

УДК 621.315.1:621.316.97

doi:10.20998/2413-4295.2025.04.11

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ ТА БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ З ІЗОЛЬОВАНИМИ ПРОВОДАМИ

A. O. СЕМЕНОВ^{1*}, Н. В. СЕМЕНОВА²

¹ кафедра механічної та електричної інженерії, Полтавський державний аграрний університет, Полтава, УКРАЇНА

² відділ електричної інженерії, Полтавське відділення академії наук технологічної кібернетики, Полтава, УКРАЇНА

*e-mail: aseven2015@gmail.com

АНОТАЦІЯ Показано актуальність підвищення надійності та електробезпеки повітряних ліній електропередачі з урахуванням переходу від оголених проводів до самоутримних ізольованих конструкцій низької та середньої напруги. Розглянуто підхід до вибору типів опор і основні принципи розрахунку конструкцій повітряних ліній за методом граничних станів з урахуванням нормального, аварійного та монтажного режимів роботи. Акцентовано увагу на співвідношенні горизонтальних і вертикальних навантажень, впливі вітрового тиску, ваги проводів, тросів, ізоляторів та монтажних пристроїв на розміри елементів опор і фундаментів. Проаналізовано методи вибору площ поперечного перерізу проводів повітряних та кабельних ліній за економічною густиною струму і економічними інтервалами струму, наведено умови перевірки за допустимим нагріванням та втратою напруги для різних класів напруги і конфігурацій мереж. Розглянуто особливості вибору перерізу фазних жил самоутримних ізольованих проводів з урахуванням допустимих температур нагрівання ізоляції з термопластичного і щитового поліетилену, кількості годин використання максимуму навантаження, механічної міцності та вимог до втрат напруги. Проаналізовано розрахункові випадки ураження повітряних ліній з тросовим захистом блискавкою: прорив через тросовий захист, удар у опору з можливим зворотним перекриттям ізоляції та удар у трос у середині прольоту з пробоем проміжку трос–провід. Наведено спрощені співвідношення для оцінювання критичного струму блискавки та ймовірності перекриття лінійної ізоляції з урахуванням параметрів опор, тросів і заземлювачів. Розглянуто конструкційні та технологічні особливості улаштування повітряних ізольованих ліній, включаючи типізацію опор, способи їх закріплення, організацію розкочування та натягування самоутримних ізольованих проводів, тросів-лідерів і пресових з'єднувальних затискачів. Підтверджено доцільність застосування нелінійних обмежувачів перенапруг як базового засобу захисту обладнання та ізоляції повітряних ліній від грозових і комутаційних перенапруг у діапазоні напруг від 0,38 до 110 кВ. Узагальнено вимоги до умов експлуатації, кліматичної стійкості, типу ізоляції та конструктивного виконання полімерних і фарфорових обмежувачів перенапруг. Сформульовано рекомендації щодо комплексного поєднання розрахунку конструкцій, вибору перерізів проводів, систем блискавкозахисту та технології монтажу для підвищення надійності і енергоефективності повітряних ліній з ізольованими проводами.

Ключові слова: повітряна лінія електропередачі; самоутримний ізольований провід; розрахунок опор; вибір перерізу проводу; грозова перенапруга; блискавкозахист; обмежувач перенапруг

ANALYSIS OF DESIGN METHODS AND LIGHTNING PROTECTION FOR OVERHEAD LINES WITH INSULATED CONDUCTORS

A. SEMENOV^{1*}, N. SEMENOVA²

¹ Department of Mechanical and Electrical Engineering, Poltava State Agrarian University, Poltava, UKRAINE

² Department of Applied Electrical Engineering, Poltava Branch of the Academy of Technological Cybernetics, Poltava, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of this research is to analyze and improve the technical approaches to designing overhead power lines with self-supporting insulated conductors during the transition from bare conductors in low- and medium-voltage networks. The applied methods include analytical evaluation of mechanical and climatic loads using the limit state design approach, comparative assessment of conductor sizing methods based on economic current density and economic current intervals, and modeling of lightning impact using simplified expressions for critical lightning current and insulator flashover probability. The results show that enhancing the reliability and electrical safety of overhead lines requires detailed consideration of the predominance of horizontal loads over vertical ones, the influence of wind pressure, conductor and ground wire weight, insulators and mounting equipment on the dimensions of supports and foundations. The study examines the selection of conductor cross-sections in overhead and cable lines, verifying thermal limits and voltage drop for various voltage levels and network configurations. Particular attention is paid to sizing phase conductors of self-supporting insulated cables considering allowable operating temperatures of thermoplastic and cross-linked polyethylene insulation, the annual duration of maximum load, mechanical strength, and voltage drop constraints. The main lightning impact scenarios are analyzed, including shielding failure, direct lightning strokes to the tower with back-flashover, and lightning strokes to the shield wire in mid-span causing flashover of the shield-to-phase air gap. The research confirms the importance of tower height, grounding resistance, and the inductances of the tower and shield wire for evaluating lightning performance. Structural and technological aspects of erecting insulated overhead lines are presented, including standardization of concrete and steel poles, methods of pole footing in various soils, installation of hooks and cross-arms, conductor stringing using running blocks, pilot ropes and pulling grips, and compression joints for phase conductors. The role of nonlinear metal-oxide surge arresters as a primary means of protecting equipment and insulation in the voltage range from 0.38 to 110 kV is substantiated; the requirements for environmental resistance, pollution performance, mechanical strength, and design of polymeric and porcelain-

housed arresters are summarized. The conclusions emphasize that the coordinated use of structural design methods, conductor sizing techniques, lightning protection systems and modern erection technologies significantly increases the reliability, operational safety and energy efficiency of overhead lines employing self-supporting insulated conductors.

Keywords: overhead power line; self-supporting insulated conductor; pole design; conductor cross-section selection; lightning overvoltage; lightning protection; surge arrester

Вступ

Стрімкий розвиток електроенергетичного сектору зумовлює підвищення вимог до ефективності роботи, адаптивності та експлуатаційної надійності розподільчих електричних мереж [1]. Важливу роль у їхній структурі відіграють мережі напруги 0,38-10кВ, які забезпечують живлення побутових, комерційних і виробничих споживачів. Сучасні умови експлуатації таких мереж істотно ускладнюються внаслідок кількох актуальних тенденцій: зростання кількості електротехнічних пристроїв, поширення енергоємного обладнання як у побутовому, так і у промисловому секторах, а також активного розвитку систем розподіленої генерації [2] та втратами електроенергії в розподільчих мережах [3].

У цих умовах особливої уваги потребує вибір типу розподільчих ліній та особливостей їхнього проектування, адже конструктивні рішення безпосередньо впливають на надійність і стійкість мереж до зовнішніх впливів. Саме тому широке впровадження повітряних ліній електропередачі з самоутримними ізолюваними проводами у розподільчих мережах 0,38–10 кВ зумовлює необхідність перегляду підходів до розрахунку конструкцій, вибору перерізів проводів та систем блискавкозахисту [4,5]. На відміну від традиційних ліній з оголеними проводами, ізолювані повітряні лінії поєднують підвищену електробезпеку, можливість прокладання серед зелених насаджень і в стіснених міських умовах із жорсткішими вимогами до механічної міцності опор та арматури [6]. Одночасно зростають вимоги до грозостійкості ліній, зниження кількості відключень та обмеження рівнів перенапруг [7], що впливають на ізоляцію обладнання і споживачів.

У сучасних нормативних документах для проектування повітряних ліній передбачено застосування методу граничних станів, урахування спектра кліматичних впливів, режимів роботи мережі, а також використання нелінійних обмежувачів перенапруг [8] замість вентиляльних розрядників. Це потребує комплексного аналізу механічних, електричних та грозових навантажень і визначення раціональних параметрів опор, проводів, тросів та захисних пристроїв [8].

Мета роботи

Метою роботи є узагальнення та систематизація підходів до [9-11]: розрахунку конструкцій опор повітряних ліній електропередачі за методом граничних станів; вибору перерізів проводів повітряних і кабельних ліній, у тому числі фазних

жил самоутримних ізолюваних проводів; аналізу розрахункових випадків ураження повітряних ліній блискавкою та оцінювання ймовірності відключень; опису технологічних особливостей монтажу повітряних ізолюваних ліній і застосування нелінійних обмежувачів перенапруг як основного засобу захисту від атмосферних та комутаційних перенапруг [7].

Виклад основного матеріалу

1. Розрахунок конструкцій опор повітряних ліній [12].

Навантаженнями, що діють на опори повітряних ліній та їх основи, є постійні (власна вага опори, ізоляторів, проводів і тросів), короточасні (вітер, ожеледь) та монтажні навантаження. Розрахунок металевих і залізобетонних опор виконується за методом граничних станів з урахуванням трьох режимів роботи:

а) нормальний режим - усі проводи та троси цілі, діють основні постійні й короточасні навантаження;

б) аварійний режим – обрив одного або кількох проводів чи тросів, зростання нерівномірних горизонтальних навантажень, введення підвищувальних коефіцієнтів до розрахункових зусиль;

в) монтажний режим – тимчасові комбінації навантажень під час установлення опор, підйому та натягування проводів [13].

Горизонтальні навантаження, які часто визначають розміри елементів опор і фундаментів, включають: вітровий тиск на конструкцію опори; навантаження від тяжіння проводів і тросів, перетворене в еквівалентні горизонтальні сили.

Повне вітрове навантаження на опору визначають за виразом

$$P_{on} = C_x Q_n S \beta, \quad (1)$$

де S – площа проєкції опори на площину, перпендикулярну до вітру, Q_n – нормативний тиск вітру, β – коефіцієнт динамічності, що залежить від типу опори.

Навантаження від тяжіння проводів і тросів:

$$T = F \sigma, \quad (2)$$

де F – площа поперечного перерізу проводу, σ – напруга в металі, отримана з механічного розрахунку прогону для заданих кліматичних умов [8].

До вертикальних навантажень відносять власну вагу опори, гірлянд ізоляторів, проводів і тросів, а

також нормативну вагу монтажних пристроїв, що береться залежно від класу напруги та типу опори [9].

2. Вибір перерізів проводів повітряних і кабельних ліній.

Економічний вибір перерізів провідників ґрунтується на методі економічної густини струму та методі економічних інтервалів струму. Для нормального робочого режиму максимальних навантажень визначається розрахунковий струм $I_{нб}$, після чого за заданою економічною густиною струму J_e знаходять поперечний переріз:

$$F = \frac{I_{нб}}{J_e}. \quad (3)$$

У мережах 35–220 кВ для повітряних ліній доцільнішим є використання економічних інтервалів струму [14], де розрахунковий струм

$$I_p = I_{нб} \alpha_i \alpha_T, \quad (4)$$

а коефіцієнти α_i і α_T враховують зміну навантаження за роками експлуатації та кількість годин використання максимуму навантаження протягом року.

Обов'язковою є перевірка вибраного перерізу за умовою допустимого нагрівання [15]:

$$I_{нб} \leq I_{доп}, \quad (5)$$

де $I_{доп}$ – допустимий тривалий струм провідника з урахуванням реальних умов прокладання і можливих післяаварійних перевантажень.

У мережах 0,38–20 кВ проводиться перевірка за допустимою втратою напруги

$$\Delta U_{нб} \leq \Delta U_{доп}, \quad (6)$$

яка забезпечує дотримання нормативних відхилень напруги у споживачів.

Для мереж з багатьма навантаженнями додатково можуть враховуватися умови: сталості перерізу всієї лінії; мінімуму витрат металу; мінімуму втрат потужності за умови сталості густини струму по ділянках.

3. Вибір перерізу фазних жил самоутримних ізольованих проводів

Самоутримні ізольовані проводи використовують у мережах 0,38–1 кВ для створення повітряних ізольованих ліній [12], що поєднують функції фазних та несучих елементів. Ізоляція виконується з термопластичного або зшитого поліетилену, при цьому допустимі температури нагрівання жил суттєво відрізняються. Для проводів з термопластичною ізоляцією нормована тривала температура становить 70 °С, для зшитого поліетилену – 90 °С, а в режимі короткого замикання допускаються значно вищі температури [4].

Економічно доцільний переріз фазних жил визначають: за економічною густиною струму й тривалістю використання максимуму навантаження, якщо кількість годин максимуму сягає 4000–5000 год/рік; за допустимим нагріванням – при меншій тривалості максимуму, з подальшою перевіркою на механічну міцність та втрати напруги [6,7].

Додаткові обмеження зумовлені мінімально допустимими перерізами за умовою механічної міцності (запобігання обривам при ожеледі та вітру) та вимогами до грозостійкості, якщо проводи одночасно виконують функції троса.

4. Розрахункові випадки ураження повітряних ліній блискавкою

При прямій дії блискавки на повітряну лінію з тросовим захистом можливі такі механізми відключення [16]:

- прорив блискавки через тросовий захист – удар між тросом і фазним проводом з подальшим пробоем ізоляції;

- удар блискавки в опору і зворотне перекриття ізоляції – імпульсний струм проходить через заземлювач і індуктивність опори, створюючи імпульсну напругу на вершині опори; при досягненні імпульсної розрядної напруги гірлянди виникає перекриття з опори на фазний провід;

- удар блискавки в трос у середині прольоту – формування імпульсу напруги на тросі та можливий пробій повітряного проміжку трос–провід, якщо середня напруженість електричного поля перевищує критичне значення [4].

Ймовірність прориву тросового захисту залежить від захисного кута троса, висоти опори, параметрів грозової активності району та статистичних характеристик амплітуди й крутості фронту струму блискавки. У спрощеному вигляді критику струму, що призводить до перекриття ізоляції, можна оцінити через імпульсний опір заземлення опори, індуктивність стійки та геометрію тросового захисту.

5. Технологія монтажу повітряних ізольованих ліній

Монтаж повітряних ізольованих ліній включає етапи [17]:

- улаштування опор у котлованах або ґрунті порушеної структури з засипанням чи бетонуванням пазух;

- монтаж гаків і траверс із використанням бандажної стрічки для фіксації на круглих і прямокутних залізобетонних стійках;

- розкочування самоутримного ізольованого проводу за допомогою монтажних роликів, тросалідера, кабельних панчіх і вертлюгів, що запобігає пошкодженню ізоляції;

- натягування ділянок ПЛІ з контролем монтажного натягу динамометром, формування анкерних петель і встановлення підтримувальних затискачів;

- виконання електричних з'єднань у пролітній частині або в петлях анкерних опор пресовими з'єднувальними затискачами, що забезпечують не менше 90 % розривної міцності проводу;
- встановлення заземлювачів і нелінійних обмежувачів перенапруг у вузлових точках лінії та на вводах до підстанцій і розподільчих пунктів.

Обговорення результатів

Для ілюстрації впливу вибраного перерізу фазних жил та заземлення опор на грозостійкість розглянуто спрощений приклад розрахунку. Нехай для розподільчої мережі 10 кВ обрано два варіанти виконання повітряної ділянки:

1 варіант – традиційна лінія з оголеними алюмінієвими проводами перерізом 50 мм²;

2 варіант – повітряна ізольована лінія з самоутримним проводом з ізоляцією із зшитого поліетилену перерізом 50 мм² [6,17].

У табл. 1 наведено орієнтовні розрахункові значення питомих втрат напруги та максимально допустимого тривалого струму для обох варіантів. Питомі втрати напруги та допустимі струми узгоджуються з нормативними значеннями, наведеними у [12,14,15].

Таблиця 1 – Порівняння параметрів повітряної лінії з оголеними та ізольованими проводами

N	Тип лінії	Допустимий струм, А	Питома втрата напруги, %/км	Число відключень 1/100 км·рік
1	Оголені проводи 3×50 мм ²	180	3,0	3,0
2	СПП зі зшитим поліетиленом 3×50 мм ²	210	2,2	1,2

Збільшення допустимого струму для СПП пояснюється вищими допустимими температурами нагрівання ізоляції [15,17], а зниження питомої втрати напруги – меншим індуктивним опором багатожильного скрученого дроту [6]. Зменшення кількості відключень від блискавки досягається завдяки: підвищеній грозостійкості ізольованих фазних провідників [4,7]:

- можливості раціонального розміщення тросів і обмежувачів перенапруг [8,11];
- зменшенню кількості перекриттів відкритих ізоляційних проміжків [4,5].

Графічно залежність розрахункового числа відключень $n_{відк}$ від критичного струму блискавки $I_{кр}$, що забезпечується різними варіантами заземлення опор і схемами блискавкозахисту, можна подати як спадну криву (рис. 1): при збільшенні $I_{кр}$ частота відключень монотонно зменшується, а перехід до

конструкцій з двома тросами та зменшеним імпульсним опором заземлювачів зміщує криву вниз. Подібні залежності отримані у працях [4,8,16].

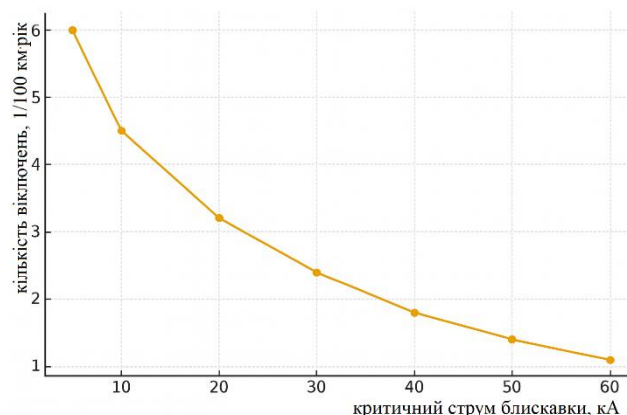


Рис. 1 – Орієнтовна залежність числа відключень повітряної лінії від критичного струму блискавки

З аналізу випливає, що:

- оптимізація перерізу проводів за економічними критеріями без урахування грозових факторів може призвести до зниженої грозостійкості [1];
- використання СПП із зшитим поліетиленом дає можливість збільшити пропускну здатність лінії без заміни опор, але потребує ретельного розрахунку монтажних і аварійних режимів [6,13];
- комплексне застосування тросового захисту та нелінійних обмежувачів перенапруг дозволяє суттєво зменшити ймовірність відключень при прямих і наведених ударах блискавки [4,5,7,16].

Висновки

Показано, що застосування методу граничних станів для розрахунку конструкцій повітряних ліній забезпечує коректний облік нормальних, аварійних та монтажних навантажень і дає змогу раціонально вибирати типи опор, схеми фундаментів та арматури.

Вибір перерізів проводів повітряних і кабельних ліній на основі економічної густини струму та економічних інтервалів повинен обов'язково супроводжуватися перевіркою за умовами допустимого нагрівання, втрати напруги та механічної міцності, особливо для довгих розподільчих ліній з малими навантаженнями.

Для самоутримних ізольованих проводів доцільно застосовувати ізоляцію із зшитого поліетилену, що забезпечує вищі допустимі струми і більшу пропускну здатність, однак вимагає коректного обліку температурних режимів та умов охолодження.

Аналіз розрахункових випадків ураження повітряної лінії блискавкою свідчить про необхідність одночасного вдосконалення тросового захисту, зменшення імпульсного опору заземлення опор та

застосування нелінійних обмежувачів перенапруг для зниження ймовірності відключень.

Технологія монтажу повітряних ізольованих ліній з використанням монтажних роликів, тросів-лідерів і пресових з'єднувальних затискачів забезпечує збереження ізоляції проводів, підвищує надійність контактних з'єднань і скорочує витрати на експлуатацію.

Комплексний підхід, що поєднує оптимізований розрахунок конструкцій, вибір перерізу проводів, сучасні засоби блискавкозахисту та раціональну технологію монтажу, є ефективним засобом підвищення надійності, енергоефективності та електробезпеки повітряних ліній з ізольованими проводами.

Список літератури

1. Зайцев М. О., Кучанський В. О., Гунько І. О. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановок. Монографія. Друкарня ФОП Гуляєва В.М., 2021. 156 с.
2. Semenova N., Semenov A., But A. Methodology for assessing design loads in 0.38 kV power supply networks. *Slovak International Scientific Journal*. 2025. № 98. P. 6–11. doi:10.5281/zenodo.16892485.
3. Семенов А. О., Харак Р. М., Арендаренко В. М., Бичков Я. М. Розрахунок втрат електроенергії в розподільчих мережах при електропостачанні з використанням масляних та вакуумних вимикачів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2024. Вип. 1(8). С. 105–110. doi:10.20998/2224-0349.2024.01.13. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/17374>.
4. Sarajcev P., Lovric D. Statistical Safety Factor in Lightning Performance of Distribution Lines. *Energies*. 2022. doi:10.3390/en15218248.
5. Foroughi A., Behrooz V., Mousavi E. Improved flashover prediction for overhead lines: Considering ground stratification and insulation volt-time characteristics. *High Voltage*. 2025. 10(4). P. 1061–1071. doi:10.1049/hve2.70056.
6. Agarwal H., Mukherjee K., Barna P. Partially and fully insulated conductor systems for low and medium voltage overhead distribution lines. *IEEE 1st International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*. 2013. doi:10.1109/CATCON.2013.6737537.
7. Binkevych T. Means of lightning protection of overhead power transmission lines with isolated neutral. *JCPEE*. 2017. № 7(1). P. 11–16. doi:10.23939/jcpee2017.01.011.
8. Stracqualursi E., Araneo R., Fario J. A. B., Andreotti A. Protection of distribution overhead power lines against direct strokes of lightning strokes by means of underbuilt ground wires. *Electric Power Systems Research*. 2022. 202(1). P. 107571. doi:10.1016/j.epsr.2021.107571.
9. ДСТУ EN 50341-2-13:2022. Повітряні електричні лінії напругою понад 1 кВ змінного струму. Частина 2-13. Національні нормативні аспекти (NNA) для Італії (EN 50341-2-13:2017, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. URL: <https://online.budstandart.com> (дата звернення: 19.11.2025).

10. IEC 60826:2017. *Design criteria of overhead transmission lines*. International Electrotechnical Commission, 2017. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/33148> (дата звернення: 20.11.2025).
11. IEC 60071-2:2018. *Insulation coordination – Part 2: Application guidelines*. International Electrotechnical Commission, 2018. URL: <https://www.academia.edu> (дата звернення: 19.11.2025).
12. ДСТУ EN 50341-1:2018. Повітряні лінії електропередачі понад 1 кВ змінного струму. Частина 1. Загальні вимоги. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102799
13. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Київ, Мінрегіонбуд України, 2006. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=89759
14. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок, 2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758
15. IEC 60287-1-1:2023. Electric cables – Calculation of current rating. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/68118>
16. IGRÉ Brochure 63 (1991). Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines. URL: <https://ru.scribd.com/document/768202094/063-2021-1>
17. ДСТУ EN 50483-1...5:2014. Комплектуючі для повітряних ліній із СІП 0,6/1 кВ. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=84248

References (transliterated)

1. Zaitsev M. O., Kuchanskyi V. O., Hunko I. O. *Pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti ta efektyvnosti roboty elektrychnykh merezh ta elektroobladnannia [Improving the operational reliability and efficiency of electrical networks and equipment]*. Monograph. Drukarnia FOP Hulciaeva V. M., 2021, 156 p.
2. Semenova N., Semenov A., But A. Methodology for assessing design loads in 0.38 kV power supply networks. *Slovak International Scientific Journal*, 2025, no. 98, pp. 6–11, doi:10.5281/zenodo.16892485.
3. Semenov A. O., Kharak R. M., Arendarenko V. M., Bychkov Ya. M. *Rozrakhunok vtrat elektroenerhii v rozpodilnykh merezhakh pry elektropostachanni z vykorystanniam maslianykh ta vakuumnykh vymyachiv [Calculation of electricity losses in distribution networks using oil and vacuum circuit breakers]*. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya: Enerhetyka: nadiinist ta enerhoefektyvnist, 2024, iss. 1 (8), pp. 105–110, doi:10.20998/2224-0349.2024.01.13. Available at: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/17374>.
4. Sarajcev P., Lovric D. Statistical Safety Factor in Lightning Performance of Distribution Lines. *Energies*, 2022, doi:10.3390/en15218248.
5. Foroughi A., Behrooz V., Mousavi E. Improved flashover prediction for overhead lines: Considering ground stratification and insulation volt-time characteristics. *High Voltage*, 2025, vol. 10, no. 4, pp. 1061–1071, doi:10.1049/hve2.70056.
6. Agarwal H., Mukherjee K., Barna P. Partially and fully insulated conductor systems for low and medium voltage overhead distribution lines. *IEEE 1st International*

- Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*, 2013, doi:10.1109/CATCON.2013.6737537.
7. Binkevych T. Means of lightning protection of overhead power transmission lines with isolated neutral. *JCPEE*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 11–16, doi:10.23939/jcpee.2017.01.011.
 8. Stracqualursi E., Araneo R., Fario J. A. B., Andreotti A. Protection of distribution overhead power lines against direct strokes of lightning by means of underbuilt ground wires. *Electric Power Systems Research*, 2022, vol. 202, art. 107571, doi:10.1016/j.epsr.2021.107571.
 9. DSTU EN 50341-2-13:2022. Povitriani elektrychni linii napruhoiu ponad 1 kV zminnoho strumu. Chastyna 2-13. Natsionalni normatyvni aspekty (NNA) dlia Italii (EN 50341-2-13:2017, IDT) [Overhead electrical lines exceeding 1 kV AC. Part 2-13. National normative aspects for Italy]. Kyiv. DP «UkrNDNTs», 2022. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102799
 10. IEC 60826:2017. Design criteria of overhead transmission lines. International Electrotechnical Commission, 2017. Available at: <https://webstore.iec.ch/en/publication/33148> (accessed 20.11.2025).
 11. IEC 60071-2:2018. Insulation coordination – Part 2: Application guidelines. International Electrotechnical Commission, 2018. Available at: <https://www.academia.edu> (accessed 19.11.2025).
 12. DSTU EN 50341-1:2018. Povitriani linii elektrychnoi peredachi ponad 1 kV zminnoho strumu. Chastyna 1. Zahalni vymohy [Overhead power lines above 1 kV AC. Part 1. General requirements]. Kyiv. DP «UkrNDNTs», 2018.
 13. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. Normy proiektuvannia [Loads and actions. Design standards]. Kyiv. Minrehionbud Ukrainy, 2006. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=89759 (accessed 19.11.2025).
 14. PUE. Pravyly ulashtuvannia elektroustanovok [Rules for electrical installations]. Official edition, 2017. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758 (accessed 19.11.2025).
 15. IEC 60287-1-1:2023. Electric cables – Calculation of current rating. International Electrotechnical Commission, 2023. Available at: <https://webstore.iec.ch/en/publication/68118> (accessed 20.11.2025).
 16. CIGRÉ Brochure 63. Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines. Paris, 1991. Available at: <https://ru.scribd.com/document/768202094/063-2021-1> (accessed 20.11.2025).
 17. DSTU EN 50483-1...5:2014. Komplektuiuchi dlia povitrianykh linii iz SIP 0,6/1 kV [Fittings for overhead lines with ABC 0.6/1 kV]. Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2014. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=84248 (accessed 20.11.2025).

Відомості про авторів

Семенов Анатолій Олексійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет, професор кафедри механічної та електричної інженерії; м. Полтава, Україна; ORCID: 0000-0003-3184-6925; e-mail: asemen2015@gmail.com

Semenov Anatolii – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Poltava State Agrarian University, Professor of the Department of Mechanical and Electrical Engineering, Poltava, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3184-6925; e-mail: asemen2015@gmail.com

Семенова Наталія Володимирівна – Відділ електричної інженерії, Полтавське відділення технологічної кібернетики, науковий співробітник; м. Полтава, Україна; ORCID: 0000-0003-4495-7712; e-mail: nvsemenova78@gmail.com.

Semenova Nataliia – Department of Electrical Engineering, Poltava Branch of the Academy of Technological Cybernetics, Research Fellow; Poltava, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3184-6925; e-mail: nvsemenova78@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Семенов А. О., Семенова Н. В. Аналіз методів розрахунку конструкцій та блискавкозахисту повітряних ліній з ізолюваними проводами. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 4 (26). С. 72-77. doi:10.20998/2413-4295.2025.04.11.

Please cite this article as:

Semenov A., Semenova N. Analysis of design methods and lightning protection for overhead lines with insulated conductors. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2025, no. 4(26), pp. 72-77, doi:10.20998/2413-4295.2025.04.11.

Надійшла (received) 14.11.2025
Прийнята (accepted) 20.12.2025