

«ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

ПРОМЕЛЕКТРО

PROMELEKTRO.COM.UA



ISSN 2409-2924



91772409292003



ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ІНЖЕНЕРІВ-ЕЛЕКТРИКІВ.
НАВЧАННЯ ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ
ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МЕРЕЖ

с. 6



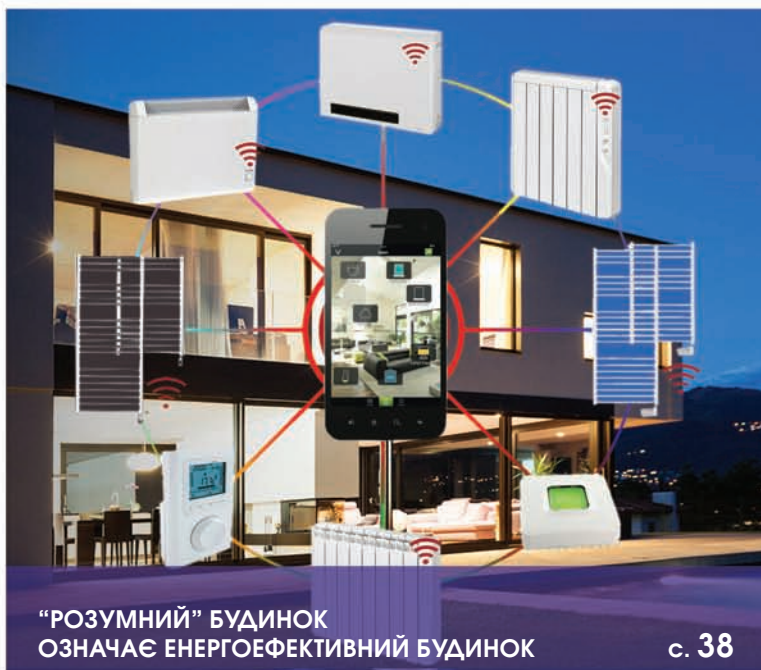
КОМПЛЕКСНЕ ВИПРОБУВАННЯ. ПЕРЕХІД
ВІД ВИПРОБУВАННЯ ПАРАМЕТРУ ЗАХИСТУ
ДО ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ

с. 14



ВІТРОВІ
ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

с. 28



“РОЗУМНИЙ” БУДИНОК
ОЗНАЧАЄ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ БУДИНОК

с. 38

elcom

Виставка
на Плазі

17-20
КВІТНЯ

Ukraine 2018

1

2018

ЛЮТИЙ



Надійшла
Received

16.02.2018

УДК 614.8; 621.3

УКРАЇНСЬКИЙ СЕГМЕНТ СИСТЕМИ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦІЇ EARTH NETWORKS

ПОРЯДКУВАННЯ РИЗИКАМИ, ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ НА БЛИСКАВКОЗАХИСТ

Risk Management, або Порядкування Ризиком, знаходить все ширше застосування у практиці оцінювання безпеки життєдіяльності. У намаганні позбутися зловживань, не загубивши при цьому механізму контролю за станом пожежної безпеки на об'єктах, з владних пагорбів лунають заклики перейти від складання протоколів про порушення правил до оцінювання ризиків (*Risk Assessment*). Системи захисту від блискавки будівель і споруд (LPS — відповідно до міжнародної термінології згідно [1]) досі залишаються у переліку заходів протипожежного захисту відповідно до [2]. У другій частині [3] національного нормативного документу, гармонізованого з європейськими стандартами, наведено докладну методику обчислення таких складових ризику, пов'язаного з блискавками:

- R1 — ризик втрати живих істот;
- R2 — ризик втрати можливості надання громадських послуг;
- R3 — ризик втрати невідновлюваних історичних цінностей;
- R4 — ризик економічних втрат.

Одним з параметрів, який суттєво впливає на результат цих обчислень (що виливається, зрештою, у певну суму витрат на захист), є грозова активність у регіоні, де знаходиться той чи інший об'єкт. У Інтернеті можна знайти чимало онлайн калькуляторів для обчислення цих показників (шукати — *Lightning Risk Assessment Calculator*). Такі калькулятори зазвичай потребують зазначати грозову активність у вигляді того числа спалахів блискавки, які протягом року припадають на 1 км² поверхні землі (N_G). Від 2015 р. умови отримання цього показника за допомогою систем грозопеленгації (LLS) мають відповідати вимогам стандарту MEK [4]. Цим нормативним документом впроваджено й новий показник грозової активності $N_{GS} = 2N_G$. Результати досліджень останніх років показали, що за одного спалаху блискавки виникають принаймні дві точки контакту з землею поверхнею.

Натомість, системи попередження про грозу (TWS) [5], які призначено для формування повідомлень у режимі реального часу, можуть і не мати на меті відслідковувати окремі спалахи блискавки. Їм достатньо мати відомості про напруженість електричного поля "туча-земля" та про швидкість наростання цього показника, аби формувати прогнози. Таким чином виникає певна спеціалізація систем спостереження за блискавками. Коли йдеться про об'єкти інфраструктури (авіа-, залізничний, водний, трубопровідний транспорт), будівлі та споруди (житло, промислові та сільськогосподарські, громадські, військові) чи паливно-енергетичний комплекс, для належного та



О.А. Кривобок,



О.О. Кривошеїн,

УкрГМІ
ДСНС України
та НАН України



Є.Я. Баранник,
член Правління
УСПТБ, голова
Українського
комітету захисту
від блискавки
при НТСЕУ

економічно обґрунтованого захисту належить мати відомості, що ґрунтуються на багаторічних спостереженнях за спалахами блискавки.

ВІД НАЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ ДО ГЛОБАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ

Створенню та вдосконаленню систем моніторингу грозової активності приділялася належна увага, передовсім, у тих країнах світу, де насправді цінують життя людей та плоди їхньої праці. На сьогодні у цілім світі працюють понад 60 систем грозопеленгації. Приміром, у США є декілька приватних та державних компаній, серед яких варто згадати: **WeatherBug Total Lightning Network (WTLN)**, **National Lightning Detection Network (NLDN)** і **United States Precision Lightning Network (USPLN)** [6–10]. У країнах ЄС, окрім національних систем, які охоплюють території своїх держав, є також загальноєвропейська — **EUCLID** (European Cooperation for Lightning Detection) [11], 147 давачів якої розкидано 27-ма країнами континенту. Спорудили національні системи грозопеленгації зі своїми функціональними особливостями: Японія, Бразилія, Канада, ПАР, Австралія, РФ та Китай [12–18]. Процеси глобалізації охопили також і цю галузь людської діяльності, прикладом чого є система компанії **Vaisala (GLD360)**. Її мережа вловлює близько 80% усіх блискавок, а координати спалахів вираховує з точністю 2–5 км [19, 20]. Давачі іншої системи — **World Wide Lightning Location Network (WWLLN)** можуть відстояти на кілька тисяч кілометрів один від одного [21, 22]. Не дивно, що, за останніми даними, лише 30% блискавок потрапляє у її тенета, а точність визначення позиції спалаху становить близько 50 км [23, 24]. Останнім часом до провайдингу грозової діяльності все більше долучаються приватні компанії. Прикладами суто комерційних мереж, які можуть охоплювати певні регіони, континенти або й усю земну кулю є **Earth Networks** (США) та **LINET-Nowcast** (Німеччина) [6, 25, 26].

ДОСЛУХАЮЧИСЬ ДО ШУРХОТІВ У ПАСМАХ РАДІОХВИЛЬ

Робота систем локації складається з отримання інформації від розподіленої мережі давачів та опрацюванням й аналізом у децентралізованій (хмарній) інфраструктурі з подальшим постачанням готових інформаційних продуктів споживачам. Число давачів мережі, із урахуванням їх певних особливостей, визначає ефективність відслідковування спалахів блискавок. До таких особливостей належить, передовсім, тип давача, що визначає на його здатність фіксувати електромагнетний імпульс блискавки (LEMP). Вважається, що найбільш ефективними є давачі, які здатні фіксувати LEMP одночасно у низькочастотному (LF/VLF) та високочастотному (HF/HF) пасмах. Це дозволяє краще відрізнити спалахи “туча-туча” (CC) від спалахів “туча-земля” (CG). Більшість з вищезгаданих LLS працюють у пасмі LF/VLF, що дозволяє впевнено визначати спалахи CG. Спалахи CC є своєрідними передвісниками зростання грозової активності. Прикладом є мережа **LINET-Nowcast**, 450 давачів якої відбирають сигнал у пасмі 10–400 кГц (LF/VLF), а заявлена точність локації — близь-

ко 150 м. Хоча блискавки CC становлять загрозу для наземних об’єктів (переважно чутливої електроніки) лише своїм потужним LEMP, вони багато про що можуть повідомити досвідчених спеціалістів.

Згадаємо, що грози переважно починаються з глухого гуркотіння, яке котиться небом, завмираючи у далині — саме так звучать спалахи CC. Що їх стає більше, що довше і гучніше вони звучать — тим більше шансів на те, що насувається гроза. Саме такі висновки випливають з результатів роботи мережі компанії **Earth Networks**, 1200 давачів якої, налаштованих на частоти 1 Гц — 12 МГц, розкидано усюю поверхнею земної кулі. Завдяки опрацюванню спектру LEMP, просторове положення спалахів CC та CG визначається тим краще, чим густіше посіяно давачів на тих чи інших теренах. Так, у багатій, високотехнологічній та густо залюдненій Європі похибка GPS координат спалахів становить близько 200 м [27].

СВОЄ, УКРАЇНСЬКЕ

В Україні до останнього не було сучасних систем, які б надавали більш адекватну інформацію про грозову активність, ніж супутникові та радіолокаційні вимірювання [28]. Саме тому **Український гідрометеорологічний інститут** (УкрГМІ), разом з **Українським гідрометцентром** (УкрГМЦ), ініціювали створення подібної системи. Адже формування гроз пов’язано з низкою небезпечних явищ внаслідок протікання конвективних атмосферних процесів теплої пори року. Спостереження останніх років [29] вказують на зріст інтенсивності цих природних явищ, які призводять до значних руйнувань інфраструктури і загибелі людей.

Аналіз можливостей сучасних систем грозопеленгації показав, що найбільш досконалі з них можуть забезпечити точність локації спалаху у 200 метрів. Також розрізнення блискавок CC та CG дозволяють надійно прогнозувати насування гроз та супутніх їм небезпечних явищ погоди (смерчі, град, сильний вітер). А що вітчизняні виробники не відчули ще смаку у випуску необхідної апаратури, привабливих умов співпраці було досягнуто у перемовинах з американською компанією **Earth Networks**. Було визнано доцільним не лише використовувати їхні давачі, але також інтегрувати їх до загальної мережі **ENTLN** (Earth Networks Total Lightning Network). Це надало можливість для оцінювання та попередження грозової активності на території України.

УСТАТКУВАННЯ ДАВАЧІВ СИСТЕМИ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦІЇ

Загальне число давачів української LLS та їхнє географічне розташування було визначено, виходячи з бажаних параметрів:

- ефективність виявлення спалахів CC — не гірше 50%;
- ефективність виявлення спалахів CG — не гірше 95%;
- точність обчислення GPS координат спалахів CG — не гірше 200 м.

Важливо було забезпечити також збереження цього обладнання, тому УкрГМЦ погодився

Таблиця. Перелік метеостанцій, де було встановлено українські давачі мережі ENTLN

Номер станції	Назва станції	GPS координати
33464	м.Сміла, Черкаська область	49.80N, 30.20E
33345	м. Київ, УкрГМІ	50.60N, 30.40E
33156	м. Глухів, Сумська область	51.60N, 34.00E
34319	смт. Великий Бурлук, Харківська область	49.60N, 37.70E
33506	м. Полтава, метеостанція	49.60N, 34.50E
33838	м. Одеса, гідрометцентр Чорного та Азовського морів	46.40N, 30.80E
33915	смт. Асканія Нова, Херсонська область	46.50N, 33.90E
34606	смт. Пришиб, Запорізька область	47.60N, 36.30E
33088	м. Рівне	51.30N, 26.60E
33513	м. Стрий, Львівська область	49.20N, 23.80E
33662	м. Новодністровськ, Чернівецька область	48.10N, 27.07E
33647	м. Рахів, Закарпатська область	48.00N, 24.20E

виконати устаткування українських давачів мережі ENTLN на території своїх метеостанцій (див. перелік у **таблиці**).

Протягом травня – липня 2016 року співробітники УкрГМІ встановили давачі відповідно до рекомендацій виробника (приклади подано на **рис. 1**).

ТОЧНІСТЬ ЛОКАЛІЗАЦІЇ СПАЛАХІВ БЛИСКАВОК У ПРОСТОРИ

Мережа ENTLN обчислює координати спалаху на основі принципу “часу приходу сигналу” (time of arrival — TOA) [30] (**рис. 2**). Охочих заглибитися у теоретичні подробиці, що мають назву — місце розташування гіперболічних перетинів, відсилаємо до роботи Льюїса [30]. Принцип TOA добре працює навіть за великих відстаней [31] від місця спалаху за наступних умов:

- давачі правильно розташовано;
- сигнали конкретного спалаху надійшли не менше, ніж від 4-х давачів одночасно;
- систематичні помилки зведено до мінімуму.

Кожен з давачів, які спіймали сигнал LEMP, передає до “хмарного серверу” компанії такі дані:

- власні координати GPS;
- точний відлік моменту (GPS time), коли було прийнято сигнал LEMP;
- певні параметри радіочастотного випромінювання LEMP.

Система відбирає для подальшого опрацювання давачі (від 5 до 25), розташовані найближче до місця спалаху, та вираховує координати спалаху на основі різниці в часі отримання сигналу давачами та їхнього точного положення. У роботі [32] було порівняно точність координат мережі ENTLN з даними мережі

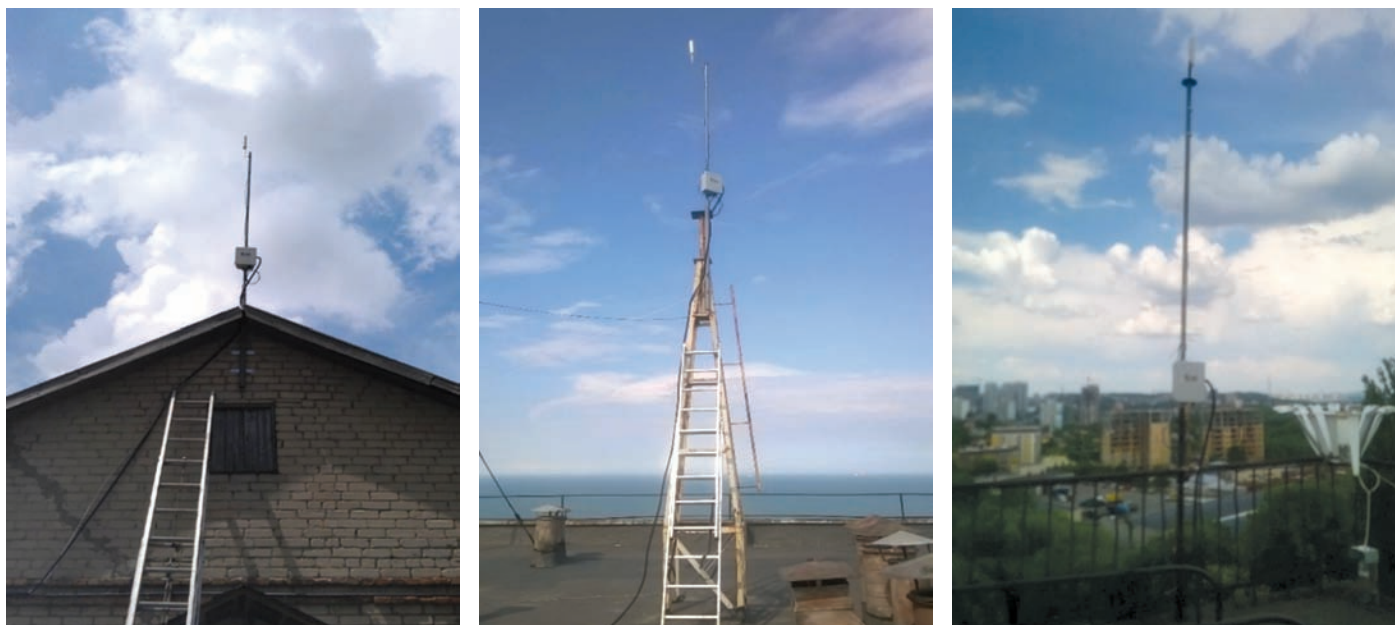


Рис. 1. Характерний вид встановлених щогл на будівлях метеостанцій в смт. Асканія Нова, ГМЦ Чорного та Азовського морів (м. Одеса) та в УкрГМІ (м. Київ)

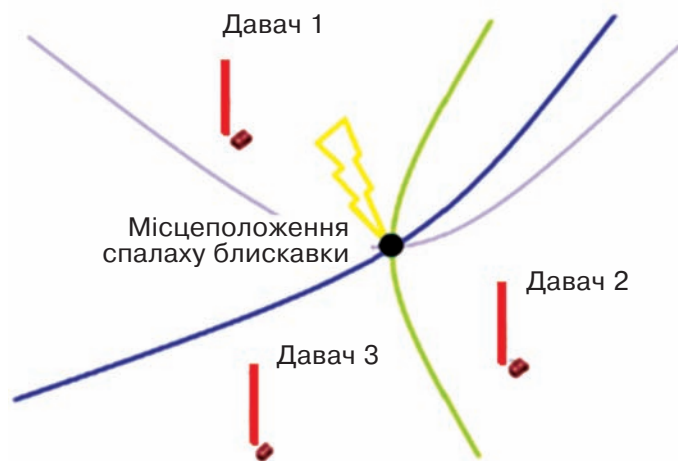


Рис. 2. Метод локації блискавок на основі принципу "часу приходу сигналу"

VHF давачів (DC Lightning Mapping Array), яка є під орудою NASA і вважається найточнішою у США. Було показано, що висота спалаху визначається системою ENTNLN з помилкою понад 1 км. Адже точність фіксації сигналу становить 7 мкс, тоді як сигнал з відстані у 100 км приходить лише на 0,3 мкс пізніше за той, що з відстані у 9-10 км. Можна подолати цю проблему, зменшивши відстань між давачами зі 150 км до 15 км, але це призведе до істотного подорожчання системи. Набагато точніше, з похибкою у 200 м, визначаються географічні координати. У 23-х з 24-х аналізованих випадках, дані мережі VHF давачів знаходилися в області 99% ймовірності виявлення системою ENTNLN.

СИСТЕМА ОПРАЦЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УКРАЇНСЬКОГО СЕГМЕНТА ENTNLN

З метою візуалізації і тестування можливостей опрацювання геокодованих даних використовується підсистема, заснована на відкритій системі підготовки геоданих GeoServer і відображення на клієнтських засобах з використанням картографічних даних проекту OpenStreetMap. Ці технології дозволяють також використовувати дані закритих або умовно-безкоштовних систем, із закритими корпоративними системами включно, які підтримують стандарти **Web Feature Service (WFS)**, **Web Coverage Service (WCS)**, **Web Map Service (WMS)**. Це дозволяє використовувати геокодовані відомості, отримані від LLS, разом з картографічними сервісами й даними з інших джерел — як от, результати мікрохвильового зондування, чисельних моделей та ін. (рис. 3). Можливе також створення спеціалізованих веб-додатків, які пропонують рішення для споживачів різних категорій, із фільтрацією поточних даних включно, (які відображаються в екстенті). Це може бути відбір за розташуванням (дороги, ЛЕП, території підприємств і мережі забезпечення) або за категоріям та видами небезпечних явищ (авіація, енергетика, транспорт, зв'язок, рекреація та ін.). Такі рішення забезпечують високу інтеграцію різних видів відображення інформації для різних відомств та напрямків метеорологічної діяльнос-

ті. У світі набуває розвитку організаційний захист від блискавки. Він дозволяє зменшити ризики для людського життя та здоров'я чи втрат майна шляхом вжиття випереджувальних заходів за отримання "грозових" попереджень.

НОВІ ГОРИЗОНТИ

Український сегмент мережі грозопеленгації компанії **Earth Networks** є першою встановленою системою на території України, що дозволяє в реальному режимі часу відслідковувати грозову активність. Весь процес створення даного сегмента склав трохи більше 2 місяців. Було встановлено 12 давачів в різних частинах України. Ці давачі дозволяють з високою точністю фіксувати як спалахи "туча-туча", так і "туча-земля", що підтверджено порівнянням з даними метеостанцій. Попереду — додаткові заходи з верифікації точності визначення географічних координат спалахів блискавки за допомогою пристроїв фіксації події прямого ураження наземних об'єктів.

Національна LLS надає не лише інформацію про поточні грози у даному регіоні, але й відкриває можливість формувати попередження про наближення грозових фронтів. У ній передбачено автоматичне оповіщення вибраних районів про ризик виникнення гроз та інших небезпечних метеорологічних явищ, як от: шквальний вітер, злива і град.

Таким чином, встановлений Український сегмент мережі грозопеленгації та грозового оповіщення, поряд з побудованою в УкрГМІ інфраструктурою опрацювання, візуалізації й поширення метеорологічних даних, є важливим інструментом як для дослідницьких цілей, так і для забезпечення діяльності різних категорій споживачів.

Зауважимо насамкінець, що кожен новий крок у пізнанні таємниць природи лише відкриває перед людством нові, ще не пізнані горизонти. Блискавка є надто складним для спостережень явищем, прикладом високої концентрації енергії у просторі і

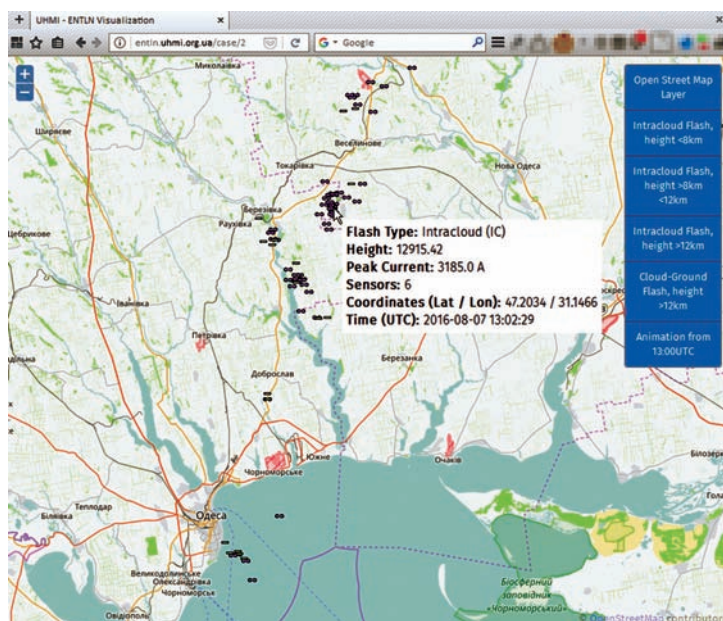


Рис. 3. Візуалізація архівних даних LLS у певному районі на картографічній підкладці

часі, у невизначеному місці й у непередбачувану мить. Вона виникає у сутінках туч, які надійно приховують від людського ока як таємницю зародження небесного вогню, так і звивистий шлях цієї вогняної ріки з її притоками та примхливими розгалуженнями. Будемо сподіватися, що з появою національної LLS реальна картина грозової активності в Україні

сприятиме кращому розумінню необхідності як обґрунтованого захисту від блискавки та імпульсів грозового походження, так і потреби у підтримці вітчизняних науковців, яким ще належить у повну силу долучитися до міжнародного розподілу досліджень, не полишаючи для цього назавжди рідної землі.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN 62305:2012 — Блискавкозахист (введено у дію як національну норму України наказом Мінекономрозвитку № 640 від 25.05.2012 р. за методом визнання).
2. ДБН В.1.1.7:2016 — Пожежна безпека об'єктів будівництва.
3. ДСТУ EN 62305-2:2012 — Блискавкозахист. Порядкування ризиками.
4. IEC 62858:2015 Edition 1.0 (2015-08-05) Lightning density based on lightning location systems (LLS) — General principles.
5. IEC 62793:2016 Protection against lightning — Thunderstorm warning systems.
6. <https://www.earthnetworks.com/>
7. Liu Ch., Sloop Ch., Heckman S. Application of lightning in predicting high impact weather, OBS/IMO/TECO-2014.
8. Cummins K.L., Pyle R.B., Fournier G. An integrated North American lightning detection network / Preprints, 11th International Conference on Atmospheric Electricity, June 7-11, 1999, Guntersville, Alabama. — P. 218–221.
9. Orville R.E., Huffines G.R., Burrows W.R., Holle R.L., Cummins K.L. The north American lightning detection network (NALDN) — First results: 1998–2000 // Monthly Weather Review. — 2002, August. — Vol. 130, No. 8.
10. <http://www.uspln.com/product.html>
11. Schulz W., Diendorfer G., Pedebay S., Poelman D.R. The European lightning location system EUCLID — Part 1: Performance analysis and validation // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. — 2016. — Vol. 16. — P. 595–605.
12. <http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/jldn/>
13. Naccarato K.P., Pinto O. Jr. The third generation relative detection efficiency model for the brazilian lightning detection network (brasildat) / 20th International Lightning Detection Conference, 21–22 April, Tucson, Arizona, USA.
14. Naccarato K.P., Pinto O. Jr., Pinto I.R.C.A. Different types of detection efficiency models to correct cloud-to-ground data obtained by Lightning Detection Networks / Proceedings of the International Conference on Grounding and Earthing & 2nd International Conference on Lightning Physics and Effects, SB-RAI, Maceió, CD-ROM, Nov. 2006 (b).
15. Abreu D., Chandan D., Holzworth R.H., Strong K. A performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) via comparison with the Canadian Lightning Detection Network (CLDN) // Atmos. Meas. Tech. — 2010. Vol. 3. — P. 1143–1153.
16. Evert R., Schulze G. Impact of a new lightning detection and location system in South Africa, Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa, 2005 IEEE.
17. <http://www.gpats.com.au/>
18. Jiahong Chen, Yubin Wu, Zhibin Zhao. The New lightning detection system in China: Its method and performance. Conference: Electromagnetic Compatibility (APEC) / 2010 Asia-Pacific Symposium.
19. <http://www.vaisala.com/en/products/thunderstormandlightningdetectionsystems/Pages/GLD360.aspx>
20. Demetriades N.W. S., Pohjola H., Murphy M.J., Crame J.A. Validation of vaisala's global lightning dataset (GLD360). IOM-104_TECO-2010.
21. Rodger C.J., Brundell J.B., Dowden R.L. Location accuracy of VLF World Wide Lightning Location (WWLL) network: Post-algorithm upgrade // Ann. Geophys. — 2005. — Vol. 23. — P. 277–290.
22. Rodger C.J., Werner S.W., Brundell J.B., Thomson N.R., Lay E.H., Holzworth R.H., Dowden R.L. Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): Initial case study // Ann. Geophys. — 2006. — Vol. 24. — P. 3197–3214.
23. Jacobson A.R., Holzworth R., Harlin J., Dowden R., Lay E. Performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN), using the Los Alamos Sferic Array (LASA) as Ground Truth // J. Atmos. Oceanic Tech. — 2006. — Vol. 23. — P. 1082–1092.
24. Lay E.H., Jacobson A.R., Holzworth R.H., Rodger C.J., Dowden R.L. Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network // J. Geophys. Res. — 2007. — Vol. 112. — D13111, doi:10.1029/2006JD007944.
25. Betz H.-D., Schmidt K., Oettinger W.P. LINET—An international VLF/LF lightning detection network in Europe, in Lightning: Principles, Instruments and Applications (H.-D. Betz, U. Schumann, and P. Laroche, eds). Dordrecht, NL: Springer-Verlag, 2008.
26. Betz H.D. et al. LINET — An international lightning detection network in Europe, Atmos. Res. (2008), doi:10.1016 / J. atmosres. — 2008.06.01.
27. Lightning monitoring system for sustainable energy supply: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews, August 2015 DOI: 10.1016 / J. rser. 2015.04.045.
28. Kryvobok O., Kulbida M., Savchenko L. Monitoring of Severe Weather in Ukraine With the Use of Satellite Data. Use of satellite and in-situ Data to Improve Sustainability / Part of the series NATO Science and Security / Series C: Environmental Security. — Springer, Netherlands. P. 41–48.
29. Клімат України / За ред. В.М. Липинського. — К.: Видавництво Раєвського, 2003. — 343 с.
30. Lewis E.A., Harvey R.B., Rasmussen J.E. Hyperbolic direction finding with sferics of transatlantic origin // J. Geophys. Res. — 1960. — Vol. 65. — P. 1879–1905.
31. Fagan D., Meier R. Intelligent time of arrival estimation / In: IEEE forum on integrated and sustainable transportation system (FISTS). — 2011.
32. Heckman S. ENTLN Status Update / XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15–20 June 2014, Norman, Oklahoma, U.S.A.
33. Никитин Д. Системы грозопеленгации на страже электросетевого хозяйства // Профессиональный журнал. — 2010. — № 6 (78), июнь. — С. 17–20.