

## ГІГІЄНА ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ

### ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ПРІОРИТЕТНИХ ЧИННИКІВ, ЩО СТВОРЮЮТЬСЯ ВИСОКОВОЛЬТНИМИ (110-330 кВ) КАБЕЛЬНИМИ ЛІНІЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯМ

*Думанський В.Ю., Біткін С.В., Думанський Ю.Д., Квіцинський А.О., Акіменко В.Я.,  
Павлик В.М., Нікітіна Н.Г., Медведєв С.В., Безверха А.П., Зотов С.В., Томашевська Л.А.,  
Сердюк Е.А., Галак С.С., Семашко П.В., Голіченков О.М., Ляшенко В.І.  
ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ*

В зв'язку з ущільненими умовами міської забудови все гостріше ставиться питання про заміну в населених місцях повітряних ліній (ПЛ) електропередачі з напругою від 10 до 330 кВ на кабельні лінії (КЛ).

Дане питання в аспекті охорони здоров'я населення ні в Україні, ні в інших країнах світу майже не розглядалось, не дивлячись на те, що обладнання кабельних ліній є джерелами магнітного, електричного поля, шуму, елегазу, які можуть впливати на стан здоров'я населення. На сьогодні електричне поле, шум в гігієнічному аспекті унормовані державними санітарно-епідеміологічними документами України [1] і тому ці чинники не потребують додаткового обґрунтування. Але при цьому в світі до останнього часу не існувало для населення науково обґрунтованого нормативу на магнітне поле промислової частоти (50 Гц). На даний час в світі є тільки рекомендації [2] щодо регламентування магнітного поля, згідно з якими для населення рекомендовані наступні допустимі рівні цього фактору: Нідерланди – 0,4 мкТл (в місцях знаходження дітей); Швеція – 1 мкТл (в місця довготривалого перебування людей); Ізраїль – 1 мкТл (для загального населення); Ірландія – 16 мкТл (для житлової забудови); Росія – 50 мкТл (для житлової забудови).

Зазначені допустимі рівні не мають біолого-гігієнічного обґрунтування, а також вони не ураховують умов розміщення і експлуатації кабельних ліній. Тому їх не можна використовувати як нормативні значення для умов населених місць.

**Мета даної роботи** полягала у визначенні гігієнічного значення електромагнітного поля, шуму та хімічних речовин, що створюються при експлуатації кабельних ліній (КЛ), в умовах сучасної міської забудови.

**1. Дослідження просторового розподілу рівнів електричного та магнітного поля частотою 50 Гц, що створюються кабельними лініями електропередачі.**

**1.1. Методика досліджень розподілу рівнів електричного та магнітного поля.**

**1.1.1. Розрахунок напруженості електричного поля КЛ.**

Напруженість електричного поля КЛ обчислювалася нами для одножильних кабелів з неекранованими відносно землі ділянками струмопровідних жил.

Діючі значення напруженості електричного поля КЛ обчислювалася для площин, проведених нормально до напрямку траси КЛ через точки з неекранованими відносно землі ділянками струмопровідних жил кабелю (рис. 1.1) при допущеннях:

- неекрановані ділянки кабелю – металеві кулі з еквівалентним радіусом  $r_e$  рівним подвоєному радіусу струмопровідної жили кабелю, віддалені від поверхні землі на відстань, визначену проектними рішеннями, але не меншу унормованої в главі 2.3 ПУЭ-86 [3];
- інженерні комунікації, будівлі і споруди, транспортні засоби, люди, тварини, дерева і чагарники не впливають на розподіл електричного поля КЛ у просторі;
- відносна діелектрична проникливість ґрунту  $\epsilon_r$  дорівнює шести.

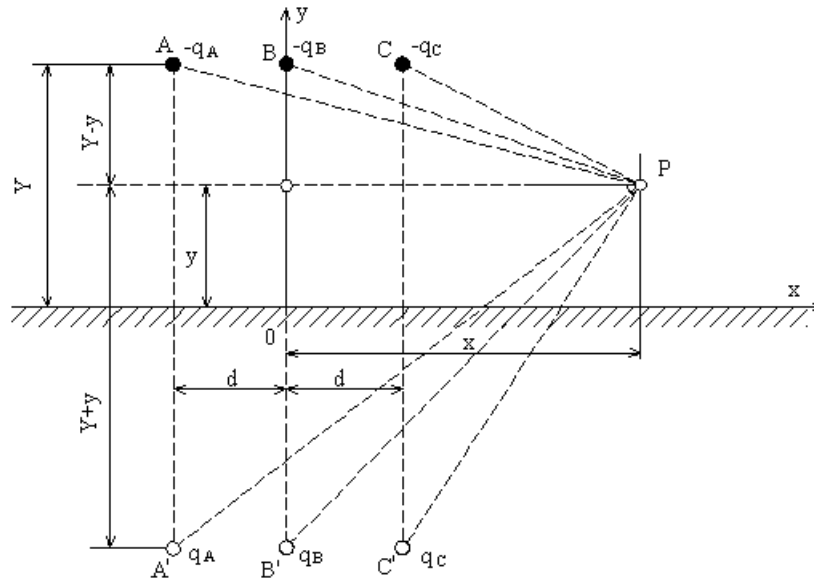


Рисунок 1.1. Схема розташування кабелів КЛ, яка використовувалась при розрахунках рівнів електричного поля.

Комплексні діючі напруженості електричного поля КЛ у точці на площині перетину обчислювалися як сума комплексних діючих напруженостей електричного поля, утворених кожною із  $k$  неекраниваних діля-

нок кабелю  $\dot{E}_k^{н.}$  та їх дзеркальними зображеннями  $\dot{E}_k^{н.д.}$  у цій точці (рис. 1.1), за формулою 1:

$$\dot{E} = \sum_k \dot{E}_k^{н.} + \sum_k \dot{E}_k^{н.д.} \tag{1}$$

Комплексні діючі напруженості електричного поля кожної із  $k$  неекраниваних ділянок кабелю  $\dot{E}_k^{н.}$  у точці з координатами  $x$  і

$y$  на площині перетину обчислювалася за формулою 2:

$$\dot{E}_k^{н.}(x, y) = \frac{C \cdot \dot{U}_k}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot [(x - X_k^{н.})^2 + (y - Y_k^{н.})^2]} \cdot \exp(j \cdot \psi_k) \tag{2}$$

де  $C$  – електрична ємність  $k$ -ої неекраниваної ділянки кабелю, Ф;

$\dot{U}_k$  – комплекс діючого значення фазної напруги  $k$ -го кабелю, В;

$X_k^{н.}, Y_k^{н.}$  – координати  $k$ -ої неекраниваної ділянки кабелю на площині перетину відповідно до рис. 1, м;

$\psi_k = \arg[(x - X_k^{н.}) + j \cdot (y - Y_k^{н.})]$  – кут, радіан.

Комплексні діючі напруженості електричного поля дзеркальних зображень кожної з  $k$  неекраниваних ділянок кабелю  $\dot{E}_k^{н.д.}$

у точці з координатами  $x$  і  $y$  на площині перетину обчислювалася за формулою 3:

$$\dot{E}_k^{n.d.}(x, y) = \frac{-C \cdot \dot{U}_k}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \left[ (x - X_k^{n.d.})^2 + (y - Y_k^{n.d.})^2 \right]} \cdot \exp(j \cdot \varphi_k) \quad (3)$$

де  $X_k^{n.d.}$ ,  $Y_k^{n.d.}$  – координати дзеркального зображення  $k$ -ої неекранованої ділянки кабелю на площині перетину відповідно до рис. 2.1, м;

$$\varphi_k = \arg \left[ (x - X_k^{n.d.}) - j \cdot (y - Y_k^{n.d.}) \right] \text{ – кут, радіан.}$$

Ємність неекранованої відносно землі ділянки кабелю обчислювали за формулою 4:

$$C = 8 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot r, \quad (4)$$

де  $r$  – радіус струмопровідної жили кабелю, м.

### 1.1.2. Розрахунок індукції магнітного поля КЛ.

Обчислення діючих значень магнітної індукції КЛ виконували для площини, проведеної нормально до напрямку траси КЛ через точку найменшого заглиблення кабелів за таких припущень:

– кабелі КЛ – система нескінченно довгих паралельних проводів та нескінченно малого діаметру із струмами, які віддалені від поверхні землі на глибину, визначену проектними рішеннями, але не меншу унормованої в главі 2.3 ПУЭ-86 [3];

– інженерні мережі, будівлі і споруди, транспортні засоби, люди, тварини, дерева і чагарники не впливають на розподіл магнітного поля КЛ у просторі;  
– відносна магнітна проникливість ґрунту  $\mu_r$  дорівнює одиниці.

Комплексні діючі магнітні індукції ЕМП КЛ у точці на площині перетину обчислювали як суму комплексних діючих магнітних індукцій  $B_k^{np.}$ , утворених кожним із  $k$  струмів КЛ у цій точці (рис. 1.2) за формулою 5:

$$\dot{B} = \sum_k \dot{B}_k \quad (5)$$

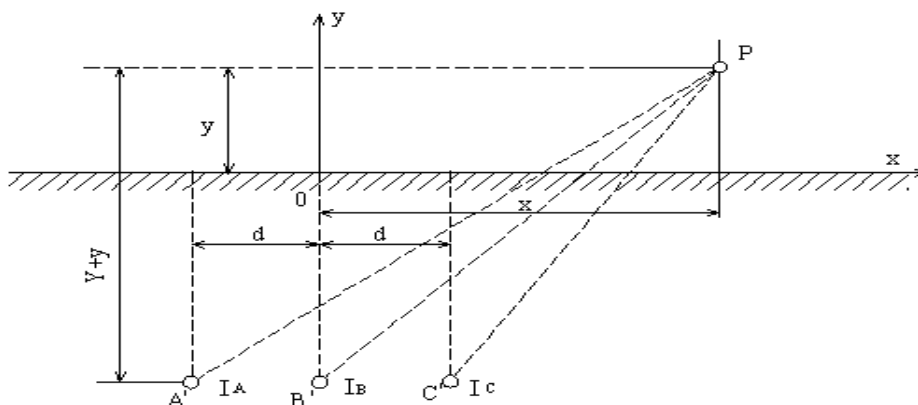


Рисунок 1.2. Схема розташування кабелів КЛ, яка використовується при розрахунках індукції магнітного поля.

При відсутності струмів в екранах одножилкових кабелів комплексні діючі магнітні індукції ЕМП кожного із  $k$  струмів КЛ  $\dot{B}_k$

у точці з координатами  $x$  і  $y$  на площині перетину обчислювали за формулою 6:

$$\dot{B}_k(x, y) = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{\dot{I}_k}{\sqrt{(x - X_k)^2 + (y - Y_k)^2}} \cdot \exp\left[j \cdot \left(\psi_k - \frac{\pi}{2}\right)\right] \quad (6)$$

де  $\dot{I}_k$  – комплексний діючий струм  $k$ -го кабелю, А;

$X_k, Y_k$  – координати сліду геометричної осі  $k$ -го кабелю на площині перетину відповідно до рис. 2.2, м;

$\psi_k = \arg\left[(x - X_k) + j \cdot (y - Y_k)\right]$  – кут, радіан.

При використанні одножильних кабелів, в екранах яких протікають струми (екрани заземлено з обох боків), комплексні діючі магнітні індукції ЕМП кожного з  $k$  струмів

КЛ  $\dot{B}_k$  у точці із координатами  $x$  і  $y$  на площині перетину обчислювали за формулою 7:

$$\dot{B}_k(x, y) = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{\dot{I}_k \cdot m}{\sqrt{(x - X_k)^2 + (y - Y_k)^2}} \cdot \exp\left[j \cdot \left(\varphi_k - \frac{\pi}{2}\right)\right] \quad (7)$$

де коригувальний коефіцієнт  $m$  вибирається за таблицею 1.1.

Таблиця 1.1. Значення коригувального коефіцієнту  $m$ .

Середньгеометрична відстань між кабелями, м	Переріз екрану, мм <sup>2</sup>	$m^*$
0,1	25	0,9
	50	0,75
	100	0,5
	150	0,4
	200	0,3
0,2	25	0,8
	50	0,7
	100	0,4
	150	0,3
	200	0,2
0,5	25	0,75
	50	0,55
	100	0,3
	150	0,25
	200	0,1

Примітка. \* – при перерізі екрану або відстані між кабелями, які є проміжними до наведених в табл. 1.1, значення коефіцієнту  $m$  обчислюють інтерполяцією.

*1.1.3. Методика вимірів рівнів електричного і магнітного полів, що створюються кабельними лініями електропередачі.*

Оцінка рівнів ЕМП промислової частоти виконували за величиною напруженості електричного та магнітного поля. Для вимірювання напруженості електричного поля

було використано вимірювальний прилад типу NFM-1 в модифікації, який дозволив вимірювати рівні електричного поля промислової частоти, а також вимірювач напруженості електричного поля ПЗ-1 (м).

Для вимірювання магнітного поля було використано вимірювач магнітного поля в

одинацях магнітної індукції (Тесла, мТл, мкТл, нТл). В гігієнічній практиці частіше використовуються одиниці магнітної індукції, тобто Тл, мТ, мкТл, нТл.

Виміри проводились на висоті 0,5; 1,0; 1,8 м над поверхнею землі або підлоги.

В кожній точці проводилось не менше трьох вимірів. В якості результату приймалось середнє арифметичне значення.

За результатами вимірів складався протокол і ситуаційний план, на якому вказувались точки вимірів, найближча забудова і інші характерні місцеві предмети, що забезпечують прив'язку плану до місцевості, по якій прокладена траса КЛ.

### **1.2. Результати досліджень просторового розподілу рівнів електричного і магнітного поля від КЛ-110-330 кВ.**

Для вивчення просторового розподілу електричного та магнітного поля були використані проекти будівництва підземних кабельних ліній електропередачі та діючі КЛ, що розташовані в міській забудові м. Києва.

На основі проектних матеріалів виконані розрахункові дослідження з розподілу

електричного та магнітного поля. В місцях діючих КЛ були виконані натурні дослідження з розподілу зазначених чинників. Для конкретизації цих досліджень використані карти та план-схеми проходження трас КЛ, місць розміщення обладнання електропідстанцій, на яких позначені точки вимірів зазначених чинників.

При виконанні даної роботи використані гігієнічні нормативи, згідно яких рівні:

- електричного поля оцінювались в порівнянні з «Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», ДСНіП №239-96 [1];
- магнітного поля оцінювались в порівнянні з «Тимчасовими гранично допустимими рівнями магнітного поля, що створюються підземними кабельними лініями (КЛ), змінного струму промислової частоти, які були запропоновані Державною установою «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України» [4] (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 Тимчасові гранично допустимі рівні магнітного поля, що створюються підземними кабельними лініями електропередачі змінного струму промислової частоти.

№ п/п	Найменування територій, на яких регламентується рівень магнітного поля промислової частоти	Тимчасові гранично допустимі рівні (ГДР) магнітного поля промислової частоти
1.	В середині житлових приміщень на віддалі 50 см від стін, стелі, полу	0,5 мкТл
2.	На віддалі 50 см від побутових електричних приладів	3 мкТл
3.	На території житлової забудови на висоті 0,5 м над КЛ	10 мкТл
4.	В населеній місцевості, поза зоною житлової забудови (землі в межах міста з урахуванням перспективного розвитку, приміські та зелені зони, землі селищ міського типу, в межах селищної межі і сільських населених пунктів), а також на території городів і садів на висоті 0,5 м над КЛ	20 мкТл
5.	В ненаселеній місцевості (незабудована територія, яку відвідують люди і яка доступна для транспорту, сільськогосподарських машин на висоті 0,5 м над КЛ	50 мкТл

Результати розрахункових досліджень розподілу рівнів електричного поля від КЛ-110 кВ показали, що вони не перевищують нормативного значення (1 кВ/м) на віддалі 0-5 м від проекції КЛ на землю. Ці дані були

підтверджені результатами вимірів рівнів електричного поля. За результатами досліджень розподілу магнітного поля (індукції магнітного поля) встановлено, що максимальний рівень магнітного поля над КЛ 110 кВ

на висоті 0,5 м над поверхнею землі, під якою проходила траса КЛ 110 кВ, складав 5,2 мкТл (рис. 1.3). По мірі віддалення від

КЛ рівень магнітного поля знижувався і на віддалі 1 м він складав 1 мкТл. Ці рівні були також підтвержені результатами вимірів.

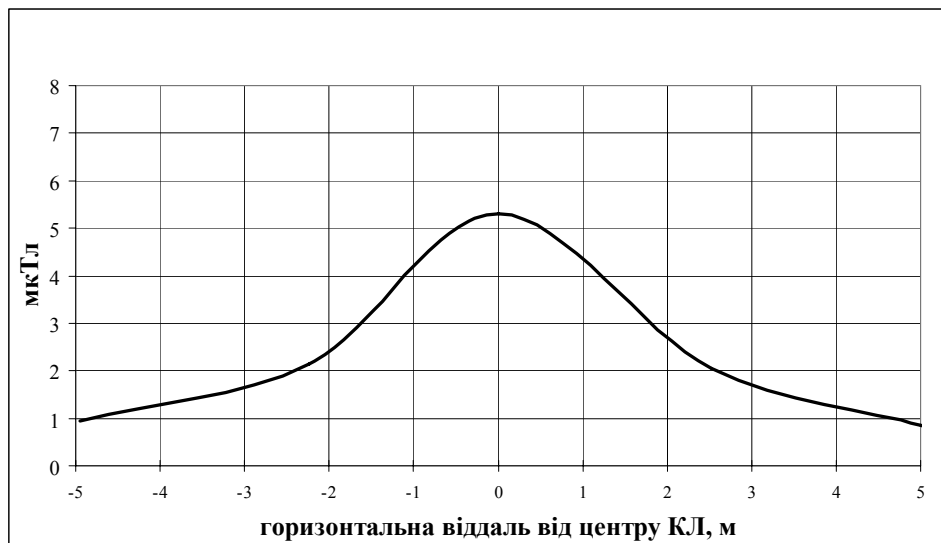


Рисунок 1.3. Розподіл діючого значення магнітного поля КЛ 110 кВ на висоті 0,5 м від поверхні землі в нормальному режимі роботи обох КЛ 110 кВ.

Поряд з викладеним нами були проведені дослідження розподілу рівнів електричного і магнітного поля, що створюються КЛ напругою 330 кВ. Для цього було використано проект будівництва підземної кабельної лінії електропередачі 330 кВ.

На основі проектних матеріалів виконані розрахункові дослідження з розподілу електричного та магнітного поля. Для конкретизації досліджень були використані карти та план-схеми проходження траси КЛ, на яких позначені точки вимірів зазначених чинників.

При виконанні даної роботи використані гігієнічні нормативи, згідно яких рівні:

- електричне поле оцінювалось в порівнянні з «Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», ДСНіП №239-96 [1],
- магнітне поле оцінювались в порівнянні з «Тимчасовими гранично допустимими рівняннями магнітного поля, що створюються підземними кабельними лініями, змінного струму промислової частоти (табл. 1.2),

Згідно з проектними даними кабельна лінія 330 кВ «Придніпровська ТЕС – ПС 330/35/10 кВ Пічна» розташована в Дніпро-

петровській області в Лівобережній частині м. Дніпропетровська. Це перша в Україні кабельна лінія такої напруги. Подібна КЛ є в Санкт-Петербурзі, але вона ще не працює, і в Греції (м. Салоніки). Тому на даний час КЛ-330 кВ є унікальною спорудою в Україні, яка заслуговує пристальної уваги як енергетиків, екологів, так і профілактичної медицини.

Траса даної КЛ 330 кВ проходить по землях Самарського та Індустріального районів м. Дніпропетровськ. Дволанцюгова КЛ напругою 330 кВ прокладена від Придніпровської ТЕС до підстанції ПС 330/35/10 кВ «Пічна».

КЛ-330 кВ виконано одножилними кабелями з ізоляцією із зшитого поліетилену, виробником якої є Німеччина. Кабелі прокладаються в траншеї, просто в землі. Залежно від умов проходження траси КЛ кабелі розміщуються:

- впритул, коли геометричні осі кабелів розташовано по вершинах рівностороннього трикутника із стороною, що дорівнює зовнішньому діаметру кабелю;
- в одній площині, відстань між кабелями дорівнює зовнішньому діаметру кабелю.

В траншеї кабелі засипаються просіяним ґрунтом і перекриваються бетонними плитами.

Конструктивне виконання кабелю (коаксіальне, з струмопровідною жилою, мідним екраном і зовнішньою ізоляційною оболонкою) теоретично виключає випромінювання у навколишнє середовище електричного поля, але не виключає утворення в оточуючому середовищі магнітного поля (магнітна індукція). Магнітне поле є основним чинником кабельної лінії, рівень його, як вже наводилося, регламентується тимчасовими гігієнічними нормативами, які запропоновані ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України» та унормовані нормативно-методичним документом «СОУ-НЕС20.179:2008. Розрахунок електричного і магнітного полів лінії електропередавання. Методика» [5].

Загальна довжина траси КЛ-330 кВ складає близько 12 км. Вона проходить як по території житлової забудови, для якої встановлено гранично допустимий рівень (ГДР) – 10 мкТл, так і поза зоною житлової забудови, для якої встановлено ГДР – 20 мкТл, а також по ненаселеній території, для якої встановлено ГДР – 50 мкТл.

Кабель прокладено, в основному, на глибині 1,5 м під поверхнею землі і тільки у особливих випадках на глибині 3,4 м (під водоймищами) і 3 м (під залізницею).

Результати розрахункових досліджень просторового розподілу рівнів магнітного поля у навколишньому середовищі наведені в таблиці 1.3 та на рисунках 1.4; 1.5.

Таблиця 1.3 Результати розрахунків магнітної індукції, що створюється проектною підземною кабельною лінією 330 кВ на ділянці від Придніпровської ТЕС до підстанції 330/35/10 кВ «Пічна».

Територія по якій прокладена КЛ 330 кВ	Тимчасові ГДР магнітної індукції промислової частоти на висоті 0,5 м від поверхні землі (мкТл)	Глибина прокладання КЛ від поверхні землі, м	Максимальне розрахункове значення магнітної індукції (мкТл) на висоті 0,5 м від поверхні землі, при розташуванні жил кабелю у вигляді:	
			трикутника	в одній площині
вул. Гаванська (відноситься до території, наведеної в таблиці 1.2, п.4)	20	1,5	1,6	9,9
вул. Прибрежна (відноситься до території, наведеної в таблиці 1.2, п.4)		1,5	1,6	9,9
дамба, що йде до Усть-Самарського моста (відноситься до території, наведеної в таблиці 1.2, п.5)	50	1,5	1,6	9,9
дно річки Самара	50	3,0	0,71	7,8
дамба, що виходить з Усть-Самарського моста	50	1,5	1,6	9,9
вул. Малиновського (відноситься до території, наведеної в таблиці 1.2, п.4)	20	1,5	1,6	9,9
вул. Молодогвардійська (відноситься до території, наведеної в таблиці 1.2, п.4)	20	1,5	1,6	9,9
ділянка Придніпровської залізниці (відноситься до території, наведеної в таблиці 1.2, п.5)	50	3,4 1,5	0,52 1,6	6,3 9,9

Результати досліджень, які наведені в табл. 1.3 та на рис. 1.4; 1.5 свідчать, що кабе-

льна лінія 330 кВ на висоті 0,5 від поверхні землі створює магнітну індукцію, рівень якої

в залежності від способу прокладання жил кабелю, становить – 1,6; 9,9 мкТл. Максимальні значення відмічаються при прокладанні жил кабелю в одній площині. При збільшенні глибини прокладання КЛ відносно поверхні землі рівень магнітної індукції суттєво зменшується і при глибині 3,4 м він становить 0,52 мкТл. По мірі віддалення від осі кабельної лінії рівень магнітної індукції різко зменшується і на відстані 5 м від осі КЛ

становить 0,1-0,2 мкТл (рис. 1.4) при розташуванні жил кабелю трикутником. Декілька інший розподіл рівнів магнітної індукції спостерігається при розташуванні жил кабелю лінійно в одній площині. При такому розташуванні рівень магнітної індукції спадає менш інтенсивно і на відстанях 1 м він становить 7 мкТл, а на відстані 5 м він падає до 2 мкТл (рис. 1.5).

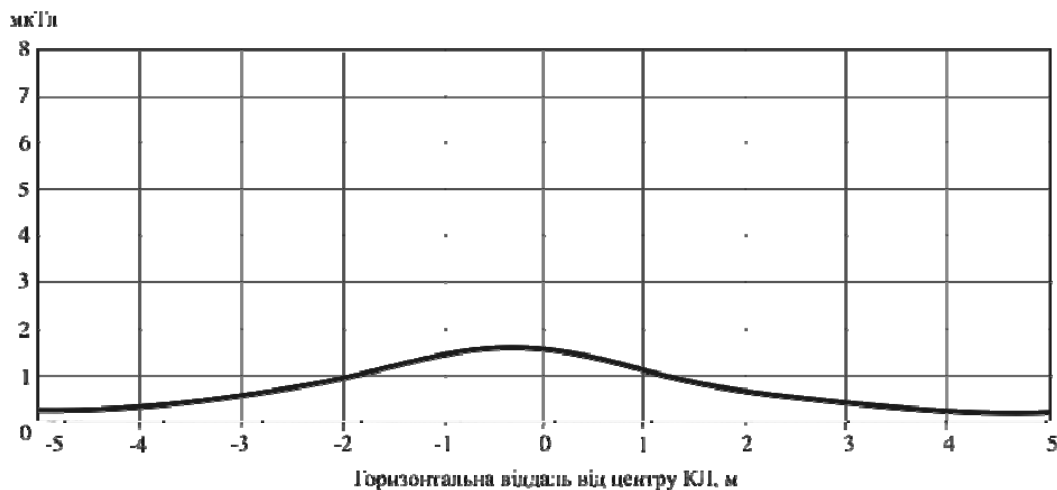


Рисунок 1.4 Розподіл рівнів магнітної індукції на висоті 0,5 м від поверхні землі при розташуванні кабелів трикутником.

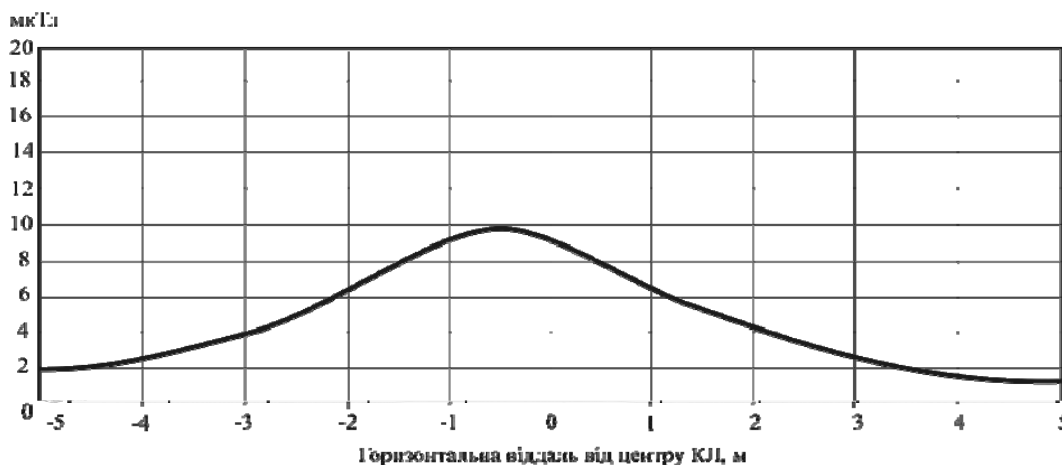


Рисунок 1.5 Розподіл рівнів магнітної індукції на висоті 0,5 м від поверхні землі при розташуванні кабелів лінійно в одній площині.

Результати вимірів рівнів електричного поля та магнітної індукції, що створюються підземною кабельною лінією 330 кВ при її заляганні в ґрунті на глибині 1,5-1,7 м, показали, що електричне поле на всіх точках вимірів, крім точки №1, на висоті 0,5-1,7 м від поверхні землі не перевищує рівня 0,5 кВ/м при гранично допустимому рівні 1 кВ/м для

території житлової забудови. Максимальні рівні (4,1 кВ/м) електричного поля зареєстровані в місці з'єднувальних муфт кабелів та ОРУ Придніпровської ТЕС (точка №1). Рівень магнітної індукції при цьому коливався від 0,1 до 5,3 мкТл при тимчасовому гранично допустимому 10 мкТл для території житлової забудови. Максимальні рівні реєстру-



вались в місцях з'єднувальних муфт кабелів та в місцях найменшої глибини розміщення кабелю.

## 2. Дослідження просторового розподілу рівнів шуму в місцях розташування електроенергетичного обладнання кабельних ліній електропередачі.

До складу обладнання підземних кабельних ліній високої напруги (110-330 кВ) входять електричні підстанції, трансформаторні підстанції, окремі трансформатори, які є джерелами шуму, який регламентується в населених місцях відповідними гігієнічними нормативами та методами його визначення.

### 2.1. Методики досліджень розподілу рівнів шуму.

Дослідження розподілу рівнів шуму проводили згідно з ГОСТ 23337-78. «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий» [6], МУ №4283-87 «Методические указания для органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы по контролю за выполнением СН №3077-84» [7].

Гігієнічну оцінку результатам вимірів та розрахунків проводили згідно з СН №3077-84. «Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки» [8].

Виміри проводили шумоміром «Октава 110А», заводський №А070709 від 17.07.2007 р.

Виміри рівнів шуму в трансформаторних камерах проводили на відстані 1 м від трансформаторів. Мікрофон розташовували на висоті 1,5 м від рівня підлоги трансформаторної камери. Перед початком вимірів та після них проводили акустичну калібровку шумоміра. Кількість вимірів біля кожного трансформатору – не менше 3-х. Визначали рівні звукових тисків в октавних смугах з середньгеометричними значеннями частот 63-8000 Гц та рівні звуку в дБА. За кінцевий результат приймали середньлогарифмічну суму рівнів звуків або звукових тисків. Результати вимірів заносили в пам'ять шумоміра для наступного аналізу. Виміри проводили у вечірній час доби (19.00-21.00), коли навантаження на трансформатори ТП найбільше.

Розрахунки розподілу рівнів шуму проводили згідно з СНиП II-12-77 «Защита от шума» [6].

ГОСТ 12.2.024-87. ССБТ. «Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля» [9].

Для подальших розрахунків очікуваних рівнів звуків в приміщеннях необхідно було визначити зниження зовнішнього рівня звуку вікном (в режимі провітрювання) та об'ємом приміщення.

Загальна звукоізоляція огороження зі щілиною (для нашого випадку це вікно в режимі провітрювання розраховувалася за формулою 8:

$$\text{при } (S_{ш}/S_o) \times 10^{(0,1 \times R_o)} > 1 \quad R(A) = 10 \times \text{Log}(S_d/S_{ш}), \quad (8)$$

де  $S_{ш}$  – площа щілини, м<sup>2</sup>;

$S_o$  – площа огороження (вікна), м<sup>2</sup>;

$R_o$  – звукоізоляція глухої частини огороження, дБ(А);

$R$  – загальна звукоізоляція огороження зі щілиною, дБ(А).

Для вікна з площею 2 м<sup>2</sup> в привідкритому стані  $S_{ш}$  дорівнює приблизно 0,2 м<sup>2</sup>. Таким чином загальна звукоізоляція вікна в привідкритому стані становить приблизно 10 дБА.

Зниження зовнішнього шуму системою вікно+приміщення розраховується за формулою (9) (для житлових, адміністративних та лікарняних приміщень  $S_o/A=0,3$ ):

$$\Delta LA = RA - 10 \times \text{Log}(S_o/A) = RA + 5 = 10 + 5 = 15, \quad (9)$$

де  $A$  – еквівалентна площа поглинання в приміщенні (середня в діапазоні частот 1251000 Гц).

Таким чином різниця між рівнем звуку на фасаді будинку з рівнем звуку в середині приміщення при привідкритому вікні становить приблизно 15 дБА.

Результати акустичних розрахунків рівнів шуму у приміщеннях, що створюються наземними відкритими окремо розташованими ТП надані на рисунках 2.1-2.3.

**2.2. Результати розрахунків рівнів шуму у приміщеннях від наземних відкритих окремо розташованих ТП.**

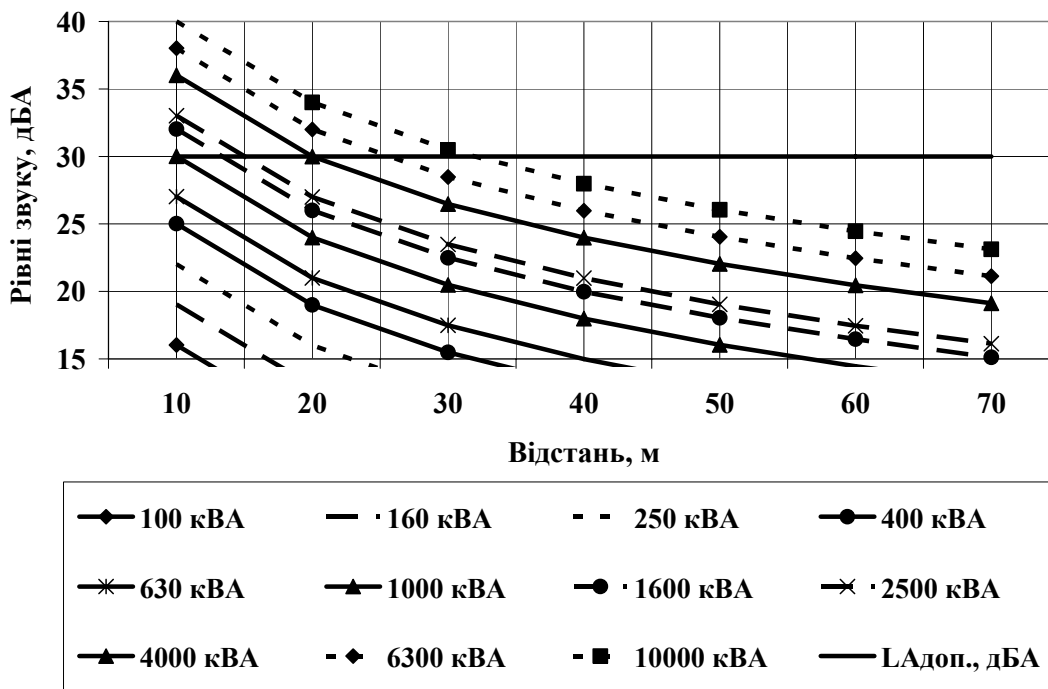


Рисунок 2.1. Рівні звуку в приміщенні від масляних трансформаторів в залежності від типової потужності і відстані. Системи охолодження виду М. Клас напруги 6-35 кВ.

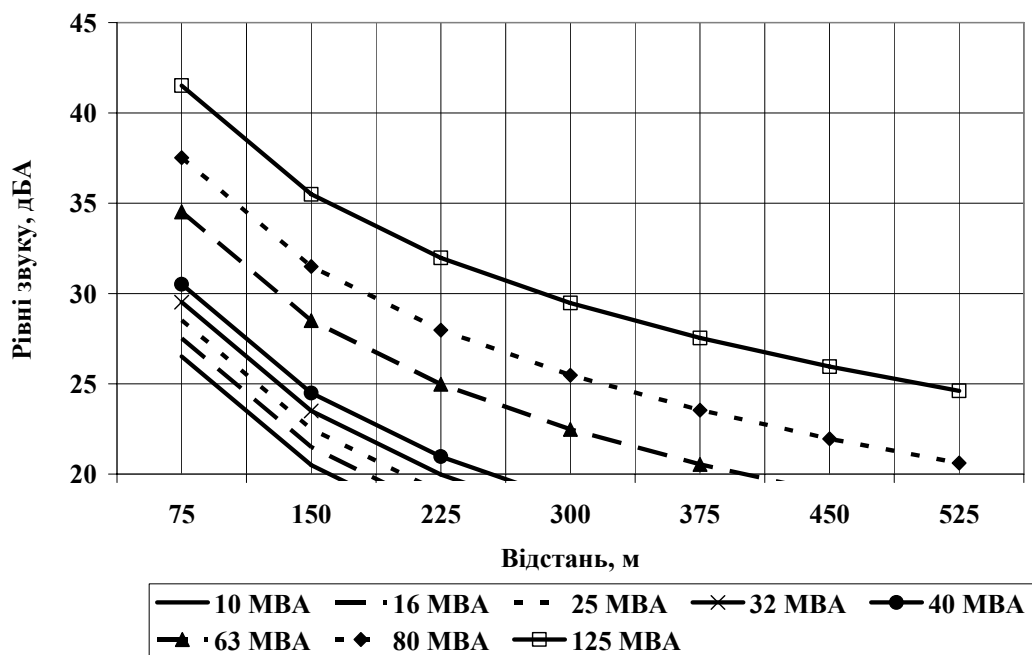


Рисунок 2.2. Рівні звуку в приміщенні від масляних трансформаторів в залежності від типової потужності і відстані. Системи охолодження виду Д. Клас напруги 10-110 кВ.

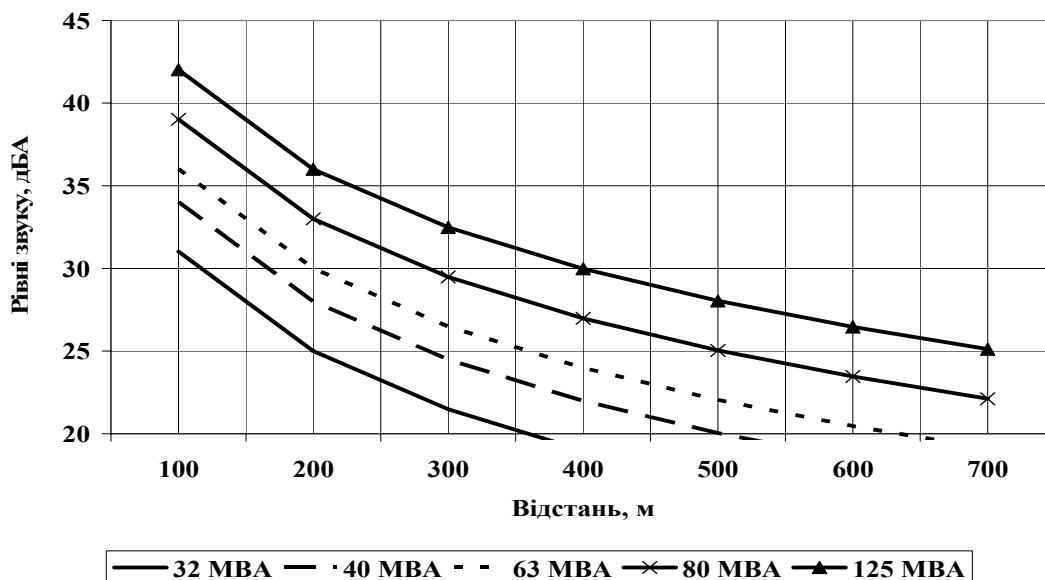


Рисунок 2.3. Рівні звуку в приміщенні від масляних трансформаторів в залежності від типової потужності і відстані. Системи охолодження виду Д. Клас напруги 220, 330 кВ.

Результати досліджень, які представлені на рисунках 2.1-2.3 досягнення допустимих рівнів у житлі та в офісних приміщеннях залежить від типової потужності та відстані ТП і лежить у межах від 10 до 1800 м. В умовах щільної забудови можуть застосовуватися лише трансформатори з системою охолодження М і класом напруги 6-35 кВ потужністю до 1000 кВА.

**2.3. Результати розрахунків очікуваних рівнів звукових тисків в приміщеннях від наземних окремо розташованих закритих трансформаторних підстанцій.**

При такому розташуванні звук від трансформаторів наземних окремо розташованих трансформаторних підстанцій проходить з приміщення ТП через вентиляційні грати на воротах на прилеглу територію та в найближчі приміщення.

Результати розрахунків рівнів звукових тисків в приміщеннях від наземних окремо розташованих закритих трансформаторних підстанцій надані на рисунках 2.4-2.5.

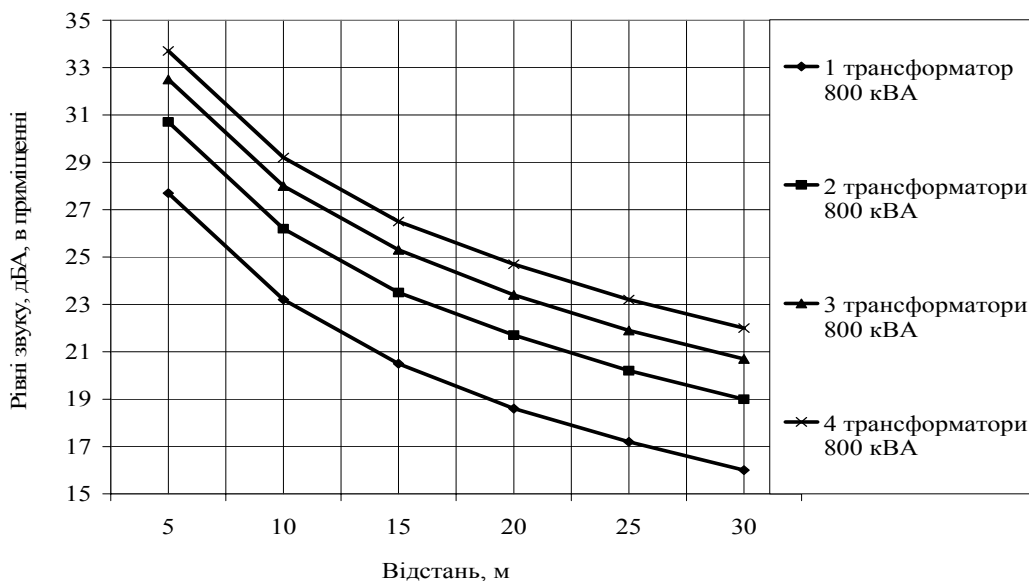


Рисунок 2.4. Очікувані загальні рівні звуків від сухих трансформаторів потужністю 800 кВА в приміщеннях при різних відстанях від ТП.

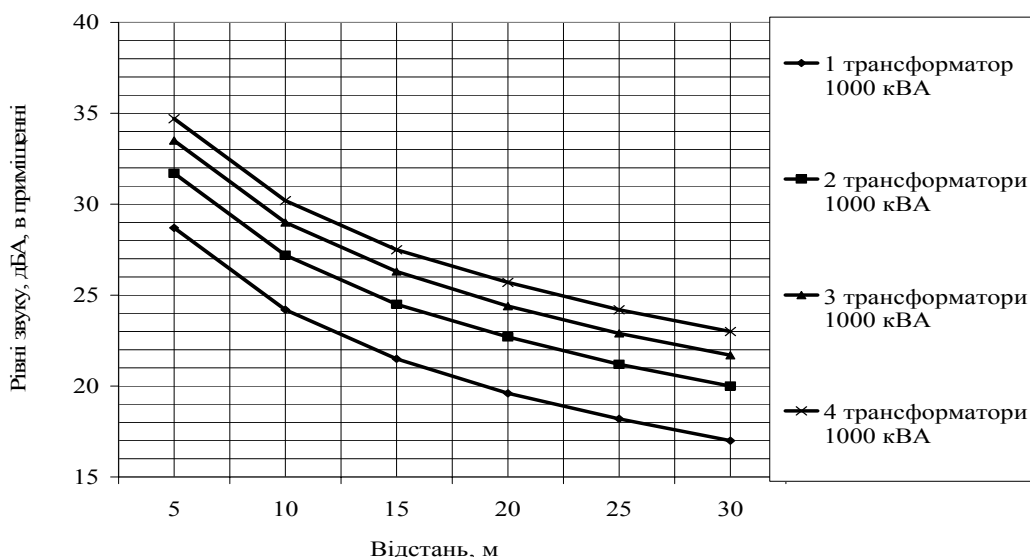


Рисунок 2.5. Очікувані загальні рівні звуку від сухих трансформаторів потужністю 1000 кВА в приміщеннях при різних відстанях від ТП.

За результатами розрахунків, які представлені на рисунку 2.4, встановлено, що допустимі рівні звуку в житлових приміщеннях в нічний час доби (25 дБА) від трансформаторів потужністю 800 кВА досягаються на відстанях від 8 до 19 м в залежності від кількості трансформаторів.

Результати досліджень показали, що допустимі рівні звуку в житлових приміщеннях в нічний час доби (25 дБА) від трансформаторів потужністю 1000 кВА досягаються на відстанях від 8 до 22 м в залежності від кількості трансформаторів.

Згідно результатів, які представлені на рисунку 2.5, допустимі рівні звуку в житлових приміщеннях в нічний час доби (25 дБА) від трансформаторів потужністю 1250 кВА досягаються на відстанях від 12,5 до 30 м в залежності від кількості трансформаторів.

Допустимі рівні звуку в житлових приміщеннях в нічний час доби (25 дБА) від трансформаторів потужністю 1600 кВА досягаються на відстанях від 15 до 35 м в залежності від кількості трансформаторів.

#### **2.4. Результати акустичних розрахунків рівнів шуму у приміщеннях від наземних вбудованих ТП.**

Наземні вбудовані ТП розташовані в пристосованих технічних приміщеннях першого нежитлового поверху. Поруч з ТП житлових і виробничих приміщень з постійними робочими місцями в проектах не перед-

бачається. Над ТП розташовуються різноманітні вбудовані приміщення нежитлового призначення. У висотних будинках вбудовані ТП часто розташовуються на технічних поверхах. При цьому кількість технічних поверхів в будинку може бути і більше чотирьох. В сучасних проектах кількість трансформаторів в одному ТП досягає 6. Не рідко на кожному технічному поверху розташовані декілька ТП.

Шляхи проникнення шуму в приміщення та на територію. Звук проходить з приміщення трансформаторних камер через вентиляційні ґрати на прилеглу територію та в найближчі приміщення та через перекриття та стіни в приміщення, які розташовані вище та поряд з ТП.

Звук надходить через перекриття.

З представлених на рисунку 2.6 результатів розрахунку видно, що перевищення допустимих рівнів звуку в житлових приміщеннях в нічний час доби (25 дБА) від наземних вбудованих ТП спостерігається тоді, коли кількість трансформаторів становить більше 3-х для трансформаторів потужністю 1600 кВА, 4-х і більше – для трансформаторів потужністю 1250 кВА та 6 та більше для трансформаторів 1000 кВА та менше (звук надходить через перекриття). Для офісних приміщень допустимі рівні звуку (45 дБА) досягаються для всіх практичних варіантів кількості трансформаторів.

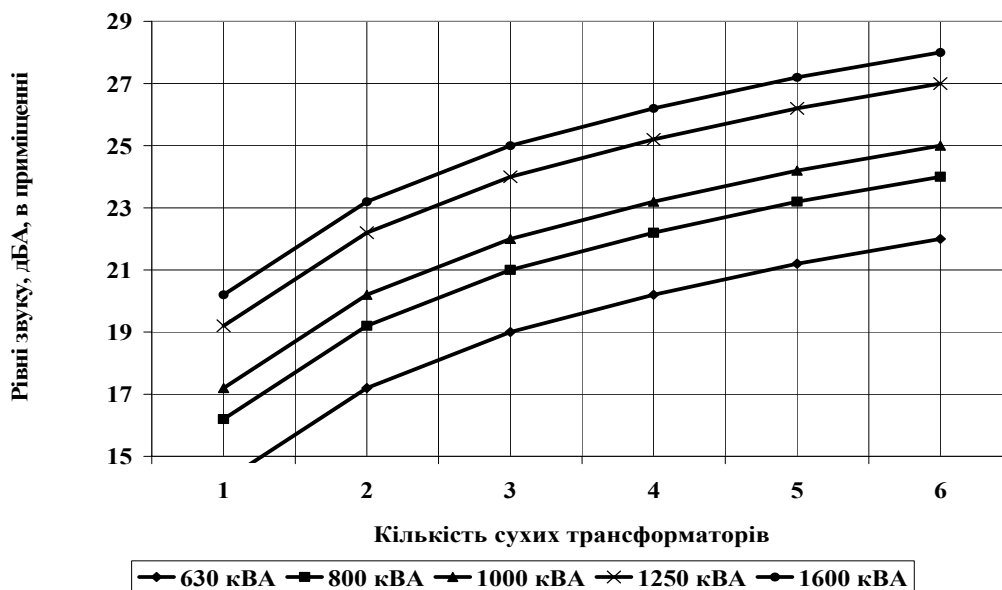


Рисунок 2.6. Очікувані рівні звуків в приміщенні в залежності від кількості трансформаторів в ТП та їх потужності (звук проникає через перекриття).

**2.5. Результати розрахунків очікуваних рівнів звуку та звукових тисків в приміщеннях від підземної окремо розташованої ТП.**

Останнім часом з'являються проекти розташування трансформаторних підстанцій під землю. При такому розташуванні об'єм трансформаторної камери з'єднується з атмосферою через повітропровід вентиляційної системи. Акустична енергія проникає на

прилеглу територію через повітропровід, який закінчується на поверхні вентиляційним приміщенням у вигляді різноманітних малих архітектурних форм (МАФ).

Результати розрахунків очікуваних рівнів звуку від підземної окремо розташованої ТП (2×1000 кВА) на прилеглий території та в приміщеннях представлені на рис. 2.7.

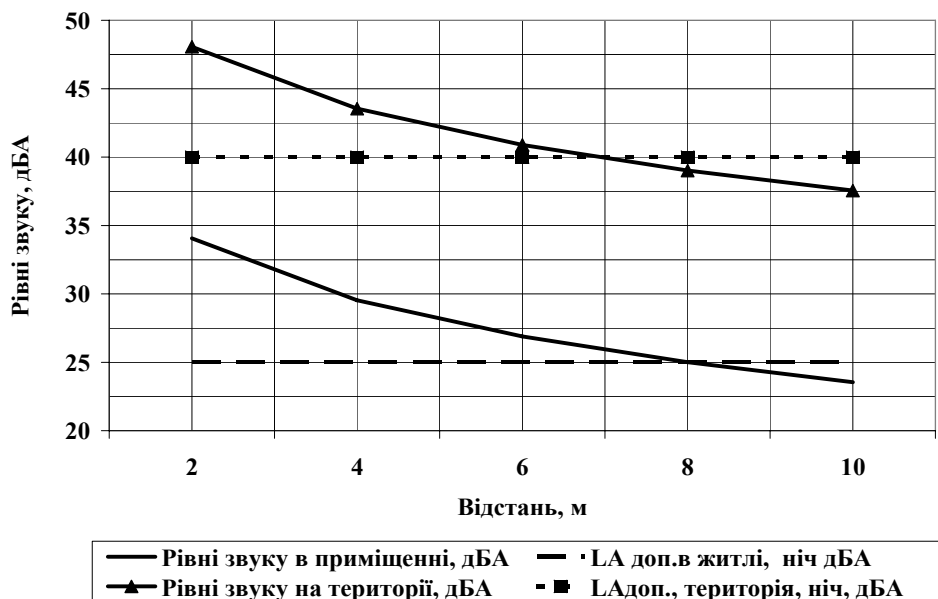


Рисунок 2.7. Очікувані рівні звуку в приміщенні від підземної окремо розташованої ТП (2×1000 кВА).

Результати розрахунків, які представлені на рисунку 2.7 свідчать, що допустимі рівні звукових тисків на територіях житлових будинків, які прилеглі до підземних окремо розташованих ТП (2 трансформатори по 1000 кВА), досягаються на відстані 7 м, а у житлових приміщеннях – 8 м.

Аналіз отриманих даних (дивись наземні окремо розташовані ТП) дозволяє стверджувати, що вплив підземних ТП на акустичний стан прилеглої території житлових будинків менший, ніж вплив наземних ТП (відкритих та закритих).

### **2.6. Результати розрахунків очікуваних рівнів звуків та звукових тисків від підземних вбудованих трансформаторних підстанцій.**

Вбудовані ТП зазвичай розташовуються у підвальних приміщеннях житлових та громадських будинків. При цьому використовуються сухі трансформатори потужністю 630-1600 кВА. Над ТП частіше розташовуються вестибюлі та приміщення охорони, але іноді можливо розташування офісних приміщень. Звук від вбудованих трансформаторних підстанцій розповсюджується через перекриття в розташовані над ТП приміщення.

На основі виконаних досліджень встановлено наступне.

За результатами розрахунків зниження рівня звуку вікном в режимі провітрювання встановлено, що загальна звукоізоляція конструкцією вікна в при відкритому стані становить приблизно 10 дБА. Доведено, що з урахуванням зниження рівня звуку в об'ємі приміщення звукоізоляційна спроможність системи вікно+приміщення становить 15 дБА.

За результатами акустичних розрахунків рівнів шуму у приміщеннях від наземних відкритих окремо розташованих ТП доведено, що досягнення допустимих рівнів у житлі та в офісних приміщеннях залежить від типової потужності та відстані і лежить у межах від 10 до 1800 м. В умовах щільної забудови можуть застосовуватися лише трансформатори з системою охолодження М і класом напруги 6-35 кВ потужністю до 1000 кВА.

За результатами розрахунків очікуваних рівнів звукових тисків в приміщеннях

від наземних окремо розташованих закритих трансформаторних підстанцій встановлено, що допустимі рівні звуку в житлових приміщеннях в нічний час доби (25 дБА) залежать від кількості трансформаторів та їх потужності і досягаються на відстанях: від 8 до 19 м для трансформаторів потужністю 800 кВА; від 8 до 22 м для трансформаторів потужністю 1000 кВА; від 12,5 до 30 м для трансформаторів потужністю 1250 кВА; від 15 до 35 м для трансформаторів потужністю 1600 кВА.

За результатами акустичних розрахунків рівнів шуму у приміщеннях від наземних та підземних вбудованих ТП встановлено, що перевищення допустимих рівнів звуку в житлових приміщеннях в нічний час доби (25 дБА) від наземних вбудованих ТП спостерігається тоді, коли кількість трансформаторів становить більше 3-х для трансформаторів потужністю 1600 кВА, 4-х і більше – для трансформаторів потужністю 1250 кВА та 6 та більше для трансформаторів 1000 кВА та менше (звук надходить через перекриття). Для офісних приміщень допустимі рівні звуку (45 дБА) досягаються для всіх практичних варіантів кількості трансформаторів.

За результатами розрахунків очікуваних рівнів звуку та звукових тисків в приміщеннях від підземної окремо розташованої ТП (2×1000 кВА) доведено, що допустимий рівень в приміщенні, в октавній смузі 500 Гц, спостерігається на відстані 10 м від вентиляційних ґрат підземної окремо розташованої. Аналіз отриманих даних (дивись наземні окремо розташовані ТП) дозволяє стверджувати, що вплив підземних ТП на акустичний стан прилеглої території житлових будинків менший, ніж вплив наземних ТП (відкритих та закритих).

Таким чином, наземні та підземні трансформаторні підстанції є потенційними джерелами акустичного забруднення приміщень житлових та громадських будинків та прилеглих до них територій. Їх застосування в умовах щільної забудови сучасних міст потребує застосування певних шумозахисних заходів.

### **3. Результати визначення в повітрі населених місць концентрацій елегазу та його продуктів розпаду при аварійних си-**

туаціях на електроенергетичному обладнанні кабельних ліній електропередачі.

### **3.1. Метод газохроматографічного визначення концентрацій елегазу (гексафториду сірки) в повітрі населених місць.**

Елегаз або гексафторид сірки (ГС) широко використовується в електротехніці завдяки унікальному комплексу його фізичних, хімічних, ізоляційних та дугозахисних властивостей. За експертною оцінкою, сьогодні виробництво ГС складає близько 15 тис. тон на рік. Фонове забруднення ГС повітря зараз наближається до  $0,0003\text{--}0,0005\text{ мг/м}^3$ .

Масштабне впровадження в засоби електроенергетики елегазового обладнання, особливо в районах щільної міської забудови, потребує санітарно-гігієнічного контролю ГС. Особливо це актуально у випадку виникнення аварійних ситуацій.

Завдяки високому вмісту фтора в молекулі ГС ця хімічна речовина є сприятним об'єктом для детектування за допомогою електронозахватного детектора (ЕЗД), який дає можливість реєструвати цю сполуку на рівні  $10^{-14}$  г.

Це дає можливість вирішувати нагальну потребу в його санітарно-гігієнічному контролі в повітрі населених місць.

У зв'язку з цим, нами проведено серію аналітичних досліджень, які дозволяють зробити наступні узагальнення.

Хроматографічне визначення ГС у повітрі потребує відокремлення цієї сполуки від кисню повітря, який також детектується ЕЗД. Це відокремлення можна виконати на колонках з молекулярними ситами в декількох варіантах. На ситах типу СаХ, гексафторид сірки виходить із колонки після кисню. При цьому спостерігається розмивання заднього фронту виходу кисню, що може суттєво впливати на визначення ГС. За цим варіантом, нам вдалося визначити ГС на рівні  $110^{-9}\%$  при величині аналізованої проби повітря 0,5 мл. Це відповідає концентрації ГС у повітрі  $3 \cdot 10^{-14}$  г.

На іншому сорбенті, молекулярних ситах NaX, ГС елююється першим вузьким піком, як несорбуючий компонент. При такому варіанті аналізу, у пробі повітря 2 мл можна визначити  $1,2 \cdot 10^{-14}$  г елегазу. Однак, у цьому випадку, визначенню ГС можуть за-

важати інші несорбуючі компоненти, наприклад, водень або гелій. Чутливість ЕЗД до цих компонентів у 3-9 разів нижча, ніж до ГС. В зв'язку з цим, фонові концентрації водню та гелію не створюють перешкод для визначення ГС.

Тому, в подальшому, в лабораторних дослідженнях низькі концентрації ГС в атмосферному повітрі визначали на газовому хроматографі серії "Цвет" з ЕЗД. Розділення елегазу та супутніх компонентів повітря проводили на аналітичній колонці розміром  $150\text{ см} \times 2\text{ мм}$  з нержавіючої сталі, яка була заповнена цеолітом. В якості газоносія використовували азот особливої чистоти. Пробу аналізованого повітря вводили в хроматограф за допомогою крана-дозатора з пробовідбірною петлею об'ємом 2 мл.

На початку аналізу температуру колонки витримували упродовж 30 хвилин на рівні  $70^{\circ}\text{C}$ , а потім підіймали до  $150^{\circ}\text{C}$  зі швидкістю 30 град/хв. При цьому температура детектора складала  $150^{\circ}\text{C}$ , швидкість току азота – 40 мл/хв. За таких умов час елювання ГС складав 18-20 с.

Програмування температури колонки виконували для забезпечення повторюваності аналізу, оскільки сорбовані компоненти, які вносились в колонку з пробією повітря, можуть накопичуватися і небажано впливати на стабільність нульової лінії. Програмування температури колонки збільшує час аналізу, однак, забезпечує надійність та більшу відтворюваність визначення. Виконанню аналізів повинно передбачати 80-ти годинне тренування аналітичної колонки при температурі  $200^{\circ}\text{C}$  та детектора при температурі  $250^{\circ}\text{C}$ .

Одержання надійних результатів визначення домішок потребує захисту повітря лабораторій від забруднення в процесі підготовки приладу до аналізу. Повітря лабораторії, окрім легких газів – гелію та водню може вміщувати органічні сполуки з електровід'ємними атомами, до яких чутливий ЕЗД (наприклад, оксиди азоту).

Кількісні розрахунки хроматограм виконували за методом абсолютної калібровки. При цьому, калібрувальні суміші на рівні  $10^{-10}\%$  ( $0,003\text{ мг}$ ) готували методом експоненціального розбавлення. Для цього, в ємкість заданого об'єму з мішалкою вводили

відому об'ємну кількість ГС. Головне утруднення при приготуванні газових сумішей таким способом – це усунення сорбційних явищ на стінках колби, в якій проводять розбавлення. Повністю виключити адсорбційні явища неможливо, однак, необхідно приймати усі заходи для його усунення. Це досягається за рахунок використання колб, виготовлених з добре провареного скла, використання мішалки з магнітним приводом, чистих металевих капілярів. Наявність потертості на склі роблять таку колбу непридатною для виконання градуїзованих сумішей.

Під полімерні мембрани випаровувача при проведенні аналізу підкладали прокладки з алюмінієвою фольги.

За нашими спостереженнями, дотримуючись цих вимог, вдається можливим одержувати газові концентрації ГС в інтервалі  $(2-6) \times 10^{-10}\%$ . (або 0,003-0,018 мг).

Градуїзований коефіцієнт для ГС визначали експериментально в інтервалі концентрацій  $2 \times 10^{-7}$  до  $2 \times 10^{-10}\%$ , що відповідає лінійному динамічному діапазону детектора.

Таким чином, розроблена нами методика дозволяє визначати ГС на рівні  $(2-5)10^{-10}\%$ , що відповідає його рівню в повітрі населених місць 0,015-0,03 мг/м<sup>3</sup>. Метод полягає в газохроматографічному розділенні ГС від суміші супутніх газів повітря на молекулярних ситах СаА при програмованому підвищенні температури від 70 до 150<sup>o</sup>С. При цьому використовується прямий аналіз повітряної проби без її попереднього концентрування.

### **3.2. Обґрунтування орієнтовно безпечних рівнів дії (ОБРД) елегазу в повітрі населених місць.**

Діючими в Україні нормативними документами [11,12,13] передбачається ряд методичних підходів до обґрунтування ОБРД в повітрі населених місць, а саме: за параметри токсикометрії, за ГДК в повітрі робочої зони та за фізико-хімічними константами хімічних речовин.

При розрахунках ОБРД в якості параметрів токсикометрії використовують середньо-смертельні концентрації, поріг запаху; фізико-хімічні константи хімічних речовин – молекулярна маса, температура кипіння, дипольні моменти, константи Гамета, індекси

електронної структури та молекулярна рефракція.

Теоретичною базою в СРСР для створення методів розрахунку ОБРД були встановлені у різний час факти, що свідчать про наявність досить тісного зв'язку між фізико-хімічними властивостями речовин і їх токсичною дією, а також між окремими показниками токсичності.

Знайдені кореляційні зв'язки описуються порівняно простими рівняннями. Ці рівняння є математичним вираженням об'єктивно існуючих зв'язків між фізико-хімічними властивостями речовин, параметрами токсичності і ГДК, а також між ГДК повітря робочої зони і ГДК для атмосфери населених пунктів.

Вивчення токсиколого-гігієнічні властивостей елегазу було розпочато в 70-тих роках минулого століття водночас з впровадженням його в практику. Було встановлено, що довготривалий інгаляційний вплив елегазу на білих шурів не викликав в останніх будь яких ознак отруєння. При цьому було виявлено, що отруєння елегазом можливе у випадку наявності в ньому фторидів сірки (SF<sub>2</sub>, SF<sub>4</sub> та SF<sub>6</sub>).

Елегаз внесений до "Міжнародних карт хімічної безпеки ("Internationale Chemical Safety Cards") за №CAS 2551-62-4. Він відноситься до речовин "малонебезпечних" – 4 клас. Прийнята в СРСР його гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони складає 5 000 мг/м<sup>3</sup>.

В світовій практиці елегаз та його технічні домішки нормовані в повітрі за "гранично обмеженим об'ємом" (TLV) – це концентрація хімічного чинника в повітрі, яка упродовж восьми годин, але не більше 40 годин на тиждень, не викликає негативних змін в організмі. Це, по суті, відповідає прийнятим на терені бувшого СРСР гранично допустимим концентраціям для повітря робочої зони.

Такий загально-світовий підхід до нормування хімічних чинників обумовлений виключно прагматичними, економічними інтересами. В країнах Європи та США в повітрі населених місць хімічні чинники елегазу не нормуються.



Рекомендовані в США нормативні значення "гранично обмежених об'ємів" елементу газу та його продуктів окислення приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. "Гранично обмежені об'єми" (TLV) елементу газу та його продуктів окислення.

Фізико-хімічні та токсиколого-гігієнічні параметри	Фторид тіонілу	Сірчаний фторид	Двосірчаний декафторид	Гексафторид сірки
Емпірична формула	SOF <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	SF <sub>6</sub>
Мол.вага	86	102	254	146
TLV, ppm	1,6	5,0	0,01	6 000 мг/м <sup>3</sup>
TLV, мг/м <sup>3</sup>	5.6	20.8	0.1	-

Тіоніл фторид (SOF<sub>2</sub>), сірчаний фторид (SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) та двохсірчаний декафторид (S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>) це леткі газоподібні сполуки, з різким специфічним запахом, які характеризуються вираженою подразнюючою дією на слизові оболонки. На відміну від двохсірчаного декафториду (S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>), токсиколого-гігієнічні властивості оксифторидів сірки в достатній мірі не вивчені. Їх значення TLV обґрунтовані за рефлекторними реакціями.

Перед усім слід нагадати, що в концепції гігієнічного нормування фторидів в об'єктах довкілля лежить два аспекти. Перший – це нормування сполук хімічно малоактивних (погано розчинних та мало дисоційованих) та другий – нормування хімічно актив-

них сполук (добре розчинних та високо дисоційованих).

За першою концепцією в повітрі про-нормовані всі фторвмісні речовини та гексафторид сірки. Їх гранично допустимі концентрації лежать в межах десятків мг/м<sup>3</sup>. За другою концепцією встановлені нормативи фтористого водню, фторидів сірки та лужних металів.

Однак, поряд з оксифторидами сірки "робочий" елемент вміщує в своєму складі діоксид сірки та цілий ряд фтористих сполук, приведених в таблиці.

Якісний склад та токсиколого-гігієнічні параметри компонентів робочого елементу приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Хімічний склад "робочого" елементу та гігієнічні нормативи його супутніх технологічних компонентів.

Компонентний склад	Концентрація, мг/л	ГДК р.з., мг/м <sup>3</sup>	ГДК с.д., мг/м <sup>3</sup>
CF <sub>4</sub>	10,86	20-30*	0.2*
SF <sub>4</sub>	13,89	20-30*	0.2*
CO <sub>2</sub>	-	-	-
SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0,546	20,8 (TLV)	0.2*
SOF <sub>2</sub>	1,49	5,6 (TLV)	0.2*
H <sub>2</sub> O+HF	0,178	0.5	0.02
SO <sub>2</sub>	8,28	0.1	
S <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	-	0,25 (TLV)	0.02**
SF <sub>6</sub>	5651,6	5 000	0.02**

Примітки: 1 \* – величина ГДК за хімічними властивостями малоактивних фторидів;  
2 \*\* – величина ГДК за хімічними властивостями активних фторидів.

Проте, не дивлячись на біологічну безпечність гексафториду сірки, концентрація якої в 42000 мг/м<sup>3</sup> (газова суміш, яка складається з 80% гексафториду сірки та 20% кисню) не викликає загибелі мишей упро-

довж 24-годинної експозиції (вимоги "Стандарту ІЕС-376" до біологічної якості елементу, який поставляється користувачам), елемент в СРСР в повітрі робочої зони нормований за лімітуючим показником, яким є гранично

допустима концентрація фтороводню в повітрі робочої зони. Це підтверджується проведеними нами розрахунками на основі даних про його концентрацію в складі робочого елегазу.

Такий підхід є науково виправданим. Тому, за принципом "лімітуючого показника", яким є максимально разова гранично допустима концентрація фтористого водню в атмосферному повітрі та спираючись на хімічний склад "робочого" елегазу, нами розрахована величина його ОБРД (орієнтовно безпечний рівень дії) в повітрі населених місць. Ця величина становить  $40,73 \text{ мг/м}^3$ . За такої величини ОБРД, концентрації в повітрі населених місць високоактивного второводню та малоактивних фтористих сполук не будуть перевищувати їх максимально разові гранично допустимих концентрацій –  $0,02 \text{ мг/м}^3$  та  $0,2 \text{ мг/м}^3$  відповідно.

Вибір "лімітуючого" показника, яким є максимально разова гранично допустима

концентрація фтористого водню в атмосферному повітрі ми обґрунтовуємо тим, що електротехнічні об'єкти оснащені елегазовим обладнанням не відносяться до постійно діючих об'єктів хімічного профілю, а тому можуть забруднювати повітря житлової забудови спорадично, з оглядом на можливу, аварійну, розгерметизацію елегазового обладнання.

Як альтернативні, нами проведені розрахунки ОБРД елегазу в повітрі населених місць і за підходами, рекомендованими документом.

Оскільки, розрахунки на основі токсикометричних параметрів неможливі (елегаз нетоксичний і ці параметри не встановлені), нами використано ряд інших доступних показників: гранично допустиму концентрацію для повітря робочої зони, молекулярну вагу та молекулярну рефракцію. Результати проведених розрахунків приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Результати розрахунків ОБРД гексафториду сірки (елегазу) в повітрі населених місць.

Формули використані для розрахунків	ОБРД, $\text{мг/м}^3$
$\lg \text{ОБРД} = -2 + \lg \text{ГДК р.з. (1)}$	50,0
ОБРД за "лімітуючим" показником (2)	40,73
$\log \text{ОБРД} = -b (\log \text{MR}_x - 5,44) \text{ (3)}$	37,0
$\text{ОБРД} = [0,11 + 0,0654 \sqrt{\text{ГДК}_{\text{р.з.}} (\text{мг/м}^3)}]^2 \text{ (4)}$	22,38
$\text{ОБРД} = [0,112 + 0,0268 \text{ГДК}_{\text{р.з.}}]^2 \text{ (5)}$	17 956
$\lg \text{ОБРД} = -1,77 + 0,62 \lg \text{ГДК}_{\text{р.з.}} (\text{мг/м}^3) \text{ (6)}$	3,31
$\lg \text{ОБРД} = -8 \lg \text{M.в.} + 14,75 + \text{K} \text{ (7)}$	0.00275

В науковій практиці прогнозування токсикометричних та терапевтичних параметрів хімічних чинників та лікарських препаратів вірогідними вважаються величини, які лежать в межах одного порядку. З даних таблиці 3.3 можна зробити висновок, що близькими до достовірних є величини ОБРД розраховані за формулами 1-4. Середня величина, розрахована з цих значень складає  $(37,5 \pm 9,2) \text{ мг/м}^3$ , що близько до величини  $40,73 \text{ мг/м}^3$ , яка розрахована за "лімітуючим" показником.

Оксифториди сірки, які утворюються при електрохімічному окисленні елегазу в електричній дузі, відносяться до групи малоактивних фторидів. Атоми фтору, що вхо-

дять до складу їх молекул, зв'язані з сіркою ковалентним зв'язком, внаслідок чого, оксифториди сірки досициюють в воді, не вивільняють фторид-іону, що є причиною прояву їх низької біологічної активності. Виходячи з принципу їх "малоактивності", очікувана їх гранично допустима концентрація в повітрі населених місць повинна знаходитись в межах десятих  $\text{мг/м}^3$ .

У зв'язку з цим, актуальним повітряноохоронними завданням є обґрунтування їх ОБРД у повітрі населених місць. Результати розрахунків ОБРД оксифторидів сірки в повітрі населених місць подані в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Результати розрахунків ОБРД оксифторидів сірки в повітрі населених місць.

Формули використані для розрахунків	ОБРД SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ОБРД SOF <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>
lg ОБРД = -2+lgГДК р.з. (1)	0,68	0,056
logОБРД = -b (logMR <sub>x</sub> - 5,44) (2)	0,083	0,059
ОБРД = /0,11+0,0654 √ГДК <sub>р.з.</sub> (мг/м <sup>3</sup> )/ <sup>2</sup> (3)	0,17	0,068
ОБРД = [0,112+0,0268 ГДК <sub>р.з.</sub> ] <sup>2</sup> (4)	0,45	0,068
lg ОБРД = -1,77+0,62lg ГДК <sub>р.з.</sub> (мг/м <sup>3</sup> ) (5)	0,11	0,05
lg ОБРД = -8 lg М.в.+14,75 +К (6)	0,056	0,0204
Середнє значення ОБРД, мг/м <sup>3</sup>	0,10±0,03	0,053±0,012

Як свідчать дані приведені в таблиці 3.4, результати розрахунків ОБРД SOF<sub>2</sub> за усіма формулами майже тотожні. Негативнішими з точки зору збіжності дають результати розрахунків ОБРД SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, які різняться на порядок. Для цього хімічного чинника середнє значення ОБРД, розраховане за формулами 2, 3, 5, 6. За цими розрахунками можна прогнозувати, що значення ОБРД оксифторидів сірки буде лежати в межах 0,15±0,1±0,05 мг/м<sup>3</sup>.

При концентрації гексафториду сірки у повітрі населених місць в діапазоні 30÷37÷44мг/м<sup>3</sup>, концентрації оксифторидів сірки не будуть перевищувати їх прогнозований діапазон. Як показують наші розрахунки, не будуть також перевищенні гранично допустимі концентрації фторидів сірки.

Підхід до обґрунтування безпечного застосування гексафториду сірки в умовах ущільненої міської забудови за принципом – "концентрація супутніх токсичних домішок основного компонента в контактуючому повітрі не повинна перевищувати їх гігієнічних нормативів" є науково виправданим, оскільки електрохімічне окислення гексафториду сірки в електричній дузі за стабільної напруги електричного поля протікає за сталою стехіометричною реакцією.

Можливість виникнення аварійних ситуацій в підземних приміщеннях з електротехнічними об'єктами (станції метро та інші) ставить за необхідне прогнозування максимально можливих концентрацій гексафториду сірки та її супутніх техногенних домішок в повітрі замкнених об'ємів.

За даними нормативно-технічної документації об'єм виробничого приміщення

підстанції, яка обслуговує станцію метро, становить близько 3 600 м<sup>3</sup>. Загальний об'єм елегазу в усіх електровимикачах складає 144 кг або 22,3 л. За нашими розрахунками, у випадку одночасної розгерметизації усіх електровимикачів концентрація гексафториду сірки у повітрі робочих приміщень у вісім разів буде перевищувати його нормативну величину. Концентрації фтористих сполук можуть до чотирьох разів перевищувати їх граничні нормативні величини, (табл. 3.5). Проте, особливого занепокоєння викликає діоксид сірки. Її очікувана, прогнозована, концентрація в повітрі виробничих приміщень може перевищувати гранично допустиму концентрацію майже в 500 разів і досягати 50 мг/м<sup>3</sup>. Слід нагадати, що переносима організмом концентрація діоксиду сірки в повітрі знаходиться в інтервалі 250-500 мг/м<sup>3</sup>.

Допустимий, технологічний, річний об'єм витікання елегазу при експлуатації обладнання не повинен перевищувати 1%, і за режимом нормальної роботи електрообладнання ризик для здоров'я людей унаслідок витікання з електрообладнання елегазу відсутній.

Однак, у аварійних випадках, коли внаслідок витікання з електрообладнання елегазу і продуктів його розкладання розрахункові значення перевищуються, проектом повинно бути передбачено організаційні та технічні заходи, що унеможливають завдання шкоди здоров'ю обслуговуючого персоналу шляхом облаштування об'єктів електроенергетики сигналізуючими пристроями.

Таблиця 3.5. Прогнозовані рівні забруднення повітря виробничих приміщень електроенергетичних об'єктів фтористими сполуками за умов виникнення надзвичайних ситуацій (концентрація елегазу – 6,2 л/м<sup>3</sup>).

Компонентний склад	Прогнозована концентрація, мг/м <sup>3</sup>	ГДК р.з., мг/м <sup>3</sup>	Кратність перевищення ГДК р.з.
CF <sub>4</sub>	67.33	20-30*	2-3
SF <sub>4</sub>	86.11	20-30*	До 4
CO <sub>2</sub>	-	-	-
SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	3.38	20,8 (TLV)	-
SOF <sub>2</sub>	9.23	5,6 (TLV)	До 2
H <sub>2</sub> O+HF	1.10	0.5	2
SO <sub>2</sub>	51,33	0.1	510
S <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	сліди	0,25 (TLV)	-
SF <sub>6</sub>	40 000	5 000	8

У таких випадках у проекті потрібно передбачати ввімкнення сигналізації та важкої вентиляції, у тому числі – у разі зни-

ження тиску в елегазовому обладнанні до 80% від номінального.

### Висновки

1. Доведено, що одним із пріоритетних чинників КЛ, що можуть впливати на стан навколишнього середовища та здоров'я населення, є магнітне та електричне поле, яке створюється в процесі роботи електроенергетичних об'єктів.

2. Встановлено, що кабельні лінії 110 кВ створюють магнітне поле промислової частоти, максимальний рівень якого складає – 5,385 мкТл, по мірі віддалення від КЛ-110 кВ він знижується і на віддалі 5 м від КЛ становить близько – 1 мкТл при нормативному 10 мкТл для житлової забудови. Максимальний рівень електричного поля при цьому складає близько 1 кВ/м.

3. Аналіз отриманих матеріалів показав, що кабельна лінія 330 кВ, що була запроектована, і вже побудована для зовнішнього електропостачання електросталеплавильного комплексу заводу «Дніпросталь», яка проходить частково по території житлової забудови м. Дніпропетровська, є потужним джерелом магнітного і електричного поля, рівень якого в окремих випадках може перевищувати гранично допустимі значення для населення.

4. Для створення безпечних для здоров'я населення умов експлуатації підземної кабельної лінії електропередачі, забезпечення її збереження та дотримання техніки безпеки вздовж траси кабельної лінії 330 кВ повинні бути встановлені охоронні та санітарно-захисні зони у відповідності з «Правилами охорони електричних мереж», №209-97 та «Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», №239-96, а також у відповідності з «Тимчасовими гранично допустимими рівнями магнітного поля, що створюються підземними кабельними лініями (КЛ) змінного струму промислової частоти».

5. За результатами досліджень встановлено, що допустимий рівень звуку (40 дБА в нічний час) на території прилеглої до ТП з сухими трансформаторами потужністю 1000 кВА досягається на відстані 8 м при 1 трансформаторі; 12 м при 2-х трансформаторах; 16 м при 3-х трансформаторах; 18 м при 4-х трансформаторах.

6. За результатами вимірів рівнів звуків та звукових тисків від наземних закритих прибудованих трансформаторних підстанцій доведено, що вони є джерелами акустичного забру-

днення для прилеглих житлових будинків. Характер шуму від даних трансформаторів може бути широкопasmовий, постійний, тональний. Встановлено, що очікувані рівні звуку та звукових тисків від ТП на прилеглий території до найближчого житлового будинку (відстань 8 м) перевищують допустимі рівні в порівнянні з СН №3077-84 для нічного часу доби. Зафіксовано перевищення: в октавній смузі 125 Гц – на 1,9 дБ; в октавній смузі 250 Гц – на 0,5 дБ; в октавній смузі 500 Гц – на 7,8 дБ; в октавній смузі 1000 Гц – на 0,6 дБ; по загальному рівню звуку – на 5,7 дБА.

7. Встановлено, що розташування наземних відкритих ТП з масляними трансформаторами в умовах сучасного міста у більшості випадків є неможливим (необхідні відстані можуть дорівнювати від 22 до 2400 м). Це пов'язано з великими рівнями звуку у джерелі та з браком необхідних вільних територій в умовах міста, а також з необхідністю застосування великих шумозахисних екранів.

8. За результатами розрахунків впливу підземних окремо розташованих ТП (2 трансформатори по 1000 кВА) доведено, що допустимі рівні звукових тисків на територіях житлових будинків, які прилегли до цих ТП, досягаються на відстанях 8 м у випадку тонального характеру шуму та 4 м у випадку широкопasmового характеру шуму. Аналіз отриманих даних дозволяє стверджувати, що вплив підземних ТП на акустичний стан прилеглої території житлових будинків значно менший, ніж вплив наземних ТП такої самої потужності (відкритих та закритих).

9. Вбудовані та прибудовані об'єкти електроенергетики не являються енергетичними об'єктами з технологічними викидами хімічних чинників в повітря. Останні можуть виникати тільки в аварійних ситуаціях: при порушенні роботи електротехнічного обладнання, в якому використовується елєгаз (при розгерметизації обладнання, у разі виникнення короткого замикання) та при виникненні пожеж за умов загоряння кабельних мереж.

10. Встановлено, що за перспективними планами розвитку електроенергетики в Україні планується розміщення об'єктів електроенергетики в районах житлової забудови, що потребує обґрунтування гігієнічного нормативу елєгазу (гексафториду сірки) в повітрі населених місць. Розрахований нами за рекомендаціями діючого в Україні нормативного документа орієнтовано безпечний рівень дії гексафториду сірки в повітрі населених місць лежить в межах концентрацій  $(37 \pm 7)$  мг/м<sup>3</sup>.

11. Розроблена методика визначення гексафториду сірки в повітрі населених місць на рівні 0,015-0,03 мг/м<sup>3</sup>, яка полягає в його газохроматографічному розділенні від суміші супутніх газів повітря на молекулярних ситах СаА при програмованому підвищенні температури від 70 до 150<sup>0</sup>С та прямому аналізі повітряної проби без її попереднього концентрування, дозволяє її рекомендувати для потреб санітарно-епідеміологічної служби при експертних дослідженнях стану повітря в місцях розміщення високовольтного обладнання, в яких використовується елєгаз.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Державні санітарні норми и правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань : ДСНіП ІТ 239-96. – К., 1996. – 28 с.
2. Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und-anwendung.
3. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
4. Тимчасові гранично допустимі рівні магнітного поля / ДУ «Інститут гігієни та медичної екології НАМН України». – К, 2008.
5. Розрахунок електричного і магнітного полів лінії електропередавання : методика : нормативний документ / Мінпаливенерго України. – К., 2008. – 34 с.
6. Строительные нормы и правила. Защита от шума: СНиП П2-77 / Госстрой СССР: Введ. 01.07.78. – М.: Стройиздат, 1978. – 49 с.

7. ГОСТ 23337-78. «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий».
8. МУ №4283-87 «Методические указания для органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы по контролю за выполнением СН №3077-84».
9. Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки: СН №3077-84 / МЗ СССР: Утв. 03.08.84. – М.: 1984. – 6 с.
10. ГОСТ 12.2.024-87 ССБТ. Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля.
11. Обґрунтування орієнтовно безпечних рівнів діяння (ОБРД) хімічних чинників в повітрі населених місць розрахунковими методами МВ №. 2003.
12. Кочанов М.М. Расчетный метод определения ориентировочных ПДК веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов. / М.М. Кочанов, А.О. Лойт, С.Д. Заугольников, И.И. Ставчанский. – Гиг. и сан. 1974, – №8. – 79 с.
13. Кротов Ю.А. Применение расчетных методов для установления ориентировочных максимально разовых предельно допустимых концентраций атмосферных загрязнений. – Гиг. и сан. 1971, – №12. – 8с.

**ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИОРИТЕТНЫХ ФАКТОРОВ,  
КОТОРЫЕ СОЗДАЮТСЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМИ (110-330 кВ) КАБЕЛЬНЫМИ  
ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ИХ ОБОРУДОВАНИЕМ**

*Думанский В.Ю., Биткин С.В., Думанский Ю.Д., Квицинский А.О., Акименко В.Я.,  
Павлык В.М., Никитина Н.Г., Медведев С.В., Безверхая А.П., Зотов С.В., Томашевская Л.А.,  
Сердюк Е.А., Галак С.С., Семашко П.В., Голиченков А.М., Ляшенко В.И.*

*Объект исследований. Высоковольтные кабельные линии (КЛ) и их оборудование (электрические подстанции, трансформаторные станции).*

*Цель данной работы заключалась в определении гигиенического значения электромагнитного поля, шума и химических веществ, создаваемых кабельными линиями (КЛ) электропередачи в условиях современной городской застройки.*

*Методы исследований: расчетные, инструментальные, математические.*

*Впервые дана санитарно-гигиеническая характеристика условий размещения и эксплуатации высоковольтных КЛ электропередачи напряжением 110-330 кВ и их электрических подстанций; установлены приоритетные факторы воздействия на окружающую среду – электрическое и магнитное поле (МП), акустическое загрязнение, а при аварийных ситуациях выбросы химических веществ элегазового оборудования (гексафторид серы); определены закономерности пространственного распределения в окружающей среде перечисленных факторов; разработаны критерии их гигиенической оценки; установлено ориентировочно безопасный уровень действия (ОБУД) гексафторида серы для воздуха населенных мест в пределах концентраций  $37 \pm 7 \text{ мг/м}^3$ .*

**HYGIENIC ASSESSMENT OF PRIORITY FACTORS GENERATED BY HIGH-VOLTAGE  
(110-330 kV) ELECTRICITY TRANSMISSION LINES AND THEIR EQUIPMENT**

*V. Dumansky, S. Bitkin, Yu. Dumansky, A. Kvitsinsky, V. Akimenko, V. Pavlik, N. Nikitina,  
S. Medvedev, A. Bezverha, S. Zotov, L. Tomashevskaya, E. Serdiuk, S. Galak, P. Siemashko,  
O. Holichenkov, V. Liashenko*

*The object of research. High voltage cable line (CL) and equipment (electrical substations, transformer stations).*

*The purpose of this study was to determine the hygienic significance of electromagnetic fields, noise and chemicals produced by cable lines (CL) of electricity in modern urban development.*

*Research methods: calculation, instrumental, math.*

*For the first time this safety characteristics and operating conditions of the location of high voltage power transmission CL 110-330 kV and substations; set the priority factors impact on the environment – the electric and magnetic field (MF), acoustic pollution and emissions during emergency situations chemical gas insulated equipment (sulfur hexafluoride); the regularities of spatial distribution in the environment, these factors; the criteria of hygienic evaluation; tentatively safe level action (TSLA) sulfur hexafluoride air of populated areas within concentration  $37 \pm 7 \text{ mg/m}^3$  was established.*

УДК 658.3.041:331.45

## ОРГАНІЗАЦІЙНО ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ З НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ ТА АЕРОІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ

*Паньків Х.В.*

*Національний авіаційний університет, м. Київ*

**Вступ.** Енергетичний комплекс є стратегічною галуззю держави, який забезпечує безперебійне функціонування усіх підприємств промисловості, транспорту та життєдіяльність населення. Він характеризується різноманітністю обладнання, призначеного для вирішення багатьох задач – генерації електроенергії, її перетворення та передавання, теплопостачання тощо.

Стабільність функціонування таких об'єктів значною мірою залежить від безпомилкових та оперативних рішень та дій персоналу з їх експлуатації, що обумовлене не тільки рівнем професійної підготовки експлуатаційників, а й параметрами виробничого середовища.

**Сучасний стан питання.** Попередні дослідження [1,2] довели, що головними фізичними чинниками негативного впливу на працівників найбільш критичних ланок енергетики-турбогенераторних цехів, щитів керування, об'єктів теплопостачання є електромагнітні поля ненормативних рівнів та незадовільні концентрації аероіонів у виробничих приміщеннях. Втім, на сьогоднішній день, постійно контролюються тільки рівні шуму на робочих місцях машиністів турбогенераторів, де вони заздалегідь перевищують гранично допустимі рівні.

Дослідження щодо електромагнітної безпеки працюючих на таких об'єктах мають

фрагментарний характер, переважно констатують наявність проблем і не надають рекомендацій щодо їх вирішення [3,4]. Ґрунтовне дослідження [5] щодо зниження магнітного поля ліній електропередач більш стосується екологічної безпеки.

Враховуючи все вище зазначене, актуальним завданням є розроблення цілісної системи організаційно-технічних заходів зі зниження негативного впливу досліджуванних фізичних факторів на працюючих.

**Мета роботи:** обґрунтування та розроблення комплексу організаційно-технічних заходів із захисту персоналу найбільш критичних ланок підприємств енергетики від впливу електромагнітних полів та нормалізації концентрації аероіонів у повітрі робочих зон.

Особливістю методологічних підходів до реалізації поставленої мети є те, що для цієї категорії працюючих (за винятком персоналу з обслуговування відкритих розподільчих пристроїв) неприйнятні традиційні методи захисту відстанню (дистанціювання працівника від джерела небезпеки) та захист часом (обмеження часу перебування під впливом шкідливого або небезпечного фактора). Це пояснюється тим, що, наприклад, машиністи турбогенераторів повинні постійно контролювати (як візуально, так і біля щита) роботу агрегатів, а відстань перебу-