

*The scheme of transportation of dry ash from under electrofilters of thermal power plants will allow to increase the efficiency of Ukraine's coal-fired TPPs; maximize the disposal of ash as valuable product, receive profit from its sales and solve problems of environmental protection.*

**Keywords:** ash and slag wastes, systems of pneumatic ash removal, vacuum installations, pressure, combined, dense-phase systems, pumps, blowing devices.

#### References

1. T. Nechaieva, S. Shulzhenko, D. Sas, M. Parasiuk (2008). Factors of environmental impact of electric energy facilities on the environment. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky - The Problems of General Energy*, 2(18), 54—60 [in Ukrainian].
2. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. Official Journal of the European Communities, L 309/1, 27.11.2001.
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). OJ L 334, 17.12.2010, p. 17.
4. O. Savytskyi Review of Ukraine's thermal energy sector. National Ecological Center of Ukraine, 2014. Pgs.URL: <http://www.necu.org.ua> (Last accessed: 05.06. 2018) [in Ukrainian].
5. E. Havrylov Fuel transport equipment and ash-and-slag removal at the TPPs: Schoolbook for high schools.-M.:Enerhoatomvydav, 1987. -C.149—154 [in Russian].
6. Electronic library, Technologies, Gravitational and pneumatic transport URL: <https://studlib.info/tehnologii/983146-gravitaciyiny-ta-pnevmatichniy-transport/> (Last accessed: 22.06. 2018) [in Russian].
7. L. Kiesova, V. Litovkin, H. Kravchuk, M. Symonenko Method for ash removing from electric filters at thermal power plants, patent UA #109119 U MPK F23J 1/02 (2006.01) F23K (2006.01) B65G 53/04 (2006.01), Bulletin #15 dated of 10th August, 2018 [in Ukrainian].
8. Dew point in the heat exchanger of pyrolysis boiler, 2013, URL: <https://bio.ukrbio.com/ua/articles/3728/> (Last accessed: 22.06. 2018) [in Ukrainian].
9. V. Litovkin, L. Kiesova, V. Hulienko Air-assisted feeder of fiery coal, patent UA №93100 U MPK (2014.01) F23K 5/00, Bulletin #18 of September 25th, 2014 [in Ukrainian].
10. Types of pneumatic transport systems: features. The Clyde Bergemann Group's Products. /Presentation 12.2005/. URL: <http://www.enerms.ru/ru/products/sistemy-zoloshlakoudalenia.html> [in Ukrainian].
11. Ash Conveying Systems. Pneumatic Dense-Phase Conveying Systems Mactenn. URL: <http://www.macawber.com/wp-content/uploads/2013/08/ash-conveying-systems.pdf> (Last accessed: 22.06.2018).

Надійшла 12.12.2018

Received 12.12.2018

УДК 621.315.1

**С.В. Казанський**, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-6113-2600

**В.І. Моссаковський**, асист., ORCID 0000-0002-5096-5957

**О.В. Мироненко**, магістрант, ORCID 0000-0001-9435-9097

**М.С. Соколов**, магістрант, ORCID 0000-0003-2258-1611

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОКОЛОВИХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

*В статті наведено необхідність підвищення експлуатаційної надійності повітряних ліній електропередавання (далі – ПЛ) як одного з основних елементів системи передачі електричної енергії. Розглянуто питання доцільності застосування багатоколових ПЛ. Обґрунтовано доцільність додаткових поглиблених досліджень розподілення електричного та магнітного полів багатоколових ПЛ різної конструкції та класів напруги. Представлено послідовність моделювання розподілення*

© С.В. Казанський, В.І. Моссаковський, О.В. Мироненко, М.С. Соколов, 2018

*електричного поля для ПЛ традиційної конструкції та багатоколових ПЛ напругою 110 кВ. Наведено результати моделювання, які підтверджують доцільність урахування особливостей конструкції опор та просторового розташування проводів під час розрахунку напруженості електричного поля. Показано, що використання результатів моделювання дозволить істотно підвищити надійність та безпеку експлуатації багатоколових ПЛ.*

**Ключові слова:** надійність електропостачання, багатоколові повітряні лінії електропередавання, напруженість електричного поля, динамічне моделювання.

**Вступ** Експлуатаційна надійність та безпечність систем передавання електричної енергії значною мірою визначається надійністю роботи одного з основних її елементів – повітряних ліній електропередавання [1]. При цьому будівництво нових об'єктів із значними обсягами споживання електричної енергії, особливо в населеній місцевості, призводить до необхідності прийняття нових проектних рішень щодо будівництва ПЛ в стиснених умовах.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування багатоколових ПЛ. Останніми роками з'явилися нові технології виготовлення опор ПЛ, що дає можливість якнайширше застосовувати багатоколові ПЛ для підвищення надійності та ефективності електропостачання споживачів.

Прикладом застосування багатоколових ПЛ є реконструкція існуючої ПЛ 110 кВ «ТЕЦ5 – Аркада» у місті Києві.

Особливої актуальності питання застосування багатоколових ПЛ набуває під час реконструкції існуючих ПЛ за таких причин:

- необхідність збільшення пропускної здатності ліній, що вимагає збільшення перерізу проводів або переходу на більш високий клас напруги в габаритах існуючої траси ПЛ;
- зміна призначення місцевості з «ненаселеної» на «населену» з появою численних будівель;
- виявлення під час експлуатації ПЛ відхилень від вимог нормованих габаритів та стріл провисання;
- природна витяжка проводів, що залежить від багатьох причин, які не були враховані на стадії проектування ПЛ.

Інститутом «Укрсільенергопроект» за участі Донбаської національної академії будівництва і архітектури розроблено настанову СОУ 40.1-00013741-36:2010 «Рекомендації щодо проектування та будівництва багатоколових ліній електропередачі напругою 35 – 330 кВ», яку затверджено наказом Мінпаливенерго України від 02 грудня 2010 р. № 511 [2]. У настанові зазначена сфера застосування та наведено варіанти виконання опор БПЛ. Проте у зазначеній настанові не наведено методики урахування особливостей визначення напруженості електричного поля саме для багатоколових ПЛ.

Інститутом «Укрсільенергопроект» за участі державної установи «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва Академії медичних наук України» розроблено нормативний документ СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008 «Розрахунок електричного і магнітного полів лінії електропередавання. Методика», яку затверджено наказом Мінпаливенерго України від 20 жовтня 2008 р. № 512 [3]. Але у зазначеному нормативному документі також відсутні рекомендації щодо визначення напруженості електричного поля для багатоколових ПЛ.

**Мета статті** Із застосуванням програмного пакету Comsol виконати моделювання електричного поля традиційних та багатоколових ПЛ та дослідити особливості визначення напруженості електричного поля традиційних та багатоколових ПЛ напругою 110 кВ із урахуванням просторового розміщення проводів фаз відносно поверхні землі.

**Матеріали дослідження** Загальну схему ЛЕП 110 кВ «ТЕЦ5 – Аркада» наведено на рис. 1.

Варіанти конструкцій чотириколових опор ПЛ наведено на рис. 2 [2]. Для цих конструкцій допускається підвищення кіл різної напруги, при цьому вимоги встановлюють відповідно до кола більшої напруги. Праву опору передбачено використовувати для великих прогонів на землях, які мають підвищену цінність.

Як зазначено вище, застосування багатоколових ПЛ дає можливість здійснювати реконструкцію, не виходячи при цьому за межі вже існуючих коридорів [4]. Зокрема, у зазначеному вище проекті реконструкції існуючої ПЛ 110 кВ «ТЕЦ5 – Аркада» передбачено встановлення на ділянці між опорами № 44 – 47, які обмежують перехід через р. Дніпро, чотирикової ПЛ із проводами AACSR-z333/125-2z та AACSR-z447/125-2z.

Загальний вигляд чотирикової опори ПЛ 110 кВ з вертикальним підвішуванням проводів фаз наведено на рис. 3, а приклад встановлення опори багатокової ПЛ – на рис. 4.

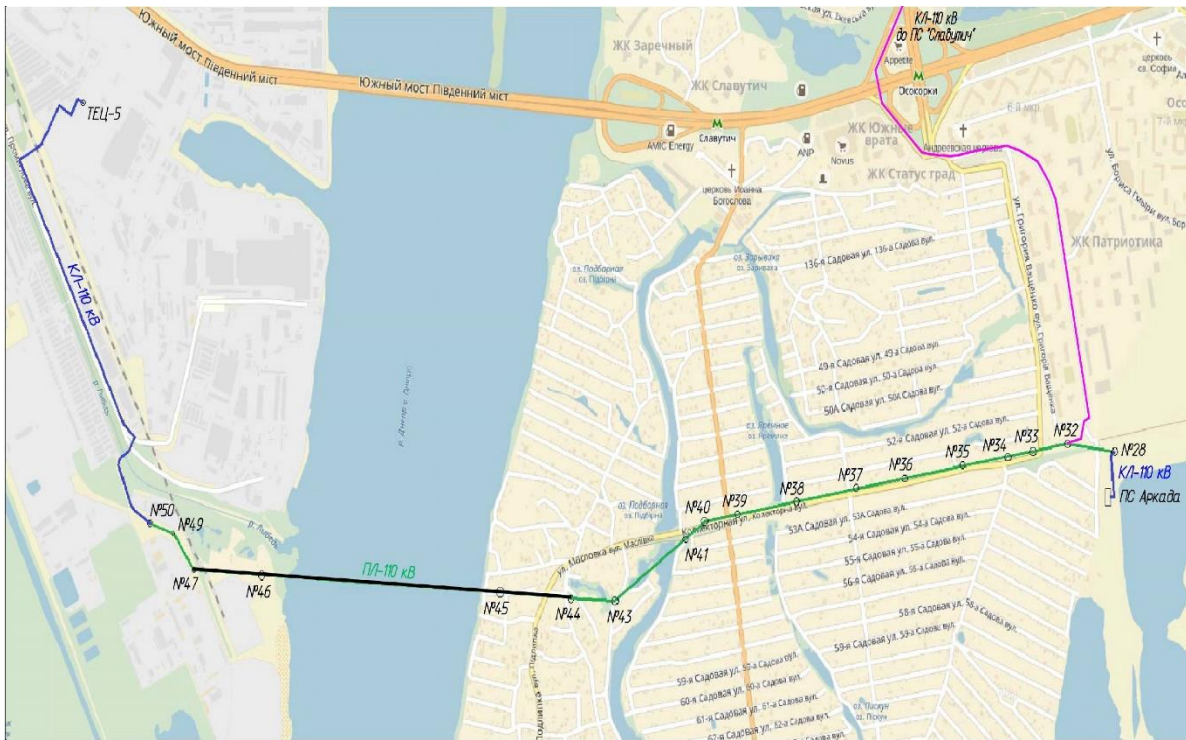


Рисунок 1 – Загальна схема ЛЕП 110 кВ «ТЕЦ5 – Аркада»

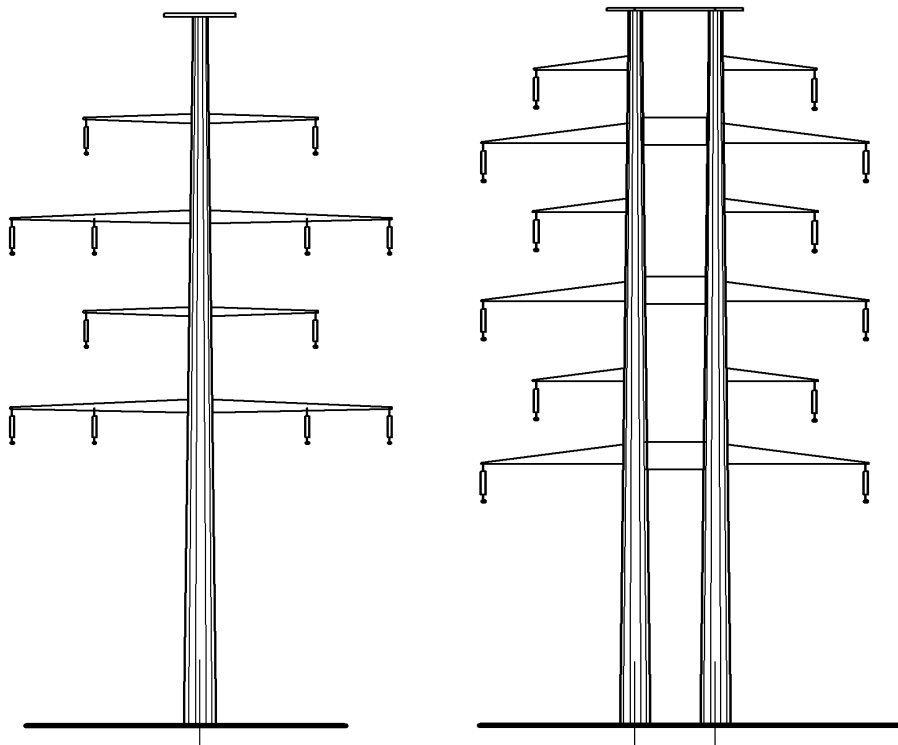


Рисунок 2 – Загальний вигляд чотириколових проміжних опор ПЛ

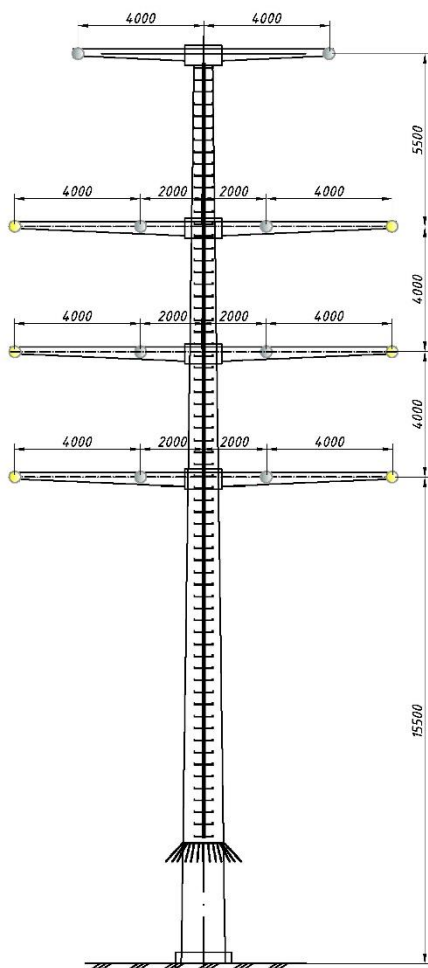


Рисунок 3 – Загальний вигляд чотирикової опори ПЛ напругою 110 кВ



Рисунок 4 – Приклад встановлення опори багатокової ПЛ

У методиці розрахунку електричного та магнітного полів ліній електропередавання [4] наведено аналітичні вирази та приклад визначення напруженості електричного поля для «традиційної» лінії електропередавання з горизонтальним розташуванням проводів фаз. Натомість, проектом реконструкції існуючої ПЛ 110 кВ «ТЕЦ5 – Аркада» у м. Києві, як зазначалося вище, передбачено встановлення чотирикової опори з вертикальним розташуванням проводів фаз. При цьому напруженість електричного поля як під опорою, так і в прогоні ПЛ буде істотно відрізнитися від значень для випадків опор з класичним горизонтальним розташуванням проводів.

Програмний пакет Comsol – потужний інженерний та дослідницький інструмент, за допомогою відповідних бібліотек якого можна створювати складні динамічні багатовекторні моделі розподілення в часі та просторі багатьох параметрів [5]. Вбудована програма візуалізації дозволяє відслідковувати динаміку зміни контрольованих параметрів та організувати варіативне моделювання для об'єктів, які відрізняються технічними характеристиками (наприклад, геометричні характеристики та просторове положення проводів багатокових ПЛ різних класів напруги).

Нижче наведено послідовність та результати моделювання напруженості електричного поля для однокової та двокової ПЛ 110 кВ з класичним розташуванням проводів (рис. 5), а також для чотирикової ПЛ напругою 110 кВ з вертикальним розташуванням проводів фаз (рис. 3).

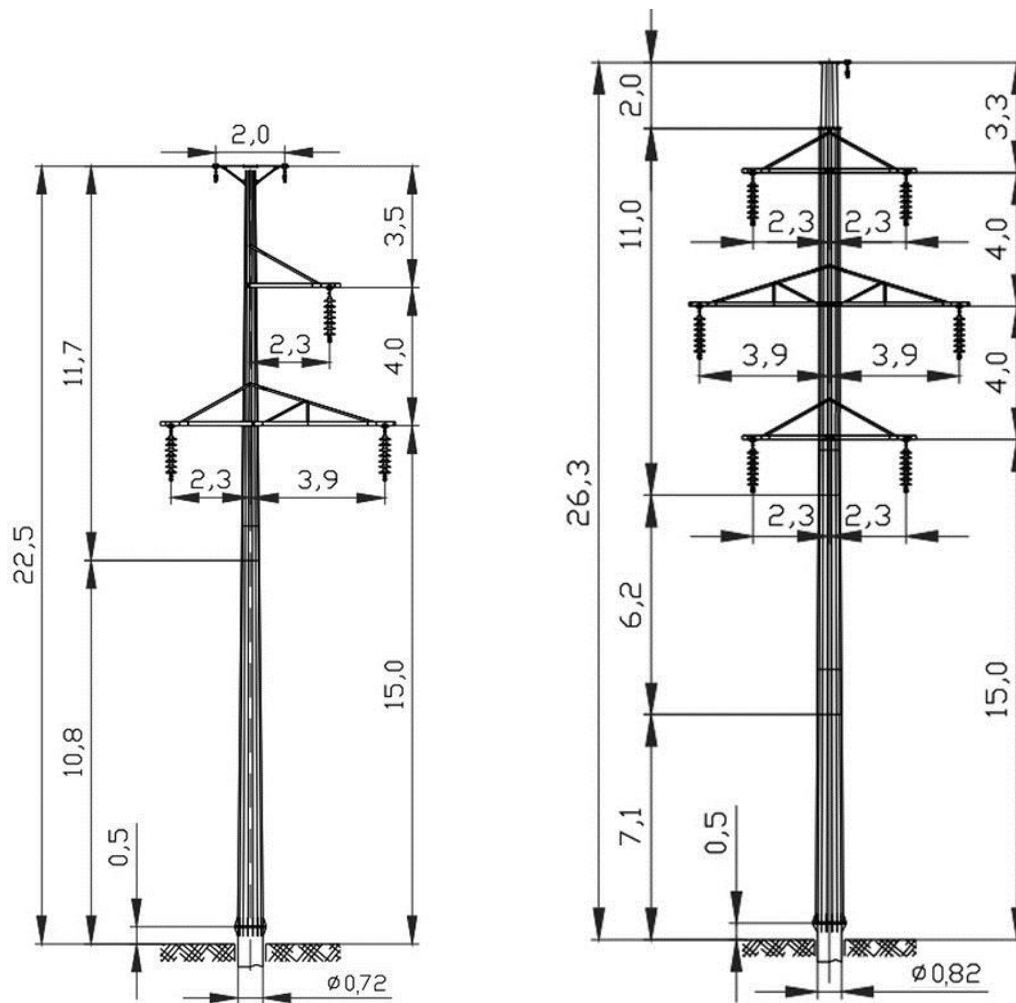


Рисунок 5 – Загальний вигляд одноколової та двоколової опор ПЛ 110 кВ

1. **Одноколова ПЛ напругою 110 кВ.** Виконувалося моделювання розподілення електричного поля та визначалося значення напруженості електричного поля на відстані 1,8 м від поверхні землі під опорою та в прогоні ПЛ. Результати моделювання та розрахунку наведено на рис. 6 – 7.

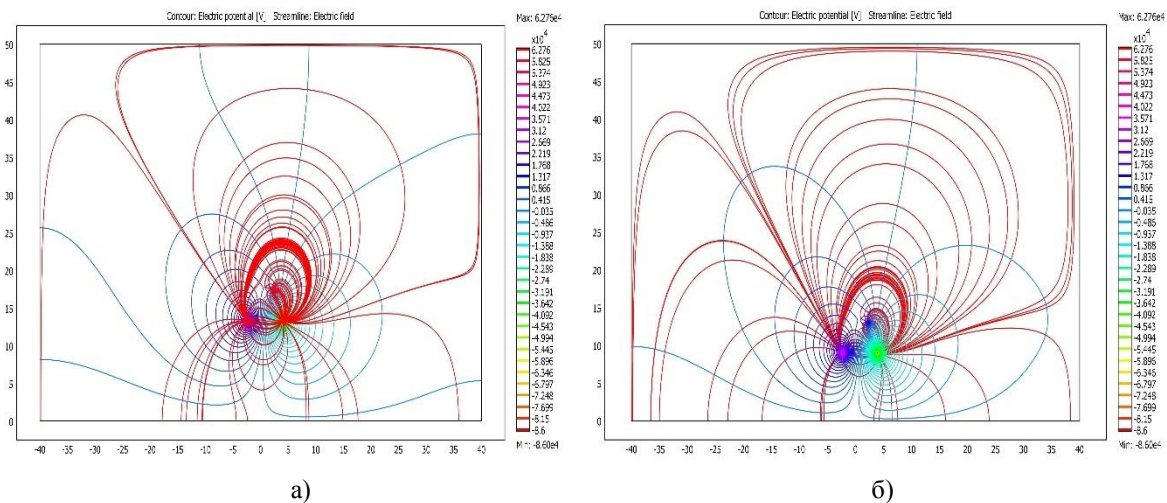


Рисунок 6 – Розподілення електричного поля під опорою (а) та в прогоні (б) одноколової ПЛ 110 кВ

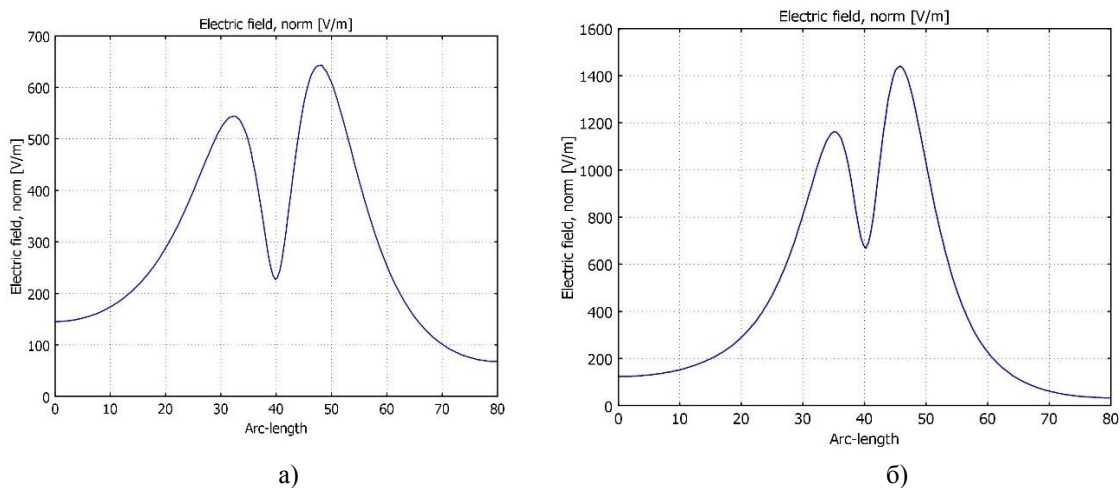


Рисунок 7 – Розрахунок напруженості електричного поля під опорою (а) та в прогоні (б) одноколової ПЛ 110 кВ

2. **Двоколова ПЛ напругою 110 кВ.** Виконувалося моделювання розподілення електричного поля та визначалося значення напруженості електричного поля на відстані 1,8 м від поверхні землі під опорою та в прогоні ПЛ. Результати моделювання та розрахунку наведено на рис. 8 – 9.

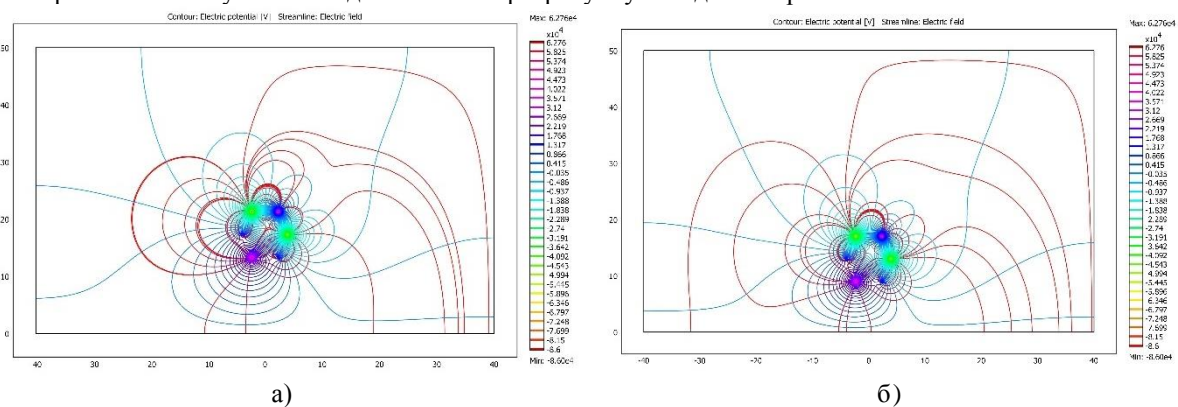


Рисунок 8 – Розподілення електричного поля під опорою (а) та в прогоні (б) двоколової ПЛ 110 кВ

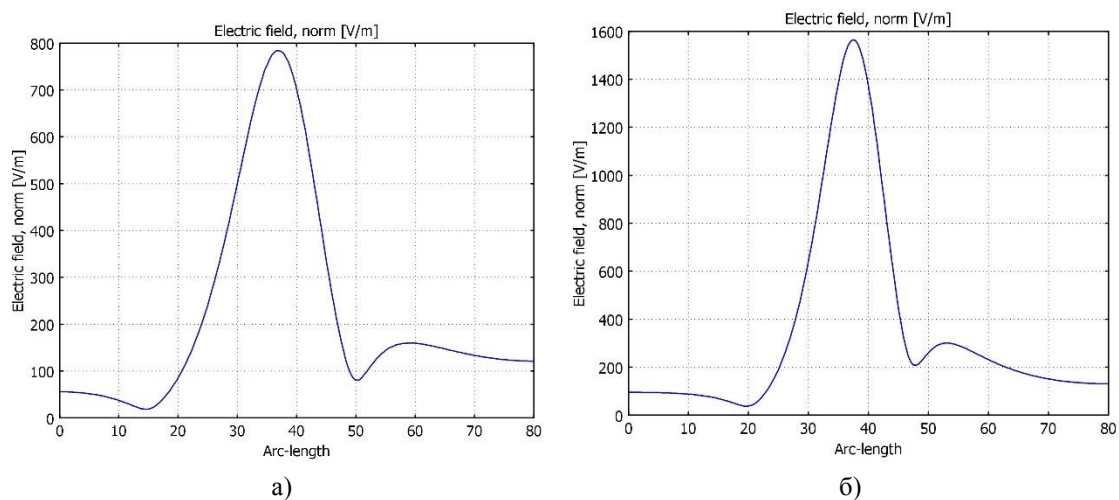


Рисунок 9 – Розрахунок напруженості електричного поля під опорою (а) та в прогоні (б) двоколової ПЛ 110 кВ

3. Чотириколова ПЛ напругою 110 кВ. Виконувалося моделювання розподілення електричного поля та визначалося значення напруженості електричного поля на відстані 1,8 м від поверхні землі під опорою з вертикальним розташуванням проводів фаз (загальний вигляд опори наведено на рис 3.) та в прогоні ПЛ (габарит дорівнює 7 м). Результати моделювання та розрахунку наведено на рис. 10 – 11.

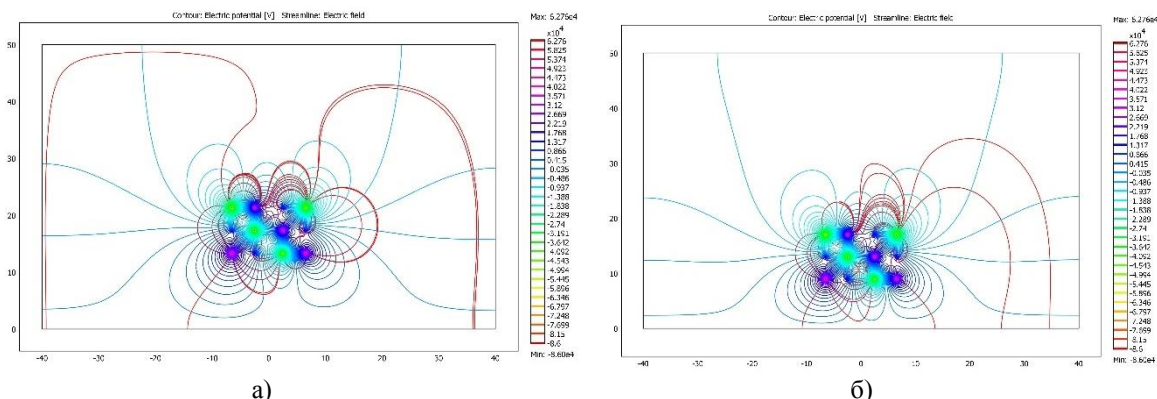


Рисунок 10 – Розподілення електричного поля під опорою (а) та в прогоні (б) чотирикової ПЛ 110 кВ

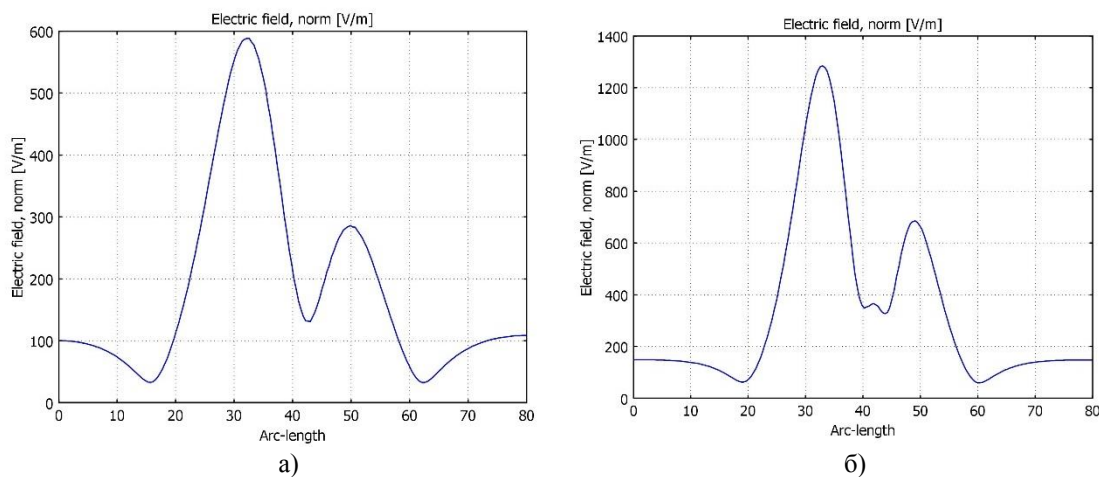


Рисунок 11 – Розрахунок напруженості електричного поля під опорою (а) та в прогоні (б) чотирикової ПЛ 110 кВ (габарит 7 м)

4. Чотириколова ПЛ напругою 110 кВ. Критичний габарит 6 м. Виконувалося моделювання розподілення електричного поля та визначалося значення напруженості електричного поля на відстані 1,8 м від поверхні землі в прогоні ПЛ (для критичного значення габариту, яке дорівнює 6 м). Результати моделювання та розрахунку наведено на рис. 12.

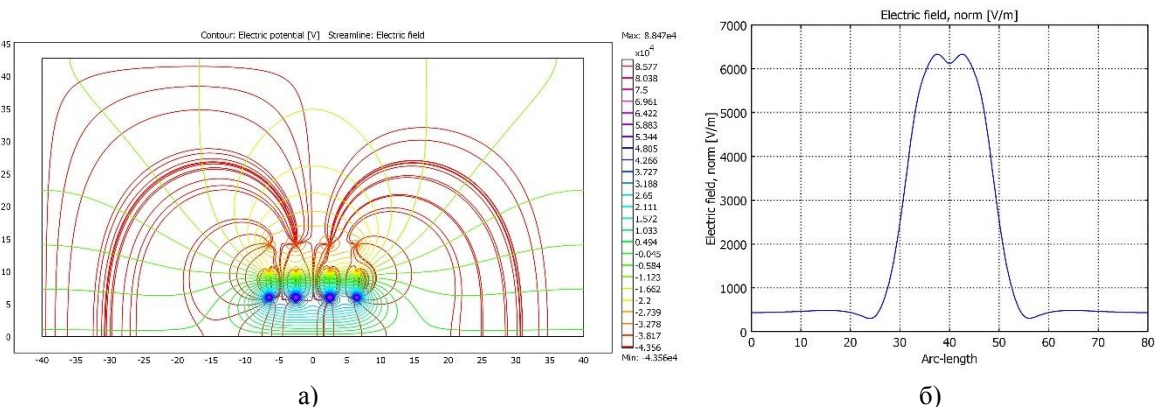


Рисунок 12 – Розподілення електричного поля (а) та розрахунок напруженості електричного поля (б) в прогоні чотирикової ПЛ 110 кВ для критичного габариту 6 м

**Висновки** Забезпечення надійної роботи повітряних ліній електропередачі – запорука надійної та ефективної роботи систем електропостачання різних класів напруги.

Впровадження інноваційних інженерних рішень під час реконструкції існуючих ПЛ (одним із яскравих прикладів яких є використання багатоколових повітряних ліній електропередавання) дозволить істотно підвищити надійність систем зовнішнього електропостачання м. Києва.

Для забезпечення надійної та безпечної експлуатації багатоколових ліній електропередавання, особливо з вертикальним розташуванням проводів фаз, доцільно ще на етапі проектування виконати дослідження розподілення електричного поля та розрахунок напруженості електричного поля зазначених ПЛ. Ефективним інструментом таких досліджень є програмний пакет Comsol.

Наведено результати моделювання розподілення електричного поля та розрахунку напруженості електричного поля в прогоні як для традиційних одноколових та двоколових ПЛ напругою 110 кВ, так і для чотирикової ПЛ 110 кВ, яку планується споруджувати у м. Києві в рамках реконструкції існуючої ПЛ 110 кВ «ТЕЦ5 – Аркада». При цьому моделювання виконувалося як для нормального (7 м), так і для критичного габариту 6 м.

Отримані результати моделювання зокрема свідчать про те, що в останньому випадку отримане значення напруженості електричного поля (більше 6 кВ/м) істотно перевищує максимально допустиме значення 5 кВ/м.

На думку авторів, після спорудження та введення в експлуатацію зазначеної вище багатокової ПЛ необхідно провести додаткові вимірювання фактичних значень напруженості електричного поля та порівняти їх з отриманими результатами моделювання.

#### **Список використаної літератури**

1. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навч. посібник / С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, Б.М. Сердюк. – Київ.: НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с. – ISBN 978-966-622-453-1.

2. СОУ 40.1-00013741-36:2010 Рекомендації щодо проектування та будівництва багатоколових ліній електропередачі напругою 35 – 330 кВ. // Затверджено наказом Мінпаливенерго України від 2 грудня 2010 р. № 511.

3. СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008 Розрахунок електричного і магнітного полів лінії електропередавання. Методика. // Затверджено наказом Мінпаливенерго України від 20 жовтня 2008 р. № 512. – К.: ДП УДНДПВІ «Укрсіленергопроект», 2008.

4. ПУЕ-2006. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.4 Повітряні лінії електропередавання напругою до 1 кВ. Глава 2.5 Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ. Затв. наказом Мінпаливенерго України від 05.01.2006 р. № 3. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2006.

5. COMSOL Multiphysics User 's Guide, Version 4.3, May 2012.

**S. Kazanskiy**, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0002-6113-2600

**V. Mossakovskiy**, TF, **ORCID** 0000-0002-5096-5957

**O. Mironenko**, Msc, **ORCID** 0000-0001-9435-9097

**M. Sokolov**, Msc, **ORCID** 0000-0003-2258-1611

**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

## **APPLICATION FEATURES OF POLY-CIRCUIT OVERHEAD TRANSMISSION LINES**

*It was shown the necessity to improve the operational reliability of overhead transmission lines as one of the main parts of the electric power transmission system. Question considered the feasibility of using poly-circuit overhead transmission lines. Analyzed the regulatory framework governing the design and construction of poly-circuit overhead transmission lines, as well as the calculation of electric and magnetic fields. It was shown that the regulatory framework governing nonrelevant to the possibility of using poly-circuit overhead transmission lines with a vertical arrangement of the phases wires.*

*It was substantiated the advisability of additional in-depth studies of the electric and magnetic fields distribution of poly-circuit overhead transmission lines of various designs and voltage levels. It was presented the sequence of modeling the distribution of the electric field for overhead transmission line both traditional and poly-circuit design of 110 kV.*



*It was presented the simulation results that confirm the accounting feasibility the design of transmission towers and the spatial arrangement of wires during the calculating of electric field strength. It was shown that simulation results using will significantly improve the reliability and operational safety of poly-circuit overhead transmission lines.*

**Keywords:** power supply reliability, poly-circuit overhead transmission lines, electric field strength, dynamic modeling.

#### References

1. Kazansky S. Reliability of power systems: training aid /S. Kazansky, Y. Mateyenko, B. Serdyuk. – К.: NTUU «KPI», 2011. – P.216 – ISBN 978-966-622-453-1.
2. UOS 40.1-00013741-36:2010 Recommendations for the design and construction of poly-circuit transmission lines 35 - 330 kV.//Approved by the order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, dated December 2, 2010 No. 511.
3. UOS-N EE 20.179:2008 Calculation of the electric and magnetic fields of the transmission line. Method.//Approved by the order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, dated October 20, 2008 No. 512. - К.: DP UDNSIPVI "Ukrsilenergooproekt", 2008.
4. REI-2006. Rules for electrical installation. Issue 2. Transmission of electricity. Chapter 2.4 Air lines of power transmission up to 1 kV. Chapter 2.5 Air lines of power transmission voltage above 1 kV to 750 kV. Approved by the order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, dated January 05, 2006 No 3. – К.: GREIFER OEEP, 2006.
5. COMSOL Multiphysics User 's Guide, Version 4.3, May 2012.

Надійшла 28.10.2018

Received 28.10.2018

УДК 621.311.153:681.3.06

**О.И. Александров**, канд. техн. наук, доц., **ORCID** 0000-0002-5608-8131

**Д.О. Иванько**, канд. техн. наук, доц., **ORCID** 0000-0002-4348-6624

**В.В. Зеленко**, аспирант

Белорусский государственный технологический университет,  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,  
Белорусский национальный технический университет

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЕЕ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

*В современных условиях острого дефицита энергоресурсов и перехода к рыночным отношениям многих предприятий неизменно возрастает роль оптимизационных расчетов в энергетике. Переход от директивных методов распределения топлива к экономическим при неуклонном росте цен на энергоносители влечет за собой ряд принципиальных трудностей и предполагает решение комплекса взаимосвязанных задач. К их числу относятся: оптимизация распределения активной мощности между электростанциями энергосистемы с учетом потерь в сети и удельных расходов топлива; учет ограничений по поставкам топлива; режимно-экономическое взаимодействие генерирующих и потребляющих предприятий с учетом регулирующего эффекта нагрузки; выравнивание графиков нагрузки энергосистемы и промышленных предприятий; оперативное управление электропотреблением с оптимизацией режима работы системных потребителей-регуляторов.*

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, оптимизация, нагрузочные узлы, электроприемники, режимно-обособленные группы, зонные коэффициенты, матрица ограничивающих констант, горизонтально-вертикальное маневрирование, деформация суточного графика нагрузки.