

Ю. І. Рудик<sup>1</sup>, В. М. Шунькін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,

<sup>2</sup>Львівський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

## ВІДПОВІДНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ, ЗАПОБІГАННЯ ВТРАТАМ, РОЗСЛІДУВАННЯ ПРИЧИН ПОДІЙ

**Вступ.** Грози назагал утворюються через атмосферні (кліматичні) процеси у поєднанні з додатковими небезпечними наслідками. Таким чином, сильний вітер, швидкі повені та град призводять до тривалих наслідків, включаючи пошкодження та травми. Системи захисту від блискавки розроблені та проектується відповідно до вимог нормативних документів, у яких не завжди прописані заходи особистої безпеки та гарантовано відсутність травм. Поліпшення стану безпеки життєдіяльності та запобігання втратам базується на стандартах та правилах, які залежать від результатів оцінки ризиків та розслідування подій, що виникли внаслідок стихійних лих, серед яких є і блискавка.

**Метою** статті є аналіз цієї проблеми в кількох сферах, що стосуються ситуації з систематичним підходом до технічного регулювання в Україні такого сектора безпеки життєдіяльності, як захист від блискавки.

**Методи.** Методи дослідження: обчислення за допомогою математичної моделі; порівняння результатів розрахунку, прогнозування граничних параметрів технічного стану та моніторингу властивостей систем локалізації блискавки; експертиза, кваліфікація, визначення показників системи локалізації блискавки у складі географічної інформаційної системи з урахуванням умов розташування. Дається також порівняння різних методів обчислення координат позиціонування.

**Результати.** Проведено дослідження однієї із складових системного блискавкозахисту – параметрів позиціонування координат системи грозопеленгації. Визначення координат місцезнаходження точок ударів блискавки не регламентовано у чинних нормативних документах з пожежної безпеки, хоча цей критерій часто застосовується саме при встановленні вимог з пожежної безпеки: до будівель, комунальних комунікацій, до улаштування систем пожежної автоматики та до інших.

Запропоновано заходи для реалізації методів і засобів випробувань та включення їх у стандартизовані технічні рішення. З цього погляду не може бути жодних претензій до Міжнародної електротехнічної комісії та її публікацій. Пропонується врахувати ряд виявлених прогалин у нормативних документах, відносинах між регулюючими та наглядовими органами, запиту користувачів. Проведено аналіз чинних нормативних та технічних вимог до точності позиціонування координат у системах грозопеленгації. На цій основі доповнюються методи розслідування причин подій, що спрощує аналіз наслідків та розроблення заходів захисту.

**Висновок.** Запропоновано застосувати переваги у точності визначення місцезнаходження за допомогою картографічних геоінформаційних систем і сервісів при аналізі показників системи грозопеленгації. Проведеними теоретичними дослідженнями показників системи грозопеленгації встановлено їх відповідність для методів оцінювання ризику, заходів запобігання втратам та під час розслідування причин загибелі, травмування живих істот та інших подій з пошкодженням майна.

**Ключові слова:** стандартизація, вимоги безпеки, оцінювання відповідності, показник, управління ризиками, ефективність, блискавкозахист, втрати, розслідування.

**Актуальність проблеми.** Блискавка – це природна небезпека, смертельна та руйнівна при близькому короткочасному впливі, яка також може спричинити кліматичний вплив у більш тривалих масштабах часу (через виробництво NO<sub>x</sub> та ініціювання лісових пожеж). Супроводжується несприятливою погодою, градом та швидкими повенями (селями), що часто тягне за собою значні економічні втрати. Вона також загрожує безпеці авіації та виробництву відновлюваної

енергії вітрогенераторами, і, як відомо, негативно впливає на електроенергетичні об'єкти та лінії електропередач [1-3].

Сучасні світові тенденції урбанізації, землекористування та виробництва енергії відображаються на зміні клімату за декількома сценаріями [4], хоча важко точно передбачити, як виглядатимуть розподіли грозової активності у майбутньому, поєднання великих мегаполісів, збільшення чисельності населення і потепління клімату

майже гарантують інтенсифікацію антропогенного впливу на небезпеку блискавки. Існують різні аспекти супутніх наслідків, що супроводжують грози під час сильних штормів, а саме: смерчі, град та швидкі повені [5]. У статті обговорюються лише події, безпосередньо пов'язані з фактичним ударом від хмари в землю спалаху блискавки.

Середня річна кількість блискавок на 1 км<sup>2</sup> території України досить широко коливається від 2,6 до понад 8,5 залежно від регіону та характеру місцевості [6]. Деякі спалахи простягаються в атмосфері на відстань до 20 км. Струм у каналі блискавки сягає 100 – 200 кА, а температура може перевищувати 30000 °С.

Блискавка все ще є одним з найбільш смертельних природних явищ і щорічно в усьому світі забирає життя кількох сотень людей. В Україні відсутня повна статистика стосовно загибелі чи травмування живих істот внаслідок дії блискавки. Блискавка спричиняє різні впливи в точці виснаги спалаху від хмари до землі. Електромагнітна за природою утворення енергія має прямий хвильовий і польовий вплив на оточення (в т.ч. енергії гамма- і рентгенівського випромінення), а також вплив, перетворений в інші види: механічної, теплової, хімічної енергії [7-12].

Статистика загибелі людей від блискавки та супутніх їй явищ, у тому числі шкода здоров'ю неврологічного характеру в Україні відсутня. У звітності державних органів не ведеться облік всіх смертей та конкретних обставин таких подій [13]. Це знижує можливість проведення запобіжних і захисних заходів як щодо показника індивідуального ризику загибелі, так і матеріальних втрат, які в обох випадках є вищими, ніж припустимі в розвинутих країнах, затверджені нормативними документами (НД) [14]. На 100 000 новонароджених українців за статистикою 790 осіб помруть у віці до одного року, 10 000 українців не доживуть до 35 років, і 25 000 — до 60 років. З цих 100 000 вісьмох погубить туберкульоз, двоє помруть від наслідків ВІЛ, 184 — від онкологічних захворювань, 16 осіб погубить алкоголь, 12 розіб'ються в ДТП, п'ятеро людей потонуть, біля 3,2 від пожеж. Крім того, 12 осіб покінчать життя самогубством [15].

У статистику ДСНС входить облік загиблих при виникненні пожежі, спричиненої блискавкою, нещасних випадків з летальним наслідком, спричинених дією диму, вогню та полум'я стається 3,2 з 1453,9 на 100 тис. населення (за 2017 рік по Україні без даних Криму і ОРДЛО) [16].

Національні звіти пропонують чітке розмежування розвинених країн та країн, що розвиваються, за кількістю та тенденціями жертв блискавки. У США кількість загиблих від блискавки на душу населення постійно зменшувалася з 6

смертей на мільйон людей у 20 столітті до 0,1 в даний час, тоді як у Малаві це 84, Свазіленді – 15,5, Зімбабве – 14-21, Індії – 2. Значно нижчі значення зафіксовані в Австралії – 0,1, Канаді та Франції – 0,2, Туреччині – 0,4 та Бразилії – 0,8. Такі цифри відображають як частоту гроз (тропіки проти середніх широт), так і реальний розподіл населення, економіку, спосіб життя людей та усвідомлення небезпеки блискавки. Слід врахувати, що національні звіти відображають лише нижню межу значно ширшого кола жертв, оскільки в сільських, сільськогосподарських районах загибель від блискавки часто залишається в межах громади і про них рідко повідомляється, а офіційні лікарняні записи не завжди легко доступні. Ці фактори обмежують створення надійних часових рядів та вичерпної картини глобальної кількості жертв [4, 17-19]. Порівняно з іншими системами безпеки для людей і об'єктів, напрямок системного блискавкозахисту (LPS) вважався другорядним [6]. Але негативні наслідки неналежних показників безпеки від грозових проявів та виконання проектних чи монтажних робіт у системах інженерних інсталяцій свідчать про хибність такої позиції.

**Постановка задачі.** НД стосовно блискавкозахисту в Україні з 1 листопада 2019 року остаточно актуалізовані і приведені у відповідність до європейських стандартів [20-23], у яких закладений ризик-орієнтований підхід до виявлення та реалізації вимог безпеки.

Системи захисту від блискавки розроблені та проектується відповідно до вимог нормативних документів, які не завжди включали заходи особистої безпеки та гарантовану відсутність травм. Поліпшення стану безпеки життєдіяльності та запобігання втратам базується на стандартах та правилах, які залежать від результатів оцінки ризиків та розслідування подій, що виникли внаслідок стихійних лих, серед яких є і блискавка, що і робить актуальною цю тему роботи. З цією метою автори провели дослідження однієї із складових системного блискавкозахисту – параметрів позиціонування координат системи грозопеленгації (LLS) у науково-дослідній лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Метою цієї статті є аналіз цієї проблеми в кількох сферах, що стосуються ситуації з систематичним підходом до технічного регулювання в Україні такого сектора безпеки життєдіяльності, як захист від блискавки.

**Методологія.** Інформація, наведена в цій роботі, була зібрана протягом 10 років (2010 р. до 2019 р.); під час конференцій, консультацій та навчальних програм, у яких безпосередньо брали участь автори. Деяка інформація була зібрана в

Україні та Польщі шляхом особистого спілкування. Аудиторія охоплює понад 70 інженерів та адміністраторів, близько 40 нетехнічного адміністративного персоналу, близько 15 представників громадськості, 25 агентів та дилерів LPS із понад 100 установ. Режими збору інформації:

1. Особисте спостереження за допомогою огляду місця події.

2. Дані, надані уповноваженим персоналом, відповідальним за блискавкозахист.

3. Опитувачі, коли залучена широка громадськість.

4. Надійні документи, зокрема: відкриті аукціони, звіти про технічне обслуговування та замовлення на придбання систем блискавкозахисту.

5. Рекламні матеріали компаній / продуктів компаній.

6. Обговорення з нетехнічним адміністративним персоналом відповідних компаній.

Неофіційні інтерв'ю з інженерами сайту та керівниками на високому адміністративному рівні у багатьох компаніях та установах виявляють, що причини прийняття рішення щодо захисту будівель та / або захисту від перенапруг є такими (у порядку зменшення ступеня популярності):

1) у приміщенні сталася НС із блискавкою;

2) торговий представник від продавця LPS відвідав і переконав їх встановити LPS;

3) у мікрорайоні сталася НС із блискавкою;

4) страхові компанії наполягали (наклали більший внесок за відсутність LPS);

5) високопоставлений представник компанії брав участь у програмі захисту від блискавки;

6) інженер з технічного обслуговування або інший старший інженер передбачив загрозу блискавки.

**Виклад основного матеріалу.** На даний час чинні в Україні нормативні документи щодо блискавкозахисту [20-23] встановлюють чітке співвідношення понять і термінів у цій сфері, які дещо відмінні та розширені і розвинуті, порівняно з усталеними дотепер. Тому тут коротко наведено їх застосування авторами у роботі.

При спалаху блискавки світиться провідний канал. Коли між грозовою хмарою та землею сформувалося потужне електричне поле, виснага ініціюється ступінчастим розвитком спадного чи висхідного лідера каналу блискавки. У міру розвитку ступінчастого лідера напруженість поля між ним і заземленими предметами зростає, і особливо високі об'єкти (башти, вершини гір, дерева, будинки) випускають верхобіжні лідери. Спочатку ці лідери не супроводжуються значними струмами (емісійна корона, стример), але згодом змінюються на верхобіжні лідери з великими струмами. Загалом доземний спалах блискавки –

це електрична виснага атмосферного походження між хмарою та землею, що складається з одного або більше ударів. Спалах складається з першого короткого удару з багаторазовими накладеними імпульсами або без них. Після одного або декількох імпульсів може йти тривалий удар. Власне удар блискавки – це одинична електрична виснага у доземному спалаху блискавки, що відповідає струму імпульсу і спадає до половини пікового значення за час  $T_2$ , який зазвичай є меншим за 2 мс. Точка удару є місцем, у якому спалах блискавки вдаряє в землю або виступну будівлю (споруду або LPS, лінію, дерево й т. ін.) і може мати понад одну точку удару [24].

Станом на 2018 рік 55% світового населення проживає у містах і очікувано збільшиться до 68% у 2050 р. Міські райони великих міст займають лише невеликий відсоток поверхні Землі, проте вони дають помітний та значний вплив на їхнє оточення і ще далі за його межі. Нагрівання, вологість, турбулентність і потоки частинок змінюють термодинамічні властивості приземного шару, змінюють режими опадів, вітру над містом та розу вітрів забудованої території. Міський острів тепла (UHI) є найбільш очевидним ефектом, де відмінності в альбедо і теплоємності поверхонь споруд призводять до помітних відмінностей у температурі та режимі опадів [25]. Поєднання цих факторів із місцевими умовами, такими як топографія та прибережні райони, виявляється у надзвичайно різних властивостях гроз та блискавок, які призводять до розвитку гроз і блискавок над містом. Отже, намагання відокремити природну мінливість від антропогенних факторів є вирішальним фактором у будь-якій спробі кількісної оцінки масштабів техногенних наслідків.

Точні зв'язки між частотою блискавки, виникненням пожежі і спаленою територією важко встановити, оскільки декілька факторів впливають на результат події запалювання завдяки спалаху від хмари на землю, наприклад, місцевість, щільність деревини, опади та доступність палива. У праці [26] прогнозують, що подальше потепління вплине на довгострокову тенденцію зі збільшенням подій займання в лісових районах та збільшенням кількості спалених площ. Протікання електричного струму часто перевершує захисні параметри систем блискавкозахисту, встановлених на вітрових турбінах [2] і призводить до спікань, проколів, пошкоджень наконечника та відшарування краю. Як результат, енергетичні компанії шукають методи пом'якшення наслідків для зменшення простоїв та економічних втрат [3]. Притягування блискавки до високих конструкцій – відома інженерна проблема, яку вирішують в антенній та будівельній галузі, те ж стосується і транспортної галузі. Усі види транспорту також сприйнятливі до підвище-

ної небезпеки від блискавки. Дані про блискавки, отримані від всесвітньої мережі виявлення блискавки (WWLLN), свідчать про подвоєння випадків виникнення блискавки над головними смугами судноплавства, ймовірно, через модифікацію властивостей хмар частинками, що викидаються з кораблів, і, отже, ризик ураження блискавкою суден значно посилюється [27]. Уразливість електричних автомобілів до ударів блискавки [10] більша, ніж у звичайних автомобілів, оскільки їхні системи всі електричні і можуть бути уражені індукованими струмами та перенапругою, викликаними навіть непрямими ударами блискавки. Очікується, що кількість електромобілів зростатиме, отже, цей тип ризику для громадської безпеки також збільшиться [11].

Система грозопеленгації має велике значення для оцінювання індивідуального і технічного ризиків та безпеки критичної інфраструктури. Завдяки своєчасним прогнозам атмосферних явищ природи стає можливим управління їх впливом, практично, на всі галузі промисловості і соціальної діяльності людини. Це пов'язано з великою кількістю стихійних метеорологічних явищ, викликаних конвективними процесами в теплий період року, що призводить до значних руйнувань соціальної та промислової інфраструктури і загибелі людей.

Саме тому створенню та функціонуванню таких систем надавалося величезне значення в різних країнах світу. На сьогодні більше 60 систем грозопеленгації працюють по всій земній кулі. Робота всіх подібних систем заснована на принципі отримання інформації з розподіленої мережі давачів, її оброблення і аналізу в комп'ютеризованій, у подальшому «хмарній», інфраструктурі з доступом до результатів споживачів. При цьому кількість давачів залежить від їх певних особливостей, що характеризують ймовірність виявлення блискавок. До таких особливостей, в першу чергу, відноситься їх тип фіксації електромагнітного поля (ЕМП) при спалаху блискавки. Вважається, що найбільш ефективними є давачі, які фіксують ЕМП одночасно в низькочастотному і високочастотному діапазонах. Це дає змогу визначати як міжхмарні виснаги, так і виснаги земля-хмара (ВЗХ). Перші є можливими показниками інтенсивності грозової активності. Більшість мереж мають давачі, які фіксують ЕМП в низькочастотній та високочастотній областях спектра. Істотною перевагою таких систем грозопеленгації є те, що вона дає змогу реєструвати ВЗХ шляхом аналізу спектра електромагнітного поля в заявленому діапазоні. Точність визначення розташування місця удару спалаху блискавки залежить від кількості давачів і становить, наприклад, на території Європи близько 200 м [28].

В Україні віднедавна встановлені сучасні системи грозопеленгації, які дають можливість отримувати інформацію щодо активності блискавок. Разом з тим, від початку її впровадження стає можливим різне тлумачення понять. У світі вже встановлені загальні вимоги до систем грозопеленгації (LLS) [29]. Тому слід розмежовувати ці системи зирання даних від систем грозопопередження (ThWS) [30], які є наступним кроком розвитку з додаванням обміну даними та оповіщення, і які в Україні ще не розгортають.

Для отримання інформації про блискавки над територією України з імовірністю виявлення міжхмарних розрядів більше 50%, розрядів земля-хмара – 95% і просторовою точністю виявлення цих явищ близько 200 м встановлено 12 з рівномірним картографічним розташуванням відповідних давачів [31], що становить площу моніторингу близько 48 тис. км<sup>2</sup> на 1 давач. Національна мережа виявлення блискавки США (NLDN) надає дані про блискавки, що охоплюють континентальні Сполучені Штати, з 1989 року, використовуючи інформацію, зібрану з більш ніж 106 давачів, що становить близько 72 тис. км<sup>2</sup> на 1 давач. NLDN надає як дані блискавки в режимі реального часу, так і накопичує дані для електроенергетики, служб погоди та інших державних і комерційних користувачів. Таким чином в Україні поступово скорочується це понад 40-річне відставання від передових країн у сфері безпеки. Впровадження даних з мережі часу прибуття / магнітного напрямку пошуку (TOA / MDF) мала середню точність 500 м. При цьому ефективність виявлення спалаху коливається від 80% до 90% для подій з піковими струмами понад 5 кА, дещо змінюючись залежно від регіону [32].

Зростаюче використання даних LLS протягом останніх років призвело до попиту на підвищення точності розташування, відсотка виявлених спалахів блискавок (ефективність виявлення) та оцінки пікового струму для всіх ударів у спалаху ВХЗ.

Стосовно індивідуального ризику враження блискавкою при перебуванні на відкритому просторі, важливим є точне позиціонування координат місцезнаходження. При використанні різних застосунків на телефоні або планшеті з ОС Android, наприклад, в додатку Google Карти поточне місцезнаходження буде позначено блакитною крапкою. Щоб визначити його, Карты використовують дані таких джерел [33]:

GPS – супутниковий сигнал визначає місцезнаходження з точністю до 20 метрів (точність GPS усередині приміщень або під землею може знижуватися);

Wi-Fi – місцезнаходження визначається на основі даних від найближчих мереж Wi-Fi з точністю, яка може варіювати у широких межах;

антени мобільного зв'язку – сигнал від мобільної мережі визначає місцезнаходження з точністю до кількох кілометрів.

Існують також громадські технічні ініціативи у створенні мереж виявлення блискавки для локалізації електромагнітних виснаг в атмосфері з приймачами VLF на основі методів часу прибуття (TOA) та часу групового прибуття (TOGA). Це, як правило, спільнота операторів станцій, які надсилають свої дані на обчислювальні сервери, програмістів, які розробляють та / або реалізують алгоритми для розміщення та візуалізації атмосферних позицій, та людей, які будь-яким чином допомагають підтримувати роботу системи [34-36]. Обмеження щодо членства не існує. Усі люди, які підтримують роботу мережі, є добровольцями. Ніяких зборів, умов та умов договорів немає. Якщо станція перестає об'єднувати свої дані, сервер припиняє надання доступу до необроблених даних для користувача цієї станції. Наприклад, одна з мереж [34] складається з понад 500 приймачів блискавки та деяких центральних серверів обробки. Джерела сигналів з давачів VLF (Very Low Frequency) відносяться до діапазону частот від 3 до 30 кГц. Станції прийому приблизно записують одну мілісекунд кожного сигналу зі швидкістю вибірки понад 500 кГц. За допомогою GPS-приймачів час надходження сигналів ресструється

з мікросекундною точністю та надсилається через Інтернет на центральні сервери обробки. Кожен набір даних містить точний час надходження прийнятого імпульсу спалаху блискавки ("сфер") та точне географічне положення приймача. За допомогою цієї інформації з кількох станцій обчислюються точні положення спалахів. Координатні позиції є безкоштовними у сирому форматі для всіх користувачів, які передають свої дані на сервери. Власники станцій можуть використовувати необроблені дані для всіх некомерційних цілей. Активність блискавки додатково відображається на веб-сайті на кількох загальнодоступних картах у режимі реального часу. Середня завантаження серверів. Давач складається з декількох підсилювачів та цифрової частини для обробки та пересилання даних на центральний сервер. Щоб максимально знизити вартість для потенційних учасників можна отримати якомога більше необхідних електронних деталей від місцевих постачальників. Система орієнтована в першу чергу на людей, які цікавляться метеорологією та компетенціями в галузі електричної та комп'ютерної техніки. Для побудови та експлуатації давача спалаху блискавки необхідне загальне розуміння застосовуваної техніки прийому.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики систем грозопеленгації\*

Тип мережі (системи грозопеленгації)	Метод / Тип давача	Кількість давачів	Покриття території	Точність визначення, м	Ефективність, %
LLS	_*_*	-	-	200	80
ThWS	-	-	-	200	85
NLDN	TOA,MDF/VHF,VLF	120	Півн.Америка	500	80
WWLLN	TOGA/VLF	40 (60)	глобальна	500	50
UHMI	TOA,MDF/VHF,VLF	12	Україна	200	80
Blitzortung	TOA,TOGA/VLF	500	Європа	150	50(80)

\*На основі інформації з відкритих джерел (сайти; каталоги).

\*\* - будь-які відповідні до вимог IEC 62858.

**Обговорення результатів.** У найближчі десятиліття XXI століття світ переживатиме конвергенцію кількох поточних тенденцій зростання населення, експлуатації природних ресурсів, виробництва енергії та міського розширення, які диктують темпи викидів парникових газів та частинок в атмосферу. На даний час дослідження перебувають у часі переходу від масштабного усереднення в межах глобальних моделей  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  до точніших можливостей зменшення масштабу до роздільної здатності  $4 \times 4$  км.

Ця інформація, яка буде підтверджена спостереженнями протягом найближчого десятиліття, буде важливою для планування міст, аеропортів та вітроенергетики для сталого майбутнього людства.

**Висновки.** На цей час в Україні продовжується реформування системи технічного регулювання. На споживчому ринку допускається реалізація LPS без підтвердження відповідності вимогам безпеки. Внаслідок цього виробники, постачальники LPS і комплектуючих, споживачі та контролюючі органи стикаються з наслідками небезпеки грозової активності на об'єктах та стосовно живих істот. Ситуація ускладнюється наявністю великої кількості неузгоджених між собою НД, які не завжди дотримуються вимог міжнародних стандартів на цю систему безпеки, а іноді й зовсім ігнорують ризики. Це призводить до економічних втрат і шкоди здоров'ю чи життю людей. Для оцінювання ризику, запобігання втра-там та під час розслідування подій важливим є

встановлення точних показників загроз від блискавки в конкретних місцях.

Сьогодні в Україні є можливість проведення якісних досліджень за показниками систем грозопеленгації для оцінювання ризику, запобігання втратам, розслідування причин подій в акредитованих лабораторіях та потенційна можливість для розвитку досконалої нормативної і випробувальної бази. Це дає змогу проводити оцінку відповідності на базі вітчизняних випробувальних центрів та лабораторій.

1. Запропоновано в системі ДСНС України доповнити статистичний облік випадками загибелі від блискавки та конкретних обставин таких подій; висвітлити он-лайн карту грозової активності за даними системи грозопеленгації з відповідними параметрами позиціонування координат.

2. Визначення координат місцезнаходження точок ударів блискавки не регламентоване у чинних нормативних документах з пожежної безпеки, хоча цей критерій часто застосовується саме при встановленні вимог з пожежної безпеки: до будівель, комунальних комунікацій, до улаштування систем пожежної автоматики та до інших.

3. Запропоновано застосувати переваги у точності визначення місцезнаходження за допомогою картографічних геоінформаційних систем і сервісів при аналізі показників системи грозопеленгації [37].

4. Проведеними теоретичними дослідженнями показників системи грозопеленгації встановлено їх відповідність для методів оцінювання ризику, заходів запобігання втратам та під час розслідування причин загибелі, травмування живих істот та інших подій з пошкодженням майна.

### Список літератури

1. Lee J. Y. and Collins G. J. 2017 Risk analysis of lightning effects in aircraft systems IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT vol 2017 (Piscataway, NJ: IEEE) pp 1–9

2. Garolera A. C., Madsen S. F., Nissim M., Mayers J. D. and Jolboell J. 2016 Lightning damage to wind turbine blades from wind farms in the US IEEE Trans. Power Deliv. 31 1043–9

3. Shohag M A S, Hammel E C, Olawale D O and Okoli O I 2017 Damage mitigation techniques in wind turbine blades: a review Wind Eng. 41 185–210

4. Yoav Yair Lightning hazards to human societies in a changing climate 2018 Environ. Res. Lett. 13 123002 [doi.org/10.1088/1748-9326/a9ea86](https://doi.org/10.1088/1748-9326/a9ea86)

5. Price C. et al. 2011 The FLASH project: using lightning data to better understand and predict flash floods Environ. Sci. Policy 14 898–911

6. Рудик Ю.І. Назаровець О.Б. Головатчук І.С. Сучасні підходи до улаштування системного блис-

кавказихисту споруд з урахуванням пожежної небезпеки та особистого ризику Пожежна безпека, Львів : ЛДУБЖД, 2018. № 33. С. 88-94. DOI :10.32447/20786662.33.2018.12

7. Chandima Gomes and Mohd Zainal Abidin Ab Kadir Challenges in the promotion of lightning protection know-how in developing world Proceedings of the 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Cagliari, Italy, 2010.

8. Hunt G. P., Nixon K. J., and J. A. Naudé, Using lightning location system stroke reports to evaluate the probability that an area of interest was struck by lightning, Electr. Power Syst. Res., vol. 153, pp. 32–37, Dec. 2017

9. Jayanthi U.B. et al. Ground gamma radiation associated with lightning and rain precipitation Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference Pune. 2005. 1. 177-180.

10. Kanata J., Ametani A. and Yamamoto K. 2012 Threats of lightning current through an electric vehicle Int. Conf. on Lightning Protection (ICLP) 2012 (Vienna) 1-6

11. Yanagawa S., Yamanoto K., Naito Y., Takahashi N. and Matsui M. 2016 Investigations of lightning accidents on automobiles Electr. Power Syst. Res. 139 2-9

12. Рудик Ю.І. Захист електроустановок від імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. Пожежна безпека, 15, 2010. 89-95.

13. Статистика населення України. Розподіл померлих за статтю, віковими групами та причинами смерті. Опубліковано: 10.02.2019, URL : [http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Dialog/Savesho\\_w.asp](http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Dialog/Savesho_w.asp) (дата звернення: 15.10.2019)

14. Статистика населення України. 1991-2019, Опубліковано: 10.12.2019, URL : [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/ds/nas\\_rik/nas\\_u/nas\\_rik\\_u.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/ds/nas_rik/nas_u/nas_rik_u.html) (дата звернення: 15.12.2019).

15. Смертність в Україні. 1991-2019, Опубліковано: 10.12.2019, URL : [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C\\_%D0%B2\\_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96#cite\\_note-9](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B2_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96#cite_note-9) (дата звернення: 15.12.2019).

16. Демографічна та соціальна статистика. Економічна статистика. Багатогалузева статистична інформація Опубліковано: 10.12.2019, URL : [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ds/t\\_n\\_sotg/tab1\\_narod\\_2017.xlsx](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ds/t_n_sotg/tab1_narod_2017.xlsx) (дата звернення: 15.12.2019).

17. Curran E B., Holle R. L. and López R. E. Lightning casualties and damages in the United States from 1959 to 1994 J. Clim. 2000 13 3448–3453



18. Holle R. L. A summary of recent national scale lightning fatality studies Weather Clim. Soc. 2016 8 35–42

19. Chaudhury S. and Middey A. Effect of meteorological parameters and environmental pollution on thunderstorm and lightning activity over an urban metropolis of India Urb. Clim. 2013 3 67–75

20. ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT) [Чинний від 2012-07-01] К. : Держстандарт України, 2012. (Національний стандарт України).

21. ДСТУ ІЕС 62305-2:2012 Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (ІЕС 62305-2:2011, IDT) [Чинний від 2012-07-01] К. : Держстандарт України, 2012. (Національний стандарт України).

22. ДСТУ EN 62305-3:2012 Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT) [Чинний від 2012-07-01] К. : Держстандарт України, 2012. (Національний стандарт України).

23. ДСТУ EN 62305-4:2012 Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2011, IDT) [Чинний від 2012-07-01] К. : Держстандарт України, 2012. (Національний стандарт України).

24. Рудик Ю., Сольоний С. Аналіз схем захисту електроустановок від імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. *Пожежна безпека*, 17, 2019. 20-25.

25. Kingfield D. M., Calhoun K. M., de Beurs K. M. and Henebry G. M. 2018 Effects of city size on thunderstorm evolution revealed through a multiradar climatology of the central United States J. Appl. Meteorol. Climatol. 57:295–317.

26. Abatzoglou J. T. and Williams A. P. 2016 Impact of anthropogenic climate change on wild life across western US forests Proc. Natl Acad. Sci. 113 11770–5.

27. Thornton J A, Virts K S, Holzworth R H and Mitchell T P 2017 Lightning enhancement over major oceanic shipping lanes Geophys. Res. Lett. 44 9102–11

28. Кривобок О.А., Кривошеїн О.О., Коман М.М. Система грозопеленгації України, як інструмент отримання показника грозової небезпеки для цілей проектування систем близьковкозахисту, Український гідрометеорологічний інститут, Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні питання проектування, монтажу та підтримання експлуатаційної придатності систем захисту від блискавки будівель і споруд», ЛДУБЖД, 2019.

29. Pédebois, Stéphane. Introduction to the IEC 62858: lightning density based on Lightning Locating Systems. 2018. ILPS.

30. Schmitt, Stephane & Rousseau, A. Thunderstorm Warning Systems: IEC 62793 standard. 1-5. 10.1109/ICLP.2016.7791416.

31. UHMI Data Viewer Опубліковано: 10.12.2019, URL : <https://dat.uhmi.org.ua/> (дата звернення: 15.12.2019).

32. Kenneth L. Cummins, et al. A Combined TOA/MDF Technology Upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network J Geophysical Research, V. 103, D8, 9035-9044, 1998.

33. Google Карты Довідка. Опубліковано: 10.12.2019, URL : [https://support.google.com/maps/answer/2839911?hl=uk&visit\\_id=1576828888797-4119157385201900385&rd=1](https://support.google.com/maps/answer/2839911?hl=uk&visit_id=1576828888797-4119157385201900385&rd=1) (дата звернення: 15.12.2019).

34. Network for Lightning and Thunderstorms in Real Time Опубліковано: 10.12.2019, URL: [http://en.blitzortung.org/cover\\_your\\_area.php](http://en.blitzortung.org/cover_your_area.php) (дата звернення: 15.12.2019).

35. Project Description Опубліковано: 10.12.2019, URL: <https://www.lightningmaps.org/blitzortung/europe/index.php?lang=en> (дата звернення: 15.12.2019).

36. Burgesseur, Rodrigo E., Assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) detection efficiency by comparison to the Lightning Imaging Sensor (LIS), Q. J. R. Meteorol. Soc. 143: 2809–2817, 2017 A DOI:10.1002/qj.3129

37. Suparta, Wayan and Zainudin, Siti Khalijah, Interaction Between Global Positioning System Tropospheric Delay and Lightning Strike Frequency , Advanced Science Letters, V. 23, Number 2, 2017, pp. 1366-1369(4), DOI: <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8386>

## References

1. Lee J. Y. and Collins G. J. 2017 Risk analysis of lightning effects in aircraft systems 2017 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT vol 2017 (Piscataway, NJ: IEEE) pp 1–9

2. Garolera A. C., Madsen S. F., Nissim M., Mayers J. D. and Jolboell J. 2016 Lightning damage to wind turbine blades from wind farms in the US IEEE Trans. Power Deliv. 31 1043–9

3. Shohag M A S, Hammel E C, Olawale D O and Okoli O I 2017 Damage mitigation techniques in wind turbine blades: a review Wind Eng. 41 185–210

4. Yoav Yair Lightning hazards to human societies in a changing climate 2018 Environ. Res. Lett. 13 123002 [doi.org/10.1088/1748-9326/aaca86](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaca86)

5. Price C et al 2011 The FLASH project: using lightning data to better understand and predict flash floods Environ. Sci. Policy 14 898–911

6. Yu. I. Rudyk, O. B. Nazarovets, and I. S. Holovatchuk, “Suchasni pidkhody do vlashtuvannya systemnoho blyskavkozakhystu sporud z urakhuvann-

- yam pozhezhnoyi nebezpeky ta osobystoho ryzyku [Current approaches in the system lightning protection arrangement of buildings in view of fire hazard and personal risk],” *Pozhezhna bezpeka*, no.33, pp. 88-94, 2018. (In Ukrainian). DOI:10.32447/20786662.33.2018.12.
7. Chandima Gomes and Mohd Zainal Abidin Ab Kadir Challenges in the promotion of lightning protection know-how in developing world Proceedings of the 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Cagliari, Italy, 2010.
  8. H. G. P. Hunt, K. J. Nixon, and J. A. Naudé, “Using lightning location system stroke reports to evaluate the probability that an area of interest was struck by lightning,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 153, pp. 32–37, Dec. 2017
  9. Jayanthi U.B. et al. Ground gamma radiation associated with lightning and rain precipitation Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference Pune. 2005. 1. 177-180.
  10. Kanata J., Ametani A. and Yamamoto K. 2012 Threats of lightning current through an electric vehicle Int. Conf. on Lightning Protection (ICLP) vol2012 (Vienna) 1-6
  11. Yanagawa S, Yamanoto K, Naito Y, Takahashi N and Matsui M 2016 Investigations of lightning accidents on automobiles *Electr. Power Syst. Res.* 139 2-9
  12. Рудик Ю.І. (2010). Захист електроустановок від імпульсних грозових і комутаційних перенапруг. *Пожежна безпека*, 15, 89-95.
  13. Statistics of the population of Ukraine. Distribution of deaths by sex, age groups and causes of death. <http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Dialog/Saveshow.asp>
  14. Statistics of the population of Ukraine. 1991-2019, [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/ds/nas\\_rik/nas\\_u/nas\\_rik\\_u.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/ds/nas_rik/nas_u/nas_rik_u.html) (дата звернення: 15.12.2019).
  15. Mortality in Ukraine. 1991-2019, [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C\\_%D0%B2\\_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96#cite\\_note-9](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B2_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96#cite_note-9).
  16. Demographic and social statistics. Economic statistics. Multi-sectoral statistical information [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ds/t\\_n\\_sotg/tab1\\_narod\\_2017.xlsx](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ds/t_n_sotg/tab1_narod_2017.xlsx)
  17. Curran E B., Holle R. L. and López R. E. 2000 Lightning casualties and damages in the United States from 1959 to 1994 *J. Clim.* 13 3448–3453
  18. Holle R. L. 2016 A summary of recent national scale lightning fatality studies *Weather Clim. Soc.* 8 35–42
  19. Chaudhury S. and Middey A. 2013 Effect of meteorological parameters and environmental pollution on thunderstorm and lightning activity over an urban metropolis of India *Urb. Clim.* 3 67–75
  20. DSTU EN 62305-1:2012 Blyskavkozakhyst - Part 1: General principles [Effective from 2012-07-01]. K. : Derzhstandart of Ukraine, 2012. (National Standard of Ukraine)
  21. DSTU IEC 62305-2:2012 Blyskavkozakhyst - Part 2: Risk management [Effective from 2012-07-01]. K. : Derzhstandart of Ukraine, 2012. (National Standard of Ukraine)
  22. DSTU EN 62305-3:2012 Blyskavkozakhyst - Part 3: Physical damage to structures and life hazard [Effective from 2012-07-01]. K. : Derzhstandart of Ukraine, 2012. (National Standard of Ukraine)
  23. DSTU EN 62305-4:2012 Blyskavkozakhyst - Part 4: Electrical and electronic systems within structures [Effective from 2012-07-01]. K.: Derzhstandart of Ukraine, 2012. (National Standard of Ukraine)
  24. Rudyk Yu.I., and Solionyy S.V., “Analiz skhem zakhystu elektroustanovok vid impul'snykh hrozovykh i komutatsiynykh perenapruh [Analysis of protecting schemes of electrical devices from impulsive overvoltage caused by thunderstorms and commutations].” *Pozhezhna bezpeka*, no.17, pp.20-25, 2017. (In Ukrainian).
  25. Kingfield D. M., Calhoun K. M., de Beurs K. M. and Henebry G. M. 2018 Effects of city size on thunderstorm evolution revealed through a multiradar climatology of the central United States *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 57295–317.
  26. Abatzoglou J. T. and Williams A. P. 2016 Impact of anthropogenic climate change on wild life across western US forests *Proc. Natl Acad. Sci.* 113 11770–5.
  27. Thornton J A, Virts K S, Holzworth R H and Mitchell T P 2017 Lightning enhancement over major oceanic shipping lanes *Geophys. Res. Lett.* 44 9102–11
  28. Kryvobok OA, Krivoshein OO, Koman MM. Sistema hrozopelenhatsiyi Ukrainy, yak instrument, pokazuye hrozovu nebezpeku dlya tsiley proektuvannya systemy blyzkokozakhystu [Ukraine's thunderstorming system as a tool for obtaining a thunderstorm indicator for the design of lightning protection systems] unpubl., LSULS, 2019.
  29. Pédeboy, Stéphane. (2018). Introduction to the IEC 62858: lightning density based on Lightning Locating Systems.
  30. Schmitt, Stephane & Rousseau, A.. (2016). Thunderstorm Warning Systems: IEC 62793 standard. 1-5. 10.1109/ICLP.2016.7791416.
  31. UHMI Data Viewer <https://dat.uhmi.org.ua/>
  32. Kenneth L. Cummins, et al. A Combined TOA/MDF Technology Upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network *J Geophysical Research*, V. 103, NO. D8, 9035-9044, 1998.



33. Google Maps [https://support.google.com/maps/answer/2839911?hl=uk&visit\\_id=157682888797-4119157385201900385&rd=1](https://support.google.com/maps/answer/2839911?hl=uk&visit_id=157682888797-4119157385201900385&rd=1).

34. Network for Lightning and Thunderstorms in Real Time  
[http://en.blitzortung.org/cover\\_your\\_area.php](http://en.blitzortung.org/cover_your_area.php).

35. Project Description  
<https://www.lightningmaps.org/blitzortung/europe/index.php?lang=en>.

36. Burgesseur, Rodrigo E., Assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN)

detection efficiency by comparison to the Lightning Imaging Sensor (LIS), Q. J. R. Meteorol. Soc. 143: 2809–2817, 2017 A DOI:10.1002/qj.3129

37. Suparta, Wayan and Zainudin, Siti Khalijah, Interaction Between Global Positioning System Tropospheric Delay and Lightning Strike Frequency, Advanced Science Letters, Volume 23, Number 2, 2017, 1366-1369(4), DOI: <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8386>

*Yu. Rudyk, V. Shunkin*

## COMPLIANCE WITH LIGHTNING LOCATION SYSTEMS INDICATORS FOR RISK ASSESSMENT, LOSS PREVENTION, INVESTIGATION OF CAUSES

**Introduction.** Thunderstorms in general is produced by atmospherically (climatic) processes, combined with additional hazardous effects. Thus, strong wind, flash flooding and hail causes a long time consequences including damages and injuries. Lightning protection systems are designed and projected in accordance with the requirements of the normative documents, which not always included measures of personal safety and guaranteed absences of injuries. Improving the state of life safety and loss prevention are based on standards and rules, which depend on the results of risk assessment, and investigation of cause's events.

**Purpose.** The purpose of this article is to analyze this problem in several areas concerning the situation with a systematic approach to the technical regulation in Ukraine of such a sector of life safety as the lightning protection.

**Methods.** Methods of research: calculations using a mathematical model; comparison of the results of the calculation, forecasting of the boundary parameters of the technical condition and monitoring of the lightning location systems properties; examination, qualification, definition of indicators of lightning location system in the composition of the geographical informational system, taking into account laying conditions. Also comparison of different methods for calculating positioning coordinates is given.

**Results.** One of the components of the system lightning protection - the parameters of positioning coordinates of the lightning location system is investigated. The location of lightning strike points is not specified in the applicable fire safety regulations, although this criterion is often used precisely to set fire safety requirements: for buildings, utilities, fire alarm systems, and more.

Measures are proposed for implementing test methods and means and incorporating them into standardized technical solutions. In this respect, there can be no claim to the International Electrotechnical Commission and its publications. It is suggested to take into account a number of identified gaps in regulatory documents, relationships between regulators and supervisors, user requests. The analysis of the current normative and technical requirements for the accuracy of coordinates positioning in lightning location systems. On this basis, methods of investigating the causes of events are supplemented, which simplifies the application of impact analysis and the development of protective measures.

**Conclusion.** Determination of the positioning coordinates of lightning stroke is not regulated in the current normative documents on fire safety, although this criterion is often used precisely when establishing requirements for fire safety: to buildings, cable installations, to the installation of fire automatics systems and to others. It is proposed to take advantage of the accuracy in determining the location using mapping geoinformation systems and services in the analysis of indicators of the system of thrust. Conducted theoretical studies of indicators of the lightning location systems have established their relevance for risk assessment methods, measures to prevent losses and to investigate the causes of death, injury to living creatures and other property damage events.

**Key words:** standardization, safety requirements, compliance assessment, indicator, risk management, lightning protection, efficiency, losses, investigation.