УДК 621.3.01

СИНТЕЗ СИСТЕМ АКТИВНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОДНОЦЕПНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ТОКОПРОВОДОВ С ПОМОЩЬЮ ОДНОЙ КОМПЕНСАЦИОННОЙ ОБМОТКИ

Б. И. Кузнецов[1], Т. Б. Никитина[2], В. В. Коломиец[3], А. В.Волошко[1], Б. Б. Кобылянский[3]
[1] Институт технических проблем магнетизма НАН Украины,
[2] Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
[3]Украинская инженерно-педагогическая академия

***Аннотация**. Усовершенствован метод синтеза систем активного экранирования техногенного магнитного поля воздушных линий электропередачи. Синтез сводится к решению задачи многокритериального нелинейного программирования с ограничениями, в которой вычисления целевых функций и ограничений выполняются на основании закона Био – Савара. Приведен пример синтеза системы активного экранирования магнитного поля одноцепной ЛЭП с вертикальным расположением токопроводов с помощью одной компенсационной обмотки.*

***Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, магнитное поле промышленной частоты, робастная система активного экранирования, многокритериальный синтез, стохастическая мультиагентная оптимизация, мультирой частиц.*

Введение

Санитарные нормы по предельно допустимому уровню индукции магнитного поля (МП) промышленной частоты Украины [1] в ряде случаев превышаются [2], что создает угрозу для здоровья людей, проживающих вблизи высоковольтных ЛЕП. Такое положение требует принятия определенных мер по снижению МП действующих ЛЕП в черте городов Украины. Наиболее приемлемыми для Украины являются методы экранирования МП действующих ЛЕП, из которых необходимую эффективность обеспечивают методы активного контурного экранирования магнитного поля [3 - 6].

1. Постановка задачи исследования

В институте технических проблем магнетизма НАН Украины проведены комплексные экспериментальные исследования МП действующих воздушных ЛЕП 10-330 кВ [2]. В этих работах показано, что на границе ранее сформированных санитарных зон по электрическому полю уровень МП превышает нормативный в 3-5 раз.

Такое положение требует срочного принятия мер по снижению в 3-5 раз МП действующих ЛЕП 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 ЛЕП [3 – 6]. Наиболее эффективной технологией является реконструкция ЛЕП путем ее удаления на безопасное расстояние от жилых домов, либо замены воздушной ЛЕП на кабельную линию. Однако такая реконструкция требует огромных материальных средств. Поэтому более приемлемыми для Украины являются мене дорогостоящие методы экранирования МП действующих ЛЕП, из которых необходимую эффективность обеспечивают методы активного контурного экранирования магнитного поля.

Технология активного контурного экранирования МП действующих ЛЕП разработана и используется в развитых странах мира более 10 лет, например в США и Израиле [3, 6]. 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 ЛЕП. Поэтому создание научных основ отечественной технологии активного экранирования МП промышленной частоты в домах до безопасного уровня является актуальной научно-технической проблемой.

В работах [7 - 9] проведен синтез систем активного экранирования магнитного поля воздушных линий электропередачи различного конструктивного исполнения с учетом особенностей пространственно-временного распределения магнитного поля. Как показано в этих работах, одноцепные линии электропередачи с вертикальным и горизонтальным расположением то-

© Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В. В., Волошко А. В.**,** Кобылянский Б. Б., 2017

копроводов создают магнитное поле в рассматриваемом пространстве с незначительной поляризацией, так что годографы МП представляют сильно вытянутые эллипсы, а коэффициент эллипсности (отношение меньшей полуоси эллипса к большей полуоси) существенно больше единицы.

Естественно, что такое МП можно достаточно эффективно компенсировать с помощью только одной обмотки системы активного экранирования. Годограф вектора МП, создаваемого одной обмоткой системы активного экранирования представляет собой линию и, следовательно, такое магнитное поле не имеет поляризации. С помощью этой обмотки можно скомпенсировать большую полуось эллипса годографа исходного МП, так что годограф результирующего МП, оставшегося после работы системы активного экранирования, будет представлять собой эллипс близкий к окружности, что и позволяет существенно компенсировать исходное магнитное поле.

В работе [7] разработан метод синтеза систем активного экранирования МП промышленной частоты, создаваемого воздушными ЛЭП в помещениях жилых домов. Метод основан на решении задачи многокритериальной оптимизации, в которой вычисления векторов целевой функции и ограничений выполняются на основании закона Био – Савара [10 - 11], а задача оптимизации решается методом мультироевой стохастической мультиагентной оптимизации на основе Парето-оптимальных решений [12 - 13]. Однако при таком подходе не учитываются варьируемые параметры системы, обусловленные неточно заданной моделью объекта управления и неизбежными изменениями параметров системы в ходе эксплуатации. Поэтому разработка метода синтеза робастной системы активного экранирования, в которой учитываются возможные изменения параметров системы, является актуальной научной задачей.

2. Цель работы

Целью работы является усовершенствование метода синтеза системы активного экранирования с учетом изменения параметров объекта управления на основе многокритериального подхода и его применение для синтеза робастных систем активного экранирования магнитного поля одноцепных воздушных линий электропередачи с вертикальным расположением токопроводов с помощью одной компенсационной обмотки.

3. Метод синтеза

В работе [7] синтез систем активного экранирования МП промышленной частоты, создаваемого воздушными ЛЭП в помещениях жилых домов сформулирован в виде следующей задачи многокритериальной оптимизации векторного критерия

$$B(X)=[B(X,P_1),B(X,P_2)..B(X,P_m)]^T, \qquad (1)$$

компонентами которого $B(X,P_i)$ являются модули вектора индукции в m точках P_i рассматриваемого пространства. При этом, естественно, необходимо учитывать ограничения на вектор управления и переменные состояния в виде векторного неравенства и, возможно, равенства

$$G(X)\le G_{\max},\ H(X)=0. \qquad (2)$$

Компонентами векторного критерия (1) и ограничений (2) являются нелинейные функции вектора искомых параметров регуляторов X и их вычисление выполняется на основании закона Био – Савара [10 – 11].

В отличие от изложенного в [1] метода синтеза, в данной работе рассматривается многокритериальный подход к синтезу робастных систем активного экранирования. Система активного экранирования состоит из компенсационных обмоток, формирующих компенсирующее МП при протекании по ним токов, создаваемых системой управления в функции сигнала обратной связи по МП, формируемого датчиком магнитного поля, установленного в защищаемом пространстве жилого дома. Система активного экранирования получает питание от вторичного источника питания.

Исходными параметрами для синтеза выступают параметры ЛЭП (рабочие токи, геометрия и количество проводов, расположение ЛЭП относительно защищаемого пространства) а также размеры защищаемого пространства и нормативное значение индукции МП, которое должно быть достигнуто в результате экранирования. При синтезе системы математическая модель исходного магнитного поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи известна неточно. В частности, приближенно известны токи в токопроводах, которые имеют суточные, недельные, сезонные изменения. Неточно реализуются геометрические размеры компенсирующих обмоток, параметры регуляторов и т.д. Поэтому введем вектор $\delta\in\Delta$ отклонений параметров системы от их номинальных значений, используемых при синтезе системы.

Синтезируем робастную систему для наихудшего случая (worst-case), когда вариации параметров $\delta\in\Delta$ приводят к наибольшему ухудшению компенсации исходного магнитного поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи. С этой целью найдем вектор варьи-

руемых параметров $\delta \in \Delta$, при котором значение индукции магнитного поля в выбранной точке P_i рассматриваемого пространства P принимает максимальное значение для заданного вектора пространственного расположения и геометрических размеров компенсируемых обмоток, а также параметров регулятора X.

$$\overline{B}(X,P_i)=\max_{\delta\in\Delta}B(X,P_i,\delta), \qquad (3)$$

Тогда синтез робастной системы активного экранирования магнитного поля промышленной частоты, создаваемого воздушными линиями электропередачи внутри заданной области пространства, может быть сформулирован в виде следующей задачи многокритериальной оптимизации векторного критерия

$$B(X)=\left[\overline{B}(X,P_1),\overline{B}(X,P_2)..\overline{B}(X,P_m)\right]^T, \qquad (4)$$

компонентами которого $\overline{B}(X,P_i)$ являются максимальные значения векторов индукции в m точках P_i рассматриваемого пространства. Компонентами векторного критерия (4) также являются нелинейные функции вектора искомых параметров регуляторов X и вектора варьируемых параметров их вычисление выполняется путем максимизации выражений (3), которые вычисляются аналогично (1) на основании закона Био – Савара [10 - 11]. Задача многокритериальной оптимизации (4) решается методом мультироевой стохастической мультиагентной оптимизации на основе Парето-оптимальных решений. Причем, m задач максимизации скалярных критериев (3) и минимизация векторного критерия (4) выполняется одновременно. При этом используется расширенный вектор искомых параметров, включающий вектор X и вектор варьируемых параметров $\delta \in \Delta$. С помощью j-того роя решается задача минимизации j-той компоненты векторного критерия (4) по вектору искомых параметров регуляторов X, но максимизации этой же компоненты критерия (4) по вектору варьируемых параметров $\delta \in \Delta$.

Для нахождения глобального решения исходной многокритериальной задачи (4) в ходе поисков оптимальных решений локальных критериев отдельные рои обмениваются информацией между собой. При этом для вычисления скорости движения частиц одного роя используется информация о глобальном оптимуме, полученным частицами другого роя, что позволяет выделить все потенциальные Парето оптимальные решения. С этой целью на каждом шаге t движения i-той частицы j-того роя используются функции бинарных предпочтений локальных решений, полученных всеми роями.

4. Результаты моделирования на ЭВМ

Рассмотрим результаты синтеза системы активного экранирования МП одноцепной ЛЭП с вертикальным расположением токопроводов с помощью одной компенсационной обмотки, схема которой показана на рис. 1.

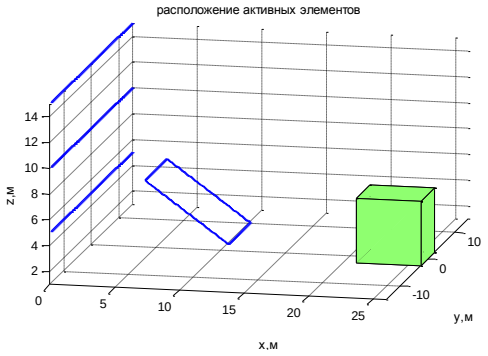
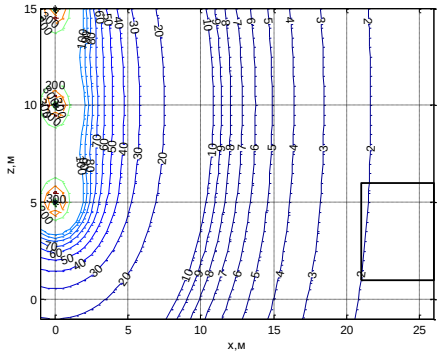
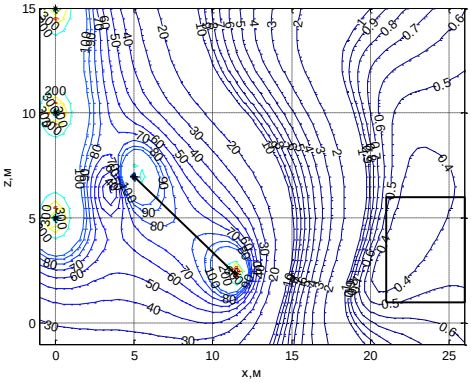


Рис. 1. Схема расположения ЛЭП, компенсационной обмотки и защищаемой области

На рис. 2 показаны линии равного уровня модуля индукции: а) исходного магнитного поля трехфазной одноцепной воздушной линии электропередачи и б) с включенной системой активного экранирования.



а)



б)

Рис. 2. Линии равного уровня модуля индукции: а) исходного магнитного поля и б) с включенной системой активного экранирования

При токе ЛЭП 1000 А, исходная индукция МП в рассматриваемом пространстве составляет 2,1 мкТл, что более чем в четыре раза превышает санитарные нормы в 0,5 мкТл.

На рис. 3 показаны зависимости величины индукции исходного магнитного поля и магнитного поля при включенной системе активного экранирования в функции расстояния от крайнего токопровода линии электропередачи.

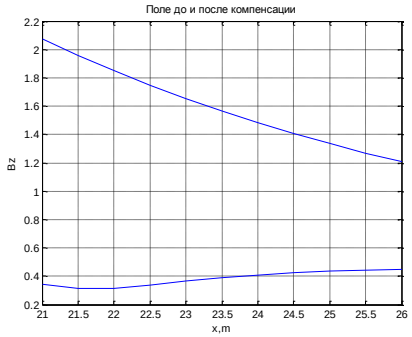


Рис. 3. Зависимости величины индукции исходного магнитного поля и магнитного поля при включенной системе активного экранирования в функции расстояния от крайнего токопровода линии электропередачи

На рис. 4 показаны годографы вектора напряженности магнитного поля, создаваемого: 1) ЛЭП; 2) компенсационной обмоткой и 3) суммарного магнитного поля с включенной системой. Заметим, что в англоязычных работах [2 – 5] годограф вектора напряженности магнитного поля называют пространственно-временной характеристикой магнитного поля (space-time electromagnetic field characteristics). Как видно из этого рисунка, рассматриваемая линия электропередачи с вертикальным расположением токопроводов в рассматриваемом пространстве создает магнитное поле с незначительной поляризацией, так что годограф МП представляет сильно вытянутый эллипс, а коэффициент эллипсности (отношение меньшей полуоси эллипса к большей полуоси) равен около 2,5.

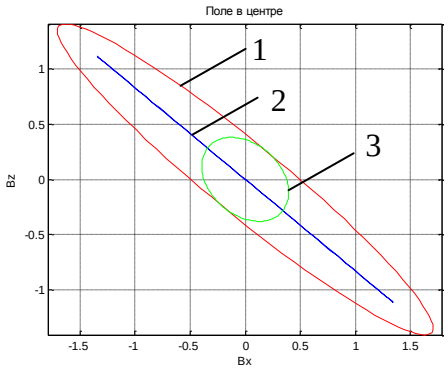


Рис. 4. Годографы вектора напряженности магнитного поля, создаваемого: 1) ЛЭП; 2) компенсационной обмоткой и 3) суммарного магнитного поля с включенной системой

Естественно, что такое МП можно достаточно эффективно компенсировать с помощью только одной обмотки системы активного экранирования. Как видно из этого рисунка, годограф вектора МП, создаваемого одной обмоткой системы активного экранирования представляет собой линию и, следовательно, такое магнитное поле не имеет поляризации. С помощью этой обмотки компенсируется большая полуось эллипса годографа исходного МП, так что годограф результирующего МП, оставшегося после работы системы активного экранирования, представляет собой эллипс с коэффициентом эллипсности равным 1,2.

Выводы

Усовершенствован метод синтеза системы активного экранирования, позволяющий учитывать неточное знание и изменение параметров объекта управления. Синтез системы сводится к задаче многокритериальной оптимизации, решаемой методом мультироевой стохастической мультиагентной оптимизации на основе Парето-оптимальных решений.

Приведены результаты синтеза системы активного экранирования магнитного поля промышленной частоты, создаваемого одноцепной ЛЭП с вертикальным расположением токопроводов в жилом доме, расположенном вблизи ЛЭП. Система содержат одну компенсационную обмотку и позволяет снизить уровень индукции исходного МП в пространстве жилого дома до санитарных норм. Эффективность систем активного экранирования составляет более 4.

Список использованной литературы

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Видання 3-тє, перероб. і доп. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.

2. Розов, В. Ю. Моделирование электромагнитного поля в помещениях жилых домов, расположенных вблизи линий электропередачи [Текст] / В. Ю. Розов, В. С. Гринченко, Д. Е. Пелевин, К. В. Чунихин / Техническая электродинамика. – 2016. – № 3. – С. 6–9.

3. Active Magnetic Shielding (Field Cancellation). http://www.emfservices.com/afcs.html [Electrical resours].

4. Beltran, H. Magnetic field reduction screening system for a magnetic field source used in industrial applications [Text] / H. Beltran, V. Fuster, M. García // 9º Congreso Hispano Luso de Ingeniería Eléctrica (9CHLIE), Marbella (Málaga). – 2005. – pp. 84–99.

5. Celozzi, S. Active shielding for power-frequency magnetic field reduction using genetic algorithms optimization [Text] / S. Celozzi, F. Garzia // IEE Proc. Sci. Meas. Technol. – Rome, Italy, Jan. 2004. – Vol. 151. – № 1. – pp. 2–7.

6. Shenkman, A. Active protection from electromagnetic field hazards of a high voltage power line [Text] / A. Shenkman, N. Sonkin, V. Kamensky // HAIT Journal of Science and Engineering. – 2005. – Vol. 2. – № 2. – pp. 254–265.

7. Кузнецов, Б. И. Метод синтеза замкнутых систем активного экранирования магнитного поля воздушных линий электропередачи [Текст] / Б. И. Кузнецов, А. Н. Туренко, Т. Б. Никитина, А. В. Волошко , В. В. Коломиец// Техническая электродинамика. – 2016. – № 4. – С. 8–10.

8. Кузнецов, Б. И. Синтез систем активного экранирования магнитного поля воздушных линий электропередачи на основе многокритериальной оптимизации [Текст] / Б. И. Кузнецов, Т. Б. Никитина, И. В. Бовдуй, А. В. Волошко, Е. В. Виниченко, Б. Б. Кобылянский // Електротехніка і електромеханіка – 2016. – № 6. – С. 26–30.

9. Кузнецов, Б. И. Экспериментальное исследование влияния пространственного расположения датчиков магнитного поля на эффективность замкнутой системы активного экранирования магнитного поля линий электропередачи [Текст] / Б. И. Кузнецов, Т. Б. Никитина, И. В. Бовдуй, А. В. Волошко, Е. В. Виниченко, Б. Б. Кобылянский // Електротехніка і електромеханіка – 2017. –№ 1. – С. 16–20.

10. Розов, В. Ю. Метод расчета магнитного поля трехфазных линий электропередачи [Текст] / В. Ю. Розов, С.Ю. Реуцкий, О.Ю. Пилюгина // Техническая электродинамика. – 2014. – № 5. – С. 11–13.

11. Nikolova, N. K. Electromagnetics I. Matlab Experiments Manual for EE2FH3 [Text] / N. K. Nikolova, M. H. Bakr // Department of Electrical and Computer Engineering McMaster University, 2012. – 96 p.

12. Clerc, M. Particle Swarm Optimization [Text] / M. Clerc. – London: ISTE Ltd, 2006. – 244 p.

13. Gazi, V. Swarm Stability and Optimization [Text] / V. Gazi, K. M. Passino. – Springer, 2011. – 318 p.

References

1. Pravila ulashtuvannya electroustanovok. Vyd. 3, pererob. i dop. [Electrical Installation Regulations. 3rd edition, revised andenlarged]. Kyiv, Minpalyvenergo of Ukraine Publ., 2010. 736 p.

2 Rozov, V., Grinchenko, V., Pelevin, D., Chunikhin K. (2016). Simulation of electromagnetic field in residential buildings located near overhead lines [Modelirovanie ehlektromagnitnogo polya v pomeshcheniyah zhilyh domov, raspolozhennyh vblizi linij ehlektroperedachi]. *Technical electrodynamics* – [*Tekhnichna elektrodynamika*], 3, pp. 6–9.

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

4. Beltran, H., Fuster, V., García, M. (2005). Magnetic field reduction screening system for a magnetic field source used in industrial applications. 9 Congreso Hispano Luso de Ingeniería Eléctrica (9CHLIE), Marbella (Málaga), pp. 84–99.

5. Celozzi, S. Garzia, F. (2004). Active shielding for power-frequency magnetic field reduction using genetic algorithms optimization. IEE Proc. Sci. Meas. Technol. – Rome, Italy, 151(1), pp. 2–7.

6. Shenkman, A., Sonkin, N., Kamensky, V. (2005). Active protection from electromagnetic field hazards of a high voltage power line. HAIT Journal of Science and Engineering, 2(2), pp. 254–265.

7. Kuznetsov, B., Turenko, A., Nikitina, T., Voloshko, A., Kolomiets, V. (2016). Method of synthesis of closed-loop systems of active shielding magnetic field of high voltage power lines [Metod sinteza zamknutyh sistem aktivnogo ehkranirovaniya magnitnogo polya vozdushnyh linij ehlektroperedachi]. *Technical electrodynamics* – [*Tekhnichna elektrodynamika*], 4, pp. 8–10.

8. Kuznetsov, B., Nikitina, T., Voloshko, A., Bovdui I., Vinichenko, E., Kobilyanskiy, B. (2016). Synthesis of an active shielding system of the magnetic field of power lines based on multiobjective optimization [Cintez sistem aktivnogo ekranirovaniya magnitnogo polya vozdushnyih liniy elektroperedachi na osnove mnogokriterialnoy optimizatsii]. *Electrical Engineering & Electromechanics* – [*Elektrotekhnika i Elektromekhanika*], 6, pp. 26–30.

9. Kuznetsov, B., Nikitina, T., Voloshko, A., Bovdui I., Vinichenko, E., Kobilyanskiy, B.(2017). Experimental research of magnetic field sensors spatial arrangement influence on efficiency of closed loop of active screening system of magnetic field of power line [Eksperimentalnoe issledovanie vliyaniya prostranstvennogo raspolozheniya datchikov magnitnogo polya na effektivnost zamknutoy sistemyi aktivnogo ekranirovaniya magnitnogo polya liniy elektroperedachi]. *Electrical Engineering & Electromechanics* – [*Elektrotekhnika i Elektromekhanika*], 1, pp. 16ª20.

10. Rozov, V., Reutskyi, S., Pyliugina, O. (2014). The method of calculation of the magnetic

field of three-phase power lines [Metod rascheta magnitnogo polia trekhfaznykh linii elektroperedachi]. *Technical electrodynamics* – [*Tekhnichna elektrodynamika*], 5, pp. 11–13.

11. Nikolova, N., Bakr, M. (2012). Electromagnetics I. Matlab Experiments Manual for EE2FH3. Department of Electrical and Computer Engineering McMaster University, 96 p.

12. Clerc, M. (2006). Particle Swarm Optimization. London, ISTE Ltd, 244 p.

13. Gazi, V. Passino, K. (2011). Swarm Stability and Optimization. Springer, 318 p.

ACTIVE SCREENING MAGNETIC FIELD SYSTEMS SYNTHESIS FOR SINGLE-CIRCUIT HIGH VOLTAGE POWER LINES WITH VERTICAL CONDUCTORS WITH SINGLE COMPENSATING COIL

B. I. Kuznetsov[1], T. B. Nikitina[2], V. V. Kolomiets[3], A. V. Voloshko[1], B. B. Kobylyanskiy[3]

[1] State Institution «Institute of Technical Problems of Magnetism of the National Academy of Sciences of Ukraine»,

[2] Kharkov National Automobile and Highway University,

[3] Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

Abstract*. An improved method for the synthesis of active screening magnetic field systems of high voltage power lines within a given region of space with power-driven magnetic field sources. The initial parameters for the synthesis of active screening system parameters are the location of the high voltage power lines with respect to the protected transmission line space, geometry and number of cables, operating currents, as well as the size of the protected space and normative value magnetic field induction, which should be achieved as a result of screening. The objective of the synthesis of the active screening system is to determine their number, configuration, spatial arrangement, wiring diagrams and compensation cables currents, setting algorithm of the control systems as well as the resulting value of the induction magnetic field at the points of the protected space. Synthesis of active screening system is reduced to the problem of multiobjective nonlinear programming with constraints in which calculation of the objective functions and constraints are carried out on the basis of Biot – Savart law. The problem is solved by a stochastic multi-agent optimization multiswarm particles, which can significantly reduce the time to solve it. The results of the synthesis of the active screening system of the magnetic field oft high voltage power lines with single circuit vertical arrangement of conductors with a single compensating coil. The possibility of reducing the initial induction of the magnetic field inside of house space to sanitary norms.*

Key words: *high voltage power lines, magnetic field of power frequency, robust system of active screening, multiobjective synthesis, multi-agent multiswarm stochastic optimization.*

СИНТЕЗ СИСТЕМ АКТИВНОГО ЕКРАНУВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ОДНОКОЛОВИХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ З ВЕРТИКАЛЬНИМ РОЗТАШУВАННЯМ СТРУМОПРОВОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОДНІЄЇ КОМПЕНСАЦІЙНОЇ ОБМОТКИ

Б. І. Кузнецов[1], Т. Б. Нікітіна[2], В. В. Коломієць[3], О. В.Волошко[1], Б. Б. Кобилянський[3]

[1]Інститут технічних проблем магнетизму НАН України

[2]Харківський національноий автомобільно-дорожній університет

[3]Українська інженерно-педагогічна академія

Анотація. *Удосконалено метод синтезу систем активного екранування техногенного магнітного поля повітряних ліній електропередач. Синтез зводиться до вирішення задачі багатокритеріального нелінійного програмування з обмеженнями, в якій обчислення цільових функцій і обмежень виконуються на основі закону Біо – Савара. Приведено приклад синтезу системи активного екранування магнітного поля одноколової ЛЕП із вертикальним розташуванням струмопроводів за допомогою однієї компенсаційної обмотки.*

Ключові слова: *повітряні лінії електропередачі, магнітне поле промислової частоти, робастна система активного екранування, багатокритеріальний синтез, стохастична мультиагентна оптимізація, мультирой частинок.*

Получено 03.03.2017

Кузнецов Борис Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом проблем управления магнитным полем института технических проблем магнетизма НАН Украины. Ул. Индустриальная 19, Харьков, Украина, E-mail: bikuznetsov@mail.ru, тел. 0505766900.

Borys Kuznetsov, Doctor of Sciences, Professor, Head of Control magnetic field Department State Institution «Institute of Technical Problems of Magnetism of the National Academy of Sciences of Ukraine», Industrialnaya St., 19, Kharkov, Ukraine.
ORCID record: 0000-0002-1100-095X.

Никитина Татьяна Борисовна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой общетехнических дисциплин Харьковского Национального автомобильно-дорожного университета. Ул. Петровського, 25, г. Харків, Украина, E-mail: tatjana55555@gmail.com.

Tatyana Nikitina, Doctor of Sciences, Professor, Head of technical disciplines department of Kharkov National Automobile and Highway University, Petrovskogo st, 25, Kharkov, Ukraine.
ORCID record: 0000-0002-0185-3078

Коломиец Валерий Витальевич, кандидат технических наук, доцент, Директор учебно-научного профессионально-педагогического института Украинской инженерно-педагогической академии. Ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, E-mail: pr.etfuipa@yandex.ru.

Valery Kolomiets, Ph.D., Philosophy Doctor, Director of Training and Research Institute of Professional Education of the Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy. 16 Universitetskaya st., Kharkov, Ukraine.
ORCID record: 0000-0002-9073-5793.

Волошко Александр Валерьевич, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела проблем управления магнитным полем института технических проблем магнетизма НАН Украины. Ул. Индустриальная 19, Харьков, Украина, E-mail: zmeyp@nm.ru.

Alexander Voloshko, Ph.D., Philosophy Doctor, researcher associate of Control magnetic field Department of State Institution «Institute of Technical Problems of Magnetism of the National Academy of Sciences of Ukraine». Industrialnaya St., 19, Kharkov, Ukraine.
ORCID record: 0000-0002-0965-1171

Кобилянський Борис Борисович, кандидат технических наук, доцент учебно-научного профессионально-педагогического института Украинской инженерно-педагогической академии. Ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, E-mail: pr.etfuipa@yandex.ru.

Borys Kobylyanskiy Ph.D., Philosophy Doctor, assistant of professor Training and Research Institute of Professional Education of the Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy. 16 Universitetskaya st., Kharkov, Ukraine.
ORCID record: 0000-0002-9826-1123.