

СТРУКТУРА У ЧАСІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

**Бржезицький В.О., д.т.н., професор, Хомініч В.І., к.т.н., доцент,
Миронов Д.В., аспірант**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Вступ. Повітряні лінії (ПЛ) електропередач високої та надвисокої напруги є джерелами потужних електромагнітних полів, які суттєво впливають на довкілля. Одним з таких проявів є їх негативний вплив на живі організми (зокрема, організм людини). Основним з параметрів оцінки екологічного впливу ПЛ на людину є рівень напруженостей електричних полів, які створюються у просторі навколо лінії. При цьому, оскільки величини магнітних полів ПЛ в порівнянні з електричними є незначними, їх екологічним впливом зазвичай нехтують [1]. Для розрахунку електричного поля ПЛ доцільним є використання методу еквівалентних зарядів (МЕЗ) у редакції методу, запропонованій О.С. Ільєнко [2]. При цьому, виходячи з граничних умов, спочатку визначаються лінійні еквівалентні заряди, які відносяться до осей струмопроводів, та потім – розраховуються напруженості полів. Проте, в ряді сучасних публікацій лінійні еквівалентні заряди розраховуються через формули ємностей струмопроводів ліній [3], що є додатковим ускладненням. Крім того, в цих же публікаціях максимальні «діючі» значення напруженостей електричного поля розраховуються для окремих точок у просторі. Більш достовірні результати можуть бути одержані, якщо спочатку визначати відповідні залежності напруженостей електричного поля у часі, а потім – визначити їх середньоквадратичні значення.

Мета роботи. Одержати, порівняти та проаналізувати розподіл напруженостей електричного поля на прикладі розрахунку ПЛ 500 кВ [3], використовуючи МЕЗ [2] та враховуючи просторову зміну полів у часі.

Матеріали та результати досліджень. Згідно [2] в роботі прийнято, що для трифазної ПЛ напругою 500 кВ з горизонтальним розташуванням фаз (рис.1) лінійні еквівалентні заряди відносяться до геометричних осей проводів. Розрахунки проводяться у площині, перпендикулярній напрямку ПЛ на відстанях 30 м [4] від проєкцій крайніх проводів на землю. Висота підвішування проводів згідно [3] становить 11 метрів, відстань між проводами складає 10 метрів, проводи ПЛ розщеплені, еквівалентний радіус проводу складає $r_{\text{екв}}=0,1895$ м [5]. Вважається, що кожен провід являю собою паралельний землі безкінечно довгий циліндр, заряд якого рівномірно розташований повздовж осі. Напруга змінюється за синусоїдальним законом з частотою 50 Гц та зсувом по фазі 120° . Нумерація фаз – С, В, А. Поверхня землі вважається провідною, пласкою, наявність поблизу зони розрахунків опор, тросів та інших об'єктів не враховується.

Напруги фаз U_A, U_B, U_C визначаються аналогічно [3]:

$$U_A = U_{max} \sin \omega t, U_B = U_{max} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), U_C = U_{max} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right),$$

де

$$U_{max} = \frac{500000\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \text{ В}$$

З [2] у відповідних позначеннях отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} U_C = \frac{\tau_C}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2y_C}{r_{\text{зем}}'} + \frac{\tau_B}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r'_{CB}}{r_{CB}} + \frac{\tau_A}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r'_{CA}}{r_{CA}}; \\ U_B = \frac{\tau_C}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r'_{BC}}{r_{BC}} + \frac{\tau_B}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2y_B}{r_{\text{зем}}'} + \frac{\tau_A}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r'_{BA}}{r_{BA}}; \\ U_A = \frac{\tau_C}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r'_{AC}}{r_{AC}} + \frac{\tau_B}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r'_{AB}}{r_{AB}} + \frac{\tau_A}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2y_A}{r_{\text{зем}}'}; \end{cases}$$

де ϵ – діелектрична проникність повітря Ф/м; τ – лінійна густина зарядів Кл/м; U_C, U_B, U_A – значення висоти центрів фазних струмопроводів С, В, А по відношенню до рівня землі; r_{CB} – відстань від центру фази С до центру фази В, r'_{CB} – відстань від центру фази С до дзеркального відображення центру фази В, r_{CA} – відстань від фази С до центру фази А, r'_{CA} – відстань від центру фази С до дзеркального відображення центру фази А, r_{BC} – відстань від центру фази В до центру фази С, r'_{BC} – відстань від центру фази В до дзеркального відображення центру фази С, r_{BA} – відстань від центру фази В до центру фази А, r'_{BA} – відстань від центру фази В до дзеркального відображення центру фази А, r_{AC} – відстань від центру фази А до центру фази С, r'_{AC} – відстань від центру фази А до дзеркального відображення центру фази С, r_{AB} – відстань від центру фази А до центру фази В, r'_{AB} – відстань від центру фази А до дзеркального відображення центру фази В.

Розв'язавши систему рівнянь відносно τ_C, τ_B, τ_A , обчислюємо складові напруженості електричного поля в точці з координатами (x,y):

$$E_{xi} = \left(\frac{x-x_i}{r_i^2} - \frac{x-x_i}{r_i'^2}\right) \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon}, E_{yi} = \left(\frac{y-y_i}{r_i^2} - \frac{y+y_i}{r_i'^2}\right) \frac{\tau_i}{2\pi\epsilon},$$

де τ_i, x_i, y_i – лінійна густина та координати i – фази, а сумарну напруженість електричного поля знаходимо за формулою

$$E = \sqrt{(E_{xC} + E_{xA} + E_{xB})^2 + (E_{yC} + E_{yA} + E_{yB})^2}$$

та будуємо відповідні графіки в проміжку часу від 0 до 0,02 секунди (тобто, за період). На рис. 2 показано величину напруженостей електричного поля для 10 моментів часу на висоті 1 метр від поверхні землі (задано аналогічно [3]). Кожна лінія відповідає напруженості поля в певний момент часу у площині санітарно-захисної зони. Максимальні значення напруженості поля спостерігаються під тими проводами, заряд яких в даний момент часу є найбільшим.

При максимальному значенні заряду середнього проводу складові напруженості поля сусідніх проводів з протилежним знаком впливають на напруженість поля, тому значення максимумів напруженості поля під середньою фазою є меншими.

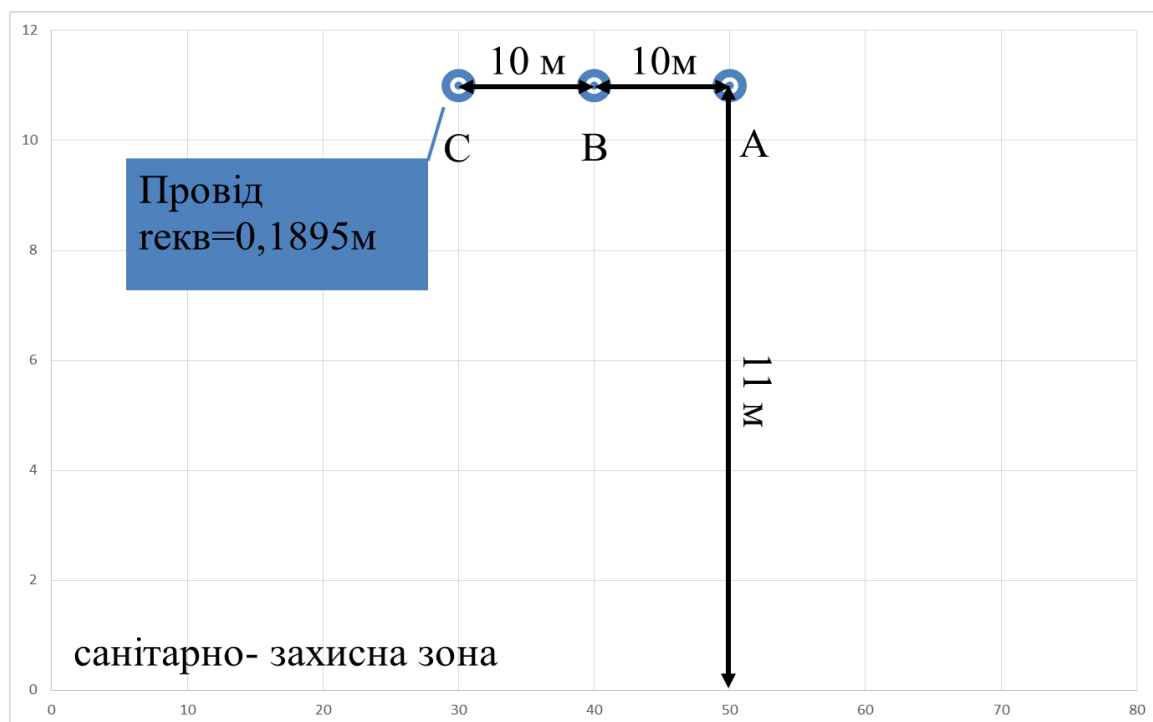


Рисунок 1 – Схема струмопроводів ПЛ 500 кВ

Розглядаючи просторову направленість складових вектору E (E_x , E_y), побудуємо годографи зміни напруженостей електричного поля, які представлені на рис. 3.

Як видно з рис. 3, годографи векторів напруженості електричного поля ПЛ мають, у загальному випадку, еліптичну форму. Даний фактор може суттєво визначати вплив електричного поля на біологічні об'єкти, які в ньому знаходяться, а також на прилади і системи, які працюють в зонах впливу поля.

Розраховані середньоквадратичні значення напруженості поля приведені на рис. 4. Одержані середньоквадратичні значення напруженості електричного поля ПЛ 500 кВ практично співпадають з даними [3].

При розрахунках та експериментальних вимірюваннях електричного поля в зоні дії ПЛ [1] зазвичай враховується сумарна напруженість електричного поля. Однак, дія нормальної та тангенціальної складових електричного поля на живі організми вивчена на сьогодні недостатньо. Тому викликає інтерес розрахункове та експериментальне визначення складових напруженості електричного поля та порівняння одержаних даних з результатами санітарно – медичних досліджень дії цих складових на біологічні об'єкти.

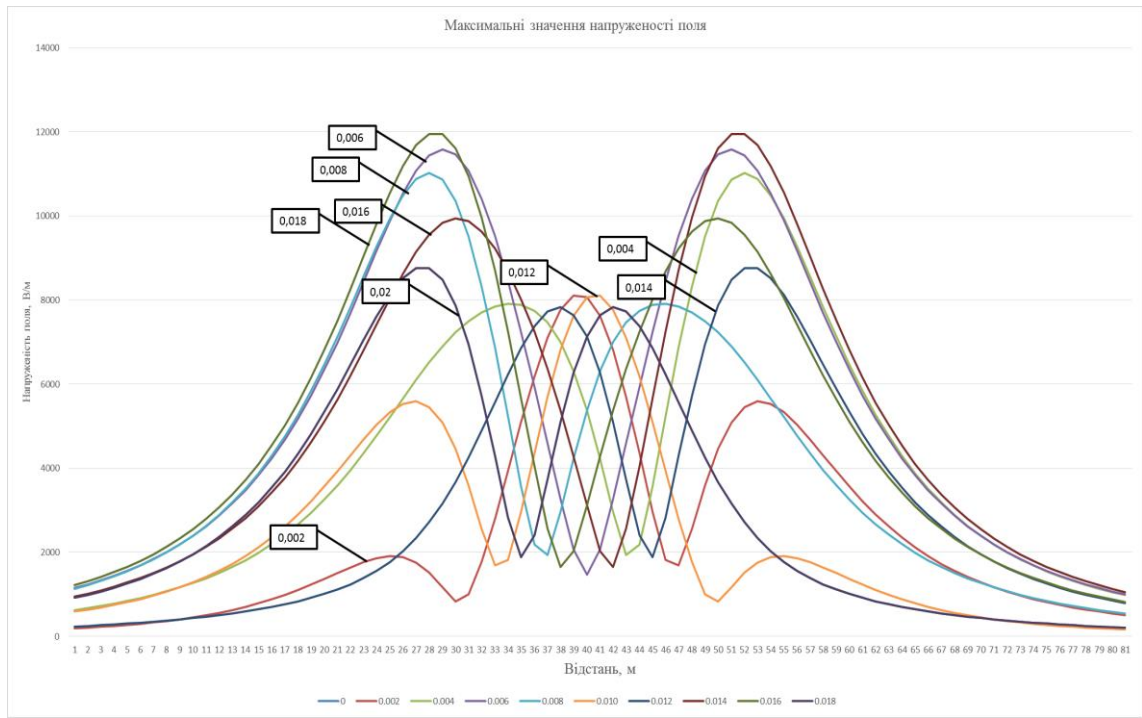


Рисунок 2 – Розрахункові значення напруженості поля ПЛ 500 кВ



Рисунок 3 – Годографи векторів напруженості електричного поля ПЛ 500 кВ (у відносних одиницях) для різних значень відстаней від початку санітарно-захисної зони

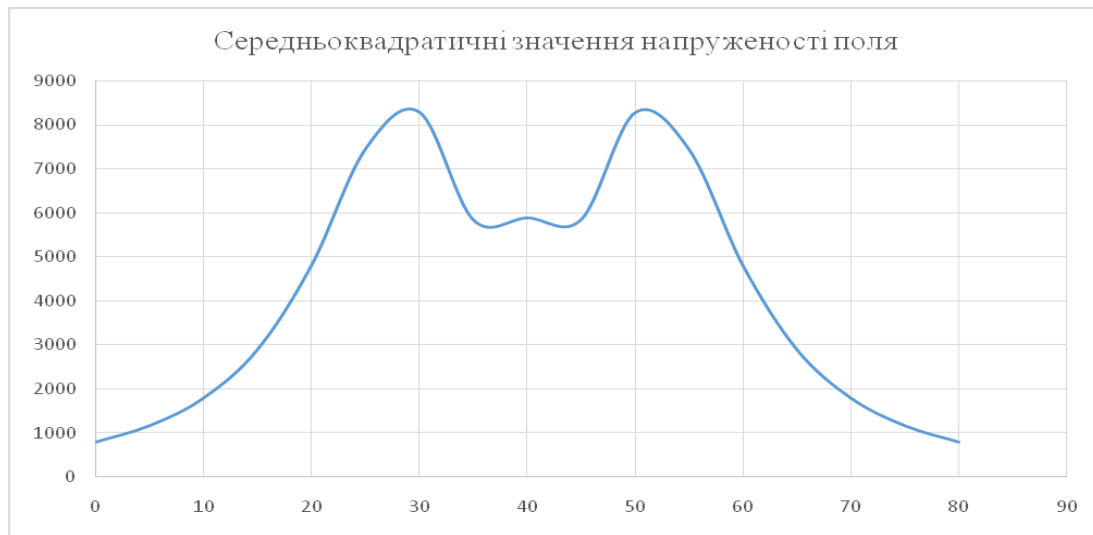


Рисунок 4 – Середньоквадратичні значення напруженості поля у санітарно-захисній зоні ПЛ 500 кВ

Висновки. За допомогою методу еквівалентних зарядів (у редакції О.С. Ільєнка) без використання формул ємностей струмопроводів одержані контрольні значення напруженостей електричного поля ПЛ 500 кВ, які співпадають з відомими опублікованими даними, одержаними з урахуванням ємностей струмопроводів.

Застосований в даній роботі підхід до розрахунку електричних полів повітряних ліній електропередач не потребує використання формул ємностей струмопроводів, які відомі в літературі для обмеженого кола випадків, і тому є більш універсальним.

Показано еліптичний характер годографів зміни векторів напруженостей електричного поля повітряних ліній, що викликає необхідність подальших досліджень їх дії на біологічні об'єкти, а також специфічного впливу на технічні прилади.

Перелік посилань

1. Бржезицький В. О., Сулейманов В. М., Троценко Є. О., Хомініч В. І., Кулакевич А. Г. Експериментальне дослідження електричного поля повітряної лінії електропередавання змінного струму класу 330 кВ // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2016. – № 2 (44). – С. 7-12.
2. Ільєнко, О.С. Розрахунки електростатичних полів на персональному комп'ютері: навч. посібник / Ільєнко, О.С., Шеховцов, В.І. // К.:УМК ВО, 1991. – 124 с.
3. Сокол Е.И. Методика комплексного автоматизированого моніторинга об'єктів енергетической системы Украины с целью повышения безопасности её функционирования: / Сокол Е.И., Резинкина М.М., Гриб О.Г., Васильченко В.И., Зуев А.А., Бортников А.В., Сосина Е.В.// *Електротехніка та електромеханіка*, №2, - , ст.. 65-70.
4. ДСН 198 Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт в невимкнених електроустановках напругою до 750 кВ включно. 09.07.1997р.
5. Anamarija Juhas, Miodrag Milutinov, Neda Pekarić-Nadž. Primena Monte Carlo metode za procenu merne nesigurnosti proračuna električnog i magnetskog polja nadzemnih i podzemnih vodova.[Електронний ресурс]. – Режим доступа: URL:http://deet.ftn.uns.ac.rs/files/tehres/TR_2012_Juhas_Milutinov_Pekaric.pdf