

Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, А.В. Волошко, И.В. Бовдуй, Е.В. Виниченко, Б.Б. Кобылянский

СИНТЕЗ СИСТЕМ АКТИВНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ РАЗЛИЧНОГО КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Проведено аналіз просторово-часового розподілу техногенного магнітного поля, що створюється різними повітряними лініями електропередачі (ПЛ ЛЕП) всередині заданої області простору. Наведено рекомендації з проектування систем активного екранування магнітного поля ЛЕП. Наведені результати синтезу системи активного екранування магнітного поля, яке створюється одноколовою ЛЕП ПЛ 110 кВ «трикутник» магнітного поля з повною поляризацією в житловому п'ятиповерховому будинку, розташованому поблизу ЛЕП. Система містить три компенсаційні обмотки і дозволяє знизити рівень індукції вихідного магнітного поля до санітарних норм практично в усьому просторі житлового будинку. Ефективність системи активного захисту, становить близько 8. Бібл. 8, рис. 5.

Ключові слова: повітряні лінії електропередачі, просторово-часовий розподіл магнітного поля промислової частоти, система активного екранування.

Проведен анализ пространственно-временного распределения техногенного магнитного поля, создаваемого различными воздушными линиями электропередачи (ВЛ ЛЭП) внутри заданной области пространства. Приведены рекомендации по проектированию систем активного экранирования магнитного поля ЛЭП. Приведены результаты синтеза системы активного экранирования магнитного поля, создаваемого одноцепной ЛЭП ВЛ 110 кВ с опорой типа «треугольник» вращающегося магнитного поля с полной поляризацией в жилом пятиэтажном доме, расположенном вблизи ЛЭП. Система содержит три компенсационные обмотки и позволяет снизить уровень индукции исходного магнитного поля до санитарных норм практически во всем рассматриваемом пространстве жилого дома. Эффективность системы активного экранирования составляет около 8. Библ. 8, рис. 5.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, пространственно-временное распределение магнитного поля промышленной частоты, система активного экранирования.

Введение. Наиболее опасным для населения источником техногенного магнитного поля (МП) промышленной частоты, являются высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП) [2]. Без принятия специальных мер, они создают интенсивное МП, имеющее канцерогенные свойства на расстояниях до 100 м от ЛЭП. Поэтому в мире ужесточаются санитарные нормы [3] по предельно допустимому уровню индукции магнитного поля 50-60 Гц (менее 1 мкТл) и проводятся интенсивные работы по их обеспечению для населения. В настоящее время жесткие санитарные нормы по индукции МП (0,5 мкТл) вводятся и в нормативные документы Минэнерго Украины [7]. Однако на данный момент в Украине эти нормы повсеместно превышаются, что создает угрозу для здоровья миллионов людей, проживающих ближе 100 м от высоковольтных ЛЭП.

Постановка задачи исследования. Проведенные в институте технических проблем магнетизма НАН Украины комплексные экспериментальные исследования МП действующих воздушных ЛЭП 10-330 кВ показали [8], что их МП в 3-5 раз превышает нормативный уровень на границе ранее сформированных санитарных зон по электрическому полю.

Такое положение требует срочного принятия мер по снижению в 3-5 раз МП действующих ЛЭП в черте городов Украины. Аналогичное положение является типичным для большинства индустриальных стран мира, однако в этих странах уже созданы и широко используются технологии нормализации МП действующих ЛЭП [1-5].

Наиболее эффективной технологией является реконструкция ЛЭП путем ее удаления на безопасное расстояние от жилых домов, либо замены воздушной ЛЭП на кабельную линию. Однако такая реконструкция требует огромных материальных средств. Поэтому более приемлемыми для Украины являются менее дорогостоящие методы экранирования МП действующих ЛЭП, из которых необходимую эффективность обеспечивают методы активного контурного экранирования магнитного поля.

Технология активного контурного экранирования МП действующих ЛЭП разработана и используется в развитых странах мира более 10 лет, например в США и Израиле [1-5]. В Украине же в настоящее время, как такая технология, так и научные основы ее создания, отсутствуют. Это не позволяет относительно недорогими методами осуществлять защиту населения от техногенного МП промышленной частоты, создаваемого ЛЭП. Поэтому создание научных основ отечественной технологии активного экранирования МП промышленной частоты в домах до безопасного уровня является актуальной научно-технической проблемой.

Целью работы является анализ пространственно-временного распределения МП ЛЭП различного конструктивного исполнения и разработка рекомендаций по проектированию систем активного экранирования МП ЛЭП.

Анализ пространственно-временного распределения магнитного поля ЛЭП различного конструктивного исполнения. В качестве первого примера

рассмотрим ЛЭП с опорой ЛБ 330 – 3, у которой токопроводы расположены в горизонтальной плоскости, фотография которой показана рис. 1,а. Схема расположения токопроводов и точки, в которых будут рассматриваться годографы МП показаны на рис. 1,б, а на рис. 1,в показаны годографы векторов МП в трех рассматриваемых точках.

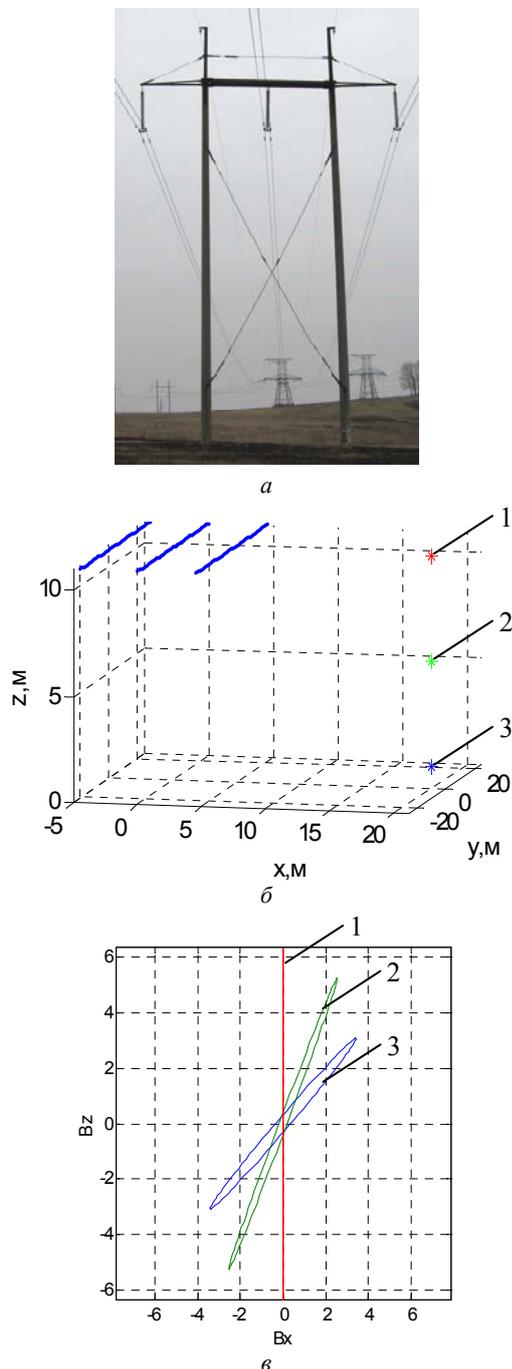


Рис. 1. Одноцепная ЛЭП с опорой ЛБ 330 – 3

Как видно из рис. 1, годографы МП представляют сильно вытянутые эллипсы, а в точке 1 коэффициент эллипсности (отношение меньшей полуоси эллипса к большей полуоси) вообще равен нулю, так что годограф вектора МП вытягивается в вертикальную линию.

В качестве второго примера рассмотрим одноцепную ЛЭП с опорой У 330, у которой токопроводы

расположены один под другим в вертикальной плоскости, как это показано рис. 2,а. Схема расположения токопроводов и точек, в которых будут рассматриваться годографы МП, показаны на рис. 2,б, а на рис. 2,в показаны годографы вектора МП в рассматриваемых точках.

Как видно из рис. 2, годографы МП этой ЛЭП также представляют сильно вытянутые эллипсы, а в точке 1 большая ось эллипса находится в горизонтальной плоскости. В целом, годографы этой ЛЭП развернуты относительно годографов, показанных на рис. 1,в, на угол $\pi/2$.

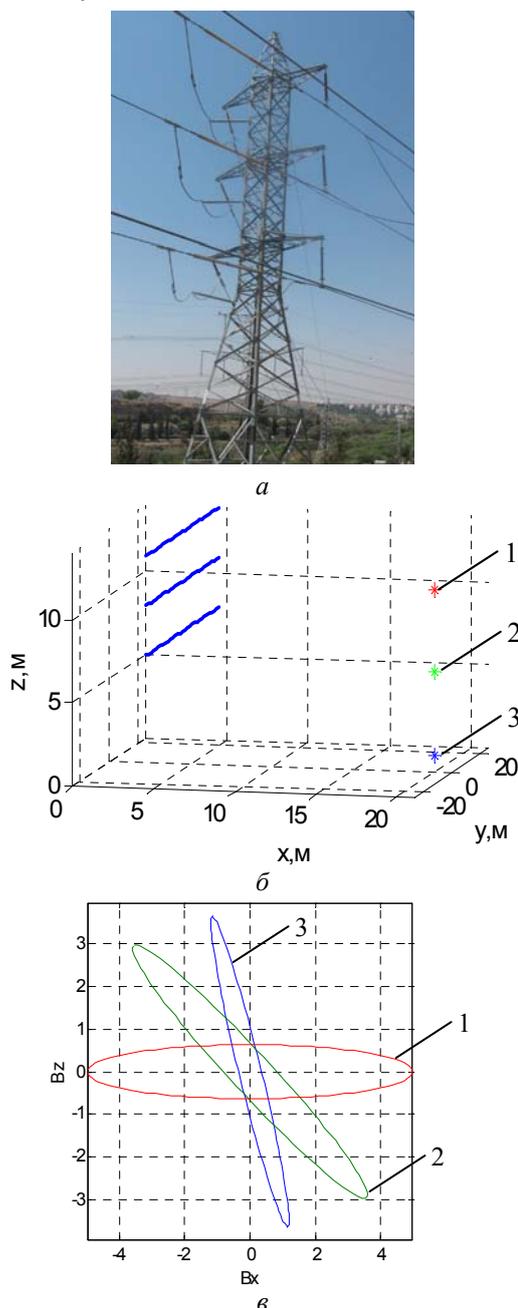


Рис. 2. Одноцепная ЛЭП с опорой У 330

В качестве третьего примера рассмотрим наиболее распространенный вариант двухцепной ЛЭП с опорами типа У 330 – 2 типа «бочка», у которой токопроводы расположены в форме, напоминающей бочку, фотография которой показана рис. 3,а.

Схема расположения токопроводов и точки, в которых будут рассматриваться годографы МП, показаны на рис. 3,б, а сами годографы вектора МП в трех рассматриваемых точках показаны на рис. 3,в. Как видно из рис. 3, годографы этого МП представляют менее вытянутые эллипсы, по сравнению с годографами МП, создаваемого ЛЭП с опорами: ЛБ 330 – 3 и У 330, которые показаны на рис. 1,в и рис. 2,в соответственно.

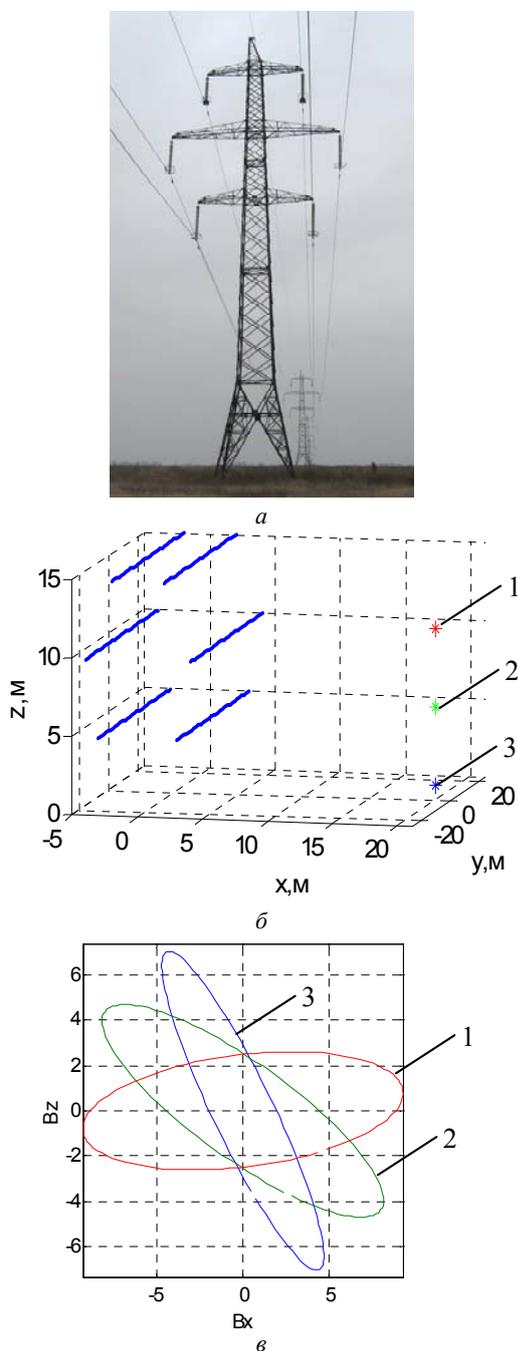


Рис. 3. Двухцепная ЛЭП с опорами типа У 330 – 2 типа «бочка»

В качестве четвертого примера рассмотрим наиболее распространенный вариант одноцепной ЛЭП с опорой У 330 – 1Т типа «треугольник», фотография которой показана рис. 4,а, а на рис. 4,б показана схема расположения токопроводов и точки, в которых будут рассматриваться годографы МП, а на рис. 4,в показаны

сами годографы вектора МП. Как видно из рис. 4, годографы этого магнитного поля близки к окружности, так что коэффициенты эллипсности почти равны единице и, следовательно, такое МП является сильно поляризованным.

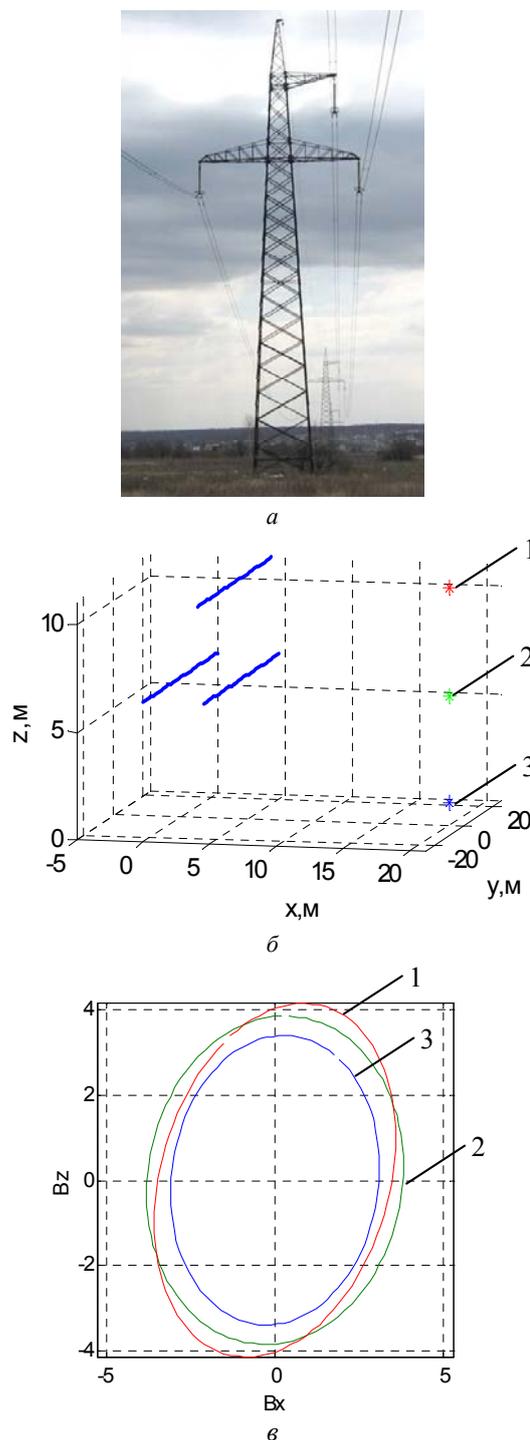


Рис. 4. Одноцепная ЛЭП с опорой У 330 – 1Т типа «треугольник»

Принцип построения систем активного экранирования. Сущность метода активного экранирования МП ЛЭП состоит в формировании компенсирующего МП с такой пространственно-временной структурой, суперпозиция которого с МП ЛЭП в зоне защиты минимизируется до уровня санитарных норм. Метод реализуется с помощью системы активного эк-

ранирования, которая состоит из компенсационных обмоток, с помощью которых формируется компенсирующее МП. Токи в компенсационных обмотках автоматически формируются по определенному алгоритму в функции сигнала с датчиков МП, установленных в зоне защиты. Система содержит источник тока, получающий энергию от внешнего источника.

При использовании в системе активного экранирования только одной компенсационной обмотки можно создать компенсирующее МП, вектор индукции которого ортогонален плоскости обмотки и не изменяет своего положения со временем. Поэтому с помощью такой системы можно скомпенсировать большую полуось эллипса годографа вектора индукции магнитного поля и получить достаточно высокую эффективность экранирования слабо поляризованного МП. Такие системы можно рекомендовать для компенсации слабо поляризованного МП, создаваемого ЛЭП с опорами ЛБ 330 – 3, У 330 и У 330 – 2 «бочка». Именно для ЛЭП с такими типами опор и получили наибольшее распространение в мире системы активного экранирования МП с одной компенсационной обмоткой [1, 2, 4].

Для компенсации сильно поляризованного МП, создаваемого ЛЭП с опорами У 330 – 1Т «треугольник» необходимо, по меньшей мере, две компенсационные обмотки.

Метод синтеза эффективных замкнутых систем активного экранирования МП промышленной частоты, создаваемого воздушными ЛЭП в помещениях жилых домов разработан в [6]. Метод основан на решении задачи многокритериальной оптимизации, в которой вычисления векторов целевой функции и ограничений выполняются на основании уравнений Максвелла в квазистационарном приближении, а задача оптимизации решается методом мультироевой стохастической мультиагентной оптимизации на основе Парето-оптимальных решений.

Результаты моделирования на ЭВМ. В качестве примера рассмотрим синтез системы активного экранирования МП одноцепной ЛЭП ВЛ 110 кВ «треугольник», создающей вращающееся МП с полной поляризацией в жилом пятиэтажном доме, расположенном вблизи ЛЭП, схема которой показана на рис. 5.а. При токе ЛЭП 1000 А исходная индукция МП в рассматриваемом пространстве составляет 4 мкТл, что в 8 раз превышает санитарные нормы [7]. Для компенсации этого техногенного МП в рассматриваемом пространстве потребовалось три компенсационные обмотки, пространственное расположение которых показано на рис. 5.а. Расчетное количество ампер-витков компенсационных обмоток составляет 177, 195 и 199. Распределение результирующего МП при включенной системе активного экранирования показано на рис. 5.б. Как видно из рис. 5, с помощью системы активного экранирования удалось снизить уровень индукции исходного МП до санитарных норм практически во всем рассматриваемом пространстве жилого дома. При этом эффективность системы активного экранирования составляет около 8.

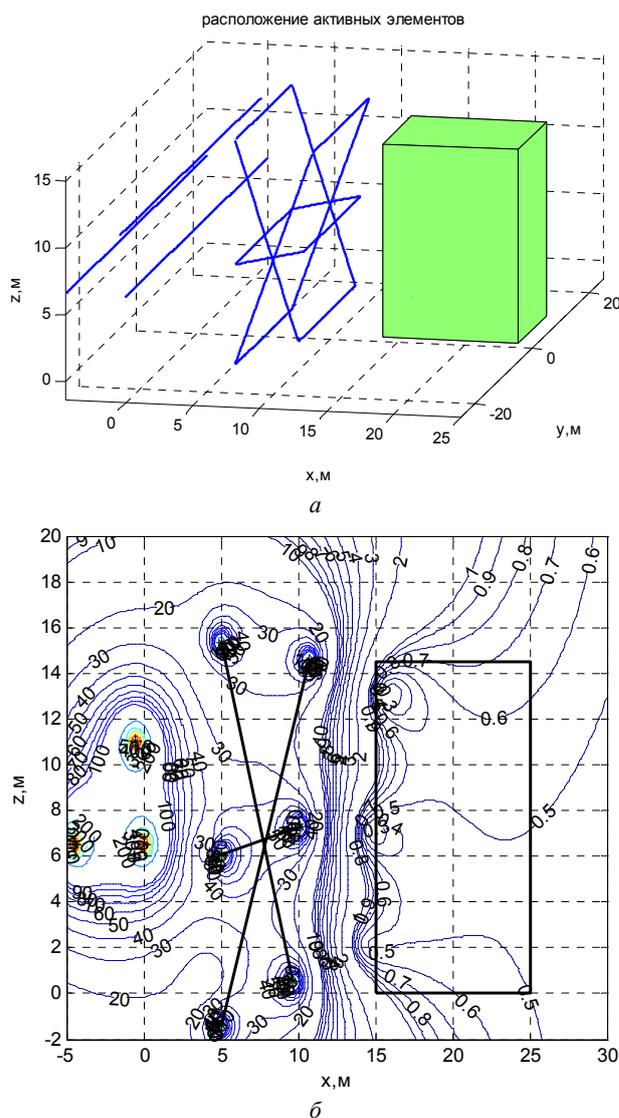


Рис. 5. Схема расположения ЛЭП, компенсирующих обмоток и защищаемой области (а) и распределение суммарного магнитного поля с включенной системой активного экранирования (б)

Выводы. Проведен анализ пространственно-временного распределения МП, создаваемого ЛЭП различного конструктивного исполнения с опорами типа ЛБ 330 – 3, У 330, У 330 – 2 «бочка», и У 330 – 1Т «треугольник». Разработаны рекомендации по проектированию компенсационных обмоток систем активного экранирования МП ЛЭП. Приведены результаты синтеза системы активного экранирования магнитного поля промышленной частоты, создаваемого одноцепной ЛЭП ВЛ 110 кВ с опорами У 330 – 1Т «треугольник» вращающееся МП с полной поляризацией в жилом пятиэтажном доме, расположенном вблизи ЛЭП. Система содержит три компенсационные обмотки и позволяет снизить уровень индукции исходного МП до санитарных норм в 0,5 мкТл практически во всем рассматриваемом пространстве жилого дома. Эффективность системы активного экранирования составляет около 8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Active Magnetic Shielding (Field Cancellation). <http://www.emfservices.com/afcs.html>.

2. Beltran H., Fuster V., García M. Magnetic field reduction screening system for a magnetic field source used in industrial applications // 9 Congreso Hispano Luso de Ingeniería Eléctrica (9 CHLIE), Marbella (Málaga). – 2005. – pp. 84-99.
3. Ter Brake H.J.M., Huonker R., Rogalla H. New results in active noise compensation for magnetically shielded rooms // Measurement Science and Technology. – 1993. – Vol. 4. – Issue 12. – pp. 1370-1375. doi: 10.1088/0957-0233/4/12/010.
4. Celozzi S., Garzia F. Active shielding for power-frequency magnetic field reduction using genetic algorithms optimization // IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology. – 2004. – Vol. 151. – № 1. – pp. 2-7. doi: 10.1049/ip-smt:20040002.
5. Shenkman A., Sonkin N., Kamensky V. Active protection from electromagnetic field hazards of a high voltage power line // HAIT Journal of Science and Engineering. Series B: Applied Sciences and Engineering. – Vol. 2. – Issues 1-2, pp. 254-265.
6. Кузнецов Б.И., Туренко А.Н., Никитина Т.Б., Волошко А.В., Коломиец В.В. Метод синтеза замкнутых систем активного экранирования магнитного поля воздушных линий электропередачи // Технічна електродинаміка. – 2016. – №4. – С. 8-10.
7. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Видання 3-тє, перероб. і доп. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.
8. Розов В.Ю., Гринченко В.С., Пелевин Д.Е., Чунихин К.В. Моделирование электромагнитного поля в помещениях жилых домов, расположенных вблизи линий электропередачи // Технічна електродинаміка. – 2016. – №3. – С. 6-8.

REFERENCES

1. Active Magnetic Shielding (Field Cancellation). Available at: <http://www.emfservices.com/afcs.html> (accessed 10 September 2012).
2. Beltran H., Fuster V., García M. Magnetic field reduction screening system for a magnetic field source used in industrial applications. 9 Congreso Hispano Luso de Ingeniería Eléctrica (9 CHLIE), Marbella (Málaga, Spain), 2005, pp. 84-99.
3. Ter Brake H.J.M., Huonker R., Rogalla H. New results in active noise compensation for magnetically shielded rooms. Measurement Science and Technology, 1993, Vol. 4, Issue 12, pp. 1370-1375. doi: 10.1088/0957-0233/4/12/010.
4. Celozzi S., Garzia F. Active shielding for power-frequency magnetic field reduction using genetic algorithms optimization. IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology, 2004, Vol.151, no.1, pp. 2-7. doi: 10.1049/ip-smt:20040002.
5. Shenkman A., Sonkin N., Kamensky V. Active protection from electromagnetic field hazards of a high voltage power line. HAIT Journal of Science and Engineering. Series B: Applied Sciences and Engineering, Vol. 2, Issues 1-2, pp. 254-265.
6. Kuznetsov B.I., Turenko A.N., Nikitina T.B., Voloshko A.V., Kolomiets V.V. Method of synthesis of closed-loop systems of active shielding magnetic field of power transmission lines. Tekhnichna elektrodynamika, 2016, no.4, pp. 8-10. (Rus).
7. Pravila ulashuvannya electroustanovok. Vyd. 3, pererob. i dop [Electrical Installation Regulations. 3rd edition, revised and enlarged]. Kyiv, Minpalyvenergo of Ukraine Publ., 2010. 736 p. (Ukr).
8. Rozov V.Yu., Grinchenko V.S., Pelevin D.Ye., Chunikhin K.V. Simulation of electromagnetic field in residential buildings located near overhead lines. Tekhnichna elektrodynamika, 2016, no.3, pp. 6-8. (Rus).

Поступила (received) 15.09.2016

Кузнецов Борис Иванович¹, д.т.н., проф.,
Никитина Татьяна Борисовна², д.т.н., проф.,
Волошко Александр Валерьевич¹, к.т.н., н.с.,
Бовдуй Игорь Валентинович¹, к.т.н., н.с.,
Виниченко Елена Владимировна¹, к.т.н., м.н.с.,
Кобылянский Борис Борисович¹, к.т.н. доц.

¹ Государственное учреждение «Институт технических проблем магнетизма Национальной Академии Наук Украины», 61106, Харьков, ул. Индустриальная, 19,

тел/phone +38 050 5766900, e-mail: bikuznetsov@mail.ru

² Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,

61002, Харьков, ул. Петровского, 25,

e-mail: tatjana55555@gmail.com

B.I. Kuznetsov¹, T.B. Nikitina², A.V. Voloshko¹, I.V. Bovydyj¹,
E.V. Vinichenko¹, B.B. Kobilyanskiy¹

¹ State Institution «Institute of Technical Problems of Magnetism of the NAS of Ukraine»,

19, Industrialna Str., Kharkiv, 61106, Ukraine.

² Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Petrovskogo Str., Kharkov, 61002, Ukraine.

Synthesis of active screening system of magnetic field of high voltage power lines of different design taking into account spatial and temporal distribution of magnetic field.

Purpose. Analyze the spatial and temporal distribution of the magnetic field of high voltage power lines with different design allowing and development of recommendations for the design of active screening systems by magnetic field of high voltage power lines. **Methodology.** Analysis of the spatial and temporal distribution of the magnetic field of high voltage power lines of different design allowing is made on the basis of Maxwell's equations solutions in the quasi-stationary approximation. Determination of the number, configuration, spatial arrangement and the compensation coil currents is formulated in the form of multiobjective optimization problem that is solved by multi-agent multiswarm stochastic optimization based on Pareto optimal solutions. **Results** of active screening system for the synthesis of various types of transmission lines with different numbers of windings controlled. The possibility of a significant reduction in the level of the flux density of the magnetic field source within a given region of space. **Originality.** For the first time an analysis of the spatial and temporal distribution of the magnetic field of power lines with different types and based on findings developed recommendations for the design of active screening system by magnetic field of high voltage power lines. **Practical value.** Practical recommendations on reasonable choice of the number and spatial arrangement of compensating windings of active screening system by magnetic field of high voltage power lines of different design allowing for the spatial and temporal distribution of the magnetic field. Results of active screening system synthesis of the magnetic field of industrial frequency generated by single-circuit 110 kV high voltage power lines with the supports have 330 - 1T «triangle» rotating magnetic field with full polarization in a residential five-storey building, located near the power lines. The system contains three compensating coil and reduces the level of induction of the magnetic field source to the sanitary standards of 0.5 μT in almost of all the house space. References 8, figures 5.

Key words: high voltage power lines, spatial and temporal distribution of the power frequency technogenic magnetic field, active screening system.