

УДК 621.3.013

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

В.Ю. Розов, чл.-корр. НАН Украины, **С.Ю. Реуцкий**, канд.техн.наук,
Д.Е. Пелевин, канд.техн.наук, **В.М. Яковенко**,
Научно-технический центр магнетизма технических объектов НАН Украины,
ул. Индустриальная, 19, Харьков, 61106, Украина.

На основе уравнений Био-Савара и Лапласа предложены математическая модель трехфазной линии электропередачи (ЛЭП) и инженерный метод расчета действующего значения индукции магнитного поля частотой 50 Гц. Приведены результаты экспериментальной проверки метода на трех действующих ЛЭП 330 кВ, которые подтвердили приемлемую для инженерных расчетов погрешность (менее 10%) при удалении более чем на 10 м от оси ЛЭП. Показано, что индукция магнитного поля на границе охранной зоны ЛЭП (38 м) при номинальном токе (2 кА) составляет 3,7 мкТл и спадает до безопасного уровня (0,5 мкТл) на расстоянии более 100 м, что ставит вопрос о формировании размеров санитарно-защитных зон ЛЭП с учетом не только электрического, а и магнитного поля. Библ. 9, рис. 3.

Ключевые слова: линия электропередачи, магнитное поле, математическая модель, метод расчета, экспериментальные исследования.

Введение. Проведенные в конце 20-го века в США и Швеции массовые медико-статистические исследования населения, проживающего вблизи линий электропередачи (ЛЭП), выявили канцерогенные свойства магнитного поля промышленной частоты. С этих пор магнитное поле считается более опасным для здоровья, чем электрическое поле ЛЭП, так как даже при его слабом действии повышается вероятность возникновения онкологических заболеваний и генетических мутаций [7, 8]. Всемирной организацией охраны здоровья рекомендован безопасный уровень индукции магнитного поля 50(60) Гц, который составляет 0,25 мкТл. Он принят в качестве санитарной нормы в Швеции [9]. Жесткие санитарные нормы по магнитному полю промышленной частоты уже действуют и в других странах мира, в том числе, в России [3].

В Украине в настоящее время завершается разработка новой редакции государственных санитарных правил и норм защиты населения от действия электромагнитного излучения, где введен предельно допустимый уровень (ПДУ) индукции магнитного поля частотой 50 Гц, составляющий 0,5 мкТл для жилых помещений и 10 мкТл для жилой застройки. Указанные ПДУ уже действуют в Украине как временные, так как приняты в ряде отраслевых документов [4].

Однако магнитное поле, создаваемое высоковольтными ЛЭП, исследовано недостаточно. Особенно это касается магнитного поля на границе охранных и санитарно-защитных зон ЛЭП, которые уже сформированы, исходя из условий безопасности по электрическому полю без учета современных требований к ПДУ магнитного поля. Поэтому в свете предстоящего внедрения в Украине новых санитарных норм по магнитному полю актуальной является задача исследования высоковольтных ЛЭП переменного тока как одного из основных источников, создающих магнитное поле в зонах длительного пребывания населения – в жилых помещениях и жилых застройках.

Математическая модель. В общем случае магнитное и электрическое поля связаны в единый комплекс – электромагнитное поле и для их определения необходимо решать систему уравнений Максвелла. Однако при частоте тока ЛЭП 50 Гц, когда выполняются условия квазистационарности электромагнитного поля, электрическое и магнитное поля могут исследоваться независимо друг от друга. В частности, напряженность магнитного поля $d\mathbf{H}(t)$, вызванная током $i(t)$, протекающим по линейному отрезку проводника $d\mathbf{l}$, определяется законом Био-Савара [1,4]

$$d\mathbf{H}(t) = \frac{i(t)}{4\pi R^3} (d\mathbf{l} \times \mathbf{R}). \quad (1)$$

Здесь вектор \mathbf{R} направлен от элементарного отрезка $d\mathbf{l}$ с током $i(t)$ к точке наблюдения $P(x, y, z)$. Тогда вектор напряженности магнитного поля от тока, протекающего по линии L , равен

$$\mathbf{H}_0(P, t) = \frac{i(t)}{4\pi} \int_L \frac{d\mathbf{l} \times \mathbf{R}}{R^3}. \quad (2)$$

Рассмотрим магнитное поле, создаваемое трехфазной ЛЭП при отсутствии пассивных проводников, расположенных в непосредственной близости от ее токонесущих проводов. При этом токи i в фазах A, B, C ЛЭП

$$i_A(t) = I_{m,A} \sin \omega t, \quad i_B(t) = I_{m,B} \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right), \quad i_C(t) = I_{m,C} \sin \left(\omega t + \frac{4\pi}{3} \right), \quad (3)$$

где I_m – амплитудное значение тока соответствующей фазы.

С учетом (3) результирующий вектор напряженности магнитного поля в точке наблюдения P можно записать в виде суммы напряженностей, вызванных током каждой фазы,

$$\mathbf{H}(P) = \mathbf{H}_A(P) \sin(\omega t) + \mathbf{H}_B(P) \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) + \mathbf{H}_C(P) \sin \left(\omega t + \frac{4\pi}{3} \right), \quad (4)$$

или

$$\mathbf{H}(P, t) = \left(\mathbf{H}_A(P) - \frac{1}{2} \mathbf{H}_B(P) - \frac{1}{2} \mathbf{H}_C(P) \right) \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} (\mathbf{H}_B(P) - \mathbf{H}_C(P)) \cos \omega t. \quad (5)$$

Здесь векторы $\mathbf{H}_A, \mathbf{H}_B, \mathbf{H}_C$ – функции пространственных координат точки наблюдения $P(x, y, z)$.

Выражения, аналогичные (5), справедливы для каждой пространственной компоненты вектора напряженности. Например, для x компоненты можно записать

$$H_x(P, t) = \left(H_{A,x}(P) - \frac{1}{2} H_{B,x}(P) - \frac{1}{2} H_{C,x}(P) \right) \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2} (H_{C,x}(P) - H_{B,x}(P)) \cos(\omega t). \quad (6)$$

Усредняя скалярную функцию $H_x(P, t)$ по времени за период $T = 2\pi/\omega$ и переходя к индукции $B = \mu_0 H$, получим действующее значение индукции магнитного поля

$$\tilde{B}_x(P) = \sqrt{\frac{1}{2} [B_{A,x}^2 + B_{B,x}^2 + B_{C,x}^2 - B_{A,x}B_{B,x} - B_{A,x}B_{C,x} - B_{B,x}B_{C,x}]}. \quad (7)$$

Введенная функция $\tilde{B}_x(P)$ и аналогичные ей действующие значения $\tilde{B}_y(P), \tilde{B}_z(P)$ могут непосредственно использоваться для обработки данных измерений, поскольку соответствующие им значения индукции магнитного поля фиксируются датчиком магнитного поля, помещенным в точку с координатами P и ориентированным в направлении координатных осей x, y, z соответственно.

Следует отметить, что операция усреднения для определения действующего значения индукции магнитного поля должна выполняться в соответствии с (3)–(7) применительно к каждой пространственной компоненте вектора напряженности (индукции) магнитного поля. Применение операции усреднения к модулю вектора напряженности (индукции) магнитного поля, как это выполнено, например, в [2, 6], является некорректным и приводит к ошибочному конечному результату.

Соотношения (1), (2), (6), (7) представляют собой математическую модель магнитного поля ЛЭП, применимую при любом количестве ее токонесущих проводов. Предложенная модель включает только измеряемые величины, что упрощает ее практическое использование.

Метод расчета индукции магнитного поля. На основе предложенной выше математической модели магнитного поля ЛЭП может быть создан метод расчета действующего значения индукции магнитного поля, определяющего биотропное воздействие магнитного поля на людей [3]. При этом принимаем следующие предположения, существенно упрощающие последующий анализ и позволяющие ограничить погрешность на допустимом для инженерных расчетов уровне.

1). Провода ЛЭП имеют форму бесконечных линейных параллельных друг другу проводников с равномерно распределенным током.

2). Расщепление проводов фаз учитывается только при удалении расщепленных проводов друг от друга на расстояние, существенно превышающее их диаметр.

3). Процессы перераспределения тока внутри поперечного сечения проводов не рассматриваются.

4). Токи в проводах строго гармоничны, равны по амплитуде и в разных фазах сдвинуты на 120 эл. градусов.

5). Магнитное поле системы токов ЛЭП имеет две пространственные компоненты

$$H(x, y) = H_x(x, y)e_x + H_y(x, y)e_y,$$

где y – вертикальная, а x – горизонтальная компонента, перпендикулярная проводам ЛЭП.

Указанные предположения приняты с учетом следующих обстоятельств. Исследование магнитного поля выполняется вблизи границы защитной зоны ЛЭП, где пассивные проводники тока отсутствуют, в также вблизи точки максимального провеса проводов ЛЭП, где они практически параллельны поверхности Земли. Поле в этой зоне может быть принято плоскопараллельным [4] с двумя ненулевыми компонентами вектора индукции в направлении осей x, y . Горизонтальной компонентой H_z в зоне измерения, направленной параллельно проводам ЛЭП, можно пренебречь, что подтверждено экспериментально.

В принятых условиях квазистационарности магнитное поле линейного тока величиной i , проходящего через точку с координатами (x_0, y_0) , может быть определено через скалярный магнитный потенциал [1]

$$U_m(x, y, t) = -\frac{i}{2\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{y - y_0}{x - x_0} \right) \quad (8)$$

и, следовательно, вектор индукции имеет компоненты

$$B_x(x, y, t) = -\mu_0 \frac{\partial U_m}{\partial x} = -\frac{\mu_0 i}{2\pi} \frac{y - y_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \quad (9)$$

$$B_y(x, y, t) = -\mu_0 \frac{\partial U_m}{\partial y} = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \frac{x - x_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}. \quad (10)$$

Тогда для усредненных компонент вектора индукции с учетом выполнения соотношения (4) для токов ЛЭП получаем выражения, аналогичные (7),

$$\tilde{B}_x(x, y) = \sqrt{\frac{1}{2} [B_{A,x}^2 + B_{B,x}^2 + B_{C,x}^2 - B_{A,x}B_{B,x} - B_{A,x}B_{C,x} - B_{B,x}B_{C,x}]}, \quad (11)$$

$$\tilde{B}_y(x, y) = \sqrt{\frac{1}{2} [B_{A,y}^2 + B_{B,y}^2 + B_{C,y}^2 - B_{A,y}B_{B,y} - B_{A,y}B_{C,y} - B_{B,y}B_{C,y}]}, \quad (12)$$

где, в отличие от (7), можно записать в явном виде

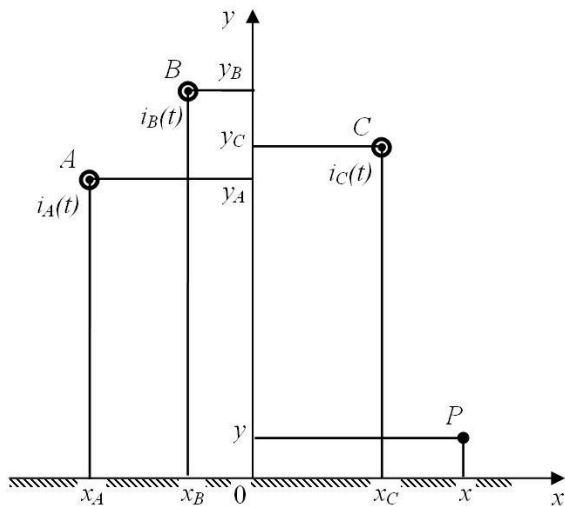


Рис. 1

$$B_{A,x}(x, y) = -\frac{\mu_0 I_{m,A}}{2\pi} \frac{y - y_A}{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2}, \quad (13)$$

$$B_{A,y}(x, y) = \frac{\mu_0 I_{m,A}}{2\pi} \frac{x - x_A}{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2}. \quad (14)$$

Здесь $I_{m,A}$ – амплитудное значение тока $i_A(t) = I_{m,A} \sin(\omega t)$ фазы A ; (x_A, y_A) – координаты линейного тока фазы A в плоскости, перпендикулярной направлению проводов. Аналогичные выражения записываются и для фаз B и C , заменяя (x_A, y_A) на (x_B, y_B) и (x_C, y_C) соответственно. Расчетная схема расположения проводов ЛЭП показана на рис. 1.

Расчет индукции магнитного поля в многоцепных ЛЭП, создаваемого несколькими расположенными на опорах независимыми трехфазными цепями, может быть выполнен следующим образом. Для каждой цепи с номерами $n=1, \dots, N$ вычисляются

$B_{x,n}^A(x, y)$, $B_{x,n}^B(x, y)$, $B_{x,n}^C(x, y)$ и $B_{y,n}^A(x, y)$, $B_{y,n}^B(x, y)$, $B_{y,n}^C(x, y)$. Затем находим суммарные величины

$$B_x^A(x, y) = \sum_{n=1}^N B_{x,n}^A(x, y), \quad B_x^B(x, y) = \sum_{n=1}^N B_{x,n}^B(x, y), \quad B_x^C(x, y) = \sum_{n=1}^N B_{x,n}^C(x, y), \quad (15)$$

$$B_y^A(x, y) = \sum_{n=1}^N B_{y,n}^A(x, y), \quad B_y^B(x, y) = \sum_{n=1}^N B_{y,n}^B(x, y), \quad B_y^C(x, y) = \sum_{n=1}^N B_{y,n}^C(x, y). \quad (16)$$

Усредненное значение индукции суммарного магнитного поля находим по формулам (11), (12). Тогда искомый модуль действующего значения индукции магнитного поля равен

$$|\tilde{B}(x, y)| = \sqrt{[\tilde{B}_x(x, y)]^2 + [\tilde{B}_y(x, y)]^2}. \quad (17)$$

Таким образом, предложенный метод расчета индукции магнитного поля ЛЭП описывается формулами (9)–(17). Он оперирует только измеряемыми величинами, что делает использование этого метода предпочтительным при разработке методик расчета магнитного поля как одноцепных, так и многоцепных ЛЭП, а также создания методик санитарно-гигиенической оценки магнитного поля в зоне прохождения ЛЭП.

Экспериментальные исследования. Исследовался уровень индукции магнитного поля на трех действующих ЛЭП Харьковских магистральных электрических сетей: 1). ЛЭП 330 кВ «Залютино–Сумы» с номинальным током 2 кА и сдвоенными проводами в каждой фазе, расположенными горизонтально; 2). ЛЭП 330 кВ «Залютино–Артема» с номинальным током 2 кА и сдвоенными проводами в каждой фазе, расположенными в вершинах остроугольного треугольника; 3). ЛЭП 330 кВ «Залютино 1,2» с номинальным током 2 кА и вертикальным расположением расщепленных проводов фаз по обе стороны от оси ЛЭП.

Измерения проводились на открытом пространстве, не содержащем других источников магнитного поля и проводящих масс, с близким к горизонтальному рельефом местности. Измерения выполнялись с помощью феррозондового векторного магнитометра типа Magnetoscor 1.069 фирмы Foerster класса 2,5% и проводились на высоте 1 м от поверхности Земли в средней части прогона между опорами ЛЭП при удалении перпендикулярно оси ЛЭП. Время каждого измерения автоматически фиксировалось магнитометром, и затем по данным диспетчера магистральных электросетей о передаваемой полной мощности определялся ток нагрузки ЛЭП в момент измерений.

Результаты измерений по всем исследованным ЛЭП подобны. На рис. 2 в качестве примера представлены результаты измерений ЛЭП «Залютино–Сумы» с рабочим током 141 А.

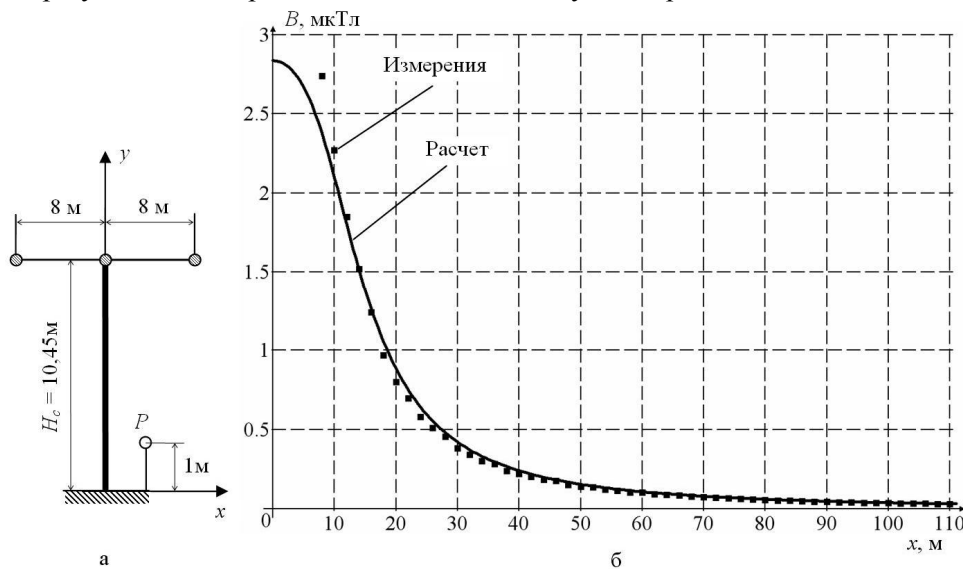


Рис. 2

Здесь же показаны результаты расчета по формулам (9)–(14) действующего значения индукции магнитного поля этой ЛЭП при токе 141 А. Исходные данные для расчета определялись в соответствии с рис. 2, а, где H_c – эквивалентное значение высоты подвеса провода с учетом стрелы провисания, определенное в соответствии с [2].

На основе проведенных экспериментальных исследований и предложенного метода расчета магнитного поля ЛЭП, на рис. 3 построены графики действующих значений индукции магнитного поля 3-х исследованных ЛЭП в номинальном режиме их работы (ток нагрузки 2 кА) в функции расстояния x от ЛЭП до точки наблюдения. Здесь же показаны границы охранной зоны ЛЭП 330 кВ

(заштрихованная область), а также предельно допустимые санитарные уровни магнитного поля для жилых помещений (0,5 мкТл) и жилой застройки (10 мкТл).

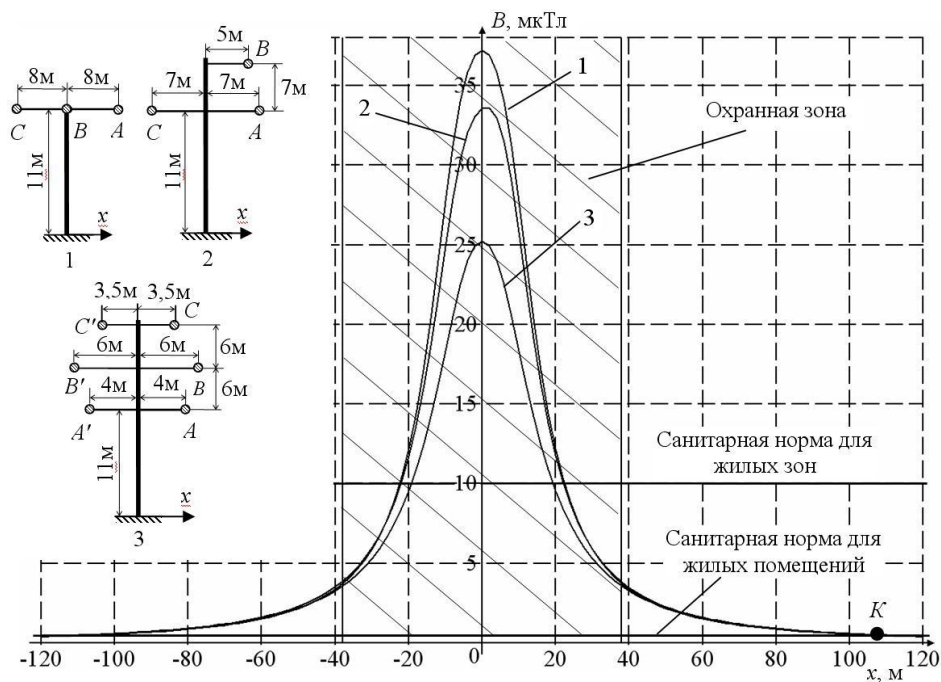


Рис. 3

Анализ результатов. Сопоставление показанных на рис. 2, б результатов измерения и расчета магнитного поля ЛЭП 330 кВ показывает, что предложенная математическая модель магнитного поля ЛЭП и разработанный метод расчета магнитного поля имеют погрешность менее 10% при удалении исследуемой области за проекцию крайних проводов ЛЭП на поверхность Земли. При расстояниях до оси ЛЭП 330 кВ (рис. 2, а) менее 10 м, расхождение расчетных и экспериментальных данных начинает превышать 10%, что связано с неучтенным при анализе взаимным влиянием проводов ЛЭП. При необходимости расчета магнитного поля вблизи проводов ЛЭП целесообразно использовать компьютерное моделирование на основе численных методов.

Максимальная индукция магнитного поля наблюдается под проводами ЛЭП (рис. 3). Ее величина зависит от конструкции подвеса проводов и их расстояния до поверхности Земли. Однако, начиная от границы охранной зоны ЛЭП (38 м), уровень магнитного поля для исследованных ЛЭП практически не отличается. При номинальном токе ЛЭП (2 кА) он составляет 3,75 мкТл на границе защитной зоны и спадает до безопасного для населения уровня 0,5 мкТл (точка К) на расстоянии 110 м.

Санитарно-защитная зона ЛЭП 330 кВ для населения, в которой возможно превышение ПДУ для жилых помещений (0,5 мкТл) при номинальной нагрузке ЛЭП, должна в соответствии с рис. 3 иметь ширину не менее 110 м. Поэтому формирование санитарно-защитных зон ЛЭП должно осуществляться не только по уровню электрического поля (пропорционально значению рабочего напряжения ЛЭП), как это предусмотрено в действующем законодательстве, но и по уровню магнитного поля.

Выявим основные параметры ЛЭП, от которых зависит величина их магнитного поля, и, следовательно, необходимая ширина ее санитарно-защитной зоны. Как следует из выполненного выше анализа, величина магнитного поля ЛЭП в фиксированной области пространства V может быть определена функционалом

$$F(\mathbf{p}) = \int_V \left[\tilde{B}_x(Q)^2 + \tilde{B}_y(Q)^2 + \tilde{B}_z(Q)^2 \right] dV_Q, \quad (18)$$

где $\mathbf{p} = (p_1, \dots, p_N)$ – вектор параметров системы проводов ЛЭП.

Так, в простейшем случае двухпроводной (однофазной) ЛЭП существуют лишь два параметра: $p_1 \equiv I_\phi$ – фазный ток, определяющий режим нагрузки ЛЭП; $p_2 \equiv d$ – расстояние между

фазными проводами ЛЭП. Очевидно, что в этом случае значение функционала (18) пропорционально текущему значению тока нагрузки ЛЭП и растет при увеличении расстояния между проводами фаз.

В более сложном случае трехфазной ЛЭП и особенно с расщепленными проводами фаз, когда количество токонесущих проводов увеличивается, важным становится еще один параметр $p_3 \equiv S$ – геометрия пространственного распределения фазных проводов ЛЭП, существенно влияющая на значение функционала (18) из-за возможности организации взаимной компенсации магнитного поля, создаваемого токами проводов различных фаз [5].

Таким образом, величина магнитного поля ЛЭП пропорциональна текущему значению тока нагрузки и зависит от расстояния между проводами различных фаз, а также от их взаимного пространственного расположения, что должно учитываться как при проектировании ЛЭП, так и определении их санитарно-защитных зон.

Заключение. 1. Предложены математическая модель трехфазной ЛЭП как источника магнитного поля и метод расчета действующего значения индукции магнитного поля частотой 50 Гц, построенные на основе уравнений Био-Савара и Лапласа.

2. Проведена экспериментальная проверка предложенного метода расчета магнитного поля на действующих ЛЭП 330 кВ Харьковских магистральных электрических сетей, которая подтвердила приемлемую для инженерных расчетов погрешность метода (менее 10%) при удалении исследуемой области за проекцию крайних проводов ЛЭП на поверхность Земли. Метод может быть рекомендован в качестве теоретической основы при разработке инженерных методик расчета магнитного поля ЛЭП.

3. Показано, что индукция магнитного поля на границе охранной зоны ЛЭП 330 кВ при номинальном токе 2 кА составляет 3,75 мкТл и спадает до безопасного для населения уровня (0,5 мкТл) только на расстоянии 110 м от ЛЭП, что ставит вопрос о формировании параметров санитарно-защитных зон ЛЭП с учетом не только их электрического, а и магнитного поля, индукция которого зависит от текущего значения тока нагрузки ЛЭП и расстояния между проводами различных фаз.

1. *Нейман Л.Р., Демирчян К.С.* Теоретические основы электротехники. – Л.: Энергия, 1967. – Т.2. – 408 с.

2. *Стреттон Дж.* Теория электромагнетизма. – М.: Гостехиздат, 1947. – 539 с.

3. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях: СанПиН 2.1.2.2645-10: Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 64 от 10.06.2010: Введены в действие с 15.08.2010. – М., 2010.

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

5. *Dezelak K., Stumberger G., Jak F.* Arrangements of Overhead Power Line Conductors // Electric Power Systems Research. – 2011. – Vol. 81. – №12. – Pp. 2164–2170.

6. *Conti R., Giorgi A., Rendina R., Sartore L., Sena E.A.* Technical Solutions To Reduce 50 Hz Magnetic Fields from Power Lines // Proceedings of Power Tech. Conference IEEE'2003, 23-26 June, 2003. – Bologna (Italy). – 2003. – Vol.2. – 6 p.

7. *Feychting M., Floderus B. and Ahlbom A.* Parental occupational exposure to magnetic fields and childhood cancer // Cancer Causes and Control. – 2000. – Vol. 11. – Pp. 151–156.

8. *Focke F., Schuermann D., Kuster N., Schär P.* DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure // Mutation Research. – 2009. – Vol. 683. – № 1–2. – Pp. 74–83.

9. *The Swedish National standard.* MPRII 1990:08. – Swedish Board for Technical Accreditation, 1990.

УДК 621.3.013

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ЗМІННОГО СТРУМУ

В.Ю. Розов, чл.-кор. НАН України, **С.Ю. Реуцький**, канд.техн.наук,
Д.С. Пелєвін, канд.техн.наук, **В.М. Яковенко**,
Науково-технічний центр магнетизму технічних об'єктів НАН України,
вул. Індустріальна, 19, Харків, 61106, Україна.

На основі рівнянь Біо-Савара і Лапласа запропоновано математичну модель трифазної лінії електропередачі (ЛЕП) та інженерний метод розрахунку діючого значення індукції магнітного поля частотою 50 Гц. Наведено результати експериментальної перевірки методу на трьох діючих ЛЕП 330 кВ, які підтвердили прийнятну для інженерних розрахунків похибку (менше 10%) при віддаленні більш ніж на 10 метрів від осі ЛЕП. Показано, що індукція магнітного поля на межі охоронної зони ЛЕП (38 м) при номінальному струмі (2 кА) становить 3,7 мкТл, і спадає до безпечного рівня (0,5 мкТл) на відстані більше 100 м, що ставить питання про формування розмірів санітарно-захисних зон ЛЕП з урахуванням не тільки електричного, а і магнітного полів. Бібл. 9, рис. 3.

Ключові слова: лінія електропередачі, магнітне поле, математична модель, метод розрахунку, експериментальні дослідження.

THE RESEARCH OF MAGNETIC FIELD OF HIGH-VOLTAGE AC TRANSMISSIONS LINES

V.Yu.Rozov, S.Yu.Reutskyi, D.Ye.Pelevin, V.N.Yakovenko,
Magnetism of Technical Objects Science and Technology Center of the NAS of Ukraine,
19 Industrialna st., PO Box 72, Kharkiv 61106, Ukraine.

The mathematical model of the 50 Hz three-phase overhead power transmission line and the engineering method of the calculation of the root mean square value of the magnetic field density are developed on the base of Biot–Savart’s and Laplace’s equations. The results of the experimental verification of the method developed are presented. They have been carried out on three operating transmission lines with the voltage 330 kV. The data show that the method developed provides the acceptable precision of the calculation with the relative error less than 10% at the distance of more than 10 m from the line. It is shown that with the nominal current 2 kA the induction of the magnetic field is equal to 3,7 μT on the border of the transmission line protection zone (38 m). It decreases to the safe level of 0,5 μT at the distance of more than 100 m from the line. This raises the problem of the formation of the size of sanitary protection zones taking into account not only electrical field but also the magnetic field. References 9, figures 3.

Keywords: transmission line, magnetic field, mathematical model, method of calculation, experimental researches.

1. Neiman L.R., Demirchian K.S. Theory of Electrical Engineering: In 2 vol. – Leningrad: Energiia, 1967. – Vol.2. – 408 p. (Rus)
2. Stretton J. Electromagnetic Theory. – Moskva: Gostekhizdat, 1947. – 539 p. (Rus)
3. *The sanitary-epidemiology requirements for living conditions in living buildings and quarters:* SunPiN 2.1.2.2645-10: Approved by Resolution of The state sanitary doctor of the Russian Federation № 64, 10.06.2010: Effective from 15.08.2010. – Moskva, 2010. (Rus)
4. *The calculation of the electric and magnetic fields of the electrical transmission lines:* COU-N EE 20.179:2008. – Official edition. – Kyiv: Derzhavne pidpryemstvo "Naukovo-doslidnyi, proektno-vyshukovalnyi ta konstruktorsko-tekhnologichniy instytut "Ukrsilenergooproekt": Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrainy, 2008. – 34 p. (Ukr)
5. Dezelak K., Stumberger G., Jak F. Arrangements of Overhead Power Line Conductors // Electric Power Systems Research. – 2011. – Vol. 81. – №12. – Pp. 2164–2170.
6. Conti R., Giorgi A., Rendina R., Sartore L., Sena E.A. Technical Solutions To Reduce 50 Hz Magnetic Fields from Power Lines // Proceedings of Power Tech Conference IEEE’2003, 23–26 June, 2003. – Bologna (Italy). – 2003. – Vol .2. – 6 p.
7. Feychting M., Floderus B. and Ahlbom A. Parental occupational exposure to magnetic fields and childhood cancer // Cancer Causes and Control. – 2000. – Vol. 11. – P. 151–156.
8. Focke F., Schuermann D., Kuster N., Schär P. DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure // Mutation Research. – 2009. – Vol. 683. – № 1–2. – Pp. 74–83.
9. *The Swedish National standard.* MPRII 1990:08. – Swedish Board for Technical Accreditation, 1990.

Надійшла 23.11.2011
Received 23.11.2011