

ДО ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗОВНІШНЬОЇ БЛИСКАВКОЗАХИСНОЇ СИСТЕМИ МЕТОДОМ ФІКТИВНОЇ СФЕРИ

кандидат технічних наук, Комаров В. І.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна, Львів

Запропоновано аналітичний метод проектувального розрахунку зовнішньої блискавкозахисної системи (БЗС) методом фіктивної сфери у випадку двох стріжнів різної висоти і кожний з яких, менший за радіус фіктивної сфери. Стаття поширює використання методу на нетипові випадки блискавкозахисних систем.

Ключові слова: блискавкозахист, фіктивна сфера, метод розрахунку, стріжньовий блискавкоприймач, проектування.

Комаров В. И. К вопросу проектирования внешней молниезащитной системы методом фиктивной сферы/ Национальный университет «Львовська політехніка», Украина, Львов

Предложен аналитический метод проектировочного расчета внешней молниезащитной системы (МЗС) методом фиктивной сферы в случае двух стержней разной высоты и каждый из которых, меньше радиус фиктивной сферы. Статья распространяет использования метода на нетиповые случаи молниезащитных систем.

Ключевые слова: молниезащита, фиктивная сфера, метод расчета, стержневой молниеприемник, проектирование.

Komarov V. I. On the question of the external lightning protection system designing rolling sphere method / National university «Lviv polytechnic», Ukraine, Lviv

An analytical method of design calculation external lightning protection system (LPS) rolling sphere method in the case of two rods of different heights and a height less than the radius of the fictitious sphere. Article extends the use of the method for atypical cases of lightning protection systems

Keywords: lightning, rolling sphere, calculation method, lightning rod, designing.

Вступ.

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) [1], який прийнято та надано чинності 2009-01-01 наказом міністерства регіонального розвитку та будівництва України 27.06.2008 № 269. Вимоги цього стандарту поширюються на проектування, будівництво, реконструкцію і експлуатацію блискавкозахисту всіх видів будівель, споруд і промислових комунікацій незалежно від відомчої належності та форми власності.

В загальному випадку, вибір місць встановлення і параметрів блискавковідводів зовнішньої блискавкозахисної системи (БЗС) повинен

проводитися користуючись зонами захисту блискавковідводів, які відповідають заданому значенню надійності захисту (P_3) від прямого удару блискавки (ПУБ). Об'єкт вважається захищеним, якщо сукупність всіх його блискавковідводів забезпечує надійність захисту не менше P_3 .

За ДСТУ проектні розрахунки зовнішньої БЗС можливо здійснювати такими методами: один для спеціальних об'єктів (надалі основний метод), та три для звичайних об'єктів - метод фіктивної сфери (МФС, RSM), метод захисного кута, метод з застосування захисної сітки. Слід відмітити що основним методом можливо розраховувати зовнішню БЗС і для звичайних об'єктів.

Якщо основний метод у ДСТУ описаний в достатньому обсязі, то іншим не приділено такої ж уваги, при тому, що вони широко використовуються у багатьох країнах світу, які орієнтуються в цьому питанні на стандарти МЕК (IEC).

У відповідності зі стандартом IEC 62305-3 зони захисту з першого по четвертий рівень будують «обкатуванням» системи блискавковідводів сферами радіусів $R = 20, 30, 45, 60$ м відповідно. Для вирішення практичних завдань визначаються формули розрахунку радіуса зони захисту R_x стрижньового блискавковідводу на висоті будівель і споруд, що захищаються h_x .

Формулювання мети статті та завдань.

У вітчизняній технічній літературі не приділяється методу МФС достатньої уваги. У закордонних виданнях описуються деякі розрахункові моделі, але для простих комбінацій блискавкоприймачів. Так для розрахунку зони захисту двостріжньової системи із стріжнями однакової висоти можна зустріти формулу Камдена (Camden Jeff) [2] і посилання на цю формулу [3,4,5].

Більш глибокий підхід вимагає детального опрацювання всіх можливих варіантів розташування окремо стоячих або тросових блискавковідводів при їх мінімальній кількості. Однією з основних проблем при розрахунку параметрів зовнішнього блискавкозахисту є мала інформативність використовуваних методик, їх обмеженість по висоті і кількості досліджуваних блискавковідводів. На практиці це відбивається в необгрунтованому збільшенні числа елементів блискавкозахисту.

Метою роботи є поширення методу фіктивної сфери на двостріжньову блискавкозахисну систему з блискавкоприймачами різної висоти і меншими за радіус фіктивної сфери кожний.

У зв'язку з цим задача наведених досліджень спрямовані на вдосконалення існуючих методик розрахунку зовнішнього блискавкозахисту.

Виклад основного матеріалу.

Обкатування двостріжньової блискавкозахисної системи з блискавкоприймачами різної висоти і меншими за радіус фіктивної сфери кожний фіктивною сферою (рис.1) утворить зону захисту, параметри якої можна визначити за відомими координатами центру сфери. Для визначення координат центру фіктивної сфери пропонується наступна розрахункова модель.

У подальших обгрунтуваннях прийняті наступні позначення: блискавкоприймач №1 з координатами вирівки (x_1, y_1, z_1) та блискавкоприймач №2 з координатами вирівки (x_2, y_2, z_2) , центр фіктивної сфери з координатами $O(x_0, y_0, z_0)$, серед яких невідомими будуть (x_0, y_0) . Координата z_0 величина

відома і дорівнює радіусу сфери $z_0 = R$ по відношенню площини XOY , на якій розташовані блискавковідводи (рис.1)

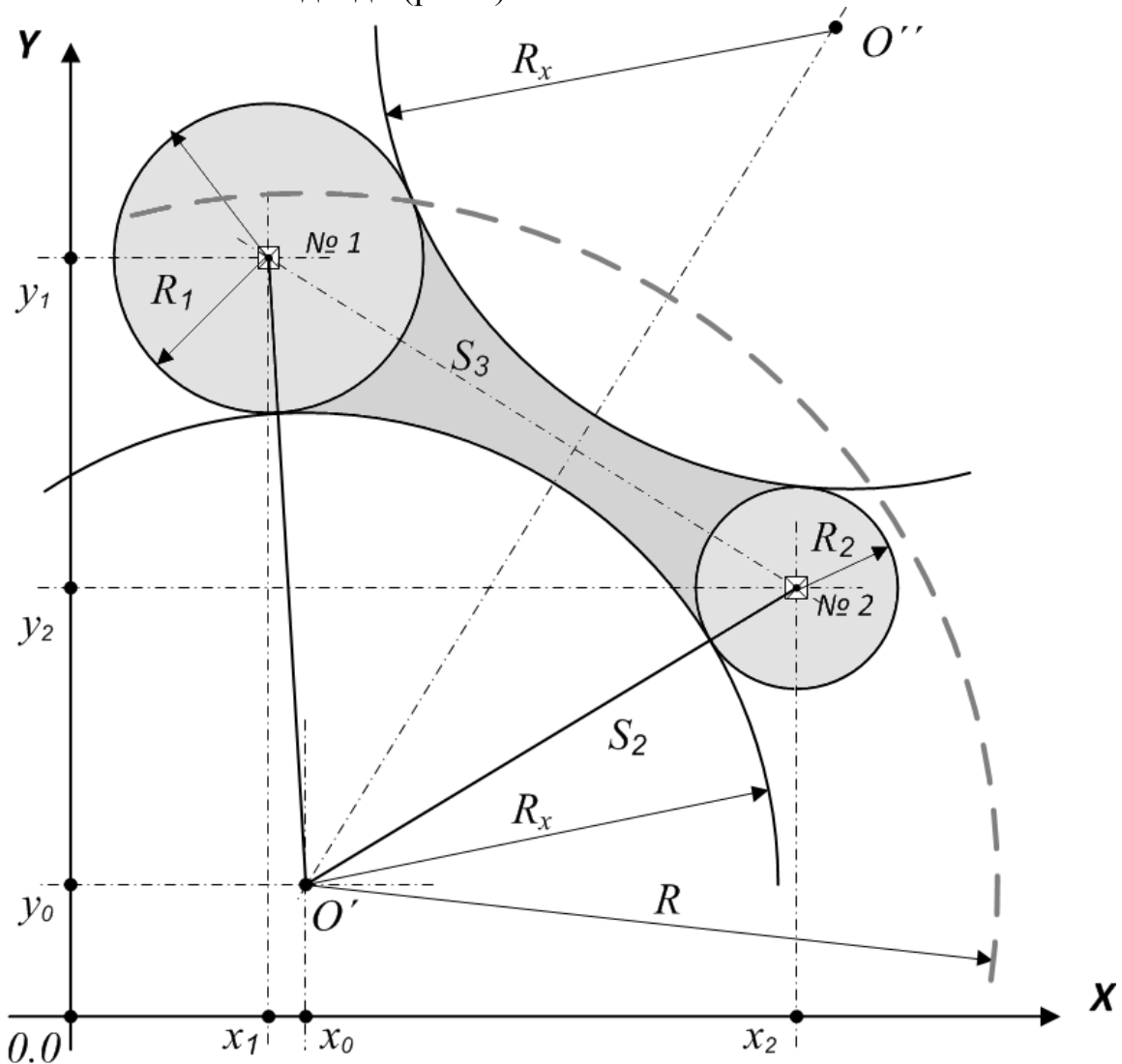


Рис.1 Зона захисту двостріжнєвої блискавкозахисної системи з блискавкоприймачами різної висоти і меншими за радіус фіктивної сфери кожний за МФС (світлосірим показано зону блискавкоприймачів як одиничних, темносірим – спільну зону).

Віддаль між верхівками блискавкоприймачів та центром фіктивної сфери радіусом R , очевидно, дорівнює радіусу R . На рівні землі (або поверхні що захищається) при $z_0=0$ (рис.1) між відомими координатами блискавкоприймачів та невідомими координатами проекції сфери на площину XOY можна записати два рівняння

$$\begin{cases} MF_1 = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 - S_1^2 = 0; \\ MF_2 = (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 - S_2^2 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

кожне з яких можна інтерпетувати як рівняння, що описує коло радіусом S_1 та S_2 і з центром у місці встановлення блискавковідводів №1 і №2, або як віддалі між блискавковідводами та точкою проекції центру сфери на площину XOY . Чисельний розв'язок такої нелінійної системи рівнянь відносно невідомих (x_0, y_0) можна отримати з використанням ітераційного метода Ньютонна.

У статті пропонується простіша розрахункова модель, яка полягає у наступному.

Запишемо рівняння кола у загальному вигляді лінії другого порядку:

$$\begin{cases} F_1 = x_0^2 + y_0^2 - 2x_1x_0 - 2y_1y_0 + (x_1^2 + y_1^2 - S_1^2) = 0; \\ F_2 = x_0^2 + y_0^2 - 2x_2x_0 - 2y_2y_0 + (x_2^2 + y_2^2 - S_2^2) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

Позбавимося невідомих у другому ступені шляхом віднімання $(F_1 - F_2)$, отримаємо:

$$2(x_2 - x_1)x_0 + 2(y_2 - y_1)y_0 + (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (S_2^2 - S_1^2) = 0,$$

$$\text{або} \quad Ax_0 + By_0 + C = 0, \quad (3)$$

де: $A = 2(x_2 - x_1)$, $B = 2(y_2 - y_1)$, $C = (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (S_2^2 - S_1^2)$.

Рівняння (3) розв'яжемо відносно x_0 :

$$x_0 = D y_0 + E, \quad (4)$$

де позначено: $D = -\frac{B}{A}$ і $E = -\frac{C}{A}$.

Підставимо вираз (4) у рівняння (3) та після перетворень отримаємо

$$G y_0^2 + H y_0 + K = 0, \quad (5)$$

що становить звичайне квадратне рівняння, розв'язок якого не складає труднощів. Корені $y_{0(1)}$ та $y_{0(2)}$ є дійсними тому що дискримінант завжди більше 0.0.

З рівняння (4) при відомих $y_{0(1)}$ та $y_{0(2)}$ отримаємо корені $x_{0(1)}$ та $x_{0(2)}$.

Дві пари координат визначають точки проєкцій центрів сфер $O'(x_{0(1)}, y_{0(1)})$ та $O''(x_{0(2)}, y_{0(2)})$ на площину XOY (рис.1).

Щодо визначення віддалей S_1 та S_2 , які в попередніх розрахунках приймалися величинами відомими, то їх розрахунок здійснюється за формулою (рис.2)

$$S = \sqrt{z \cdot (2 \cdot R - z)}.$$

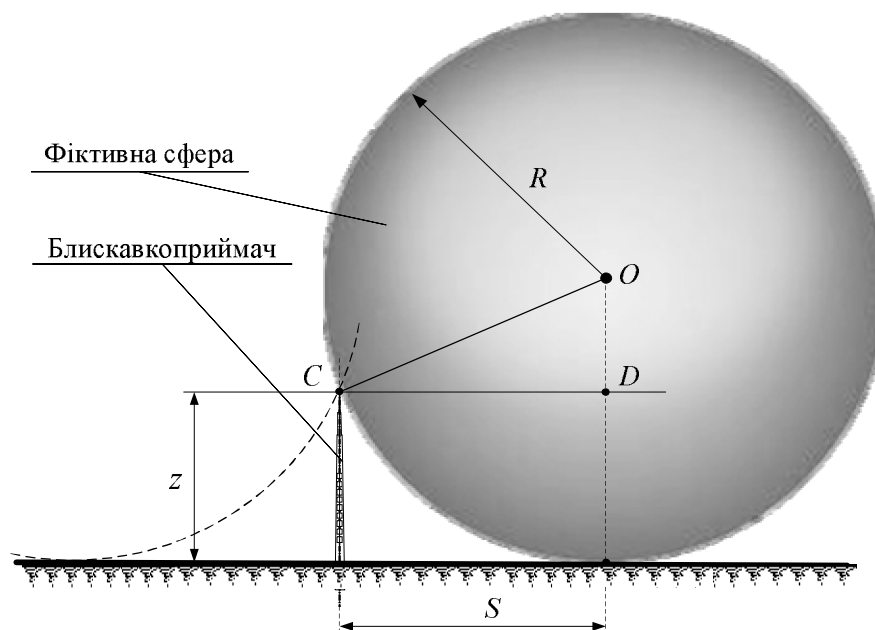


рис.2 До визначення віддалі між блискавкоприймачем та точкою проєкції центру сфери на площину XOY .

За наведеним алгоритмом був складений програмний модуль та розв'язаний приклад двостріжнєвої БЗС з блискавкоприймачами різної висоти та меншими за радіус фіктивної сфери кожний. Параметри БЗС та результати розрахунку наведені у табл. 1,2.

Таблиця 1

Вхідні параметри БЗС

Блискавковідвід №	X, [м]	Y, [м]	Z, [м]
1	6.0	20.0	14.0
2	22.0	10.0	10.0
Радіус фіктивної сфери R=		20.0 м	
Висота об'єкту що захищається h_x =		6.0 м	

Таблиця 2

Результати розрахунку БЗС

Радіус зони захисту на рівні XOY, [м]	$R_{01}=19.08$	$R_{02}=17.32$
Радіус зони захисту на висоті h_x , [м]	$R_1=4.796$	$R_2=3.038$
Віддаль від блискавкоприймача до проекції центру фіктивної сфери на площину XOY	$S_1=19.078$	$S_2=17.3205$
Віддаль між блискавкоприймачами	$S_3=18.8680$	
Радіус фіктивної сфери на висоті h_x ,	$R_x = 14.283$ м	
Корені рівняння (5)	$y_{0(1)}=27.2416$	$y_{0(2)}=0.9606$
Значення коренів з рівняння (4) при відомих $y_{0(1)}$ та $y_{0(2)}$	$x_{0(1)}=23.6510$	$x_{0(2)}=7.2254$
Координати точки O'	$x_{0(2)}=7.2254$	$y_{0(2)}=0.9606$
Координати точки O''	$x_{0(1)}=23.6510$	$y_{0(1)}=27.2416$

Рисунок 1 відтворює параметри з прикладу.

Висновки

У статті висвітлено у повному обсязі можливий випадок двостріжнєвої блискавкозахисної системи з блискавкоприймачами різної висоти і меншими за радіус фіктивної сфери кожний. Виведена формула розрахунку координат центру фіктивної сфери за якою однозначно визначаються всі необхідні параметри зони захисту БЗС об'єкта блискавкозахисту.

Література:

1. 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. – 63с.
2. Camden, Jeff. *The Rolling Sphere Method of Lightning Protection for Substations: a Practical Application, presented to Missouri Valley Electric Association, Engineering Conference, April 19, 1990.*
3. *Rolling Sphere Method of Lightning Protection for Substations -- Pt 1,2* [Електронний ресурс]- Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=i_nKshQ5Z0E 6.VI. 2010.

4. Sen, P. K. *Understanding Direct Lightning Stroke Shielding of Substations*, presented to Power Systems Engineering Research Center, PSERC Seminar, November 6, 2001

5. *Rolling Sphere Tool Guide* [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://externaltoolkit.burnsmcd.com/TDToolkit/files/Rolling%20Sphere%20Tool%20Guide.pdf>

References:

1. 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. – 63s.

2. Camden, Jeff. *The Rolling Sphere Method of Lightning Protection for Substations: a Practical Application*, presented to Missouri Valley Electric Association, Engineering Conference, April 19, 1990.

3. *Rolling Sphere Method of Lightning Protection for Substations - Pt 1,2* [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=i_nKshQ5Z0E 6.VI. 2010.

4. Sen P. K. *Understanding Direct Lightning Stroke Shielding of Substations*, presented to Power Systems Engineering Research Center, PSERC Seminar, November 6, 2001

5. *Rolling Sphere Tool Guide* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://externaltoolkit.burnsmcd.com/TDToolkit/files/Rolling%20Sphere%20Tool%20Guide.pdf>