УДК 621.315.1

**ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В ЗОНЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

**Качанов А.Н., Каменский В.В.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»*

*В статье представлены результаты применения метода зеркальных отображений и программного продукта ELCUT для расчетов основных параметров электромагнитного поля, возникающего в окружающей среде при транспортировке электрической энергии по воздушным линиям электропередач с целью оценки электромагнитной обстановки*.

*Ключевые слова*: *методы зеркальных отображений, программный продукт ELCUT, основные параметры электромагнитного поля, воздушные линии электропередач.*

При проектировании и эксплуатации линий электропередач (ЛЭП) разных классов напряжения возникают вопросы, связанные с оценкой их влияния на технические и биологические объекты, находящиеся в непосредственной близости. Уровни напряжённости электрического (Е) и магнитного (Н) полей в зоне прохождения трасс ЛЭП регламентируются нормативно-правовыми документами [1,2].

В практике инженерных расчётов для определения указанных выше параметров электромагнитных полей вдоль ЛЭП широко используется метод зеркальных отображений. В последнее время для расчета полевых задач успешно применяются такие программные продукты, как ANSYS, ELCUT, Femlab, FLUX, JMAG-Designer, QuickField и другие [3,4,5]. Указанные программные продукты позволяют выполнять моделирование разнообразных физических процессов, протекающих в технических системах разного уровня сложности и получать пространственно-временные картины распределения основных параметров, характеризующих исследуемый объект.

Для исследования влияния электромагнитных полей высоковольтных линий электропередач на электромагнитную обстановку (ЭМО) в зоне их эксплуатации были использованы методы зеркальных отображений и лицензионный программный продукт ELCUT, который позволяет проводить анализ различных систем, в том числе и при решении задач электромагнитной совместимости в электрических сетях [6].

Оценка состояния ЭМО, на первом этапе исследований, была проведена для одноцепной ЛЭП-750 кВ (рис.1) и линии связи (ЛС), проходящей вблизи ЛЭП, с использованием метода зеркальных отображений (рис. 2).

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Дмитрий\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\Новый рисунок (2).bmp  ***Рисунок 1* – *Конструкция промежуточной одноцепной опоры с горизонтальным расположением проводов на***  ***напряжение 750 кВ*** | ***Рисунок 2 – Зеркальное отображение*** |

Данный метод позволяет найти значение потециала, наводимого электрическим полем ЛЭП-750 кВ как в охранной зоне, так и за её предалами. При определении потециала нужно учитывать влияние ЛС (U2), оказывающее встречное воздействие на ЛЭП (U1). Определить собственные и взаимные потенциальные коэффициенты можно по формулам [7]:

(1)

где – собственные и взаимные потенциальные коэффициенты, зависящие от геометрических характеристик ЛЭП и тел, находящихся в зоне ЛЭП; *τ*i – заряды тел.

Собственные потенциальные коэффициенты определяются по формуле:

(2)

где – радиус провода или эквивалентный радиус для расщепленной фазы, м; средняя высота подвеса провода над землей; .

Взаимные потенциальные коэффициенты определяются по формуле:

(3)

где расстояние от фазного проводы ЛЭП или провода ЛС m до провода фазы n, расстояние от провода фазы ВЛ или провода ЛС m до зеркального изображения фазы n.

Используя матричную алгебру, были найдены заряды проводов ЛЭП:

, (4)

где – собственные и взаимные потенциальные коэффициенты проводов фаз ЛЭП; *U1, U2, U3* – фазные напряжения проводов.

Значение потенциала () в любой точке пространства вокруг ЛЭП, с учетом суммарного действия трех фаз на эту точку рассчитываем по формуле [7]:

(5)

Результаты расчетов характера распределения в зоне ± 100 м от оси опоры ЛЭП-750 кВ в нормальном и аварийном режимах работы (обрыв двух дальних от ЛС фаз) представлены на рисунках 3 и 4.

|  |  |
| --- | --- |
| ***Рисунок 3 – Распределение модуля в охранной зоне ЛЭП в нормальном режиме работы*** | ***Рисунок 4 – Распределение модуля в охранной зоне ЛЭП в аварийном режиме работы (обрыв двух фаз)*** |

На рисунках 5 и 6 приведены результаты расчетов ЭДС, наведенной электромагнитным полем ЛЭП в ЛС для нормального и аварийного режимов работы ЛЭП (однофазное к.з. на землю).

|  |  |
| --- | --- |
| ***Рисунок 5 – Распределение наведенной ЭДС в охранной зоне ЛЭП в нормальном режиме работы*** | ***Рисунок 6 – Распределение наведенной ЭДС в охранной зоне ЛЭП при однофазном коротком замыкании*** |

Как видно из рисунков, метод зеркальных отображений позволяет рассчитывать основные параметры электромагнитных полей вдоль действующих высоковольтных линий электропередач любого класса напряжений, как в нормальном, так и аварийном режимах работы с целью оценки состояния ЭМО. Однако данный метод является достаточно трудоемким.

Использование программного продукта ELCUT позволило устранить указанный недостаток и получить результаты, представленные на рисунках 7-10.

|  |  |
| --- | --- |
| ***Рисунок 7 – Распределение модуля в охранной зоне ЛЭП в нормальном режиме работы*** | ***Рисунок 8 – Распределение модуля в охранной зоне ЛЭП в аварийном режиме работы (обрыв двух фаз)*** |
| ***Рисунок 9 – Распределение напряженности магнитного поля в охранной зоне ЛЭП в нормальном режиме работы*** | ***Рисунок 10 – Распределение напряженности магнитного поля в охранной зоне ЛЭП при однофазном коротком замыкании*** |

Анализ приведенных в статье графиков подтвердил возможность использования программной среды ELCUT для оценки ЭМО вдоль линий электропередач любых уровней напряжения. При этом время, затрачиваемое на выполнение расчетов, значительно сокращается. Метод может быть полезен для оценки воздействия высоковольтных линий электропередач, проходящих через города и населенные пункты, на технические и психобиологические объекты.

Список литературы

1. ГОСТ Р. 51317.6.2-99 (МЭК 61000-6-2-99). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний.

2. Правила устройства электроустановок. 7-е издание М., 2003

3. Качанов, А.Н. Анализ электромагнитных и тепловых полей в рабочем зазоре индуктора для нагрева металлических изделий в поперечном электромагнитном поле [Текст] / А.Н. Качанов, Н.А. Качанов, Т.Г. Королева, А.С. Алехина // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2021. – № 2 (346). – С. 166-172

4. Качанов, А.Н. Обоснование выбора программного продукта для моделирования электромагнитных и тепловых полей в системах индукционно-резистивного нагрева [Текст] / А.Н. Качанов, А.Ю. Пронин // Всероссийская научно-практическая конференции с международным участием имени академика А.Г. Шипунова: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (26 марта 2021., г. Ливны). – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2021. – С. 61-65

5. Качанов, А.Н. Моделирование электромагнитных и тепловых полей в системах «ИРН – Нагреваемая текучая среда [Текст] / А.Н. Качанов, А.Ю. Пронин // Форум молодежной науки, Выпуск 2, № 2, 2021 . С. 11-17

6. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 6.3. Руководство пользователя - Санкт-Петербург: Производственный кооператив ТОР, 2017. – 296 с.

**Качанов Александр Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой электрооборудования и энергосбережения ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», 302026, г. Орёл, Комсомольская ул., 95. Эл. адрес: [kan@ostu.ru](mailto:kan@ostu.ru), тел. 8 (4862) 41-98-53

**Каменский Вадим Владимирович, студент гр. 01-ЭЭм,** кафедра электрооборудования и энергосбережения ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», 302026, г. Орёл, Комсомольская ул., 95. Эл. адрес: [kamensky.vadik@yandex.ru](mailto:kamensky.vadik@yandex.ru), тел. 8 (999) 604-94-55

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**EVALUATION OF ELECTROMAGNETIC SITUATION IN THE AREA OF OPERATION OF AIR POWER LINES**

**Kachanov A.N., Kamensky V.V.**

*Russia, Oryol, «OGU im. I.S. Turgenev»*

*The article presents the results of applying the method of mirror images and the ELCUT software product for calculating the main parameters of the electromagnetic field that occurs in the environment during the transportation of electrical energy through overhead power lines in order to assess the electromagnetic environment.*

*Key words: the method of mirroring, the ELCUT software product, the main parameters of the electromagnetic field, overhead power lines.*

Bibliography

1.GOST R. 51317.6.2-99 (IEC 61000-6-2-99). Electromagnetic compatibility of technical means. Immunity to electromagnetic interference of technical equipment used in industrial areas. Requirements and test methods.

2. Rules for the construction of electrical installations. 7th edition M., 2003

3. Kachanov, A.N. Analysis of electromagnetic and thermal fields in the working gap of an inductor for heating metal products in a transverse electromagnetic field [Text] / A.N. Kachanov, N.A. Kachanov, T.G. Koroleva, A.S. Alekhina // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - 2021. - No. 2 (346). - S. 166-172

4. Kachanov, A.N. Justification of the choice of a software product for modeling electromagnetic and thermal fields in induction-resistive heating systems [Text] / A.N. Kachanov, A. Yu. Pronin // All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation named after Academician A.G. Shipunova: Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (March 26, 2021, Livny). - Oryol: OSU named after I.S. Turgenev, 2021 .-- S. 61-65

5. Kachanov, A.N. Modeling of electromagnetic and thermal fields in the systems "IRN - Heated fluid medium [Text] / A.N. Kachanov, A. Yu. Pronin // Forum of Youth Science, Issue 2, No. 2, 2021. S. 11-17

6. ELCUT. Simulation of two-dimensional fields by the finite element method. Version 6.3. User's Guide - St. Petersburg: Production Cooperative TOP, 2017 .-- 296 p.

**Kachanov Alexander Nikolaevich**, Dr. sciences, professor, head. Department of Electrical Equipment and Energy Saving FSBEI HE "OSU named after I.S. Turgenev ", 302026, Oryol, Komsomolskaya st., 95. Email. address: kan@ostu.ru, tel. 8 (4862) 41-98-53

**Kamensky Vadim Vladimirovich**, student gr. 01-EEm, Department of Electrical Equipment and Energy Saving, FSBEI VO “OSU named after I.S. Turgenev ", 302026, Oryol, Komsomolskaya st., 95. Email. address: kamensky.vadik@yandex.ru, tel. 8 (999) 604-94-55