

УДК 538.69.331.45

Л.О. Левченко<sup>1</sup>, О.В. Ходаковський<sup>2</sup>, В.П. Колумбет<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ<sup>2</sup> Херсонська державна морська академія, Херсон

## ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЇХ ВПЛИВУ НА ЛЮДЕЙ І ДОВКІЛЛЯ

У роботі розглянуто практичне застосування моделювання просторових розподілів електромагнітних полів найбільш поширених джерел. Встановлено засоби і заходи зниження впливу електромагнітних полів на людей і довкілля, розроблення і впровадження яких можливе тільки за рахунок моделювання, що значно пришвидшує впроваджувальні роботи та знижує їх вартість.

**Ключові слова:** моделювання, рівні електромагнітних полів, розосереджені і локальні джерела, лінії електропередачі, прогнозування електромагнітної обстановки.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Зростання розгалуження повітряних та підземних ліній електромереж, кількості та потужності пристроїв перерозподілу і споживання електроенергії має наслідком підвищення електромагнітного навантаження як у будівлях і спорудах, так і на окремих територіях. Визначення фактичних рівнів електромагнітних полів у критичних точках зазвичай здійснюється інструментальними методами. Але у багатьох випадках це потребує виконання великих обсягів робіт, особливо за змінного навантаження на електричні мережі та пристрої. Крім того, важливим напрямом робіт з електромагнітної безпеки є прогнозування електромагнітної обстановки за різних електричних навантажень існуючих систем та на стадії їх проектування. Це можливо виключно за рахунок моделювання поширення та просторово-часових змін рівнів електромагнітних полів за тих чи інших умов.

Але само по собі моделювання або констатує факт реальної електромагнітної обстановки, або з деякою точністю показує очікувану електромагнітну обстановку та її динаміку. При цьому прикладна складова таких досліджень, яка являє собою визначення умов, переліку і вмісту заходів зі зниження впливу електромагнітних полів на людей і довкілля, залишається майже поза увагою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Так, у ґрунтовній роботі [1] наведено просторові розподіли електричного та магнітного полів промислової частоти уздовж повітряних ліній електропередачі, при цьому констатується факт перевищення гранично допустимих рівнів електромагнітних полів за межами санітарно-захисних зон.

У дослідженнях [2, 3] показано різні поширення магнітних полів за різного розташування фазних дротів у повітряних лініях електропередачі,

що може бути використано для потреб електромагнітної екології за певної систематизації усіх наявних результатів.

У попередній роботі [4] було змодельоване поширення та зміни магнітного поля навколо потужних локальних джерел, що надало змогу визначити шляхи безпечного пересування людей, а у роботі [5] змодельовані рівні магнітних полів за наявності багатьох джерел, що є основою до оптимізації розміщення обладнання з точки зору електромагнітної безпеки. Ці напрями є перспективними і потребують розвитку.

У дослідженні [6] показано перерозподіл електромагнітного поля за різних орієнтацій металевих поверхонь поблизу повітряних ліній електропередач, а у роботі [7] представлена ефективність часткової екранізації магнітної складової спеціальним пристроєм.

Але усі ці напрацювання мають фрагментований характер і розглядають окремі випадки, не надаючи загальних принципів використання розрахункових методів для потреб електромагнітної безпеки та електромагнітної екології.

*Метою статті* є надання загальних науково обґрунтованих рекомендацій щодо використання моделювання просторових розподілів електромагнітних полів навколо розосереджених і локальних джерел для зниження електромагнітного навантаження на людей і довкілля.

### Виклад основного матеріалу

Принциповим питанням щодо визначення впливу джерел електромагнітних полів на людей і довкілля є виявлення розумного співвідношення розрахункових та експериментальних робіт у цьому напрямі. Так, рівні електричної складової електромагнітного поля повітряних ліній електропередачі визначаються виключно робочою напругою лінії і є практично постійною величиною. Цей па-

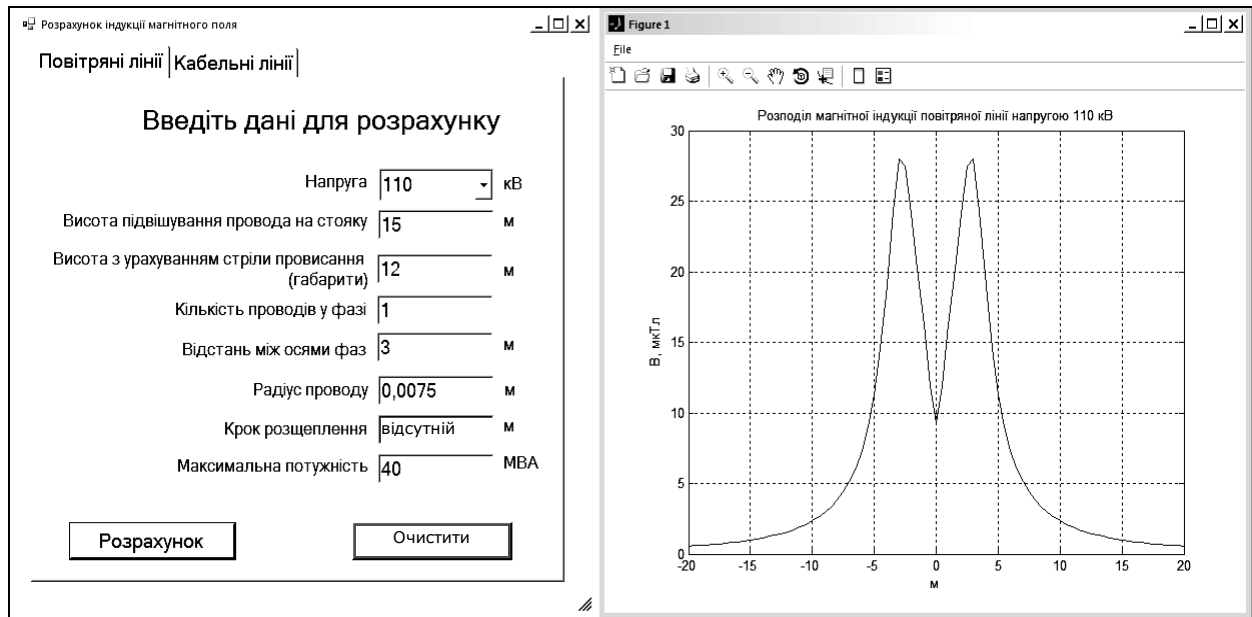
раметр нормується і може бути розрахований, виходячи з проектних даних, що нами показано у роботі [8]. Контрольні вимірювання є доцільними для визначення впливу конструктивних особливостей будівель і споруд на напруженість електромагнітного поля.

Щодо магнітного поля промислової частоти, то його напруженість залежить від значення електричного струму у даний момент, тому експериментальні дослідження її фактичного рівня недоцільні через змінність навантаження, яке ніколи не відомо у режимі реального часу. У цьому випадку доціль-

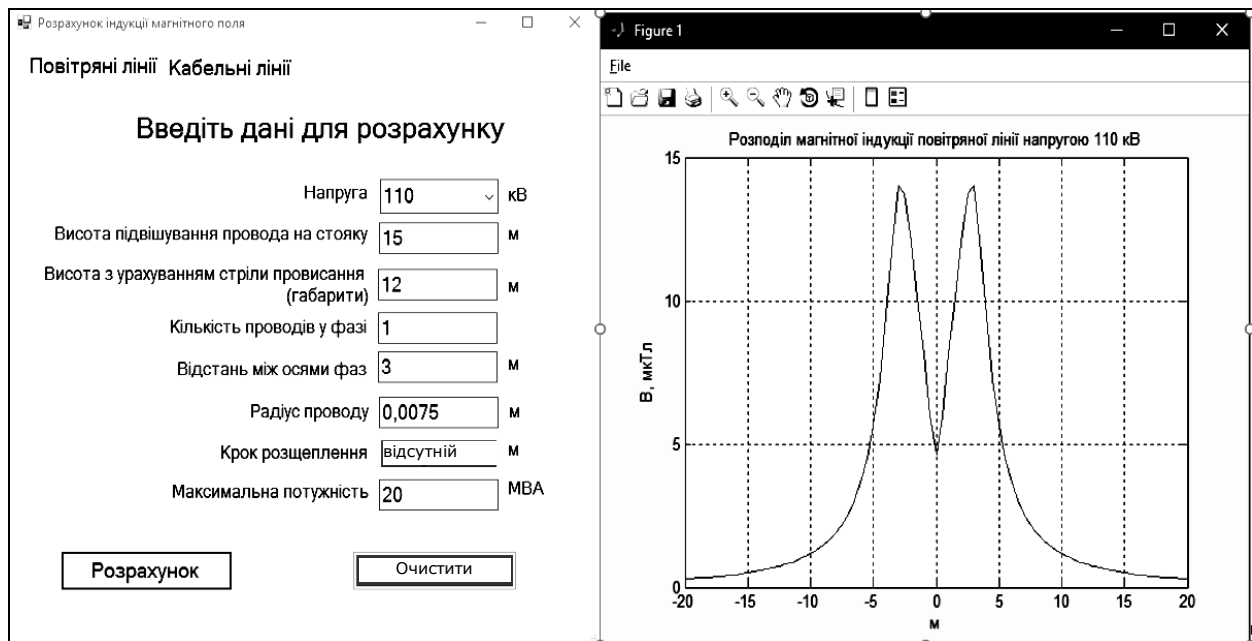
не моделювання просторового розподілу магнітного поля за номінального і максимального навантаження.

Порівнявши отримані дані з зоною впливу такого поля, можна визначити заходи щодо зниження напруженості поля у потрібних місцях.

Так, прорахувавши максимальний електричний струм у повітряній лінії, який генерує магнітне поле, яке не складає небезпеки для людей згідно чинних нормативів, можна обмежити цей струм за рахунок диспетчеризації потоків електроенергії (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Розрахунок магнітного поля повітряної лінії напругою 220 кВ за номінальним (а) і меншим електрострумом (б)

Отриманий результат свідчить, що знизивши значення електричного струму у лінії електропередачі, можна нормалізувати рівні магнітного поля за межами санітарно-захисної зони. Але такий спосіб не завжди є прийнятним. Це стосується випадків недостатньої розгалуженості силової електричної мережі та контактної мережі електричного транспорту, у якій знизити робочий електричний струм неможливо.

У цьому випадку зниження впливу магнітного поля реалізується у два етапи. На першому етапі моделюється поширення магнітного поля принаймні за середніх струмових навантажень (вони відомі) і визначаються критичні зони впливу, де потрібне зниження напруженості (індукції) поля. За результатами моделювання визначається розташування джерела зустрічного магнітного поля, яке компенсує поле первинного джерела.

Такий підхід ґрунтується на фундаментальних фізичних співвідношеннях і полягає у монтажі додаткового контура, паралельного лінії зі струмом, у якому циркулює індукований електричний струм протилежного напрямку. Відповідно спрямоване і його магнітне поле.

У цьому випадку розв'язується зворотна задача за необхідності зниження рівня магнітного поля, розраховується значення компенсуючого поля та електричний струм, який його генерує.

А значення цього струму однозначно визначається струмом у первинному джерелі та відстанями між джерелами.

Таким чином, на основі моделювання поширення магнітних полів можна точно визначити не тільки реальну електромагнітну обстановку, а й розрахувати ефективність засобів її нормалізації з їх однозначним позиціонуванням.

Наведене вище стосується магнітних джерел електромагнітних полів, які перебувають у експлуатації.

На стадіях проектування таких розосереджених мереж доцільне додаткове визначення їх конструктивних особливостей, які сприятимуть підвищенню електромагнітної безпеки. Як показано у [2, 3] зниження рівня магнітного поля повітряної лінії електропередачі можливе за рахунок зменшення відстаней між дротами окремих фаз та оптимізації геометрії підвісу дротів.

Останнє полягає у потрібній орієнтації фазних дротів та взаємного розташування дротів у одній фазі за її розщеплення. Рівні магнітних полів розраховуються для різних конфігурацій та обирається найбільш прийнятна та раціональна. Але при цьому виникає проблема.

Розрахунки електричних і магнітних полів регламентовані офіційною методикою [8], тому напруження останніх років щодо точних розрахун-

ків цих параметрів за різних конструктивних особливостей повітряних ліній повинні бути офіційно затверджені.

Окремого розгляду потребують електромагнітні поля локальних джерел.

Такими, що можуть складати значний вплив на людей та оточуюче середовище є електричні пристрої (наприклад, трансформатори) та потужні електричні машини. Щодо трансформаторів, то за їх окремого розташування на території за перевищення допустимих рівнів електромагнітних полів їх доцільно огородити. Для вбудованих трансформаторів сухого типу, передбачених чинними будівельними нормами для висотних будинків, це потребує визначити ефективність електромагнітних екранів, які для таких пристроїв є обов'язковими.

Наші дослідження [9] показали, що магнітні поля електричних машин, таких, як чотириполюсні турбогенератори, є несиметричними. Це дає змогу підвищити рівень електромагнітної безпеки, а саме: на основі моделювання просторового розподілу магнітного поля визначити місця безпечного перебування та пересування людей, а також з'ясувати потрібну орієнтацію машини (або полюсів машини), які забезпечують мінімально можливі рівні магнітних полів у потрібних зонах. Значною мірою це стосується і відкритих розподільчих пристроїв електричних мереж.

Отримані результати спрощують розроблення та впровадження організаційно-технічних заходів зі зниження впливу електромагнітних полів на людей і довкілля.

Крім того, здійснення попереднього моделювання мінімізує обсяги натурних вимірювань рівнів електричних і магнітних полів, а також витрати на увесь комплекс робіт з електромагнітної екології.

Наведене дозволяє сформульовані основні висновки та рекомендації.

## **Висновки**

1. Моделювання просторових розподілів електромагнітних полів доцільно здійснювати як для діючих джерел, так і для ліній електропередачі, локальних джерел на стадіях їх проектування. Це дозволяє визначити та впровадити найбільш раціональні заходи і засоби підвищення електромагнітної безпеки або внести їх у відповідну проектну документацію.

2. Необхідним є офіційне затвердження сучасних розрахункових методів з визначення поширення електромагнітних полів за різних конструктивних рішень щодо взаємного розташування фазних дротів та розщеплення фаз.

3. Використання моделювання поширення електромагнітних полів зменшує обсяги робіт зі

зниження їх впливу на людей і довкілля, скорочує час впровадження відповідних організаційно-технічних заходів та має значний економічний ефект.

### Список літератури

1. Довбыш В.Н. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем: Моногр. / [В.Н. Довбыш, М.Ю. Маслов, Ю.М. Сподобаев]. – Самара: ООО «ИПК «Содружество», 2009. – 198 с.
2. Магнитное поле линий электропередачи и методы его снижения до безопасного уровня / [В.Ю. Розов, С.Ю. Реуцкий, Д.Е. Пелевин, О.Ю.Пилюгина] // Технічна електродинаміка. – 2013. – № 2. – С. 3-8.
3. Пелевин Д.Е. Методы снижения магнитного поля воздушных линий электропередачи за пределами охранных зон / Д.Е. Пелевин // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 5. – С. 14 – 16.
4. Глива В.А. Моделирование просторовых распределений электромагнитных полей множественных джерел / В.А.Глива, Л.О. Левченко, С.А. Теренчук // Новітні комп'ютерні технології: VII міжнародна наук.-техн. конф., 14-17 вересня 2010 р.: матеріали. – Севастополь, 2010. – С.34-35.
5. Глива В.А. Моделирование просторовых распределений электромагнитных полей электротехнического оборудования / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Х.В. Паньків // Управління розвитком складних систем. Вип. 20. – 2014. – С. 174 – 179.
6. Графкина М.В. Экологический мониторинг и повышение электромагнитной безопасности урбанизированных территорий вблизи линий электропередачи / М.В. Графкина, Е.Ю. Свиридова // Государственное управление ресурсами. – Спецвыпуск. – 2013. – С. 149-185.

7. Патент Российской Федерации RU 2581619, МПК7: H02H3/00 B60M5/00 Устройство токовой защиты контактной сети постоянного тока / Кузнецов К.Б., Лесников Д.В. // Опубл. 20.04.2016.

8. Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередавання: СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008. – К.: Державне підприємство «Український науково-дослідний, проектно-вишукувальний та конструкторсько-технологічний інститут «Укрсіл'енергопроект»: Міністерство палива та енергетики України, 2008. – 34 с.

9. Глива В.А. Моделирование просторовых распределений электромагнитных полей электротехнического оборудования / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Х.В. Паньків // Управління розвитком складних систем. – 2014. – Вип. 20. – С. 174 – 179.

Надійшла до редколегії 23.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Запорожець, Національний авіаційний університет, Київ.

### ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЛЮДЕЙ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Л.А. Левченко, А.В. Ходаковский, В.П. Колумбет

В работе рассмотрено практическое применение моделирования пространственных распределений электромагнитных полей наиболее распространенных источников. Определены средства и меры снижения влияния электромагнитных полей на людей и окружающую среду, разработка и внедрение которых возможно только за счет моделирования, что значительно ускоряет внедренческие работы и снижает их стоимость.

**Ключевые слова:** моделирование, уровни электромагнитных полей, рассредоточенные и локальные источники, линии электропередачи, прогнозирование электромагнитной обстановки.

### APPLICATION OF MODELING PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS FOR DECREASE THEIR IMPACT ON PEOPLE AND THE ENVIRONMENT

L.O. Levchenko, O.V. Khodakovsky, V.P. Kolumbet

The paper considers the practical application of modeling the spatial distribution of the electromagnetic fields of the most common sources. Tools and measures were identified for reducing the impact of electromagnetic fields on humans and the environment, development and the introduction of which is possible only by modeling, which greatly accelerates the commissioning work and reduces their cost.

**Keywords:** modeling, the levels of electromagnetic fields, dispersed and local sources, power lines, prediction of the electromagnetic environment.