УДК 621.315

УТОЧНЕННЯ ЗОНИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЗМІННОГО СТРУМУ

Черкашина В. В.[1], Халиль Фауаз Хамада[2]

[1]Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
[2]Сирія

Запропоновано та апробовано на прикладі повітряних ліній 330 кВ удосконалену методику розрахунку зони електромагнітного впливу створеного повітряними лініями змінного струму, що враховує їх габарити та конструктивне виконання.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день транспортування потужності повітряними лініями (ПЛ) залишається найдешевшим способом передачі та розподілу електричної енергії, а при виконанні міжсистемних зв'язків практично єдиним. Тому, принципово важливо визначити виконання об'єкту, оскільки від цього залежать як технічні харктеристики так і економічні показники. Враховуючи наявність ринкових відносин процес техніко-економічного обгрунтування ПЛ стає складніший не лише в методичному відношенні, а і в дотриманні регламентних вимог. Замовники все частіше висувають підвищені вимоги до розмірів інвестицій, технічних показників проекту, до екологічної безпеки об'єкту та прилеглих територій, надійності і якості електричної енергії, яка транспортується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність розгляду питань екологічної безпеки об'єкту та прилеглих територій в усьому світі викликана не тільки необхідністю об'єктивної оцінки реальної небезпеки для навколишнього середовища, а і економічними міркуваннями, тому що дотримання санітарних норм та забезпечення розмірів санітарно-захисної зони для ПЛ пов'язане зі значними витратами на відведення територій під електромережевий об'єкт. Загальна площа територій, по якій проходять ПЛ напругою 35 - 800 кВ в Україні складає 21179,55 км^2 [1].

Ринкові відносини в Україні обумовлюють платне користування землею. Ця плата проводиться у вигляді щорічного податку на землю [2, 3]. Ставка податку залежить від якості використовуваних земель, що є стимулом для розміщення електромережевих об'єктів на малоцінних землях. Податок також стимулює розробку нових технічних рішень для проектування ПЛ, що будуть займати менше земельних територій для проходження ПЛ.

До останнього часу основна увага при проектуванні і експлуатації ПЛ приділялося рівню напруженості електричного поля (ЕП) по їх трасам. Міжнародне визнання негативного впливу ЕП ПЛ зажадало регламентації умов перебування в ньому, насамперед, для населення, що регулярно перебуває під впливом ЕП. Основним принципом захисту населення від негативного впливу ЕП є встановлення санітарно-захисних зон для ПЛ, які визначаються за критерієм напруженості ЕП - 1 кВ/м [4].

З урахуванням довжини, траси ПЛ, згідно [4], займають істотні по площі території санітарно-захисної зони. Це пов'язане з тим, що в цей час в Україні для передачі потужностей на далекі відстані використовуються ПЛ 330 - 750 кВ традиційного виконання з горизонтальним розташуванням проводів фаз і металевих конструкцій у вікні опори. Така конструкція ПЛ має значені між фазові відстані і, отже, значні площі, як відчужуваної землі під траси ПЛ, так і санітарно-захисної зони. В енергосистемах Росії і Молдови, що межують з енергосистемами України, успішно експлуатуються компактні ПЛ (КПЛ) і керовані самокомпенсуючі ПЛ (КСПЛ) [5, 6]. Беручи до уваги досвід паралельно працюючих енергосистем при виборі пріоритетного напрямку проектування ПЛ доцільно виконувати порівняльний аналіз цих ПЛ з традиційними ПЛ, які масово використовуються в енергосистемах України [7 - 9].

Мета статті. Пропонується удосконалити методику розрахунку зони електромагнітного впливу повітряних ліній змінного струму, що дозволить урахувати розміри і вартість території для повітряних ліній різного конструктивного виконання при виборі пріоритетного напрямку проектування електроенергетичного об'єкту.

Основні матеріали дослідження. Територія проходження ПЛ включає трасу лінії, яка визначається конструкцією ПЛ, і прилеглу територію, площа якої складає в перпендикулярному напрямку від проекції крайнього проводу на землю необхідну відстань для виконання робіт по обслуговуванню ПЛ за умов дотримання правил безпеки [4]. Одним із чинників нормування безпечного перебування поблизу ПЛ в Україні являється напруженість ЕП ПЛ. Тому в умовах ринкових відносин при виборі пріоритетного напрямку проектування ПЛ доцільно враховувати величину напруженості ЕП ПЛ, яка являється одним із чинників при аналізі об'єкту в частині розрахунку території, що відводиться під ПЛ. Для цього був удосконалений діючий метод розрахунку напруженості ЕП ПЛ таким чином, що, враховуючи габарит об'єкту, можливо відстежити зміну електромагнітної обстановки не тільки по трасі ПЛ, а і на відстані від неї, що дозволяє уточнити зону електромагнітного впливу ПЛ на навколишнє середовище при розрахунку території під традиційні ПЛ, КПЛ і КСПЛ [9].

Для визначення напруженості ЕП відносно землі використовувались рівняння Максвелла для системи "проводи - троси - земля":

$$\dot{U}_{ij} = \sum_{n=1}^{n} \alpha_{ij} \cdot q_{ij} , \qquad (1)$$

де $\dot{U}_{ij}$ – фазні напруги проводів ПЛ;

α_{ij} – потенційні коефіцієнти;

q_{ij}, – заряди проводів на одиницю довжини.

При цьому слід зауважити, що вдосконалюючи метод для визначення зони електромагнітного впливу ПЛ, розрахунок заряду на проводах не проводився, а система рівнянь Максвелла для визначення зарядів на проводах використовувалась для формування ємнісних коефіцієнтів (β), які враховуються при розрахунку потенціалу ($\dot{U}$) в точці дії ЕП ПЛ. Потенціал $\dot{U}$ розраховано по формулі:

$$\dot{U} = U\{\sum[\beta_{ij} - 0{,}5(\beta_{ij} + \beta_{ij})\alpha_{jA}] + \\ + \sum j0{,}86[(\beta_{ij} - \beta_{ij})\alpha_{jA}]\} \quad (2)$$

з урахуванням вектора повороту і симетричності трифазної системи напруг.

Змінюючи координати (Δh) точки в зоні дії ЕП ПЛ визначено потенціал $\dot{U}'$ аналогічно (2). Потім з (2) виділяється активна і реактивна складові для визначенням модуля потенціала $\dot{U}$ і $\dot{U}'$.

Напруженість ЕП ПЛ в точці дії ЕП ПЛ визначалася за виразом:

$$E = \frac{U - U'}{\Delta h}. \quad (3)$$

Отримане значення E відповідає середньому значенню напруженості ЕП ПЛ. Розрахунок зони електромагнітного впливу ПЛ різного конструктивного виконання проводено у відповідності з формулами (1-3).

Таблиця 1– Результати розрахунку дволанцюгової традиційної ПЛ 330 кВ

Габарит H, м	Відстань $L_З$, м	E, кВ/м
8	18	0,974
10	20	0,957
12	22	0,982
14	24	0,996
16	26	0,991
20	30	0,960

Таблиця 2 – Результати розрахунку КПЛ 330 кВ

Габарит H, м	Відстань $L_З$, м	E, кВ/м
8	18	0,974
10	20	0,992
12	22	0,998
14	24	0,996
16	26	0,991
20	28	0,999

Як показують пропонуємі розрахунки, величина напруженості ЕП ПЛ змінюється в залежності від габариту лінії (табл.1-3).

Таблиця 3 – Результати розрахунку КСПЛ 330 кВ

Габарит H, м	Відстань $L_З$, м	E, кВ/м
8	14	0,914
10	16	0,846
12	16	0,957
14	18	0,864
16	18	0,927
20	18	0,984

Посилаючись на результати розрахунків (табл. 1-3) та [10] ширина території ($Ш_т$) необхідної для ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони складає

$$Ш_т = (2D + a) + 2\,L_З\,, \quad (10)$$

де D – відстань між центрами фаз ПЛ, м;

a – відстань між проводами в фазі, см;

$L_З = f(H)$- відстань від проекції на землю крайнього проводу фази до межі зони, в якій напруженість ЕП відповідає нормуємому значенню, в напрямку перпендикулярному до ПЛ (табл. 1-3), м.

Ширину території для прольоту ПЛ різного конструктивного виконання з урахуванням санітарно-захисної зони пропонується в табл. 4-6.

Таблиця 4 - Ширина території ($Ш_т$) для прольоту дволанцюгової традиційної ПЛ 330 кВ з урахуванням санітарно-захисної зони

Габарит H, м	$Ш_т$, на якій $E \geq$ 1кВ/м, м
8	54
10	58
12	62
14	66
16	70
20	78

Таблиця 5 – Ширина території для прольоту дволанцюгової КПЛ 330 кВ з урахуванням санітарно-захисної зони

Габарит H, м	$Ш_т$, на якій $E \geq$ 1кВ/м, м
8	48
10	52
12	54
14	60
16	64
20	68

Так, як ПЛ є протяжним об'єктом, то при визначенні площі для відводу територій ($S_т$) під цей об'єкт необхідно враховувати його довжину [10]. Таким чином, $S_т$ з урахуванням санітарно-захисної зони складає:

$$S_т = ((2D + a) + 2\,L_З)L = Ш_т \cdot L, \quad (11)$$

де D – відстань між центрами фаз ПЛ, м;

a – відстань між проводами в фазі, см;

$L_З$ - відстань від проекції на землю крайнього проводу фази до межі зони, в якій напруженість ЕП дорівнює значенню, яке нормується, м;

L - довжина ПЛ змінного струму, км.

Таблиця 6 – Ширина території для прольоту КСПЛ 330 кВ з урахуванням санітарно-захисної зони

Габарит H, м	$Ш_т$, на якій $E \geq 1$кВ/м, м
8	40
10	46
12	44
14	48
16	48
20	48

Розрахунки, які виконано доводять, що напруженість ЕП ПЛ змінюється в залежності від габариту ПЛ, а це дозволяє при передпроектній більш точно визначити розміри санітарно-захисної зони. Таким чином, спираючись на отримані розрахунки, площа території під ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони складає:

$$S_т = ((2D + a) + 2\,L_з)L = Ш_т \cdot L, \qquad (12)$$

де D – відстань між центрами фаз ПЛ, м;

a – відстань між проводами в фазі, см;

$L_З = f(H)$- відстань від проекції на землю крайнього проводу фази до межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ дорівнює нормуємому значенню (табл.1 - 3); $Ш_т$ - ширина території необхідної для ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони (табл. 4-6), м;

L - довжина ПЛ змінного струму, км, яка складається з суми довжин зони з відповідним значенням напруженості ЕП ПЛ і визначається як

$$L = \sum_0^n l_i\,, \qquad (13)$$

де l_i - довжина зони з відповідним значенням напруженості ЕП ПЛ, м.

Відповідно до розрахунків (12) площа території під ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони має еквіпотенціальну форму. На рис. 1 представлено конфігурацію території з урахуванням санітарно-захисної зони для ПЛ змінного струму.

А так як, на сьогоднішній день, в нормативній документації ширина санітарно-захисних зон умовно відкреслюється прямими лініями [5], то згідно з (12) площа території необхідної для одного прольоту ПЛ 330 кВ (рис. 1 (1)) довжиною 350 м буде складати 20475 м^2.

Площа території з урахуванням санітарно-захисної зони для одного прольоту ПЛ (рис. 1 (2)) визначається у відповідності з методикою розрахунку еквіпотенціальної поверхні [11, 12] і складає:

$$S = \int_0^a f(\alpha x^2 + bx + \gamma)dx\,, \qquad (14)$$

де a – довжина прольоту ПЛ, м;

α, b, γ – точки на еквіпотенціальній поверхні, визначаються як

$$\begin{aligned} d'_\alpha &= 2(\alpha\frac{a^2}{4} + b\frac{a}{2} + \gamma - y_2)\cdot\frac{a^2}{4} + 2(\alpha a^2 + ba + \gamma)a^2; \\ d'_b &= 2(\alpha\frac{a^2}{4} + b\frac{a}{2} + \gamma - y_2)\cdot\frac{a}{2} + 2(\alpha a^2 + ba + \gamma)a; \\ d'_\gamma &= 2\gamma + 2(\alpha\frac{a^2}{4} + b\frac{a}{2} + \gamma - y_2) + 2(\alpha a^2 + ba + \gamma) \end{aligned} \qquad (15)$$

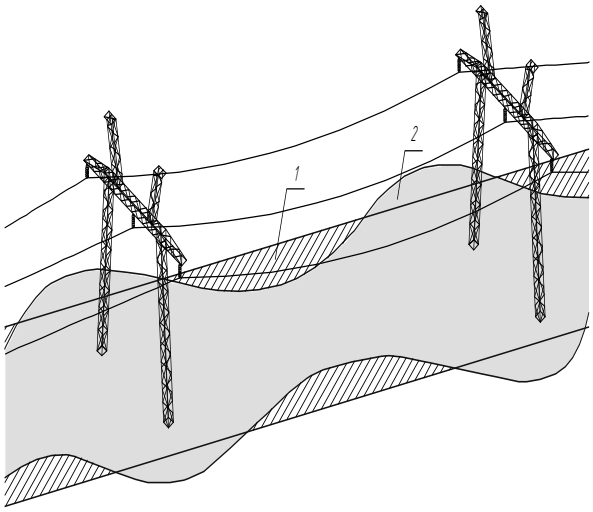

Рисунок 1 – Конфігурація території з урахуванням санітарно-захисної зони для ПЛ
1 – нормуєма територія для ПЛ з урахуванням с-з зони
2 – розрахована територія для ПЛ з урахуванням с-з зони

Результати розрахунків $S_т$ по (ф. 14 - 15) для одного прольоту ПЛ різного конструктивного виконання з урахуванням санітарно-захисної зони представлені в таблиці 7.

Таблиця 7 - Площа території для прольоту ПЛ 330 кВ різного конструктивного виконання з урахуванням санітарно-захисної

Конструкція і клас напруги ПЛ	Довжина прольоту ПЛ, м	$S_т$ прольоту ПЛ, м^2
Традиційна дволанцюгова ПЛ 330 кВ	350	19990
Дволанцюгова КПЛ 330 кВ	350	17730
КСПЛ 330 кВ	350	11820

Представлені розрахунки науково обгрунтовують необхідні розміри території під ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони.

Визначення вартості цієї території дозволить урахувати територію для ПЛ при виборі пріоритетного напрямку проектування ПЛ.

Відповідно до [2, 3] середня вартість земльної ділянки для прольоту ПЛ 330 кВ становить 26250 грн/м^2.

Використовуючи розрахунки (табл. 7) вартість території для прольоту ПЛ різного конструктивного

виконання з урахуванням санітарно-захисної зони представляється в таблиці 8.

Таблиця 8 – Вартість території необхідної для прольоту ПЛ 330 кВ різного конструктивного з урахуванням санітарно-захисної зони

Конструкція і клас напруги ПЛ	Довжина прольоту ПЛ, м	Вартість прольоту ПЛ, грн/м^2
Традиційна дволанцюгова ПЛ 330 кВ	350	25620
Дволанцюгова КПЛ 330 кВ	350	22730
КСПЛ 330 кВ	350	15150

Як видно з табл.7, 8 при виборі пріоритетного напрямку проектування ПЛ розміри і вартість території можуть мати одне з вирішальних значень.

Представлені розрахунки зони електромагнітного впливу дозволяють врахувати конструкцію та габарит ПЛ і більш точно визначити ширину санітарно-захисної зони та відстань на якій напруженість ЕП створеного ПЛ відповідає нормативним документам .

Висновок

Запропоновано та апробовано удосконалену методику розрахунку зони електромагнітного впливу повітряних ліній змінного струму на прикладі повітряних ліній 330 кВ різного конструктивного виконання, що дозволяє урахувати розміри і вартість території при виборі пріоритетного напрямку проектування електроенергетичного об'єкту.

Список використаних джерел

1. Ватагин М. Ю. ОЭС Украины 2007 / М. Ю. Ватагин, А. Г. Баталов, Ю. Н Бондаренко // Енергетика та електрофікація. – 2008.– №6 – С.3–12.
2. Офіційний сайт Держкомітету по земельним ресурсам, http://dkzr.gov.ua/.
3. Державний комітет статистики України. Индексы инфляции нарастающим итогом с января 1998 года. // Ценообразование в строительстве. – 2008. – №12 – С. 160.
4. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань зареєстровані Мінюстом України 29 серпня 1996 р. за № 488/1513.
5. Александров Г. Н. Перспективные технологии передачи электрической энергии. / Г.Н. Александров // Научно-технические ведомости СПБГТУ. – 2006.– № 2.– С.17 – 25.
6. Постолатий В. М. Управляемые электропередачи / В. М. Постолатий, Е. В. Быкова // Труды института энергетики АН Молдовы – 2007 – № 8 (23) – 234 с.
7. Бондаренко В. Е. Анализ состояния и перспективы повышения эффективности передачи электроэнергии воздушными линиями переменного тока в Украине / В. Е. Бондаренко, И. В. Барбашов, Е. Н. Линник, Н. М. Черемисин, В. В. Черкашина // Технічна електродинаміка – 2009.– №5.– С. 37 – 44.
8. Черемисин Н. М. Применение управляемых самокомпенсирующихся воздушных линий для эффективного транспорта электрической энергии / Н. М. Черемисин, В. Е. Бондаренко, В. В. Черкашина // VI Międzynarodowe seminarium polsko-ukraińskie. Problemy elektroenergetyki.– Польша. Łodź. – 2010. – С. 273 –280.
9. Бондаренко В. Е. Совершенствование методики оценки приоритетных решений при проектировании воздушных линий в современных условиях. / В. Е. Бондаренко, Б. М. Ильченко, Н. М. Черемисин, В. В. Черкашина // Енергетика та електрифікація.– 2009.– №1.– С.3 – 9
10. Чехов В. И. Экологические аспекты передачи электроэнергии. Учебное пособие. / В. И. Чехов, Г. К. Зарудский. – М.: МЭИ, 1991.– 44 с.
11. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. / М. Я. Выгодский. – М.: Наука, 2006. – 991с.
12. Евменов В. В. Справочник по физике. / В. В. Евменов, Н. И. Лазаренко. – Мозырь: Белый Ветер, 2006. – 136 с.

Аннотация

УТОЧНЕНИЕ ЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Черкашина В. В., Халиль Фауз Хамада

Предложена и апробирована на примере воздушных линий 330 кВ усовершенствованная методика расчета зоны электромагнитного влияния созданного воздушными линиями переменного тока, которая учитывает их габариты и конструктивное исполнение.

Abstract

CLARIFICATION OF THE ELECTROMAGNETIC AFFECTED ZONE OF AIR-TRACKS OF ALTERNATING CURRENT

V. Cherkashina, Kh. F. Hamada

Offered and approved on the example of air-tracks 330 кВ the improved methodology of calculation of the electromagnetic affected zone created by the air-tracks of alternating current, that takes into account their sizes and structural execution