

РОЗРАХУНОК ЗОНИ ЗАХИСТУ ВІД БЛИСКАВКИ (LPZ)

Основним та найефективнішим засобом захисту будівель (споруд) від фізичних пошкоджень вважають систему блискавкозахисту LPS. Вона зазвичай складається як із зовнішньої, так і з внутрішньої систем захисту.

Такі заходи, як LPS визначають зони захисту від блискавки (LPZ), рис. 1.

З огляду на загрозу блискавки визначені такі LPZ:

LPZ 0A зона, у якій загроза існує внаслідок прямого спалаху блискавки й повного електромагнетного поля. Внутрішні системи можуть піддаватися впливу сплеску повного або часткового струму блискавки;

LPZ 0B зона, захищена від прямих спалахів блискавки, але в якій загрозу становить повне електромагнетне поле блискавки. Внутрішні системи можуть піддаватися впливу сплесків часткових струмів блискавки;

LPZ 1 зона, у якій струм сплеску обмежено розгалуженням струму й ізолювальними інтерфейсами та / або SPD на межах. Просторове екранування може послаблювати електромагнетне поле блискавки;

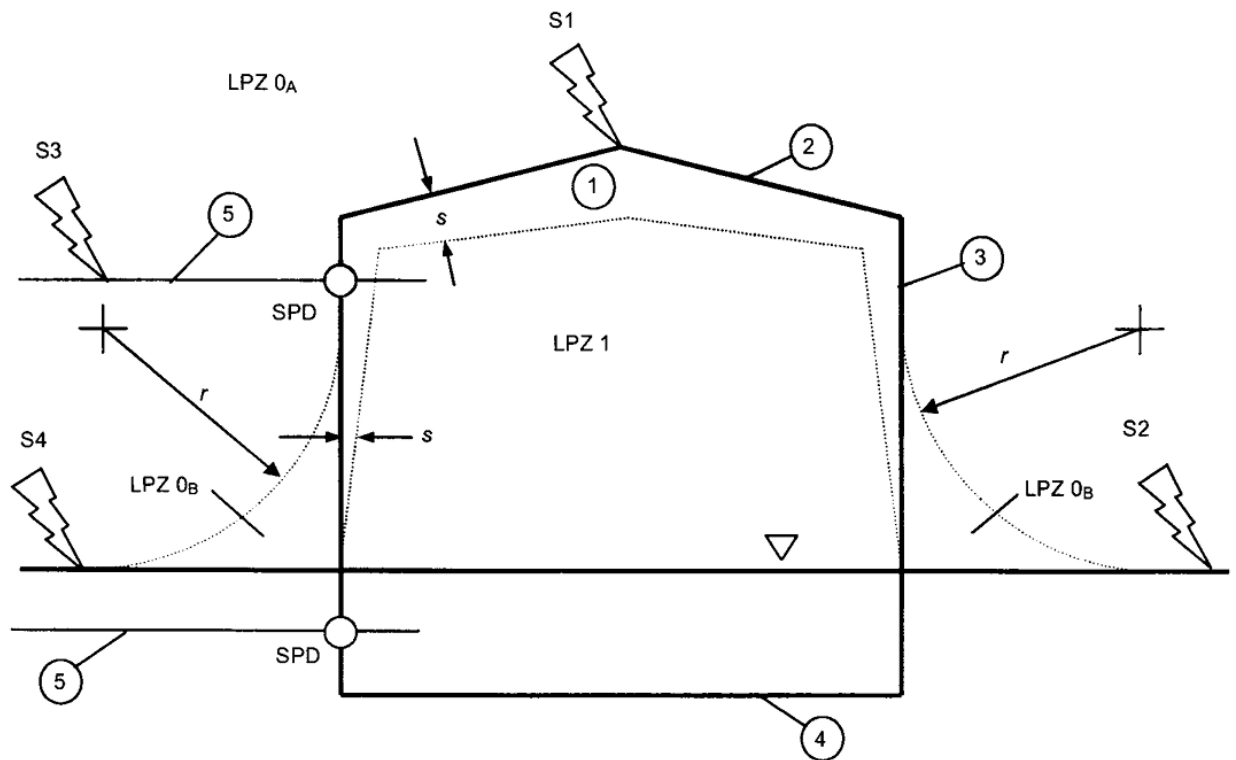
LPZ 2, ..., n зона, у якій струм сплеску може бути додатково обмежено розділенням струму й ізолювальними інтерфейсами та / або SPD на межах. Додаткове просторове екранування може бути використано для подальшого послаблення електромагнетного поля блискавки.

Захист для зменшення фізичного пошкодження та небезпеки для життя

Будівля (споруда), що захищається, має перебувати в межах LPZ 0B або вищої. Це досягається за допомогою системи захисту від блискавки (LPS). LPS складається як із внутрішньої, так й з зовнішньої систем захисту.

Призначенням зовнішньої LPS є:

- перехопити спалах блискавки у будівлю (споруду) (з допомогою системи перехоплення);
- відвести безпечним чином струм блискавки до землі (з допомогою системи доземних провідників);
- розсіяти його у землі (з допомогою системи земляного закінчення).



Позначення		Key	
1 будівля (споруда)	S1 спалах у будівлю (споруду)	1 structure	S1 flash to the structure
2 система перехоплення	S2 спалах поблизу будівлі (споруди)	2 air-termination system	S2 flash near to the structure
3 система доземних провідників	S3 спалах у лінію, приєднану до будівлі (споруди)	3 down-conductor system	S3 flash to a line connected to the structure
4 система земляного закінчення	S4 спалах поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди)	4 earth-termination system	S4 flash near a line connected to the structure
5 вхідні лінії		5 incoming lines	r rolling sphere radius
s роздільна відстань проти небезпечного іскріння		s separation distance against dangerous sparking	
▽ позначка землі		▽ ground level	
○ екіпотенційні сполучення блискавки за допомогою SPD		○ lightning equipotential bonding by means of SPD	
LPZ 0A	прямий спалах, повний струм блискавки	LPZ 0A	direct flash, full lightning current
LPZ 0B	відсутність прямого спалаху, частковий блискавки або індукований струм	LPZ 0B	no direct flash, partial lightning or induced current
LPZ 1	відсутність прямого спалаху, блискавки або індукований струм	LPZ 1	no direct flash, limited lightning or induced current
	у захищеному об'ємі всередині LPZ 1 має бути дотримано роздільної відстані d_s		protected volume inside LPZ 1 must respect separation distance d_s

Рисунок 1 – LPZ, визначені на основі LPS

Функція внутрішньої LPS полягає у запобіганні небезпечному іскрінню всередині будівлі (споруди), з використанням екіпотенційного

сполучення або роздільної відстані, s , (й, отже, електричне ізолювання) між елементами LPS та іншими струмопровідними елементами всередині будівлі (споруди). Для класів LPS (I, II, III та IV) визначається набір конструкційних правил, що базуються на відповідних рівнях захисту (LPL).

Класи LPS:

I та II рівень – об'єкти, які треба захищати від прямих ударів, вторинних проявів та занесення високого потенціалу через надземні і підземні комунікації;

III рівень – будинки і споруди, які треба захищати від прямого удару та занесення високого потенціалу через надземні і наземні комунікації;

IV рівень – невеликі нежитлові об'єкти, розташовані у сільській місцевості.

Надійність захисту від прямого удару блискавки R_z :

$0,99 \div 0,999$ – для об'єктів I рівня блискавкозахисту;

$0,95 \div 0,99$ – для об'єктів II визначають очікувану кількість ударів блискавки за рік по об'єкту: рівня блискавкозахисту;

$0,9 \div 0,95$ – для об'єктів III рівня блискавкозахисту;

не нижче ніж $0,85$ – для об'єктів IV рівня блискавкозахисту.

Згідно до ДСТУ ІЕС 62305-1 визначають чотири рівні захисту, LPL. Для кожного LPL встановлено ряд максимальних й мінімальних параметрів струму блискавки. **Максимальні значення параметрів струму блискавки при використанні різних рівнів захисту від удару блискавки повинні відповідати наступним вимогам:**

LPLI – не будуть перевищувати значення з ймовірністю 99 %;

LPLII – не будуть перевищувати значення з ймовірністю 75 %

LPLIII та IV – не будуть перевищувати значення з ймовірністю 50%

Максимальні значення параметрів блискавки відповідно до LPL наведені в табл.3 ІЕС 62305-1.

Необхідно дотримуватися співвідношення між рівнями блискавкозахисту та класами LPS (табл.1).

Таблиця 1 – Співвідношення між рівнями блискавкозахисту та класами

LPS

LPL	Клас LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Також, кожен клас LPS характеризують такими чинниками:

а) Даними, залежними від класу LPS:

- параметри блискавки;
- радіус сфери, що котиться, розмір комірки сітки, значення захисного кута;
- типові переважні відстані між доземними провідниками;
- роздільна відстань проти небезпечного іскріння;
- мінімальна довжина заземлюючих електродів.

б) Факторами, незалежними від класу LPS:

- еквіпотенційні сполучення блискавкозахисту;
- мінімальна товщина бляхи або металевих труб у системі перехоплення;
- матеріали LPS та умови використання;
- матеріал, конфігурації та мінімальні розміри блискавкоприймачів, доземних провідників та земляного закінчення;
- мінімальні розміри сполучних провідників.

Вибір типу і висоти блискавковідводів провадиться виходячи зі значень необхідної надійності. Об'єкт вважається захищеним, якщо сукупність всіх його блискавковідводів забезпечує надійність захисту не менше розрахованого рівня захисту. У всіх випадках система захисту від прямих ударів блискавки вибирається так, щоб максимально використовувалися природні громовідводи, а якщо забезпечувана ними захищеність недостатня – в комбінації зі спеціально встановленими громовідводами.

Системи перехоплювачів можуть складатися з будь-якої комбінації таких елементів:

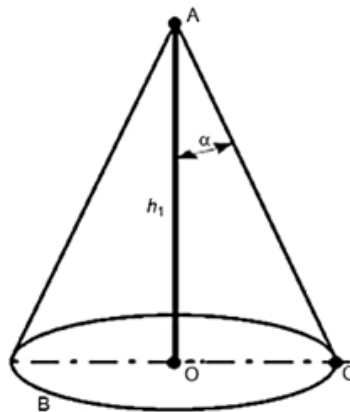
- а) стрижні (з окремо розташованими щоглами включно);
- б) натягнені троси;
- в) сітчасті провідники.

Компоненти перехоплювачів, установлені на будівлі (споруді), необхідно розмістити на кутах виступних точках та рубях (особливо на найвищих рівнях усяких фасадів) згідно з одним чи кількома з таких методів.

Розміщення системи перехоплення за використання методу захисного кута.

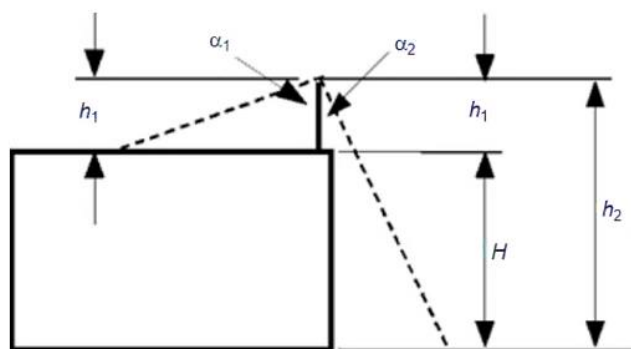
Розміщення системи перехоплення вважають відповідним, якщо захищувана будівля (споруда) повністю перебуває в межах захищеного об'єму, забезпеченого системою перехоплення. Для визначення захищеного об'єму належить брати до уваги лише реальні фізичні розміри металевої системи перехоплення блискавки.

Об'єм, захищений вертикальними стрижнями, приймають таким, що має форму прямого кругового конуса, вершина якого розташована на осі перехоплювача, з напівкутом при вершині α , залежно від класу LPS та на висоті системи перехоплення, яку подано в **табл. 2**. Приклади захищеного об'єму наведено на рисунках рис. 2 та рис.3.



A – верхівка стрижня перехоплювача; B – базова площина; OC – радіус захищеного простору; h_1 – висота стрижня перехоплювача над базовою площиною простору, який належить захистити, α – захисний кут

Рисунок 2 – Об'єм, захищений вертикальним стрижневим перехоплювачем



h_1 — висота стрижня перехоплювача над базовою площиною простору, який належить захистити.

Примітка. Кут захисту α_1 відповідає висоті перехоплювача h_1 , що є висотою над захищеною поверхнею покрівлі; кут захисту α_2 відповідає висоті $h_2 = h_1 + H$, земля є базовою площиною; α_1 пов'язаний з h_1 та α_2 пов'язаний з h_2

Рисунок 3 – Об'єм, захищений вертикальним стрижневим перехоплювачем

Об'єм, захищений дротом, визначають комбонуванням об'єму, захищеного віртуальними вертикальними стрижнями з вершинами на дроті. Приклади захищеного об'єму наведено на рис. 4.

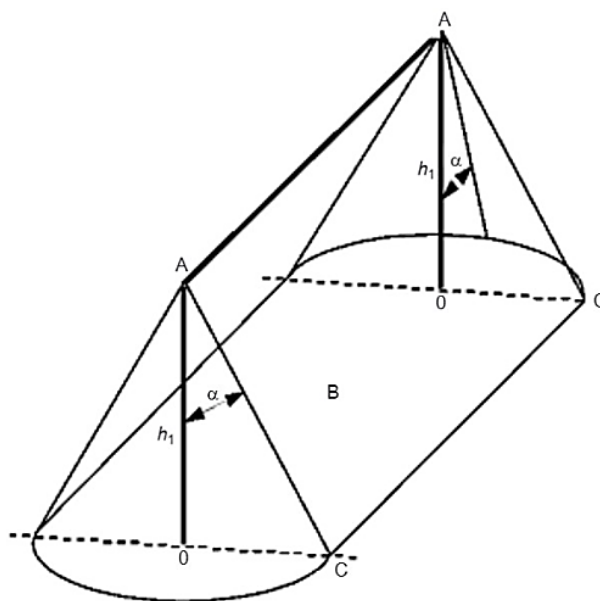


Рисунок 4 – Об'єм, захищений дротовою системою перехоплення

Об'єм, захищений дротами, об'єднаними в сітку визначають комбінацією захищеного об'єму, який визначається одинарними провідниками, що утворюють сітку.

Приклади об'єму, захищеного дротами, об'єднаними в сітку, наведено на рис. 5 та рис.6.

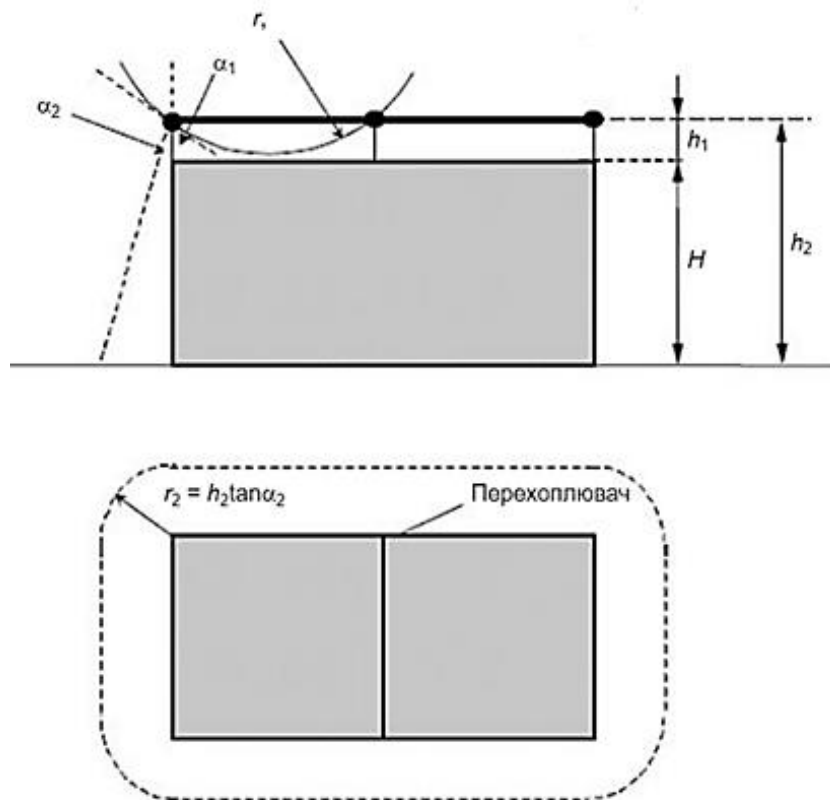


Рисунок 5 – Об'єм, захищений ізолюваними дротами, об'єднаними в сітку, відповідно до методу захисного кута та методу сфери, що котиться

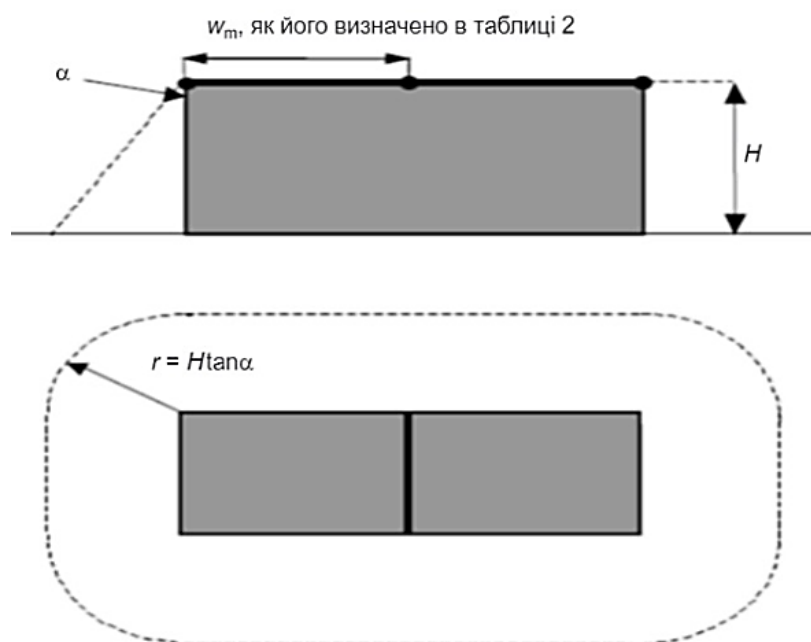


Рисунок 6 – Об'єм, захищений неізолюваними дротами, об'єднаними в сітку, відповідно до методу сітки та методу захисного кута

Конструктивні особливості блискавковідводів. Існує три основні види блискавкозахисту від прямого удару: стрижневий, тросовий і сітчастий, ДСТУ ІЕС 62305-2:2012.

Блискавковідвід – пристрій, який сприймає удар блискавки і відводить її струм у землю. Блискавковідвід, що стоїть окремо – блискавковідвід, розташований таким чином, що шлях струму блискавки не має контакту з об'єктом, який він захищає. Блискавковідводи складаються з блискавкоприймача на опорі, струмовідводу та заземлювача. З'єднання цих окремих частин блискавковідводу слід виконувати лише зварюванням і, як виняток, для III рівня захисту допускається болтове з'єднання. Опори стрижньових блискавковідводів розраховуються на вітрове навантаження як конструкції, що вільно стоять, а опори тросових блискавковідводів – з урахуванням натягу троса і дії на нього навантаження вітру та ожеледиці. Їх можна виконувати зі сталі будь-якої марки, залізобетону або дерева відповідно до проведених розрахунків.

Блискавкоприймач – частина блискавковідводу, призначена для перехоплення блискавок. Блискавкоприймачі можуть бути спеціально встановленими, у тому числі на об'єкті, або їхні функції виконують конструктивні елементи об'єкта, що захищається. В останньому випадку вони називаються природними блискавкоприймачами. Для звичайних об'єктів як природні блискавкоприймачі можуть розглядатися конструктивні елементи будівель і споруд (металеві покрівлі захищуваних об'єктів, металеві конструкції даху, металеві елементи типу водостічних труб чи прикрас, металеві огорожі по краю даху, технологічні визначають очікувану кількість ударів блискавки за рік по об'єкту: металеві труби і резервуари) за умови, що їхній переріз не менший значень, визначених для звичайних блискавкоприймачів. Спеціально встановлені блискавкоприймачі можуть складатися з довільної комбінації таких елементів: стрижнів, натягнутих дротів (тросів), сітчастих провідників (сіток).

Одиночний стрижньовий блискавковідвід. Стандартною зоною захисту одиночного стрижньового блискавковідводу заввишки h , м, є круговий конус заввишки $h_0 < h$, м, вершина якого збігається з вертикальною віссю блискавковідводу. Габарити зони визначаються двома параметрами: висотою конуса h_0 , м, і радіусом конуса на рівні землі r_0 , м, (рис. 7). З даного рисунку видно, що блискавковідвід, розміщений посередині будівлі, більш ефективно захищає її від прямих ударів блискавки (ПУБ). У табл. 2 наведені розрахункові формули, що можна використовувати для блискавковідводів висотою до 150 м. При більш високих блискавковідводах для розрахунку слід користуватися спеціальною методикою.

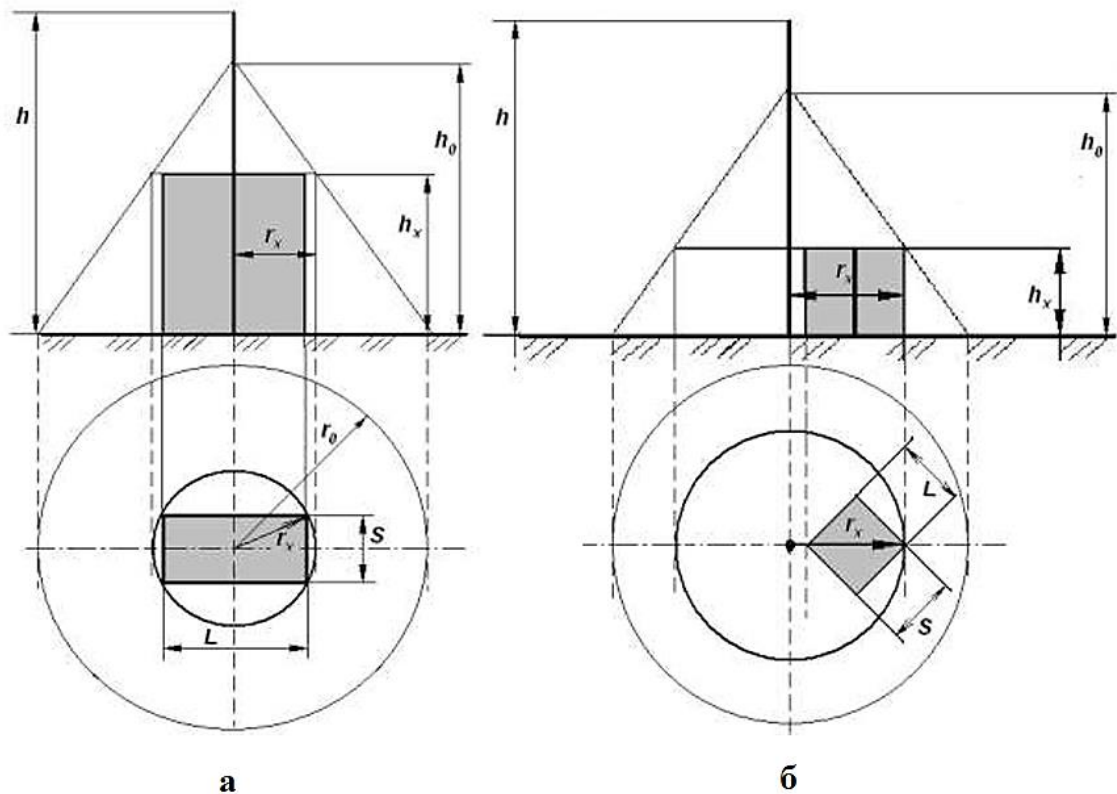
Для зони захисту одиночного стрижньового блискавковідводу радіус горизонтального перерізу r_x , м, на висоті h_x , м, визначається формулою:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (1.1)$$

При розрахунку параметрів стрижньового блискавковідводу залежно від типу зони захисту користуються співвідношеннями в табл. 3 і 4).

Таблиця 2 – Розрахунок зони захисту одиночного стрижневого блискавковідводу

Надійність захисту P_3	Рівень зони захисту	Висота блискавковідводу h , м	Висота конуса захисту h_0 , м	Радіус конуса r_0 , м
0,9	III	від 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
		від 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 - 10^{-3}(h-100)]h$
0,99	II	від 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
		від 30 до 100	$0,8h$	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$
		від 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h-100)]h$	$0,7h$
0,999	I	від 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
		від 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$
		від 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3}(h-100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$



а – розміщеного на перетині діагоналей покрівлі будинку; б – розміщеного поза будівлею

h – висота блискавковідводу, м; h_0 – максимальна висота зони захисту безпосередньо біля блискавковідводу, м; h_x – висота зони захисту об'єкта (максимальна висота будівлі), м; r_0 – радіус конуса захисту на поверхні землі, м; r_x – радіус зони захисту в горизонтальному перерізі на висоті h_x

Рисунок 7 – Зона захисту одиничного стрижньового блискавковідводу

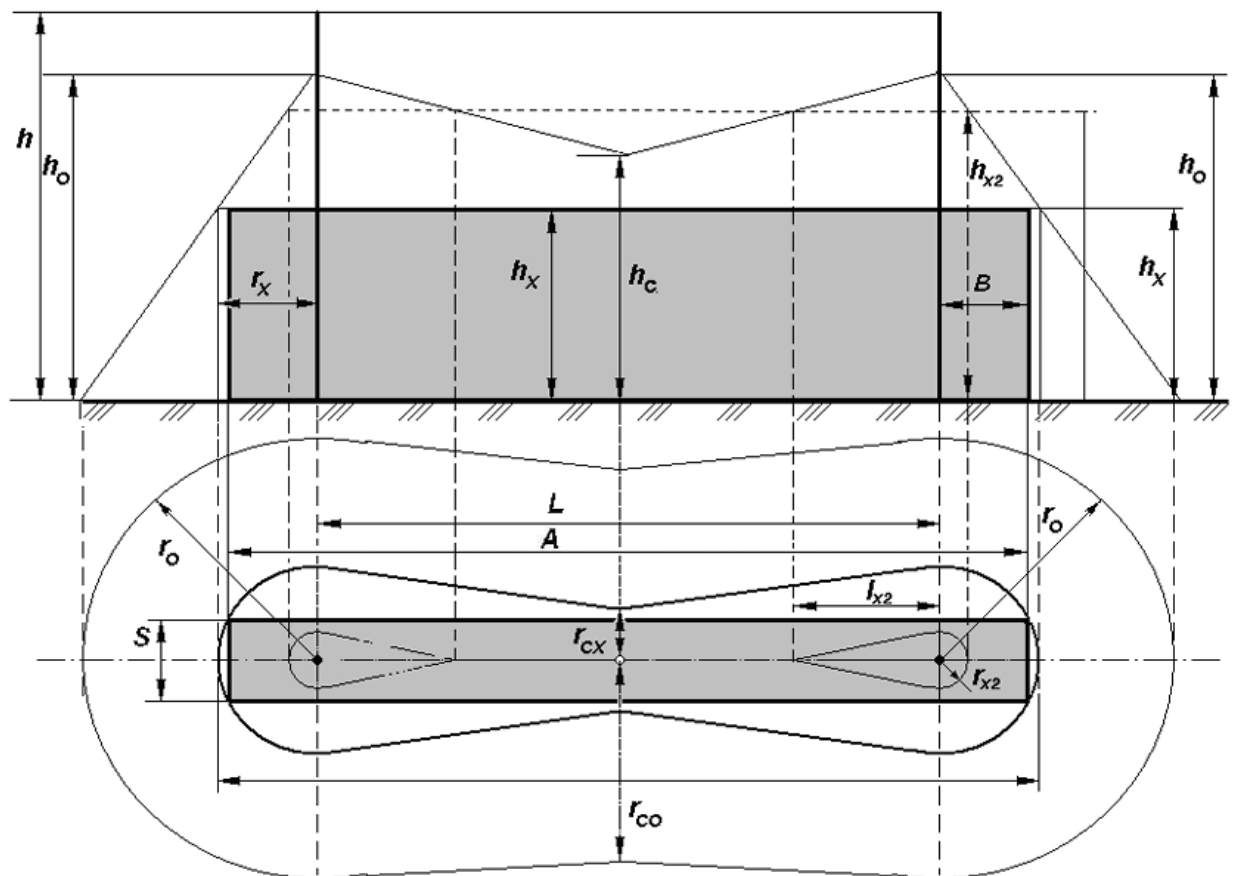
Таблиця 3 – Параметри зони захисту об'єкта від прямого удару блискавки при висоті блискавковідводу до 30 м

Параметр	Зона I (99,0-99,5%)	Зона II (95-99 %)
r_x (перетин діагоналей будівлі), м	$(S^2+L^2)^{0,5}/2$	$(S^2+L^2)^{0,5}/2$
r_x (поза межами будівлі, рис 2 б), м	Визначити за геометричними співвідношеннями	
h_x	H_6 (висота об'єкта)	H_6 (висота об'єкта)
h	$r_x/0,6+ h_x/0,7$	$(r_x+ h_x)/0,8$
h_0	$0,7 h$	$0,8 h$
r_0	$0,6 h$	$0,8 h$

Таблиця 4 – Параметри зони захисту об'єкта при висоті блискавковідводу від 30 до 100 м

Параметр	Зона I (99,0-99,5%)	Зона II (95-99 %)
r_x (перетин діагоналей будівлі), м	$(S^2+L^2)^{0,5}/2$	$(S^2+L^2)^{0,5}/2$
r_x (поза межами будівлі), м	Визначити за геометричними співвідношеннями	
h_x	H_6 (висота об'єкта)	H_6 (висота об'єкта)
h	З кубічного рівняння $h^3-1459,97h^2+(699,3r_x+1400,56h_x+454253)h-(706568r_x+629664h_x)=0$, див. примітку	$h = (-p - (p^2 - 4q)^{0,5})/2$, де $p = (589,44+1,25h_x)$, $q = (736,8h_x+699,3r_x)$
h_o	$[0,7-7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$0,8h$
r_o	$[0,6-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$[0,8-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$

Подвійний стрижньовий блискавковідвід. Блискавковідвід вважається **подвійним**, якщо відстань між стрижньовими блискавкоприймачами L , м, не перевищує граничної величини L_{max} , м. В іншому випадку обидва блискавковідводи розглядаються як одиничні. Конфігурація вертикальних і горизонтальних перерізів стандартних зон захисту подвійного стрижньового блискавковідводу заввишки h , м, і відстанню L , м, між блискавковідводами наведена на **рис. 8**.



L – відстань між блискавковідводами, м; h – висота блискавковідводу, м; h_0 – максимальна висота зони захисту безпосередньо біля блискавковідводу, м; r_0 – радіус конуса захисту (торцева частина зони захисту), м; r_x – максимальна напівширина, м, зони в горизонтальному перерізі на висоті h_x , м; h_c – мінімальна висота зони захисту посередині між блискавковідводами, м; r_{cx} – напівширина горизонтального перерізу в центрі між блискавковідводами, м

Рисунок 8 – Зона захисту подвійного стрижньового блискавковідводу

Побудова зовнішніх областей зон подвійного блискавковідводу (напівконусів з габаритами, м, h_0 , r_0) виконується за формулами табл. 2-табл.4 для одиничних стрижньових блискавковідводів.

Розміри внутрішніх областей визначаються параметрами: - максимальною висотою h_0 , м, зони безпосередньо біля блискавковідводів; - мінімальною висотою h_c , м, зони посередині між блискавковідводами (практично вона не повинна бути меншою від висоти об'єкту захисту). При відстані між блискавковідводами $L \leq L_c$ межа зони не має провисання:

$$h_c = h_0, \text{ м.} \quad (1.2)$$

Для відстані $L_c \leq L \leq L_{max}$ висота h_c визначається за формулою, м:

$$h_c = \frac{h_0(L_{max} - L)}{L_{max} - L_c}, \quad (1.3)$$

Граничні відстані L_{max} і L_c для блискавковідводів заввишки до 150 м обчислюються за емпіричними формулами табл. 5.

При більшій висоті блискавковідводів слід користуватися спеціальним програмним забезпеченням. Розміри горизонтальних перерізів зони обчислюються за формулами, спільними для всіх рівнів надійності захисту:

- максимальна напівширина зони r_x в горизонтальному перерізі на висоті h_x , м, визначається за формулою, м:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (1.4)$$

- довжина горизонтального перерізу l_{x2} , м, на висоті $h_{x2} \geq h_c$, м:

$$l_{x2} = \frac{L(h_0 - h_x)}{2h_0 - h_c}, \text{ при } h_x \geq h_c, \quad (1.5)$$

$$l_x = \frac{L}{2} \text{ при } h_x \geq h_c, \quad (1.6)$$

Таблиця 5 – Розрахунок параметрів зони захисту подвійного стрижньового блискавковідводу

На- дій- ність за- хисту P_3	Висота блис- кавковідводу h , м	L_{max} , м	L_c , м
0,9	від 0 до 30	$5,75 h$	$2,5h$
	від 30 до 100	$[5,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)] h$	$2,5h$
	від 100 до 150	$5,5h$	$2,5h$
0,99	від 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	від 30 до 100	$[4,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)] h$	$[2,25 - 0,01007(h - 30)] h$
	від 100 до 150	$4,5h$	$1,5h$
0,999	від 0 до 30	$4,25h$	$2,25h$
	від 30 до 100	$[4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)] h$	$[2,25 - 0,01007(h - 30)] h$
	від 100 до 150	$4,0h$	$1,5h$

- ширина горизонтального перерізу в центрі між блискавковідводами $2r_{cx}$ на висоті $h_x \leq h_c$, м:

$$2r_x = \frac{L(h_c - h_x)}{h_c}, \quad (1.7)$$

При значенні мінімальної висоти зони захисту посередині між блискавковідводами $h_c = h_x$ ширина горизонтального перерізу в центрі між блискавковідводами $2r_{cx}$ стає рівною нулю, тобто $r_{cx} = 0$.

Одиничний тросовий блискавковідвід. Стандартні зони захисту одиничного тросового блискавковідводу заввишки h обмежені симетричними двоххилими поверхнями, що створюють у вертикальному перерізі рівнобедрений трикутник з вершиною на висоті $h_0 < h$, м, і основою на рівні землі $2r_0$, м (рис. 9).

Рисунок

ДОДАТОК А

Карта середньої тривалості гроз за рік у годинах для території України

<https://enext.ua/uk/press/articles/Molniezashchita-cho-to-novogo/>

