high-voltage electrical substations are investigated. It was found that the intensity of electromagnetic fields of industrial frequency and the density of energy flows of ultra-high frequency electromagnetic fields is at the standard level. Radio frequency electromagnetic fields and impulse noise exceed the maximum permissible levels. Air deionization is observed. It was established that the source of abnormal field levels is relay protection devices. At the same time, near the relay cabinets, the concentrations of air ions are significantly higher than the minimum permissible levels. Normalization of electromagnetic and acoustic field levels is achieved by using a universal perforated screen made of carbonyl iron composite material. The matrix was made of standard XC varnish. As a result of the shielding, the levels of electromagnetic fields in the radio range have been reduced to values far below the standard. The noise reduction indices for medium and high frequencies are 8–12 dB. Given that impulse noise is of medium and high frequency, this result is satisfactory. Normalization of air ion concentrations of both polarities is achieved by moving air ions from relay protection devices to workplaces by directed air movement through the openings of the electromagnetic and acoustic shield. The advantage of the composite screen is the absence of static charges that neutralize the charges of air ions.

**Keywords:** electrical substation, electromagnetic field, noise, air ions.