

# СИЛИ НА ТРИМАЧІ СТРУМОВІДВОДІВ СИСТЕМ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ПРИ УРАЖЕННЯХ БЛИСКАВКОЮ

Сипченко М.В., магістрант, Шостак В.О., к.т.н., доц.

НТУУ «КПІ», кафедра техніки і електрофізики високих напруг

**Вступ.** Для проектування систем блискавкозахисту (СБЗ) важливо мати інформацію щодо вимог до тримачів струмовідводів та провідників блискавкоприймальних сіток для різних умов їх розташування. У відповідних стандартах з блискавкозахисту (зокрема, і в [1]) спеціальних вказівок щодо механічних вимог до тримачів в СБЗ різних рівнів не подається, не обговорюються і якісь різні вимоги до них при розміщенні, наприклад, вздовж діелектричної (цегляна стіна) або ж металевої поверхні (покрівля, металеві покриття фасадів та ін.). В останньому випадку може виникати взаємодія струму блискавки з наведеними та частковими прямими струмами у сусідніх провідниках, що потребує додаткового дослідження.

**Мета роботи.** Вона полягає у визначенні електродинамічних сил при протіканні струмів блискавки по струмовідводах, які діють на елементи кріплення (тримачі) та конструкції споруди (обрешітка даху, стіни і т.п.) для деяких типових конфігурацій. Також ставилася задача оцінки небезпечних величин струмів для деяких типів фіксації тримачів (саморізами, дюбелями) в різних матеріалах. Це дозволить формулювати відповідні рекомендації для проектування СБЗ. У роботі розглядається: 1) розміщення струмовідводів на ізоляційних тримачах на плоскому металевому даху та на гребені і ребрах похилого даху; 2) випадок одиничного електричного контакту струмовідводу та металевої покрівлі даху в точці інжекції струму блискавки.

**Матеріали і результати досліджень.** Модельні конфігурації струмовідводів для випадків над плоским та двосхилим дахом представлено на рис. 1 та 2 (ізольоване від покрівлі прокладання), а також на рис. 3 та 4 (з електричним контактом приймачів-струмовідводів з покрівлею в місці ураження блискавкою). Відповідні результати моделювання представлено в табл. 1 – 4. Розрахунок сил виконано з використанням програми Elcut 5.1 Pro.

Висота розміщення струмовідводу над металевою поверхнею приймалася  $h = 20, 30$  та  $55$  мм, відповідно до типових розмірів тримачів від виробників

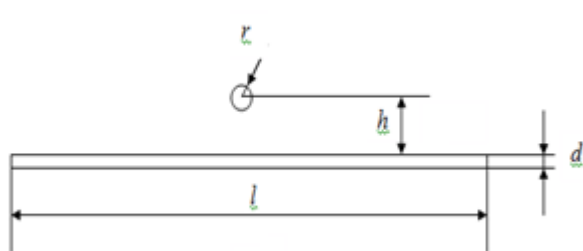


Рисунок 1 – Струмовідвід над плоскою металевою поверхнею

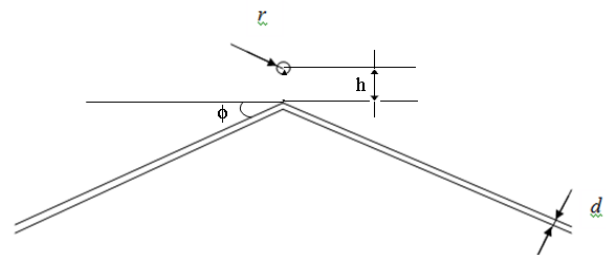


Рисунок 2 – Струмовідвід над похилою металевою поверхнею (гребінь, ребро)

компонентів блискавкозахисту [2]. Інжектований в систему блискавкозахисту струм блискавки прийнято  $I = 100$  кА (для СБЗ найнижчих рівнів блискавкозахисту III та IV [1]) та має форму стандартного першого грозового імпульсу. В більшості випадків розрахунки виконано для типової товщини покрівлі  $d = 0.5$  мм; наведено також окремі результати для  $d = 4$  мм. Радіус проводу струмовідводу –  $r = 4$  мм. Для похилих дахів результати наведено для кута  $\varphi = 30^\circ$ . Матеріали покрівлі та проводів – мідь, алюміній, сталь нержавіюча та звичайна. Вибір величини врахованої ширини листа металеві покрівлі  $l = 360$  мм обумовлений тим, що, згідно виконаного аналізу, подальше збільшення відстані не вносить значного вкладу ( $<1\%$ ) у сумарне значення сили. Наведені в таблицях результатів значення розрахованих сил на тримачі/конструкції відповідають погонним параметрам сил для провідників на 1 м (типова рекомендована відстань між тримачами).

Таблиця 1 – Залежність сили на тримач від висоти розміщення провідника ізолювано над плоскою металеві покрівлю ( $d = 0.5$ мм)

$h$ , мм	$F$ , Н			
	Мідь	Алюміній	Сталь нерж.	Сталь ( $\mu=800$ )
20	47626	47512	47118	45864
30	30074	30024	29856	26668
55	12106	12132	12082	11026

Таблиця 2 – Залежність сили на тримач від висоти розміщення провідника ізолювано над плоскою металеві покрівлю ( $d = 4$  мм)

$h$ , мм	$F$ , Н			
	Мідь	Алюміній	Сталь нерж.	Сталь ( $\mu=800$ )
20	47714	47554	47124	45614
30	30094	30040	29850	29128
55	12176	12144	12082	11856

Таблиця 3 – Залежність сили на тримач від висоти розміщення провідника ізолювано над гребенем металеві покрівлі ( $d = 0.5$  мм,  $\varphi = 30^\circ$ )

$h$ , мм	$F$ , Н			
	Мідь	Алюміній	Сталь нерж.	Сталь ( $\mu=800$ )
20	10820	10779	10672	10330
30	6274	6263	6200	6002
55	1443	1441	1419	1374

Результати розрахунків для всіх випадків розташування провідника над плоскою покрівлю показують дуже значні сили відривання на тримачі і відповідно на елементи їх кріплення та споруди (згідно табл. 1 та 2, від 1.1 до 4.8 т). Ці сили слабо залежать від матеріалу покрівлі/проводу (провідність, магнітні властивості) і дещо зменшуються в порядку: мідь, алюміній, сталь нержавіюча, сталь звичайна. Для сталі з магнітним властивостями сили трохи

менші, ніж у випадку немагнітної сталі. Для більшої товщини (4 мм) сили також зростають мало. Найефективніше на зменшення сил впливає збільшення висоти тримача: при переході з  $h = 20$  мм до 55 мм сила на нього зменшується майже в 4 рази. Для різних розглянутих випадків значення сумарних наведених у плоскій покрівлі струмів становить від 72% до 94% від струму у проводі (їхній напрям – протилежний до інжектowanego струму). Ці значення, як і значення максимальних діючих сил досягаються в момент амплітудного значення струму блискавки в струмовідводі.

Для проводу над гребенем сили на тримач і дах суттєво менші порівняно із ситуацією на плоскій покрівлі (десь в 4.4 ... 8.4 разів, див. табл. 3), причому це зменшення більш суттєве для високих тримачів.

Для випадку кріплень струмовідводу ізольовано на плоскій металевій покрівлі, яка лежить на дерев'яній основі (обрешітці чи плиті) або на цегляній кладці, в роботі також розраховано небезпечні рівні амплітуди струму, що може спричинити виривання цих кріплень, розташованих з кроком у 1 м (табл. 4).

Таблиця 4 – Амплітуда імпульсу струму, що може спричинити виривання кріплень тримачів (мідна покрівля,  $d = 0.5$  мм,  $r = 4$  мм,  $l = 360$  мм)

$h$ , мм	Саморіз КОН- 5x25, основа – дерево [3]		Дюбель KPR-FAST $\varnothing 10$ мм, основа – цегла [3]	
	Допустима сила [3], кН	Струм, кА	Допустима сила [3], кН	Струм, кА
20	1.790	19.4	3.5	27.6
30	1.790	23.8	3.5	34.2
55	1.790	38.8	3.5	54.4

Розглядалися два випадки електрично-пов'язаного з дахом провідника, коли частина струму стікає через покрівлю. В першому випадку (рис. 3) одиничний електричний контакт провідника з дахом влаштовано на відстані  $a = 5$  м від краю гребеня. Матеріал даху – мідь, товщина даху  $d = 0.5$  мм, довжина ребра скату –  $c = 3$  м,  $H = 0.5$  м, радіус струмовідводу  $r = 4$  мм. Для другого випадку (рис. 4), який є частковим випадком першого,  $a = 0.01$  м,  $c = 3$  м. Площа контакту для обох випадків приймалася у  $528 \text{ мм}^2$  (22 мм x 24 мм).

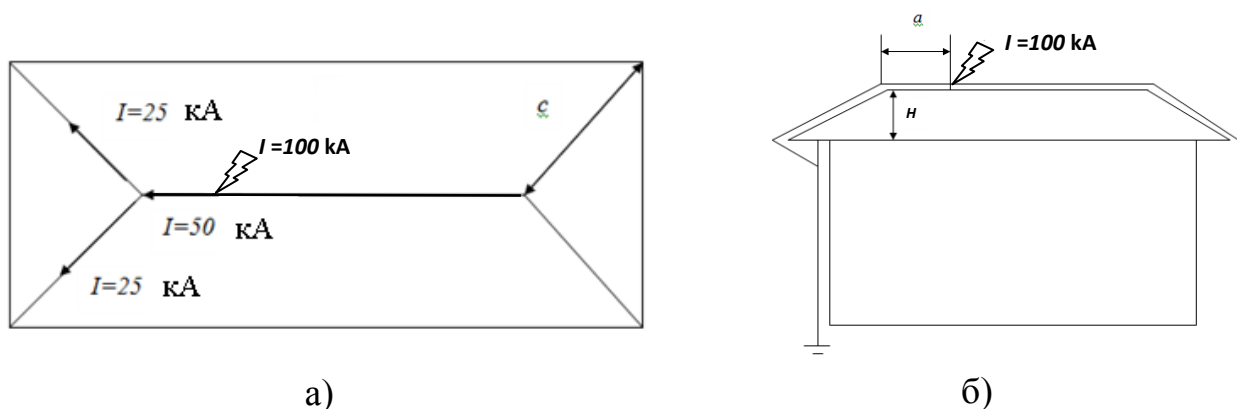


Рисунок 3 – Будівля з контактом проводу та покрівлі у випадку 1:  
а – вид зверху; б – вид збоку.

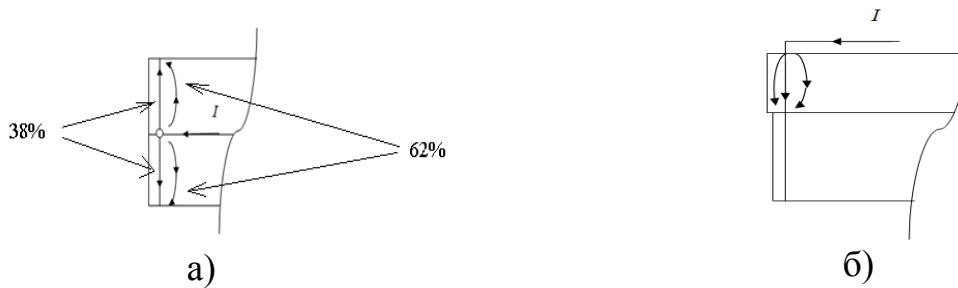


Рисунок 4 – Будівля з контактом проводу та покрівлі у випадку 2:  
а – вид зверху; б – вид збоку.

Для визначення розподілу струму блискавки між струмовідводом та покрівлею в точці контакту шляхом моделювання в середовищі COMSOL було отримано значення електричних опорів в зазначених двох випадках: опір струмовідводу та опір даху від точки інжекції струму до землі.

Відповідно до знайдених значень, розподіл струму блискавки за активними опорами струмовідводу та даху (без врахування їх індуктивної взаємодії) становить:

- в першому випадку: струм струмовідводу – 32% від загального струму, струм даху – 68%;

- в другому випадку: струм струмовідводу – 38%, струм даху – 62%.

Для прикладу, оцінимо масштаб співвідношення сил для випадків ізолюваного провідника та з електричним контактом до покрівлі. Ці сили пропорційні добутку струмів в двох частинах, що взаємодіють. Отже: ізолюваний провід – індукований струм  $0.72I$ ,  $I_1I_2 = 0.72I^2$ ; з контактом – розподіл струмів –  $0.62I$  та  $0.38I$ , добуток  $0.236I^2$  (стягування), добуток  $0.62I \cdot 0.72 \cdot 0.62I = 0.277I^2$  (виривання), різниця –  $(0.277 - 0.236)I^2 = 0.041I^2$ . Тобто результуюча сила значно менша у випадку з контактом ( $0.72/0.041 = 17.6$  рази).

**Висновки.** Результати показали незначну залежність відривних сил на проводи (та тримачі і їхні кріплення) від товщини та матеріалів провідних поверхонь і магнітних властивостей розглянутих металів. А висота проводу та конфігурація системи (плоска поверхня, гребінь) помітно впливають на ці сили. Найбільша з визначених сил при  $I = 100$  кА відповідає випадку ізолюваного розміщення струмовідводу на висоті  $h = 20$  мм над мідною горизонтальною площиною і сягає близько 4.8 т. Найменша, близько 1.4 т – у випадку проводу над гребенем покрівлі із заліза для  $h = 55$  мм (при  $\varphi = 30^\circ$ ). Такі сили значно перевищують допустимі рівні для типових кріплень. У випадку наявності електричного контакту і протіканні часткового струму в покрівлі відбувається суттєве зменшення сил порівняно з випадком ізолюваного струмовідводу. При розробці СБЗ необхідно враховувати обмеження допустимих навантажень на окремі тримачі (табл. 4).

#### 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. Системы молниезащиты и защиты от перенапряжения – TBS Каталог 2012/2013.
3. Techniki zamokovan – Wkret-met| Katalog 2015: <http://wkret-met.com/katalog>.