

Стаття присвячена проблемам захисту від блискавок будівель і споруд в сучасних умовах України.

Блискавка зблизька. Система локації блискавок на території України

Євген Баранник, Олексій Кривобок, Олександр Кривошеїн, м. Київ

Небезпечні фактори блискавки.

Блискавка являє собою грізне природне явище, яке людство не є в стані відвернути. Під дією енергії, першоджерелом якої є сонячне випромінювання, тучі накопичують потужний заряд у численних грозових комірках. За спалаху блискавки та енергія вивільняється у дуже концентрованій формі – десятки тисяч ампер, десятки тисяч градусів у каналі блискавки, який має кілька сантиметрів у діаметрі. Рух блискавки зі швидкістю у 300 км на секунду не залишає шансів на втечу, тому людство виробило інші способи порятунку. На українських теренах головним у сонмі древніх богів був Перун – володар блискавок. Він мав своє дерево – дуб, рослину – папороть, тварину – кабана. Серед експонатів київського музею архітектури і побуту можна побачити вишуканий колись з Дніпра стовбур з вирубанними у ньому нішами – туди вставлялися кабанячі черепи. Такі тотеми стояли на перехрестях великих шляхів предків нинішніх українців, які донесли до наших часів вислів «Після дощичка у четвер» - адже саме цей день належав Перунові. Тож, зачувши у небі грозу, наш предок рисував пучкою у повітрі хрест у вигляді літери «Х» – у сподіванні на заступництво Хорса, наступного божества у небесній ієрархії.

Винахід громовідхильника суттєво поліпшив захищеність споруд від фізичних пошкоджень (запалювання, розколювання, розтріскування) у порівнянні з технологіями часів Перуна і Хорса. Та лише з розвитком електротехніки та розповсюдженням цих технологій у виробництві й побуті прийшло розуміння таких небезпек блискавки для живих істот, як напруга дотику та крокова напруга. Технології блискавкозахисту було доповнено системами еквіпотенційних сполучень (ЕВ) й вирівнювання потенціалу поверхонь тваринницьких комплексів, на яких знаходяться свійські тварини.

Стрімкий прогрес електроніки, від вакуумних радіоламп (робоча напруга 240...600 В та більше) до чипів, що живляться від 2.5 В, покликав до життя вимоги щодо електромагнетної сумісності (ЕМС), частину яких відображено у сучасних стандартах з блискавкозахисту будівель і споруд. В Україні розуміння необхідності захисту сучасних комп'ютеризованих технологій робить перші кроки. За даними технічного комітету стандартизації МЕК (ТС 81 –

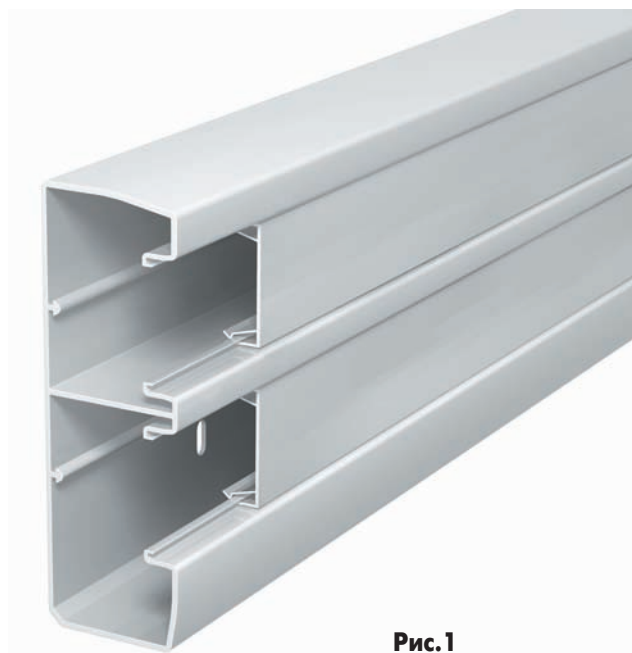


Рис. 1

Lightning protection), з тих коштів, які йдуть у світі щороку на блискавкозахист, 75% витрачається на захист від перенапруг. Причому, переважно, на такі пристрої, що підключаються споживачем самостійно до живильних та інформаційних розеток.

Вплив блискавки на роботу електричних/електронних систем.

Найкраще знають про небезпечну дію блискавок на електричні та електронні пристрої ті, хто відшкодовує постраждалим збитки від пошкодження цієї техніки. За даними страхових компаній, саме імпульси грозового та комутаційного походження становлять найбільшу загрозу Розподіл коштів, відшкодованих за пошкодження електричних та електронних пристроїв (за даними страхових фірм, Німеччини) наведено у [табл.1](#).

На відміну від розхожої причини «блискавка влучила у лінію живлення» (у антену, інформаційну лінію) існує кілька джерел появи небезпечних імпульсів всередині будівель (споруд). У стандартах їх чотири види та вони позначені літерою S (source):

- S1 – спалах блискавки до будівлі (споруди) – нехай і обладнаної системою захисту;
- S2 – спалах блискавки поблизу будівлі (споруди);
- S3 – спалах блискавки до лінії, яку приєднано до будівлі (споруди) – будь яка, надземна або підземна, електрична чи ні, аби спроможна була проводити електричний струм;
- S4 – спалах блискавки поблизу лінії, яку приєднано до будівлі (споруди).

Адже пряме влучення до лінії живлення (антени) зазвичай тягне за собою пожежу або значні механічні руйнування. Натомість, близький спалах супроводжується розтіканням струму блискавки у землю. Падіння напруги, що виникає на шляхах, якими тече струм, може бути передано до системи уземлення електроустановки споживача. Потенціал у кілька десятків кіловольт виходить на всі корпуси обладнання, які підключено до уземлення електробезпеки, внаслідок чого виникає загроза переходу високої напруги на «живі» провідники – живлення та передачі даних.

За випадку S2 можливий також згубний вплив електромагнетного імпульсу блискавки (LEMP), який індукує перенапруги й струми у електричних колах всередині будівель (споруд). Зарадити цьому може екранування, яке полягає у тому, аби використати струмопровідні огорожувальні конструкції для гамування імпульсного поля. У сучасних житлових спорудах за екрани може правити сталевий риштунок залізобетонного каркасу та металеві рами вітражних й фасадних елементів. У промислових – профнастил і сандвіч-панелі покрівлі та стін.

Стійкість електроустановок споживача за дії блискавки

Суттєвого зниження впливу LEMP можна досягти вдумливим прокладенням внутрішньої електропроводні – подалі від провідників системи блискавкозахисту (LPS). Бажано також не утворювати петель з ліній різного призначення, приміром, прокладаючи їх у подвійних кабель-каналах (див. [рис.1](#)), де вони знаходяться на оптимальній відстані одна від одної. У всякому разі не обійтись без встановлення координованої системи пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (SPD). Нескладний підрахунок (див. [табл.2](#)) нагадує про ціну, яку доводиться платити за життя у інформаційному суспільстві. Від 2015 р. ПУЕ (який грає у нас роллю того, що у більшості країн світу називається «електричний код») подає такі межі стійкості електрообладнання до дії імпульсів у 3-фазних мережах 230/400 В:

- 6 кВ – вимірювальні прилади, первинні засоби захисту від надструмів, пристрої згладжування пульсації;
 - 4 кВ – розподільні, «автомати», електропроводня, шини, з'єднувальні коробки, вимикачі, штепсельні розетки, електродвигуни;
 - 2.5 кВ – обладнання стаціонарних електроустановок (електропобутові прилади, тощо);
 - комп'ютери, побутові прилади з електронним управлінням.
- Збитки, пов'язані з дією блискавки, перелічені у [табл.2](#).

Таблиця 1

Причина пошкодження	Частка
Буревії	1%
Пожежі	3%
Крадіжки	4%
Заливання водою	5%
Недбалість	10%
Блискавки та імпульси напруги	65%
Інше	13%

Таблиця 2

Приватний будинок (блискавка поцілила у дах)	
Руйнація покрівлі, пожежа, коротке замикання, затікання води	€50 000
Пошкоджені ТВ, ПК, холодильник, пральна машина, автоматика котла, охоронна система	€10 000
Втрата даних, зокрема усіх цифрових сімейних фото	€ ???

Промислова споруда	
Панелі управління	€250
Комп'ютери та сервери	€20 000
Недовипуск продукції	€500 000

Повна вартість системи захисту від імпульсів €5000

Таблиця 3

Оточення	f_{env}
Сільське та приміське оточення	85 x F
Міське оточення	850 x F

ПРИМІТКА: Значення коефіцієнта F може бути прийнято рівним 1 для усіх установок.

Критерії необхідності у протіімпульсному захисті електроустановок споживача

То як бути, коли йдеться про інвестування хоча б кількох тисяч євро у протіімпульсний захист? Чи не є то зайвою витратою, вигаданою продавцями SPD? Вдамося до міжнародних стандартів, гармонізація з якими є на часі для України. Ось той [1], у якому йдеться про захист від перенапруг електроустановок НН. Ним рекомендується обчислювати показник ризику C_{RL} та порівнювати отримане значення з припуском рівнем, який дорівнює 1000. Якщо $C_{RL} < 1000$, захист від перенапруг є зайвим. Цей показник розраховується за формулою

$$C_{RL} = f_{env} / (L_p \times N_g), \quad (1)$$

де:

f_{env} - коефіцієнт, який залежить від оточення (визначається за [табл.3](#));

L_p – довжина оцінки ризику;
 N_g – густина блискавок «туча-земля» (спалахів на км² у рік).

Значення коефіцієнта оточення f_{env} наведено у **табл.3**

Однак, Національні Комітети МЕК можуть змінювати коефіцієнт F від 1 до 3 для житла. Довжина оцінки ризику L_p розраховується наступним чином:

$$L_p = 2 L_{PAL} + L_{PCL} + 0,4 L_{PAH} + 0,2 L_{PCH}, \quad (2)$$

де:

L_{PAL} є довжиною (км) повітряної лінії НН;

L_{PCL} є довжиною (км) підземного кабелю НН;

L_{PAH} є довжиною (км) повітряної лінії ВН;

L_{PCH} є довжиною (км) підземного кабелю ВН.

Якщо решту даних для обчислення ризику C_{RL} можна взяти з відомостей про конфігурацію розподільчих ліній у тій чи іншій місцевості, то показник N_g потребує даних від національної системи грозопеленгації (LLS). Спостереження, проведені останніми роками, показали, що за одного спалаху блискавки мають місце не одна, а кілька точок контакту з землею. Відстань між ними може становити від кількох метрів до 8 км. Цей факт знайшов відображення у стандарті МЕК [2] введенням співвідношення:

$$N_{sg} = 2 \times N_g,$$

де N_{sg} – число точок контакту спалахів блискавки на 1 км² земної поверхні (з об'єктами на ній) протягом року.

Після того, як цей стандарт буде визнано національною нормою України (що стає звичайною практикою), нашим проектувальникам доведеться оперувати з величинами $N_{sg} = 11-12$ 1/км² у рік замість вживаних тепер $N_g = 5.5-6$ 1/км².

Поки що можемо скористатися даними LLS, зібраними протягом 2008–2012 років [3]. За віддаленості України від місць розташування локаційних станцій, якими користувалися автори, можемо бачити лише ту її частину (близько 80%) на захід від Полтави. Найбільше блискавок у липні (максимум гроз) спостерігається навколо ЧАЕС та на лінії Ужгород-Мукачеве-Хуст-Тячів. На цих 3% території України показник N_{sg} становить 50-32 1/км² у рік. Та якщо на Заході країни грози збирають на себе хребти Карпат, то Прип'ять – це ліси, озера й болота. Чи не є причиною такої концентрації радіаційне забруднення, внаслідок якого відбувається додаткова іонізація повітря, що полегшує його електричний пробій? Ще близько 6% території навколо вищезазначених місць характеризуються $N_{sg}=32-20$ 1/км² у рік. Така ж густина точок контакту блискавок з поверхнею землі має місце від кордону з Молдовою й до лінії Крижополь-Бершадь-Балта (15% території). Менш відвідувані блискавками терени рівномірно вкривають решту нашої країни: $N_{sg}=20-13$ 1/км² у рік – 40%; $N_{sg}=13-8$ 1/км² у рік – 15%; $N_{sg}=8-5$ 1/км² у рік – 3%. Спитаємо себе – чи враховується на сьогоднішній день ця статистика для вирішення питання про доцільність захисту від блискавки та імпульсів. Аби зрозуміти важливість національної LLS, поглянемо, як то виглядає у решті світу.

Національні системи грозопеленгації знижують збитки від дії блискавок

Людство стає щодня більш динамічним, мобільним, все більше залежить від надійної роботи складових ноосфери, 12 умов розвитку якої сформулював минулого століття відомий вчений В.І. Вернадський. У попередніх розділах вже йшлося про численні електронні системи та прилади, до послуг яких ми так швидко звикаємо. То чи здатні вони ще й вчасно попереджати нас про небезпеки блискавок? Чи можна очікувати на їхню допомогу у знаходженні безпечного місця, якщо повідомлення про грозу захопить десь у дорозі? У всякому разі тут не обійтися без систем грозопеленгації.

Схема розміщення давачів українського сегменту глобальної системи грозопеленгації американської компанії «Earth Networks» наведена на **рис.2**.

Аналізу історії та прогнозів грозової активності, разом із рештою особливо небезпечних явищ погоди та їх впливу, потребують буквально усі галузі економіки та щоденне життя громадян. Саме тому створенню та розбудові подібних систем приділяється все більше уваги у різних кінцях світу. Сьогодні по всій земній кулі можемо нарахувати понад 60 LLS.

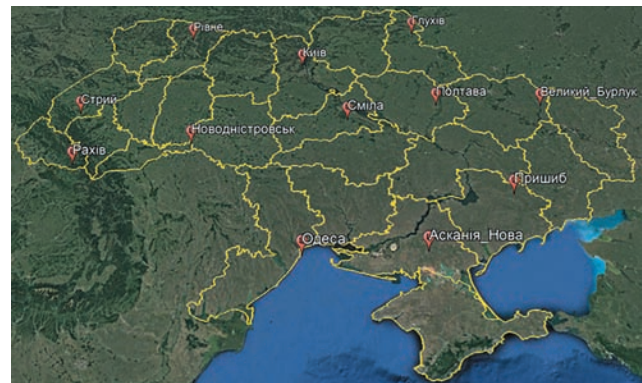


Рис.2

В Україні до останнього часу не було таких сучасних систем, які б дозволяли отримувати більш точну і повну інформацію про грозову активність. Саме тому 2016 року Український гідрометеорологічний інститут (УкрГМІ) та Український гідрометцентр (УкрГМЦ) ініціювали створення подібної системи. Її компоненти вирішили розмістити на визначених метеорологічних станціях (див. **рис.2**) за принципом отримання первинних даних з розподіленої мережі давачів. Подальше опрацювання та аналіз, відповідно до сучасних тенденцій, відбувається у децентралізованій («хмарній») інфраструктурі, що полегшує розподіл готових результатів між споживачами. Українська LLS є сегментом глобальної системи грозопеленгації американської компанії Earth Networks. Вона використовує давачі, які реєструють електромагнітні сигнали блискавок (LEMP) у діапазоні 1 Гц - 12 МГц. Саме це становить істотну перевагу системи, оскільки уможливує більш точне визначати положення спалахів блискавок у просторі.

Приклад візуалізації результатів грозолакації, отриманих 04.06.2018 зображено на **рис.3**.

Адже гроза зазвичай починається зі спалахів «туча-туча» (CC) – позначено як ризика на **рис.3**. Чим більше спалахів CC, чим довгими вони стають, тим більша вірогідність появи блискавок CG – «туча-земля». Цей факт наочно підтверджують результати, подані на **рис.4** та **рис.5**.

Приклад детальної візуалізації результатів локації спалахів блискавки зафіксованих на заході України 04.06.2018 наведено на **рис.4**.

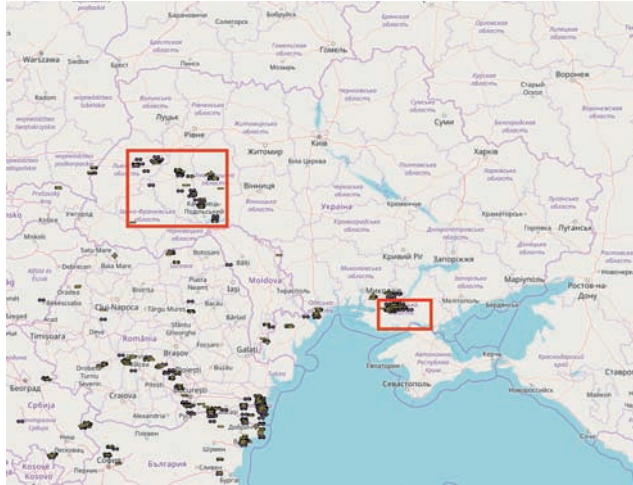


Рис.3

Розробники кожної LLS намагаються відрізнити CC від CG з точністю не гірше, ніж у 80%. З цією метою спеціалісти «Earth Networks» обрали вищезазначений діапазон частот для аналізу спектра LEMP. Оскільки фіксуються електричні параметри спалахів, виникає можливість визначення їхньої полярності. На **рис.4** їх зображено жовтими прямокутниками. Там же показано приклад доступу до зафіксованих електричних характеристик однієї з блискавок у трикутнику Сатанів-Закупне-Гусятин. Видно, що його позицію обчислено за даними, отриманими від 8 давачів, а амплітуда від'ємного струму становила близько 11 кА. Належить розуміти, що GPS-координати цього та інших спалахів визначено з певною похибкою. Вона є важливою характеристикою кожної LLS й залежить переважно від числа давачів, розташованих на території. Для українського сегменту, за даними [4] вона становить близько 200 м. Підрахунок числа спалахів (**рис.4** та **рис.5**) дає відоме співвідношення – 1 додатний на 10 від'ємних (Захід - 16/1, Південь 43/4) – ще одне підтвердження якості роботи української LLS.

Нашому споживачу ще належить «відчутти смак» використання даних від системи грозопеленгації, адже це сприятиме вирішенню наступних завдань:

- уточнення середніх багаторічних показників інтенсивності грози для розрахунку одиничного числа відключення ліній через блискавки;

- визначення інтенсивності грозової діяльності у певний проміжок часу або на визначеній території для достовірної діагностики причин аварій;
- випереджальна передача повідомлень про виникнення небезпеки грози та про закінчення грозової діяльності у певних зонах та коридорах (аеропорти, залізниці, траси проходження ЛЕП та трубопровідного транспорту, шляхи переміщення небезпечних речовин тощо), зокрема, для повідомлення та мобілізації ремонтних та аварійних бригад;
- накопичення даних про час, місце та параметри спалахів для ідентифікації грозових відключень ЛЕП та визначення ділянок, які потребують вдосконалення грозозахисту;
- деталізація оцінювання електричних параметрів блискавок з метою обґрунтованого вибору засобів захисту будівель і споруд, виходячи з техніко-економічних міркувань;
- врахування територій з аномально високою густиною спалахів блискавки у процесах мікропроекування таких чутливих об'єктів, як: ЛЕП, сонячні та вітрові електростанції, ЦОД, базові станції мобільного зв'язку, склади та майданчики, на яких зберігаються та (чи) переробляються вибухові, легкозаймисті і небезпечні речовини;
- аналіз ефективності засобів захисту будівель і споруд від блискавок та опрацювання рекомендацій щодо їх вдосконалення.

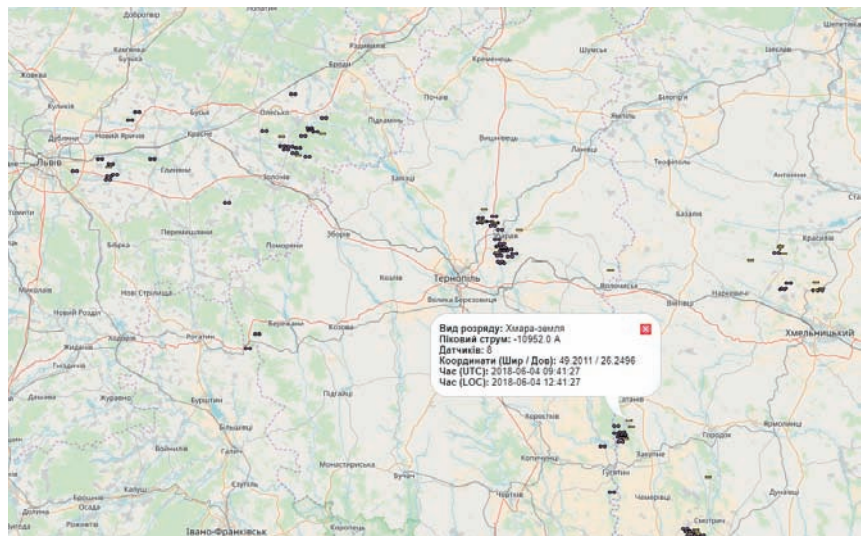


Рис.4

Приклад детальної візуалізації результатів локації спалахів блискавки зафіксованих на півдні України 04.06.2018. Міжнародний аеропорт «Херсон», який опинився між двома кластерами під час цієї грози, цілком може стати одним з перших споживачів результатів роботи нашої LLS наведено на **рис.5**.

Зарубіжний досвід вже дозволяє оцінити економічну доцільність побудови та розвитку систем грозопеленгації. У попередніх розділах вже йшлося про критерії необхідності протипульсного захисту у мережах НН. Такі заходи вживаються також у мережах ВН, але вартість