

# ГОРИЗОНТАЛЬНІ ПОЯСИ НА РІВНІ ЗЕМЛІ В СИСТЕМІ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ: ВПЛИВ НА РОЗПОДІЛИ СТРУМІВ

Бондар О.І., аспірант, Шостак В.О., к.т.н., доц.

НТУУ «КПІ», кафедра техніки і електрофізики високих напруг

**Вступ.** Стандарт [1] регламентує різні технічні рішення і заходи для послаблення або уникнення небезпечних дій блискавки на споруди, обладнання та людей, серед яких для системи заземлення зокрема вказана необхідність з'єднання вертикальних струмовідводів горизонтальними поясами поблизу поверхні землі (п. 6.4.5 [1]). Детальних пояснень та рекомендацій щодо цього рішення в нормативних документах не подається. Обґрунтування зазначеної вимоги потребує детальнішого розгляду для з'ясування впливу наявності пояса, зокрема на розподіли струмів в елементах блискавкозахисної конструкції та потенціалів на рівні землі при ураженні блискавкою системи блискавкозахисту (СБ), а також впливу інших умов. Раніше вплив пояса на рівні землі на розподіл струмів по елементам блискавкозахисної конструкції досліджувався в роботі [2] для ґрунтів з питомими опорами 50 Ом·м та 500 Ом·м. Проте є необхідність проаналізувати ширший діапазон провідностей ґрунтів та врахувати спосіб розташування поясу.

**Мета роботи.** Дослідити вплив наявності пояса на рівні землі та способу його розташування (над чи під поверхнею землі) на розподіл струмів по струмовідводам блискавкозахисної системи.

**Матеріали і результати досліджень.** Аналіз процесу ураження блискавкою систем блискавкозахисту потребує чисельних методів розрахунку, зважаючи на складність геометрії розрахункової моделі. Всі етапи розрахунку можливо виконати в програмному пакеті Comsol Multiphysics, який і був обраний для виконання поставленої задачі.

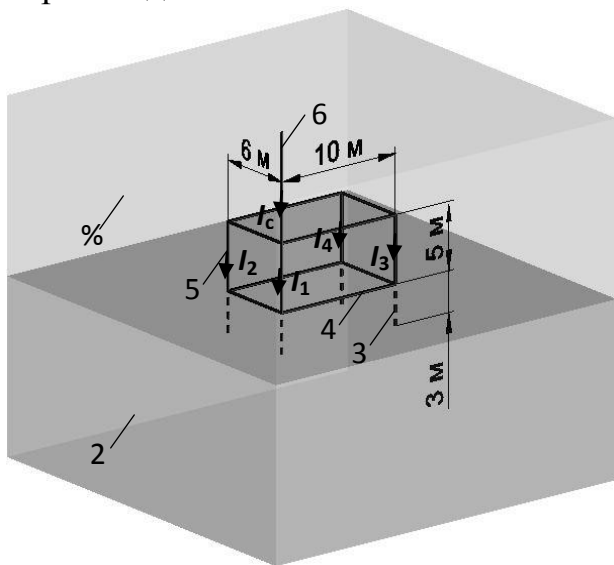


Рисунок 1 – Геометрія розрахункової області

Геометрія розрахункової області представлена на рис. 1, де 1 – область повітря; 2 – область середовища з заземлювачем; 3 – стрижневий заземлювач; 4 – пояс; 5 – вертикальний струмовідвід; 6 – канал блискавки.

В даній роботі представлено результати одного з трьох етапів аналізу, а саме для варіанту певної спрощеної моделі представлення ґрунту, для якого цікавимось як характерним його параметром лише активною провідністю та її можливим впливом на розподіл струмів між струмовідводами. Наступні етапи передбачають

врахування також характерних діелектричних властивостей різних середовищ, в яких влаштовують заземлювач. На даному етапі прийнято наступні умови. Канал блискавки – вертикальний (розрахункова довжина 8 метрів), блискавка вдарає у кут споруди. Струм блискавки вважається синусоїдальним з амплітудою 100 кА та частотою 250 кГц, що є характерною найвищою частотою для негативного удару блискавки з фронтом 1 мкс.

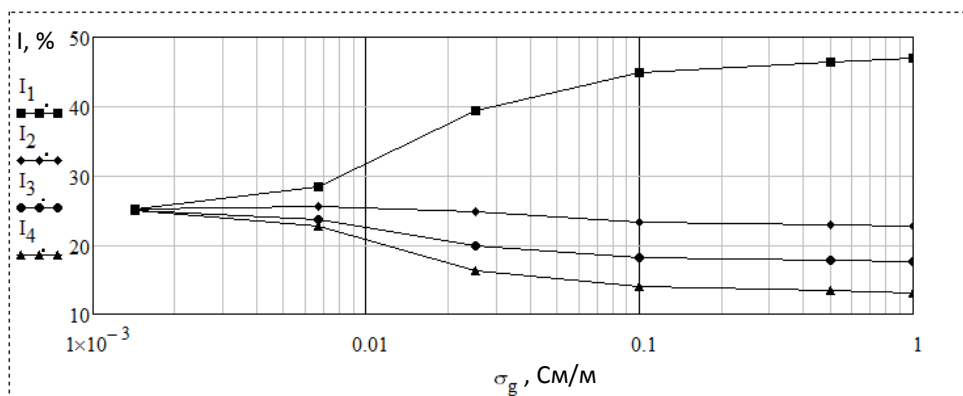
Струм блискавки інжектуювався у вершину каналу 6, представленого на рис. 1. Для каналу блискавки, струмовідводів, поясів, заземлювальних провідників прийнято діаметр 0.03 м. Їх провідність прийнято  $\sigma = 7.69 \cdot 10^6$  См/м, відносна діелектрична проникність –  $\varepsilon = 1$ . Для всіх елементів зі струмом прийнято відносну магнітну проникність  $\mu = 1000$ . Область повітря вважалася непровідним середовищем з відносною діелектричною проникністю  $\varepsilon = 1$  та відносною магнітною проникністю  $\mu = 1$ . Для дослідження саме впливу питомого активного опору середовища з заземлювачем на даному етапі прийнято  $\varepsilon = 1$  та  $\mu = 1$ . Розглянуті в розрахунках значення питомої активної провідності цього середовища  $\sigma_g = 1.43 \cdot 10^{-3}$ ;  $6.67 \cdot 10^{-3}$ ; 0.025; 0.1; 0.5; 1 См/м.

В моделі застосовано наступні граничні умови. На нижній та бокових границях області ґрунту – умова для електричного потенціалу  $\varphi = 0$ . На границі в місці інжекції струму ітераційним способом задавався ненульовий потенціал таким чином, щоб струм в каналі блискавки відповідав заданому. На зовнішніх границях області повітря –  $\mathbf{n} \cdot \mathbf{J} = 0$  (гранична умова електричної ізоляції; де  $\mathbf{n}$  – нормаль до поверхні,  $\mathbf{J}$  – вектор щільності струму). Крім вищевказаних, на усіх зовнішніх границях розрахункової області вважалось, що  $\mathbf{n} \times \mathbf{A} = 0$  (гранична умова магнітної ізоляції, де  $\mathbf{A}$  – векторний магнітний потенціал).

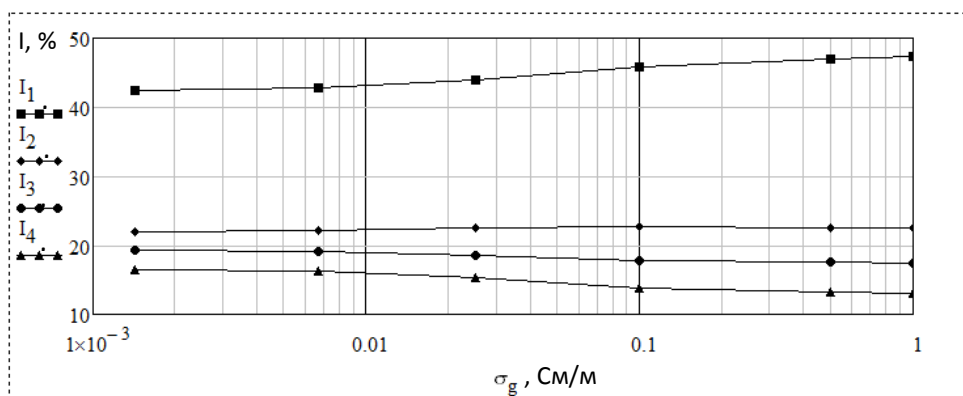
Досліджувалися три випадки: 1) без поясу; 2) при наявності поясу та відсутності його контакту з ґрунтом (+ 0.1 м); 3) при наявності поясу, який контактує з ґрунтом (-0.1 м).

В результаті розрахунку отримано залежності розподілу струмів між вертикальними струмовідводами від значення провідності ґрунту (рис. 2) у випадках відсутності/наявності та способу розміщення поясу. На рис. 2 струми  $I_1 - I_4$  у вертикальних струмовідводах подано у відсотках від повного струму блискавки. Як видно із порівняння рис. 2а та рис. 2б і 2в, наявність чи відсутність поясу на рівні землі може помітно впливати на розподіл струмів. На однорідність розподілу пояс найбільше впливає в діапазоні нижчих обговорюваних значень активної провідності середовища з заземлювачем.

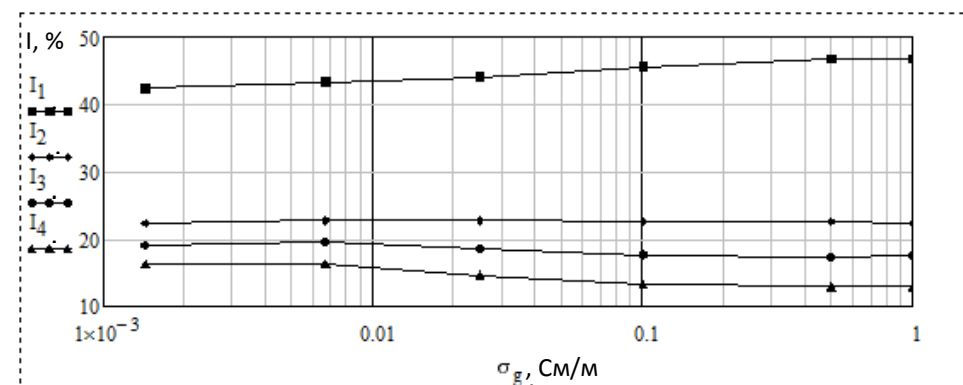
**Висновки.** Найбільш рівномірний розподіл струму між чотирма вертикальними струмовідводами буде у ґрунтах з найнижчою питомою активною провідністю і за відсутності поясів (випадок 1). В інших двох випадках (2 та 3, з поясами) провідність ґрунту в широкому діапазоні не дуже сильно впливає на розподіл струму, а рівень нерівномірності залишається майже незмінним і практично однаковим та незалежним від способу розташування поясів (над чи під поверхнею ґрунту). На наступних етапах роботи планується дослідити вплив також діелектричних характеристик різноманітних середовищ з заземлювачем (ґрунтів, води) на обговорювані розподіли струмів.



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Розподіл струмів між струмовідводами в залежності від провідності середовища з заземлювачем для випадків 1 – 3:  
а – без поясу; б – з поясом над землею; в – з поясом під землею

#### Перелік посилань

1. ДСТУ Б В.2.5.-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008.
2. R. Markowska, A. Sowa, J. Wiater, “The influence of earthing systems on lightning current distribution in conductive elements of large halls” *Proc. 30<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection – ICLP 2010*, Cagliari – Italy, September 13<sup>th</sup>-17<sup>th</sup>, 2010, pp. 1112-1 – 112-5.