

УДК 621.316.98.001.24

## ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ЗОН ЗАХИСТУ ТРОСОВИХ БЛИСКАВКОВІДВОДІВ

кандидат технічних наук, Комаров В.І.

кандидат технічних наук Кіт, Ю.В.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна, Львів

*Причина значної кількості пожеж, що стаються в світі, припадає на удари блискавки, саме тому дуже важливою є система блискавкозахисту: житлового будинку, промислової будівлі, офісного центру, школи, лікарні або дитячого садка. Останнім часом проблема блискавкозахисту і захисту від перенапруг набуває ще більшої актуальності у зв'язку з тим, що зростає кількість електроспоживачів, чутливих до імпульсів перенапруг і електромагнітних завод. Для організації надійної системи захисту від блискавок, необхідно розробити повноцінний проект, який би враховував вимоги пожежної безпеки, особливості архітектури будівлі та улаштування інженерних систем. Стрижнем проекту є розрахунок зон захисту зовнішньої блискавкозахисної системи. У статті запропоновано метод спрощення розрахункових залежностей для тросового блискавковідводу.*

*Ключові слова: блискавкозахист, зовнішня блискавкозахисна система, тросовий блискавкозахист, проектування, зона захисту, метод розрахунку.*

*кандидат технических наук Комаров В.И., кандидат технических наук Кит Ю.В. О некоторых особенностях расчета зон защиты тросовых молниеотводов / Национальный университет «Львовська політехніка», Україна, Львов*

*Причина значительного количества происходящих в мире пожаров приходится на удары молнии, именно поэтому очень важна система молниезащиты: жилого дома, промышленного здания, офисного центра, школы, больницы или детского сада. В последнее время проблема молниезащиты и защиты от перенапряжений приобретает ещё большую актуальность в связи с тем, что возрастает количество потребителей, чувствительных к импульсам перенапряжений и электромагнитным помехам. Для того чтобы организовать надежную систему молниезащиты, необходимо разработать полноценный проект, который должен учитывать требования пожарной безопасности, особенности архитектуры здания и устройства инженерных систем. Сердцевиной проекта является расчет зон защиты молниеприемников. В статье предлагается*

метод упрощения расчетных зависимостей для тросового молниеприемника.

*Ключевые слова:* молниезащита, внешняя молниезащитная система, тросовая молниезащита, проектирование, зона защиты, метод расчета.

*PhD in Technical Sciences, Komarov V.I., PhD in Technical Sciences, Kit Y.V. About some peculiarities of calculation of protection zones of wire air-termination lightning rod / National university «Lviv polytechnic», Ukraine, Lviv.*

*The reason for the significant number of fires occurring in the world is caused by lightning strikes, which is why a lightning protection system of an: apartment building, industrial building, office center, school, hospital or kindergarten is very important. Recently, the problem of lightning protection and surge protection has become even more urgent due to the fact that the number of consumers sensitive to surges and electromagnetic interference increases. In order to organize a reliable lightning protection system, it is necessary to develop a full-fledged project that must take into account the requirements of fire safety, the architecture of the building and the design of engineering systems. The heart of the project is the calculation of protection zones of lightning receivers. The article suggests a method for simplifying the computational dependencies for a wire air-termination system.*

*Key words:* lightning protection, external lightning protection system, wire air-termination protection, design, protection zone, calculation method.

**Вступ.** Блискавки, атмосферні розряди – постійне і практично повсюдне джерело загрози для людини і її майна. Це одне з найбільш руйнівних природних явищ, з якими стикається людина. Для будівель і споруд загрозами внаслідок безпосереднього контакту з каналом блискавки є можливість загоряння або руйнування, а також пошкодження чутливого обладнання внаслідок супутнього блискавці імпульсного електромагнітного поля.

Захист від блискавки вимагає застосування всіх можливих заходів для усунення небезпеки розряду атмосферної електрики, забезпечення безпеки людей, збереження будівель, устаткування і матеріалів від руйнування, вибухів і пожеж, що робить блискавкозахист важливою складовою частиною системи протипожежного захисту [1].

Слід відзначити, що негативна дія спричиняється не тільки в зоні безпосереднього розряду, а й на деякій відстані внаслідок електромагнітного імпульсу блискавки, або шляхом занесення високих потенціалів комунікаціями споруди (лінії зв'язку, повітряні або кабельні лінії електропостачання, трубопроводи й т.п.). Це вимагає

розроблення та використання засобів захисту від такої небезпечної дії та дестабілізуючого впливу грозових розрядів на технічні засоби (ТЗ) та реалізацію основних вимог забезпечення електромагнітної сумісності, підвищення електромагнітної стійкості ТЗ відповідно до вимог ДСТУ 3680-98 [2].

Таким чином, наявність систем захисту від блискавок будівель і споруд – необхідна умова безпеки техно- і біосфери, бо наслідки, в тих випадках, коли в будинку немає надійної **системи блискавкозахисту** – втрата життя, зруйновані будівлі, пожежі, вихід із ладу електрообладнання та приладів.

Якісну (із наперед заданою надійністю) систему блискавкозахисту може забезпечити повноцінне проектування у відповідності з сучасними нормативними вимогами. На даний час в Україні основним нормативним документом з блискавкозахисту будівель і споруд є ДСТУ Б В.2.5-38:2008, Інженерне обладнання будинків і споруд «Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд» (надалі – ДСТУ) [3]. Однак, проектування за цим документом супроводжується деякими складнощами.

До однієї з таких складнощів можна віднести відсутність розрахункових співвідношень для визначення габаритних розмірів зони захисту подвійного стрижневого блискавковідводу зі стрижнями різної висоти, тут лише передбачена можливість використання деяких спеціальних програм. Це спонукало авторів [4] до розроблення для такого випадку «гібридного» методу розрахунку зон блискавкозахисту з використанням ще одного нормативу [5].

Інша складність полягає в тому, що у ДСТУ відсутні математичні залежності, які б дозволяли розрахувати висоту блискавкоприймача  $h$  через відомі геометричні параметри об'єкта захисту ( $r_x$ ,  $h_x$ ,  $L$ ,  $r_{cx}$ ), і надалі всі інші параметри зони захисту, це призводить до непродуктивних витрат часу на розрахунки блискавкозахисту.

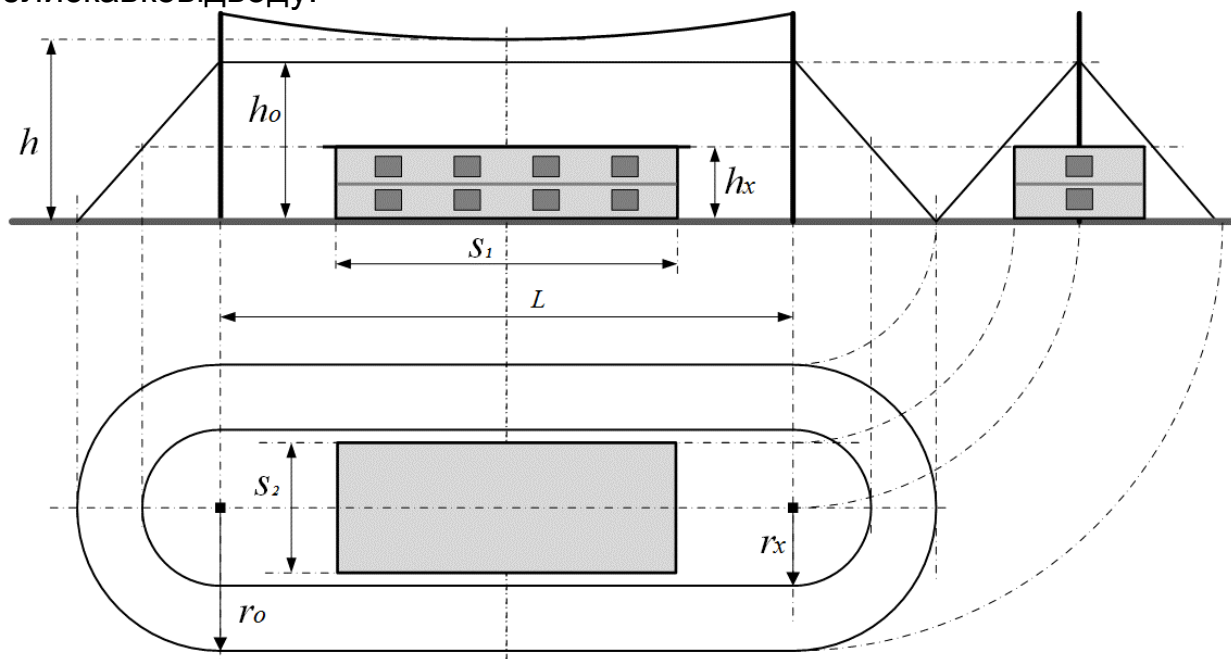
Відсутність формул, які б давали явний математичний зв'язок між висотою блискавковідводу  $h$  і параметрами об'єкту захисту обумовлює те, що розрахунок потрібної висоти блискавковідводу визначатиметься тільки опосередковано – «багатокроковим» шляхом, хоча частіше всього метою розрахунків і є саме визначення цієї висоти.

**Метою роботи** є розроблення алгоритму, за яким можливо отримати пряму залежності висоти блискавковідводу  $h$  від відомих параметрів системи блискавкозахисту  $h=f(r_x, h_x)$  для тросового блискавковідводу на основі наведених у ДСТУ розрахункових формул:  $h_0 = f(h)$  та  $r_0 = f(h)$  (табл.11), та формули 7.1.

### **Виклад основного матеріалу.**

Припустимо, для деякого об'єкта слід улаштувати зовнішню блискавкозахисну систему з використанням тросового

блискавковідводу та надійністю захисту  $P_3 = 0,9$ . Умовою визначення необхідної висоти блискавковідводу  $h$  буде:  $h_0 > h_x$  – висота зони захисту більша за висоту споруди і  $r_x > S_2/2$  – радіус горизонтального перерізу зони захисту на висоті  $h_x$  більший напівширини об'єкта захисту, тобто це ті умови, за яких об'єкт цілком розміститься у спроектованій зоні захисту (рис. 1). Для одиничного тросового блискавкозахисту в таблиці 11 ДСТУ наводяться залежності  $h_0 = f(h)$  та  $r_0 = f(h)$ , за якими можливо визначення потрібної висоти блискавковідводу.



**Рис.1. Зони захисту одиничного тросового блискавковідводу**

$h$  – мінімальна висота тросу над рівнем землі;  $h_0$  – висота конуса;  $h_x$  – висота споруди;  $r_0$  – радіус конуса;  $r_x$  – напівширина зони захисту на висоті  $h_x$  від поверхні землі;  $L$  – відстань між точками підвісу тросу;  $S_1$  – довжина споруди;  $S_2$  – ширина споруди.

Наведемо алгоритм отримання такої явної залежності відносно відомих параметрів системи блискавкозахисту  $h=f(r_x, h_x)$  для тросового блискавковідводу та надійністю захисту  $P_3 = 0,9$ .

Скористаємося формулою (7.1, ДСТУ)

$$r_x = \frac{(h_0 - h_x) \cdot r_0}{h_0} = r_0 \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h_0}\right), \quad (1)$$

у яку підставимо значення  $h_0$  та  $r_0$ , для надійності захисту  $P_3=0,9 \rightarrow h_0=0,87h$ ,  $r_0=1,5h$  тоді формула (1) набуває вигляду:

$$r_x = \frac{(0,87h - h_x) \cdot 1,5h}{0,87h} = 1,5h \cdot \left(1 - \frac{h_x}{0,87h}\right).$$

Розв'язавши цей вираз відносно  $h$  отримаємо бажану формулу:

$$h=1,149 \cdot h_x+0,667 \cdot r_x,$$

за якою можна безпосередньо визначати значення  $h$  – мінімальну висоту тросу над рівнем землі.

Подібне перетворення найпростіше здійснюється у випадку обох лінійних залежностей  $h_0 = f(h)$  та  $r_0 = f(h)$ . У випадку нелінійності одного із зазначених параметрів, отримання явної залежності дещо ускладнюється. Згрупуємо набір формул  $h_0 = f(h)$  та  $r_0 = f(h)$  для різних комбінацій надійності захисту  $P_3$  та висот блискавковідводу  $h$  за їх лінійностями (табл. 1):

- ✓ обидві залежності лінійні – варіант 1, 2, 5;
- ✓ одна залежність лінійна, друга нелінійна – варіант 3, 4;
- ✓ обидві залежності нелінійні – варіант 6, 7.

Таблиця 1

**Розрахунок зони захисту одиничного стрижньового блискавковідводу**

Надійність захисту $P_3$	Висота блискавковідводу $h$ , м	Висота конуса $h_0$ , м	Радіус конуса $r_0$ , м	№ варіанту
0,9	від 0 до 150	$0,87h$	$1,5h$	1
0,99	від 0 до 30	$0,8h$	$0,95h$	2
	від 30 до 100	$0,8h$	$[0,95-7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)] h$	3
	від 100 до 150	$0,8h$	$[0,9-10^{-3}(h-100)] h$	4
0,999	від 0 до 30	$0,75h$	$0,7h$	5
	від 30 до 100	$[0,75-4,28 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,7-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$	6
	від 100 до 150	$[0,72-10^{-3}(h-100)]h$	$[0,6-10^{-3}(h-100)]h$	7

У випадку обох лінійних залежностей – варіанти 2, 5 отримали:

$$h=1,251 \cdot h_x+1,053 \cdot r_x, \rightarrow \text{вар. 2}$$

$$h=1,333 \cdot h_x+1,429 \cdot r_x, \rightarrow \text{вар. 5}$$

Проведемо подібні перетворення для варіант 3, 4; одна залежність лінійна, друга нелінійна.

Наприклад для варіанту 3  $P_3=0,99$ :  $h_0=0,8h$ ,  
 $r_0=[0,95-7,14 \cdot 10^{-4} \cdot (h-30)] \cdot h$

Формула (1) з підставленими відповідними значеннями  $h_0$  та  $r_0$  та спрощеннями буде:

$$r_x = (0,971 - 0,000714 \cdot h) \cdot h - 1,25 \cdot (0,971 - 0,000714 \cdot h) \cdot h_x$$

Це квадратне рівняння відносно  $h$ , рішення якого дасть потрібний результат:



$$h = 0,625h_x + 680 - 0,00175 \cdot \sqrt{1,27 \cdot 10^5 \cdot h_x^2 - 2,77 \cdot 10^8 \cdot h_x - 4,57 \cdot 10^8 \cdot r_x + 1,51 \cdot 10^{11}}.$$

Після подібних перетворень для варіанту 4 відповідно отримаємо:

$$r_x = (1 - 0,001 \cdot h) \cdot h - 1,25 \cdot (1 - 0,001 \cdot h) \cdot h_x$$

$$h = 0,625h_x + 500 - 0,625 \cdot \sqrt{h_x^2 - 1600 \cdot h_x - 2560 \cdot r_x + 6,4 \cdot 10^5}.$$

У випадку нелінійності залежностей формула для  $h=f(r_x, h_x)$  (варіант 6, 7) стає настільки громіздкою, що буде простішим визначити необхідну висоту  $h$  методом підбору, виконавши розрахунки за зазначеними формулами для різних значень  $h$ , або скористатися для розв'язання нелінійного рівняння чисельним методом. Така задача визначення необхідної висоти блискавководу  $h$  як функції  $h=f(r_x, h_x)$  реалізувалася комп'ютерною програмою, що використовує чисельним алгоритм модифікованого методу Ньютона розв'язку нелінійного рівняння з одним невідомим.

Обчислення проводиться за рекурентною формулою:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{F(x_k)}{F'(x_k)},$$

$$k = 0, 1, 2, \dots,$$

Рівняння  $F(h)$  формується на основі (1)

$$F(h) = r_0(h) \cdot \left( 1 - \frac{h_x}{h_0(h)} \right) - r_x = 0,$$

де  $h_0(h)$  та  $r_0(h)$  відповідають формулам табл. 1.

### **Література:**

1. ДБН В.2.5-56-2014 Системи протипожежного захисту. Чинні з 01.07.2015 – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. (Державні будівельні норми України).
2. ДСТУ 3680-98 (ГОСТ 30586-98) Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до дії грозових розрядів. Методи захисту
3. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (IEC 62305:2006 NEC). Введ. 01.01.2009 – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 48 с. – (Національний стандарт України).
4. Киприч С. В. Применение метода конечных точек для построения зоны защиты двойного разновысокого стержневого молниеотвода / С. В. Киприч, Г. М. Колиушко, Д. Г. Колиушко, А. А. Петков // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2009. – № 39. – С. 69–78.

5. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. -М.: Энергоатомиздат, 1987. –56 с.

**References:**

1. DBN V.2.5-56-2014 Systemy protyvozhezhnogo zakhystu. Chynni z 01.07.2015 – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2014. (Derzhavni budivel'ni normy Ukrayiny).
2. DSTU 3680-98 (HOST 30586-98) Sumisnist' tekhnichnykh zasobiv elektromahnitna. Stiykist' do diyi hrozovykh rozryadiv. Metody zakhystu
3. DSTU B V.2.5-38:2008 Inzhenerne obladnannya budynkiv i sporud. Ulashtuvannya blyskavkozakhystu budivel' i sporud (IEC 62305:2006 NEC). Vved. 01.01.2009 – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2008. – 48 s. – (Natsional'nyy standart Ukrayiny).
4. Kyprych S.V. Prymenenye metoda kontsevykh toчек dlya postroyeniya zony zashchyty dvoynoho raznovysokoho sterzhnevoho molnyeotvoda / S.V. Kyprych, H.M. Kolyushko, D.H. Kolyushko, A.A. Petkov // Visnyk NTU «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats'. Tematychnyy vypusk: Tekhnika i elektrofizyka vysokyykh napruh. – Kh.: NTU «KhPI», 2009. – № 39. – S. 69-78.
5. RD 34.21.122-87. Ynstruktsyya po ustroystvu molnyezashchyty zdanyy y sooruzhenyy. -M.: Enerhoatomyzdat, 1987. –56 s.