



Якою б красномовною не була статистика пошкоджень, спричинених блискавкою, яскравий випадок значно краще переконує у необхідності захисту від невблаганної стихії. Гучна серпнева пожежа у споруді Адміністративного суду м. Харкова була кваліфікована саме як наслідок влучання блискавки. Насправді, такі висновки вимагають принаймні певних об'єктивних підтверджень.

Блискавка під невсипним наглядом

Як пересвідчитися у тому, що спалах блискавки таки відбувся у безпосередній близькості до постраждалої будівлі/споруди? Адже відомо, що люди, які опинилися поблизу точки ураження блискавкою, неспроможні адекватно описати перебіг подій. Причина цього полягає у дії електромагнітного імпульсного поля блискавки, яке індукує електричні імпульси в усіх струмопровідних частинах, до яких воно здатне «дотягнутися». Зокрема, як у нервових системах людей та інших живих істот, спотворюючи як поточне сприйняття подій, так і запам'ятовування їх.

Навряд чи допоможуть у цьому й записи відеокамер спостереження (CCTV). Матриці, що оцифровують зображення у широко вживаних засобах відеореєстрації (відеокамери та реєстратори, телефони, фотокамери) «сліпнуть» під дією яскравого спалаху блискавки. Тобто можна зафіксувати сам факт блискавки, але важко побачити, куди саме дотяглися сліпучі шнури, які несуть її струм. То неже насправді блискавка є такою невловимою за сучасних технологій фіксації швидкоплинних подій?

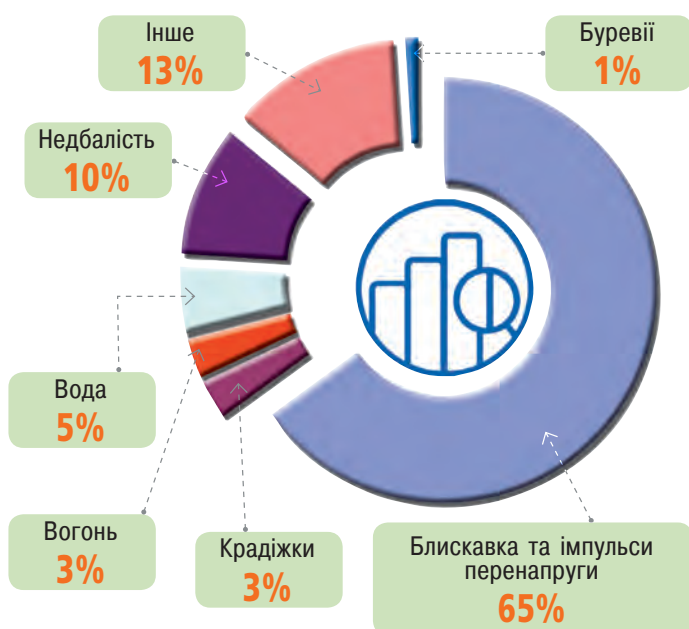


Рис. 1. Статистика причин відшкодувань пошкоджень електричних та електронних пристроїв (відомості від німецької Асоціації страхових компаній про страхування пошкоджень електроніки 2012 року)

Погляньмо на результати аналізу причин відмов електронних пристроїв, проведених об'єднанням німецьких страховальників (**рис. 1**). Аби виплачувати постраждалим реальні гроші (у євро) за ті 65% пошкоджень, страховики мають бути певними, що їх не ошукають недобросовісні страховальники.

Тут на допомогу приходить провайдер грозової активності, озброєний системою локації блискавок (LLS). З цією метою територію Європи вкрито мережею локаційних станцій (**рис. 2**).

Точність визначення GPS-координат небесного вогню в цій системі не гірша за 200 м. Ба більше, на запит страховальника певний провайдер видає звіт про спалахи «туча-земля» навколо певного місця у певний проміжок часу. Документ поважний, адже ця LLS постачає відомостями про блискавки ще й військових ФРН.

Коли над головою збираються тучі

Принцип роботи згаданих LLS ґрунтується на відборі радіосигналу від спалаху блискавки у межах частот 3–300 кГц (LF/VLF). Чим більше станцій спіймало сигнал, тим точніше можна визначити геометричні та електричні параметри спалаху. Причому саме спалаху, а не точки контакту каналу блискавки з землею/об'єктом



а)



б)

Рис. 2. Одна з європейських LLS німецького провайдера: а) типовий вигляд приймальних антен локаційної станції; б) мережа локаційних станцій

на землі. Адже стандартом MEK [1] запроваджено показник числа точок такого контакту блискавки на 1 км^2 протягом року N_{GS} на заміну відомої нашим проектувальникам густини блискавок N_G^* .

Встановлено й співвідношення:

$$N_{GS} = 2 N_G$$

Таким чином, за одного спалаху блискавки є принаймні дві точки контакту з земною поверхнею.

Насправді первинна інформація LLS про спалах блискавки має вигляд параметрів численних точок у просторі над землею, від яких було прийнято радіосигнал. «Родзинкою» кожної з LLS є саме алгоритм обробки цієї інформації, кінцевим результатом якої є висновок про спалах з певними геометричними та електричними параметрами. Зокрема, відкидають ті результати, які дають значення струму, менші за 10 кА (у **табл.** подано відомості про розмір струмів блискавок).

Тим не менше, завдати шкоди живим істотам та чутливій електроніці здатні навіть менші імпульсні струми. Особливо небезпечною є у цьому сенсі так звана лідерна стадія розвитку блискавки, коли

немає ще яскравих спалахів та гучного грому, бо не визначився напрямок головного удару. На останній 300-метрові стрибкоподібного просування лідера блискавки від тучі, усі заземлені об'єкти (живі й неживі) емітують догори зустрічні стримери. Їхні струми можуть сягати сотень ампер, і саме тому варто заздалегідь ховатися від грози у безпечному захищеному місці. На допомогу тут приходять системи попередження про грозу (TWS), вимоги до яких подано у міжнародному стандарті [2].

LLS здатна попередити про небезпеку грози лише тоді, коли виникнуть перші спалахи. Особливу небезпеку становить ситуація, коли тучі утворюються над головою, і перший удар блискавки може бути неочікуваним. На такі випадки стане у пригоді система попередження про грозу (TWS), заснована на методі вимірювання напруженості електричного поля «туча-земля».

У такому випадку сигнал тривоги буде подано вчасно, коли напруженість зростає до рівня, за якого от-от можуть з'явитися блискавки. На **рис. 3** подано приклад автономної станції, що її може бути встановлено у будь-якому відкритому місці (аби високі дерева чи споруди не спотворювали електричного поля). Передача даних до «хмарного» сервісу здійснюється мережею Ethernet або GSM. Кожен власник такої станції отримує доступ до узагальнених даних за результатами, зібраними мережею в цілому (виникнення, розвиток та рух грозових комірок, блискавки «туча-земля», прогноз, архів грозових подій, мапа густини блискавок).

^{*} У розрахунках проектів систем блискавкозахисту (LPS) приймається для України $N_G=5,5-6,0 \text{ 1/рік-км}^2$ на підставі дуже приблизних результатів спостережень Гідрометцентру «на око й на слух».

Таблиця. Граничні значення струму блискавок, від яких LPS спроможна захистити об'єкт з визначеною вірогідністю (згідно ДСТУ EN 62305-1:2012)

Рівень захисту (LPL)	Найменший струм, I (кА)	Вірогідність перевищення мінімального значення струму, %	Найбільший струм, I (кА)	Вірогідність недосягнення максимального значення струму, %	Залишковий ризик, %
I	3	99	200	99	2
II	5	97	150	98	5
III	10	91	100	97	12
IV	16	84	100	95	21



а)



б)

Рис. 3. Приклад TWS на принципі вимірювання напруженості електричного поля: а) автономна станція з давачем «електростатичний вітрячок» та живленням від фотомодуля; б) візуалізація грозової діяльності

Тут і тепер

За всієї можливої точності визначення місць спалахів залишається потреба у надійній фіксації події ураження блискавкою. Першим інструментом, який набув широкого розповсюдження, є система Peak Current Sensor (PCS). У ті часи розвиток вітроенергетики мав у Німеччині державну підтримку. І коли однієї зими нічна буря поклала на землю сталеву башту вітротурбіни (**рис. 4а**), виникла потреба з'ясувати причину (бо вже й поліція прибула на місце). Тут-то й стали в пригоді PCS-card у лопатях (**рис. 4б**), з яких було зчитано імпульсний струм блискавки у 45 кА.

Виявилося, що блискавка пошкодила край однієї з лопатей, внаслідок чого відбулося механічне розбалансування ротора. Вібrazioї,

що виникли внаслідок цього, й спричинили втрату механічної міцності башти. Відтоді ротори обладнуються повітряними гальмами, які відхиляють частину лопаті у випадках виникнення вібрацій, і ротор вчасно зупиняється.

До речі, приводи цих повітряних гальм самі потребують захисту від блискавки. За роки, що минули з тих часів, розвиток електронних приладів та засобів передавання інформації породив цілу низку пристроїв різного ступеня докладності фіксації струмів блискавки та способів передавання записів. У системі PCS (**рис. 5**) чутливим елементом є феромагнітна смуга на пластиковій підкладці (на кшталт картки до банкомата). Що більшим є струм, тим потужніше імпульсне поле він створює, змінюючи характер намагнічування смуги.



а)



б)

Рис. 4. Аварія вітротурбіни: а) зруйнований агрегат; б) давач PCS-card, закріплений за допомогою пластикового тримача на провіднику, що відводить струм блискавки всередині склопластикової лопаті вітротурбіни



Рис. 5. Зчитувач записів імпульсних струмів з давачів PCS-card

Звичайно, коли провідником, на якому встановлено PCS-картку, пройде кілька імпульсів струму, зчитувач покаже лише значення найбільшого з них. Натомість найпростіші LSC — лічильники імпульсів (рис. 6а), які також реагують на імпульсне магнітне поле, не призначені для запису амплітуд імпульсів, а лише відображають їхнє число. Такими приладами полюбують комплектувати системи перехоплення з ранньою емісією стримерів (ESE) спритні ділки у намаганні довести надзвичайно високу ефективність цих сумнівних пристроїв з комерційною назвою «активний блискавкозахист».

Перші докладні дослідження деяких таких LSC довели, що вони здатні завищувати покази майже у 25 разів. Прийнятий нещодавно міжнародний стандарт [3] має покласти край цим спробам окомілювання.

Оригінальним рішенням є «розумний» стрижень перехоплення (рис. 6б). Отримавши удар блискавки, він висилає СМС, який містить:

- ✦ свої GPS-координати;
- ✦ час, коли відбулася подія;
- ✦ амплітуду та полярність імпульсу струму.

Такому «розумнику» пряма дорога до родини Internet of Things (IoT), де окремі речі отримують можливість зчитування та приведення у дію, функцію програмування та ідентифікації.

А вже реєстратор даних форми хвилі імпульсу блискавки (рис. 6в) радше є науковим приладом, оскільки здатен докладно зафіксувати це явище у цифровій формі. Висока точність аналогово-цифрового перетворення забезпечується значною мірою завдяки давачу Пірсона (Pearson sensor). За сучасних високошвидкісних каналів зв'язку є можливим забезпечити архівування та опрацювання даних від таких реєстраторів, що дозволяє удосконалювати методи й засоби захисту від блискавки та імпульсних перенапруг.

Кому вірити?

З розвитком систем спостереження за грозовою діяльністю вони, окрім наукового статусу, отримують ознаки певного сегмента бізнесу. Той же німецький провайдер продає свій продукт (прогноз) до національного бюро погоди (Deutscher Wetterdienst), яке, додавши



Рис. 6. Пристрої фіксації події прямого ураження блискавкою: а) лічильник числа імпульсів; б) «розумний» стрижень перехоплення; в) реєстратор даних форми хвилі імпульсу блискавки

решту метеоданих, продає цей пакет компаніям, які збирають відомості ще й економічні, політичні, соціологічні тощо для тих автоматизованих систем управління бізнесом, що ґрунтуються на різного роду управлінських концепціях (BPM, PM, BP, WFM, BIS, Petri Nets та ін.). Справа у тому, що за стрімкого росту створення інформації, керівники не є спроможними приймати рішення, опрацьовуючи інформацію лише традиційними методами (читання «по діагоналі», виділення маркерами тощо). Ясна річ, для таких поважних застосувань належить гарантувати високу якість продукту. Стосовно LLS це такі показники, як:

- ✦ ступінь охоплення тих чи інших територій/акваторій;
- ✦ точність локації спалахів блискавки;
- ✦ достовірність прогнозування розвитку гроз;
- ✦ надійність розділення блискавок на «туча-туча» та «туча-земля».

До речі, супутники NASA не здатні зафіксувати блискавки «туча-земля» через тучі, які затуляють ці феномени від їхньої оптики. Одним з важливих практичних результатів роботи LLS є вищезгаданий показник N_B , проте слід розуміти, що це потребуватиме кількох років налагодження, верифікації та спостережень відповідно до [1]. Між тим, як це трапляється у інших видах діяльності, з'являються як не підробки, то наївні спроби викладення в Інтернет результатів «саморобних» систем без належного, у науковому сенсі, опрацювання результатів, отриманих від примітивних локаційних станцій.

Яким чином можна пересвідчитися у їхній достовірності? Питання це постає й перед тими, хто вводить у дію, налагоджує нову чи удосконалює діючу LLS. Зазвичай шукають високих об'єктів, у які частіше влучають блискавки та на яких встановлено вищезгадані пристрої фіксації. Багато високих споруд у світі (Бурдж Халіфа та Емпайр Стейт Білдинг, телевежі Сін Тауер та Зірка Сходу) знаходяться під невиспущим оком швидкісних відеокамер. Система вмикається за сигналом TWS і кожна камера починає писати відеореєстр «запис-на-запис». За сигналом від пристрою фіксації події ураження найсвіжіші фрагменти відеозапису скидаються до постійної пам'яті. Такий дво- або й тривимірний запис дозволяє досить точно визначити точку ураження, аби після грози обстежити споруду на предмет можливих пошкоджень.

В Україні аналогічна проблема визначення точок контакту плазмового каналу блискавки з тонкою бляхою нержавіючої сталі покрівлі виникла за виконання проекту «Новий Безпечний Конфайнмент» над 4-м блоком ЧАЕС. Так от, координати високих уражених об'єктів порівнюються з тими, які визначила LLS. Цікаву методику запропонували фінські дослідники [5]. У кожному поштовому відділенні можна було купити спеціальну картку, на якій охочі позначали GPS-координати дерев, ушкоджених блискавкою. По отриманні таких повідомлень їх перевіряли з виїздом на вказане місце та порівнювали з даними LLS.

Перспективи моніторингу блискавок у світі та Україні

Цілком можливо очікувати невдовзі на Play Market появу додатку на зміну фінських поштів, як це вже працює у «Карти Google». Також варто сподіватися на те, що розповсюдження IoT охопить незабаром достатню кількість пристроїв фіксації, аби не лише запровадити автоматизацію процесів калібрування LLS, а й виконання більш складних операцій з підтримання у належному стані систем захисту від блискавки будівель і споруд.

Скажімо, відповідно до стандарту [4] система блискавкозахисту (LPS) потребує регулярного нагляду та обслуговування. Зокрема, позаплановий огляд виконується, якщо є достовірні підстави вважати, що об'єкт було уражено блискавкою. Однією зі складових LPS є координована система пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (SPD). За наявності у цих SPD варисторних елементів належить контролювати їхній стан (за європейськими нормами, не рідше, ніж раз на 4 роки), оскільки під дією потужних імпульсів відбувається їхня поступова деградація. На великих об'єктах (офісні та ТРЦ, спортивні та сучасні промислові підприємства) навіть застосовуються SPD з функцією дистанційного передавання сигналу про відмову котрогось з варисторів. З іншого боку, на ринку існує пропозиція у вигляді автоматизованої системи, яка виконує опитування стану SPD об'єкта по отриманні попередження від TWS. Тим самим надається можливість оперативно, до початку грози замінити пошкоджені варистори. В умовах IoT така позапланова перевірка стану протіімпульсного захисту може бути ініційована за отримання сигналу не лише про безпосередній удар блискавки у об'єкт, але й тоді, коли спалах мав місце у небезпечній близькості до нього.

Додає оптимізму той факт, що за технологією IoT вже реалізовано контроль SPD-апаратури сигнальної системи 5T (моніторинг таких каналів відстеження безпеки руху потягів, як механічний, акустичний, оптичний, електронний та інфрачервоний) на всесвітньо відомих швидкісних залізницях Китаю [6].

БІБЛІОГРАФІЯ

1. IEC 62858:2015. Edition 1.0 (2015-08-05) Lightning density based on lightning location systems (LLS) – General principles
2. IEC 62793:2016. Edition 1.0 (2016-05-12) Protection against lightning - Thunderstorm warning systems
3. EC 62561-6:2011. Lightning protection system components (LPSC) - Part 6: Requirements for lightning strike counters (LSC)
4. ДСТУ EN 62305:2012. Блискавкозахист
5. Lightning location system accuracy determined from strikes to trees, Jakke Makela, Antti Makela, Jussi Haapalainen, 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP-2010), Cagliari, Italy
6. Lightning Protection of China Railway Vehicle Running Safety Monitor System Internet of Things in lightning protection, Ling Chun, International Conference on Lightning Protection (ICLP-2014), Shanghai, China
7. Coordination of Dynamic Lightning Protection and Smart Grids State Estimation, Chong Tong, Yuan Gao, Qing Wang, Dan Yu, Junping Luo, Jingru Li, Bo Wei, Jian Xu, Chengxue Zhang, International Conference on Lightning Protection (ICLP-2014), Shanghai, China

В Україні, за прикладом тих держав, де моніторинг блискавок вже набув відповідного розвитку, цього сервісу потребують, передовсім, такі розподілені структури, як високовольтні лінії, газо- й нафтогони, залізничний та авіаційний транспорт, а також військові.

Вже понад десяток років розвивається у Китаї система динамічного захисту від блискавки інтелектуальних високовольтних електромереж Smart Grid, яку автори назвали «активний блискавкозахист» [7]. Вона полягає у тому, що інформація від LLS опрацьовується спеціальною програмою таким чином, аби зменшити обтяження тих ліній пересилання енергії, які можуть бути пошкоджені грозою, що насувається. Серед зосереджених об'єктів, що потребують динамічного захисту, згадаємо АЕС, хімічні й нафтопереробні підприємства, провайдерів мобільного зв'язку, ЦОД та критичні системи міського господарства мегаполісів.

Такий широкий спектр потенційних споживачів послуг LLS є одночасно привабливим бізнес-проект, але разом із тим проблемним щодо залучення інвестицій для розбудови системи з боку цих самих ключових споживачів. Невблаганний прогрес вирішить цю проблему тим чи іншим шляхом. Моніторинг грозової діяльності дозволить вести справи більш ефективно, уникнути невинуватених витрат, інвестувати у підвищення грозовостійкості об'єктів за об'єктивними результатами оцінювання ризиків відповідно до методик, викладених у 2-й частині стандарту [4]. Здорова конкуренція, над розбудовою якої наполегливо й плідно працюють все більше громадських об'єднань підприємців, неодмінно виведе наперед найбільш прогресивних, новаторських гравців. Тим більше, коли йдеться про таку непереборну й непідвладну людам силу, як блискавки.

Євген БАРАННИК, член Правління УСПТБ, відповідальний секретар ТК-315 «Системи пожежної та техногенної безпеки будівель і споруд», голова Українського комітету захисту від блискавки при НТСЕУ, позаштатний консультант ТОВ «ОБО Беттерманн Україна», **СИБ**