

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ОДИНОЧНОГО СТРИЖНЕВОГО БЛИСКАВКОВІДВОДУ****В. І. Кривда, А. С. Пасько, Е. В. Савьолова***Одеський національний політехнічний університет*

**Анотація.** У статті описується математична модель блискавкозахисту, що складається з одиночного стрижневого блискавковідводу, висотою до 150 метрів. Пропонується спрощена методика розрахунку параметрів блискавкозахисту. Дана методика практично реалізована у авторській програмі для персонального комп'ютеру.

**Ключові слова:** блискавкозахист, стрижневий блискавковідвід, математична модель.

**Вступ**

Головним і визначальним фактором будь-якого прояву господарювання є безпека життєдіяльності. Неможливо комфортно і щасливо жити у будинку, що є небезпечним. Кожне промислове підприємство обов'язково має свою службу охорони праці, що стежить за відхиленнями великої кількості параметрів, що можуть вплинути на якість умов праці і, як наслідок, якості продукції, що випускається. Ні одне виробництво не вартє людських травм та смертей. У розвинених країнах, зокрема країнах Європейського союзу і США, визнано, що найкращим способом забезпечення високого рівня виробленої продукції є відсторонення людини від роботи, заміна на роботизовані виробничі лінії. Хорошим прикладом є підприємство Tesla Gigafactory, з виробництва літій-іонних акумуляторів для потреб електромобілів та побутових і промислових накопичувачів енергії. Але не варто забувати про те, що механізми і будівлі загалом теж потребують захисту від різних природних факторів. У даній статті мова йде про блискавкозахист, що є актуальним як для цивільних, так і для промислових об'єктів [1]. Явище виникнення блискавки можна спостерігати у будь-якій точці планети Земля і бути впевненим у безпеці від прямого її влучання можна лише при застосуванні якісної системи блискавкозахисту [2-4]. Правильний розрахунок захисної зони блискавкозахисту є невід'ємною частиною коректної роботи електричних мереж. Бездумне встановлення блискавкозахисту може призвести до створення недостатньої зони захисту, тобто неякісного захисту, або до перевитрат ресурсів, у випадку коли робилося «з запасом». Достеменно дізнатися, без розрахунків, надійною чи ні вийшла система блискавкозахисту немож-

ливо, до того часу поки не відбудеться прямого удару блискавки, з можливими негативними наслідками у вигляді людських жертв та значних руйнувань будівель чи виробничих потужностей. Тому, дуже важливо, ще на етапі проектування, з достатньою точністю розрахувати параметри блискавкозахисту [5]. Методика, викладена у даній статті рекомендована для розрахунків блискавкозахисту цивільних та промислових об'єктів.

**1. Актуальність роботи**

Стандартна методика [6] дозволяє розрахувати зону захисту стрижневого блискавковідводу, що актуально при необхідності проведення повіреного розрахунку. Використання такої методики для визначення висоти блискавковідводу по необхідній зоні захисту, порушує логіку розрахунку, який перетворюється на ітераційний процес. Тобто вибирається передбачуване значення висоти блискавковідводу і за ним розраховується радіус зони захисту (сама зона захисту являє собою конус). Були спроби вирішити дані проблеми у роботі [7], завдяки застосуванню метода захисного кута. З точки зору точності розрахунку метод є найкращим, проте через фізичні властивості, такі як нерівномірність розподілення напруженості в об'ємі газу і землі [8], нерівномірність провідності середовища через різну вологість і склад газу в об'ємі, в якому знаходиться блискавковідвід, та ін., розрахувати захисні кути використовуючи лише математичну модель неможливо. Єдиним шляхом може бути побудова фізичної моделі у реальних розмірах і проведення експериментів. Проведення таких експериментів потребує значних інвестицій ресурсів. І навіть в такому випадку значного прибутку принести не зможе і в умовах ринкової економіки залучення інвесторів для такого проекту є задачею непосильною і маловірогідною.

© Кривда В. І., Пасько А. С., Савьолова Е. В.,  
2018

У стандартній методиці [6] замість кутів використовуються вирази для розрахунку параметрів зони захисту, з урахуванням її прогину. Ці вирази отримано за результатами багаторазового проведення експериментів, їх використання є обґрунтованим та доцільним. Варто відзначити, що дані вирази являють собою рівняння прямої у неявній формі.

Замість згаданих виразів у даній статті пропонується використовувати коефіцієнти, а сам розрахунок починати з визначення необхідної зони захисту і закінчувати отриманням значення висоти блискавковідводу. Запропонована методика використовує базис стандартної галузевої [6], тому результати розрахунку є повністю сумісними, відповідають вимогам чинного стандарту і можуть пройти процедуру перевірки.

Для збільшення швидкості розрахунку і можливості використання некваліфікованим персоналом, методика отримала практичну реалізацію у вигляді простої для користувача програми "Lightning Discharger".

## 2. Опис методики розрахунку

Представлена методика була розроблена, ґрунтуючись на дослідженні математичної моделі блискавкозахисту, що складається з одиночного стрижневого блискавковідводу, висотою до 150 метрів.

Основні етапи розрахунку представлені в наступній послідовності:

1) визначення необхідного радіусу зони захисту на рівні верхнього зрізу об'єкта, що захищається;

2) припущення висоти блискавковідводу (не менше від висоти об'єкта. Рекомендується приймати хоча б 1,1 від висоти об'єкта, що захищається);

3) вибір коефіцієнтів  $K_{h0}$  і  $K_{r0}$  з табл.1, відповідно до висоти блискавковідводу. Якщо вказано діапазон, тоді необхідно розрахувати фактичне значення коефіцієнта за відповідною формулою;

4) розрахунок висоти блискавковідводу:

$$h = \frac{K_{h0}r_x + K_{r0}h_x}{K_{h0}K_{r0}}, \text{ м}, \quad (1)$$

де  $K_{h0}$  - коефіцієнт зниження висоти конуса зони захисту відносно висоти блискавковідводу, в. о;

$r_x$  - радіус зони захисту на висоті об'єкта, що захищають, м;

$K_{r0}$  - коефіцієнт радіусу на рівні поверхні землі, в. о;

$h_x$  - висота об'єкта, що захищається, м;

5) Перевірка результату. Розрахунок фактичного значення радіусу на рівні верхнього зрізу об'єкта за формулою (3) з необхідним радіусом, розрахованим у пункті 2.

Розрахунок  $i$ -того коефіцієнту (рівняння прямої) визначається як:

$$K_i = \frac{(h - h_{\min})(K_{h_{\max.i}} - K_{h_{\min.i}})}{h_{\max} - h_{\min}} + \frac{K_{h_{\min.i}}(h_{\max} - h_{\min})}{h_{\max} - h_{\min}}, \text{ в. о.} \quad (2)$$

де  $h$  - висота блискавковідводу, м;

$h_{\min}$  - мінімальна висота блискавковідводу з вибраного діапазону, м;

$K_{h_{\max.i}}$  - максимальне значення  $i$ -того коефіцієнту з вибраного діапазону висоти блискавковідводу, в. о;

$K_{h_{\min.i}}$  - мінімальне значення  $i$ -того коефіцієнту з вибраного діапазону висоти блискавковідводу, в. о;

$h_{\max}$  - максимальна висота блискавковідводу з вибраного діапазону, м.

Радіус зони, що захищає блискавковідвод на рівні висоти об'єкта, що захищається, визначається за виразом:

$$r_x = \frac{K_{r0}h(K_{h0}h - h_x)}{K_{h0}h}, \text{ м}. \quad (3)$$

Геометричні розміри зони захисту одиночного стрижневого блискавковідводу, які використовуються в даній методиці, та підлягають розрахунку, представлено на рис. 1 – вигляд з фронту та на рис. 2 – вигляд зверху.

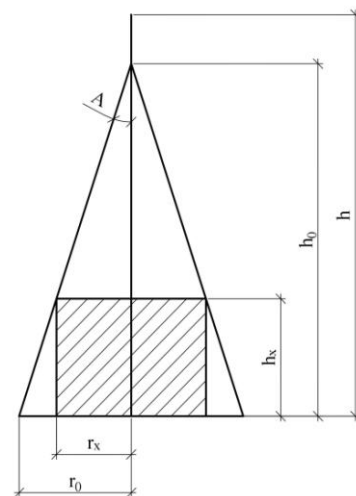


Рис. 1. Параметри зони захисту одиночного стрижневого блискавковідводу (вигляд з фронту)

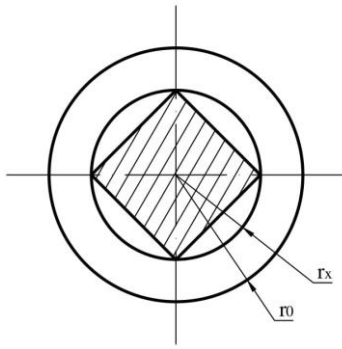


Рис. 2. Визначення параметрів зони захисту одиночного стрижневого блискавквідводу при вигляд зверху

У табл. 1 наведені значення коефіцієнтів для розрахунку зони захисту одиночного стрижневого блискавквідводу. Точність визначення параметрів складає  $\epsilon = 0,001$ .

Таблиця 1

Коефіцієнти для розрахунку зони захисту одиночного стрижневого блискавквідводу

Надійність захисту	Висота блискавквідводу $h$ , м	Коефіцієнт зниження висоти конуса зони захисту відносно висоти блискавквідводу $K_{h0}$ , в. о	Коефіцієнт радіусу на рівні поверхні землі $K_r0$ , в. о
0,9 (I)	Від 0 до 100	0,850	1,200
	Від 100 до 150		1,200 – 1,150
0,99 (II)	Від 0 до 30	0,800	0,800
	Від 30 до 100		0,800 – 0,699
	Від 100 до 150	0,800 – 0,750	0,700
0,999 (III)	Від 0 до 30	0,700	0,600
	Від 30 до 100	0,700 – 0,650	0,600 – 0,499
	Від 100 до 150	0,650 – 0,60	0,500 – 0,400

### 3. Практична реалізація

Для практичної реалізації алгоритму розрахунку параметрів зони захисту одиночного стрижневого блискавквідводу вибрано інтегроване середовище розробки Visual Studio від виробника Microsoft. Програму розроблено на мові програмування високого рівня C# [9]. Такий вибір було зроблено завдяки доступності програмного забезпечення (версія Visual Studio 2017 Community для навчальних і Open Source проєк-

тів) і широкого поширення C-подібного синтаксису мови програмування, що дозволяє використання доступних бібліотек і розширення функціоналу програми, навіть при подальшій розробці іншими програмістами.

На рис. 3 представлено блок-схему алгоритму роботи програми “Lightning Discharger”.

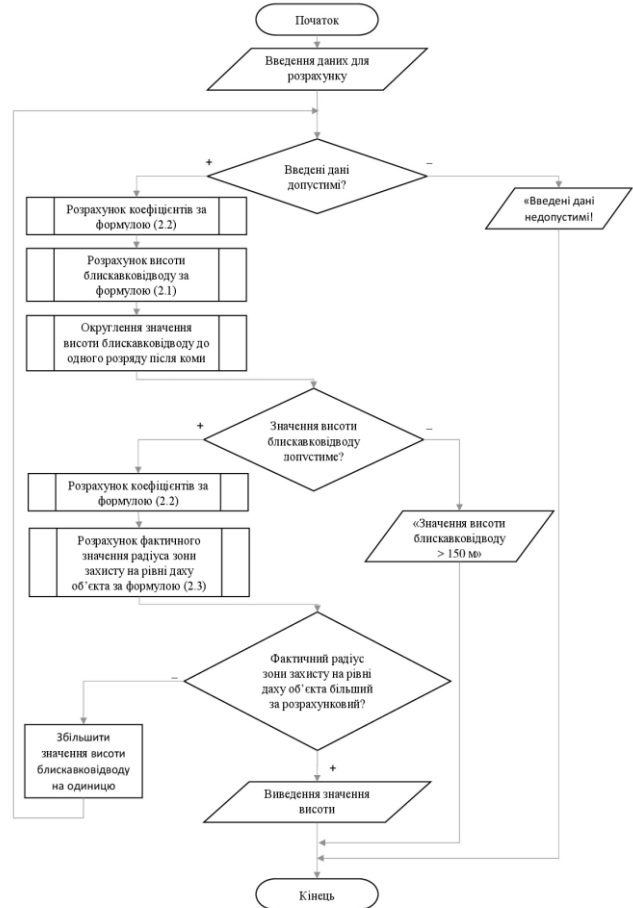


Рис. 3. Блок-схема алгоритму програми “Lightning Discharger”

Інтерфейс програми доволі простий і зрозумілий. Завдяки інтуїтивному розумінню можливе використання некваліфікованим персоналом. Завдяки використанню для роботи програми на C# фреймворку .Net (міститься в операційних системах Windows за замовчуванням), можливий перенос програми на операційну систему Windows Phone для мобільних пристроїв без додаткових змін, а також перехід на системи Android та IOS при використанні додаткового програмного забезпечення.

В залежності від форми об'єкта, що захищається, - прямокутна чи кругла, на рис. 4 та рис. 5 відповідно, представлено вигляд інтерфейсу програми “Lightning Discharger”.

Рис. 4. Інтерфейс програми “Lightning Discharger” після розрахунку висоти одиночного стрижневого блискавковідводу для об’єкта з перерізом прямокутної форми

Рис. 5. Інтерфейс програми “Lightning Discharger” після розрахунку висоти одиночного стрижневого блискавковідводу для об’єкта з перерізом круглої форми

### Висновки

У ході дослідження побудовано і досліджено математичну модель блискавкозахисту, що складається з одиночного стрижневого блискавковідводу, висотою до 150 метрів. Запропоновано спрощену методику розрахунку захисту одиночного стрижневого блискавковідводу, результати розрахунку за якою є сумісними з діючею методикою [5].

Розроблена програма впроваджена в навчальний процес з дисципліни «Техніка високих напруг». За даною методикою та прикладною програмою студентами виконується перевірочний

розрахунок параметрів зони захисту одиночного стрижневого блискавковідводу.

У подальшому передбачається вдосконалити методику для розрахунку тросового блискавкозахисту. Крім того, передбачається розширення функціоналу запропонованої програми і представлення методики розрахунку параметрів зони захисту із застосуванням блискавковідводів, що складається з багатьох стрижневих. Вона також ґрунтуватиметься на використанні математичного моделювання.

Запропонована методика отримала свою практичну реалізацію для використання на персональному комп'ютері з операційною системою Windows, з подальшою перспективою розширення функціоналу і випуску мобільних варіантів для операційних систем Windows Phone, Android, IOS. Завдяки простоті інтерфейсу програми, можливе використання некваліфікованим персоналом з навчальною метою.

### Список використаної літератури

1. Cristancho, Jorge A. Analysis of two nonfatal lightning accidents in Colombia [Text] / Jorge A. Cristancho, C. John, J. Pantoja, Carlos Rivera, Francisco Roman // *Electric Power Systems Research*, Volume 153, 2017, - pp. 159-169 <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.12.021>
2. Wang, Chenxi Relationship between lightning activity and vertical airflow characteristics in thunderstorms [Text] / Chenxi Wang, , Dong Zheng, Yijun Zhang, Liping Liu // *Atmospheric Research*, Volume 191, 2017, - pp. 12-19 <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.03.003>
3. Gijben, Morné A statistical scheme to forecast the daily lightning threat over southern Africa using the Unified Model [Text] / Morné Gijben, Liesl L. Dyson, Mattheus T.Loots // *Atmospheric Research*, Volume 194, 2017, - pp. 78-88 <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.04.022>
4. Proestakis, E. Lightning activity and aerosols in the Mediterranean region [Text] / E. Proestakis, S. Kazadzis, K. Lagouvardos, V. Kotroni, A. Kazantzidis // *Atmospheric Research*, Volume 170, 2016, - pp. 66-75 <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.11.010>
5. Aleksandrov, N, L. Dependence of lightning rod efficacy on its geometric dimensions—a computer simulation [Text] / N. L. Aleksandrov, E. M. Bazelyan, F. D'Alessandro, Yu P. Raizer // *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2005, Volume 38, Number 82005, pp. 1235-1239 <https://doi.org/10.1088/0022-3727/38/8/021>
6. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинки і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. [Текст] –

Київ: Мінрегіонбуд України, 2008, с. 53. Режим доступу:

[http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=40238](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=40238)

7. Кулаков, О. В. Особливості застосування методу захисного кута при проектуванні блискавкозахисту об'єктів [Текст] / О. В. Кулаков, А. М. Катунін // Харків: НУЦЗУ, 2017, вип. 42, - с. 58-63. Режим доступу: <http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/6300/1/kulakov.pdf>

8. Бондар, О. І. Горизонтальні пояси на рівні землі в системі блискавкозахисту: вплив на розподіли струмів [Текст] / О. І. Бондар, В. О. Шостак – Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики". - Київ: НТУУ «КПІ», 2015, - с. 411-413

9. C# Guide [Electronic resource] Mode of access: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/>

### References

1. Cristancho, Jorge A., John, C., Pantoja, J., Rivera, Carlos, Roman, Francisco (2017) "Analysis of two nonfatal lightning accidents in Colombia", Electric Power Systems Research, Volume 153, pp. 159-169  
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.12.021>

2. Wang, Chenxi, Zheng, Dong, Zhang, Yijun, Liu, Liping (2017), "Relationship between lightning activity and vertical airflow characteristics in thunderstorms", Atmospheric Research, Volume 191, pp. 12-19  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.03.003>

3. Gijben, Morné, Dyson, Liesl L., Loots, T. Mattheus (2017), "A statistical scheme to forecast the daily lightning threat over southern Africa using the Unified Model", Atmospheric Research, Volume

194, pp. 78-88

<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.04.022>

4. Proestakis, E., Kazadzis, S., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Kazantzidis, A. (2016) "Lightning activity and aerosols in the Mediterranean region", Atmospheric Research, Volume 170, pp. 66-75  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.11.010>

5. Aleksandrov, N, L. Bazelyan, E. M., D'Alessandro, F., Raizer, Yu P. (2005) Dependence of lightning rod efficacy on its geometric dimensions—a computer simulation, Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 38, Number 82005. pp. 1235-1239  
<https://doi.org/10.1088/0022-3727/38/8/021>

6. DSTU B V.2.5-38: 2008. (2008) Engineering equipment for buildings and structures. Arrangement of lightning protection of buildings and structures. [Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівел' і споруд], Kyiv, Minregionstroy of Ukraine, p. 53. available at: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=40238](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=40238)

7. Kulakov, O. V., Katunin, A. M. (2017) Features of the application of the protective angle method when designing lightning protection objects [Osoblyvosti zastosuvannya metodu zakhysnoho kuta pry proektuvannya svitlozakhystu ob'yektiv], Kharkiv, NUTZU, pp. 58-63 available at: <http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/6300/1/kulakov.pdf>

8. Bondar, O. I., Shostak, V. O. (2015) Horizontal belt at ground level in lightning protection system: influence on currents distribution [Horyzontal'ni poyasy na rivni zemli v systemi blyskavkozakhystu: vplyv na rozpodil strumiv], Kyiv, NTUU "KPI", pp. 411-413

9. "C# Guide" available at: [www.docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/](http://www.docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/)

## METHOD OF CALCULATING HEIGHT OF SINGLE LIGHTNING ROD

V. I. Kryvda, A. S. Pasko, E. V. Savolova

Odessa National Polytechnic University

**Abstract.** Without a doubt, lightning protection is extremely important, since security is a determining factor affecting the quality of working conditions, as a consequence, the quality of products produced by the enterprise. In developed countries, in particular the European Union and the United States, it is recognized that the best way to ensure a high level of manufactured products is to remove people from work by implementation of automatic robotic production lines. But do not forget that mechanisms and buildings in general also need protection from various natural factors. This article is about lightning protection, which is relevant for both civilian and industrial objects. The phenomenon of lightning can be observed anywhere on the Earth and be sure of the safety from direct lightning strike possible only with the use of high-quality lightning protection system, which needs to be calculated.

*The article proposes an original method for calculating the height of a single lightning rod, the results of which are not contrary to the current standard methodology. A mathematical model consisting of a single rod lightning rod up to 150 meters high and an object protected against direct lightning strike is constructed. The parameters of this model are calculated and the results are analyzed, on the basis of which a method of calculating the height of single lightning rod protection is created.*

*The proposed methodology has its practical implementation for use on a personal computer with Windows operating system, with the prospect of expanding the functionality and release of mobile applications for Windows Phone, Android, IOS operating systems. Due to the simplicity of the program interface it can be used by unskilled personnel.*

**Keywords:** lightning protection, lightning rod, mathematical model.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЕДИНИЧНОГО СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА

**В. И. Кривда, А. С. Пасько, Э. В. Савёлова**

*Одесский национальный политехнический университет*

**Аннотация.** В статье описывается математическая модель молниезащиты, состоящая из одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 метров. Предлагается упрощенная методика расчета параметров молниезащиты. Данная методика практически реализована в авторской программе для персонального компьютера.

**Ключевые слова:** молниезащита, стержневой молниеотвод, математическая модель.

Получено 02.04.2018



**Кривда Вікторія Ігорівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Одеського національного політехнічного університету, просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: kryvda@opu.ua, тел. +38-048-705-85-48

**Kryvda Victoria**, PhD. of Science, Assistant Professor, Assistant professor of the Department of electrical and energy management, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, E-mail: kryvda@opu.ua, тел. +38-048-705-85-48

**ORCID ID:** 0000-0001-6647-1049



**Пасько Артем Сергійович**, студент Одеського національного політехнічного університету, просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: skiper.art@gmail.com

**Pasko Artem**, student, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, E-mail: skiper.art@gmail.com

**ORCID ID:** 0000-0001-6580-0066



**Савьолова Ельвіра Вікторівна**, ст. викл. каф. ТОЗЕ Одеського національного політехнічного університету, просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, 65044, E-mail: savolova.ev@opu.ua, тел. +38- 048-705-81-83

**Savolova Elvira Victorivna**, senior lecturer of the Department of theoretical foundations and general electrical engineering, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, E-mail: savolova.ev@opu.ua, tel. +38- 048-705-81-83

**ORCID ID:** 0000-0001-9266-9323