

УДК 551 576+591 577+551 594:004.9

ПРОГНОЗУВАННЯ ГРОЗОНЕБЕЗПЕЧНИХ ЯВИЩ НА ОСНОВІ ЙМОВІРНОСНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ПАСИВНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ ТА ПЕЛЕНГАЦІЇ БЛИСКАВОК

В. Данилович¹, В. Смичок²

¹Львівський навчально-науковий інститут
Закарпатського державного університету
Відділення інформаційних технологій
вул. Замарстинівська, 83-А, Львів, Україна

²Львівський обласний центр з гідрометеорології
Міністерства надзвичайних ситуацій України
Відділ радіолокаційних спостережень
smychok@ukr.net

У статті розглянуто проблему виявлення та прогнозування блискавок. Авторами запропоновано метод пасивної локалізації блискавок без використання метеорологічної радіолокаційної станції. Запропоновано застосування параметричного підходу до моделювання основних метеорологічних параметрів гроzoneбезпечних явищ. Запропоновано теоретико-імовірнісну модель, яка забезпечує оптимальне прогнозування динамічних взаємозв'язків процесу. У моделюванні в розрахунку прогнозування особливу увагу звернено на “вертикальні токи” в атмосфері.

Ключові слова: грозовий розряд, електричні блискавки, пасивна реєстрація, теоретико-імовірнісна модель, часовий ряд.

Всі соціоекономічні і соціотехнічні процеси можна розглядати як динамічну екологічну нішу людства – техносферу. Поняття соціотехнічного середовища за вселенськими масштабами з'явилося зовсім недавно. Техносферу можна визначити “як планетарний простір під впливом технічної виробничої діяльності людства”, що виникає в результаті техногенезу, а значення якої для економічної безпеки важко переоцінити [1]. В рамках кібернетичної концепції економічної безпеки інтегрований рівень науково-технічної безпеки залежить від структури загального обсягу наукових та науково-технічних досліджень.

Клас дискретно-неперервних систем охоплює велику кількість промислових і технічних задач, а питання розробки оптимальних систем, які характеризуються найкращими показниками ефективності, є актуальним науковим завданням.

Завдання виявлення блискавок та грозових фронтів потребує фундаментального перегляду з погляду екологічно-безпечного спостереження та здешевлення системи моніторингу атмосферних явищ.

Проблема виявлення електричних блискавок та грозових фронтів та короткотермінове прогнозування їх зміщення є основою системи автоматизованого виявлення та локалізації грозових фронтів та системи їх моніторингу.

Технологія пасивного виявлення та локалізації блискавок та грозових фронтів реєстрації грозонебезпечних явищ та їх прогнозування.

Забезпечує екологічно безпечну та екологічну систему спостережень за надзвичайними ситуаціями. Аналіз атмосферних явищ (блискавок грозових фронтів) на підставі математичних моделей, зокрема теоретико-імовірнісних як найбільш універсальних, дасть змогу прогнозувати основні метеорологічні параметри:

- геометричні розміри грозових фронтів;
- зміщення, швидкість та інтенсивність розрядів.

Сьогодні для швидкого виявлення, прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій використовують активну технологію спостереження за допомогою радарів, принцип роботи яких полягає в обробці відбитого імпульсу.

Активні технології, застосовувані сьогодні у світі (Україні та країнах ЄС, США, Канади тощо) використовують дві основні технології – це доплерівський радар американського виробництва корпорації EEC типу DWRS-2501C/3501C. Випромінює потужність 250–350 Кват в імпульсі, відповідно, із дальністю 240 км, і роздільною здатністю з дальністю 30 м), і МРЛ-5 (радар випромінює 250 КВт в імпульсі). Санітарні норми в Україні мають допустимий рівень випромінювання = 10 мкВат/см².

Відповідно для забезпечення безпеки людей санітарно-епідеміологічна служба забороняє будівництво в межах дії радарів. Потреба постійно випромінювати потік імпульсів очевидно є екологічно шкідливою та ще й коштовною. Виявлення грозових фронтів за допомогою космічного спостереження має низку недоліків:

- для виявлення блискавок потрібні коштовні технології та дослідження;
- призначені для візуальної реєстрації потоків, а не локалізації гроз та їх моніторингу;
- нездатність аналізувати передумови утворення гроз.

Автори статті пропонують технологію пасивної реєстрації інформаційних параметрів блискавок та грозових фронтів, що ґрунтується на різниці швидкостей хвиль різної природи і різних діапазонів. Протягом тривалого часу проводили спостереження за грозовими явищами із урахуванням основних метеорологічних параметрів: вертикальних потоків повітря, розміри грозових фронтів та швидкість їх зміщення, інтенсивність і тривалість розрядів. Технологія пасивного спостереження є основою екологічно безпечної системи моніторингу грозонебезпечних метеорологічних явищ та прогнозування їх зарядження.

Переваги запропонованого підходу є економічними та екологічними, а саме:

- відсутність джерела потужного шкідливого електромагнітного випромінювання, що наявне в усіх сучасних метеорологічних локаторах;
- економічна перевага полягає у вартості радіолокаційної станції;
- зменшення вимог до обслуговувальної інфраструктури.

З фізики атмосфери відомо, що грозові розряди (блискавки) класифікують, як атмосферні розряди і за характером випромінювань є надпотужним джерелом з широким спектром випромінювань електромагнітної природи. Також з'ясовано, що під час грозового розряду крім світлових випромінювань також існують радіаційні і гамма-випромінювання [2].

Потужний розряд блискавки супроводжується утворенням так званого плазмового каналу в атмосфері. Товщина цього каналу від декількох міліметрів до 3,5 см залежно від сили розряду в (МА). Температура в середині каналу сягає 28 000°C градусів за Цельсієм. Довжина грозового розряду становить від декількох десятків сантиметрів і до одиниць кілометрів. Безпосередньо пов'язана з напруженістю електричного поля як між шарами в атмосфері, так і між атмосферою та землею.

Як відомо з основ теоретичної електротехніки одиничний розряд має широкий спектр імпульсів [4]. Напруженість електричного поля динамічно змінюється (як і проходження чи утворення грозового фронту). Під час однієї грози із середньою тривалістю 45 хв \pm 15 залежно від характеру фронту витікає від одиниць до десятків атмосферних розрядів.

Потрібно зазначити, що 80% грозових розрядів відбувається за принципом “хмара-хмара”, а 20 % – за принципом “хмара-земля”. [2] Блискавки утворюються унаслідок довільного тертя мікрокристалічних частин льоду і перемороженої води невидимих частин (шарів атмосфери) між собою і також між землею, унаслідок чого утворюються електростатичні розряди великої потужності. Зазначимо, що блискавка супроводжується випромінюванням різних частин енергії.

Після того, як відбувається грозовий розряд довільного характеру, він обов'язково супроводжується коливанням атмосферного повітря, в тому числі у звуковому діапазоні низької частоти. Характер коливання повітря на амплітуді збігається з електричним грозовим розрядом [5].

Варто зазначити, що електрична блискавка – це плазмовий розряд, котрий супроводжується електромагнітним випромінюванням, а звук – це результат миттєвого утворення цього плазмового каналу і також результат його миттєвого зникнення (з надзвуковою швидкістю).

Тривалість електричного, радіаційного, електромагнітного і звукового випромінювань кореляційно залежні.

Враховуючи різну природу хвиль, швидкість розповсюдження хвиль буде також відрізнятися. Електромагнітні випромінювання і механічні коливання повітря розповсюджуються радіально з різною швидкістю, а потужність електромагнітних випромінювань зменшується пропорційно до квадрата відстані від джерела.

Грім – хвильове акустичне коливання, що виникає в разі розрідження повітря навколо повітряного каналу блискавки. Потужність ударної звукової хвилі залежить від багатьох факторів, таких як P – атмосферний тиск; F – відносна вологість; t° – температура повітря. Найбільше впливає на швидкість звукової хвилі напрям і швидкість вітру (поривів вітру) [3]. Потрібно враховувати, що на шляху проходження ударної механічної хвилі вона піддається значно більшій деформації, ніж спотворення електромагнітної хвилі від того ж самого електричного розряду.

Запропонована імовірнісна модель забезпечує екологічно безпечну та екологічну систему спостережень за надзвичайними ситуаціями. Аналіз атмосферних явищ (грозових фронтів) на основі математичних моделей, зокрема теоретико-імовірнісних як найуніверсальніших, дасть змогу прогнозувати основні метеорологічні параметри:

- геометричні розміри грозових фронтів;
- зміщення, швидкість та інтенсивність розрядів;
- час очікування проходження грозових фронтів на карті місцевості.

Застосування параметричних моделей для науково-технічних процесів пов'язане з аналізом часових рядів.

Під час дослідження і реєстрації впливу електричних блискавок окремі спостереження вважаються незалежними випадковими величинами, а статистичний аналіз динаміки часового ряду є одним із методів його дослідження. Можливості оптимального прогнозування за допомогою часових рядів, розуміння динамічних взаємозв'язків і оптимального управління процесом мають важливе практичне значення.

Застосування параметричного підходу з максимальною простотою і мінімальним числом параметрів описує процес зміни основних параметрів досліджуваного явища.

Побудова такої моделі забезпечує:

- розуміння природи самої моделі, що генерує часовий ряд;
- використання для оптимального прогнозування значення рівнів часового ряду.

Нехай $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – часовий ряд послідовних спостережень, дискретні моменти часу t . Кожен із зазначених параметрів належить певному сегменту граничних значень, тобто $x_i \in [a_i, b_i]$ і є підмножиною значень, в межах якого параметр моделі змінюється за одним законом розподілу.

Як відомо, рівні часового ряду динаміки можуть бути абсолютними, відносними або середніми величинами [2]. Розглянемо ряд динаміки реєстрації спостережень, який характеризується середніми величинами і який об'єктивно відображає тенденцію розвитку грозонебезпечних явищ. Виявлення основної тенденції потребує вирівнювання динамічного ряду з метою отримання рівномірної траєкторії. Крім впливу основних чинників, які визначають конкретний вид тренду (невипадкової компоненти) на рівні ряду впливають випадкові чинники, які спричиняють відхилення фактичних значень рівнів від тренда.

Рівень часового ряду x_i можна подати як

$$U_i=f(t)+\varepsilon(t), \quad (1)$$

де $f(t)$ – тенденція, зумовлена впливом постійних факторів, а $\varepsilon(t)$ – величина, що визначає вплив випадкових коливань. Тренд можна вважати як змінне середнє значення часового ряду. Оскільки $f(t)$ для всіх значень t характеризує стаціонарний стохастичний процес, то її форма може бути визначена на практиці за гістограмою спостережень часового ряду в разі реєстрації та пеленгації електричних блискавок. Найпростішим прикладом аналітичного вирівнювання і з достатньою для практики точністю можна апроксимувати $f(t)$ рядами, зокрема степеневим рядом:

$$f(t)=C_0\varphi(t)+(C_1/1!)\varphi'(t)+(C_2/2!)\varphi''(t)+\dots, \quad (2)$$

де $\varphi^{(k)}(t)=(-1)^k H_k(t)\varphi(t)$ – похідні характеристичної функції φ , яка визначає щільність розподілу, $H_k(x)$ – поліноми Чебишева–Ерміта, а C_k – сталі коефіцієнти, які визначаються з умови рівності математичних сподівань і дисперсій.

Підбір функції f здійснюється із врахуванням специфіки процесу. Емпіричний підбір функції здебільшого порівнюють із нормальним законом розподілу і тоді використовується розклад в ряд Грама–Шарл'є.

Якщо відомий вектор $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ інформативних параметрів (стани метеорологічних спостережень), необхідно розпізнати (прогнозувати) значення за певних моментів (станів) $A_l, l=k, k+1$. Статистичні розподіли для станів A_l можна подати як умовні ймовірності

$$f(X/A_l)=f(x_1, x_2, \dots, x_n)/A_l \quad (3)$$

Той чи інший параметр можна зачислити до одного з можливих станів за відомими критеріями теорії прийняття рішень. Мірою ймовірності стану A_l може бути апостеріорна ймовірність $P(A_l/x_k)$, тобто ймовірність гіпотези, згідно з якою в певний момент часу обраний інформаційний параметр набуває значення, що відповідає l -му стану, причому ймовірність $P(A_l/x_k)$ описують формулою Байєса. Можна

сформулювати вирішальне правило прийняття рішення залежно від граничних допустимих значень. Якщо реальний процес є нестационарним відносно тренду, то аналіз динаміки часового ряду потребує нестандартного дослідження і побудови функції прогнозування, зокрема, використовуючи апроксимацію за допомогою вайвлет-перетворень.

Автори статті проаналізували сучасний стан принципів метеорологічної радіолокації та прогнозування блискавок. На сьогодні для швидкого виявлення, прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій використовують активну технологію спостереження за допомогою радарів, принцип роботи яких полягає в обробці відбитого імпульсу [6].

Запропоновано принципово новий метод реєстрації блискавок, котрий ґрунтується на пасивній локації хвиль. У цьому методі уточнена дальність до ближньої зони грозового фронту базується на різниці швидкостей розповсюдження хвиль різної природи. В методі пропонується порівнювати швидкість проходження електромагнітної хвилі із звуковою ударною хвилею грому, що має механічну природу з одного точкового джерела випромінювання. Вимірювати сферичні координати грозового розряду для локалізації блискавок запропоновано за допомогою базисного методу фазової пеленгації.

У моделюванні блискавок ми застосували параметричний підхід до основних метеорологічних параметрів гроzoneбезпечних явищ. Запропоновано також теоретико-імовірнісну модель, яка забезпечує оптимальне прогнозування динамічних взаємозв'язків процесу.

-
1. *Акімова Т.А., Хаскин В.В., Сидоренко С.Н.* та др. Макроэкология и основы экоразвития. М.: Издательство РУДН, 2005. 367 с.
 2. *Фещур Р.В., Барвінський А.Ф., Кічор В.П.* Статистика. Львів: Інтеллект-Захід, 2001. 276 с.
 3. *Шишкин Н.С.* Облака, осадки и грозовое электричество. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1984. 401 с.
 4. *Баскаков С.И.* Радио/технические цепи и сигналы. М: Высшая школа, 1988. 448 с.
 5. *Арабаджи В.И.* Грозы и грозовые процессы. Минск: Белгосуниверситет, 1960. 230с.
 6. Праці Центральної геофізичної обсерваторії. К. 2008. Вип. 4(48). 125 с.

FORECASTING LIGHTNING'S DANGEROUS OF THE PHENOMENA ON THE BASIS OF LIKELIHOOD MODELS OF PROCESS OF PASSIVE REGISTRATION AND LIGHTNING DIRECTION FINDING**V Danylovych¹, V. Smychok²**

*¹Lviv steady-scientific institute of the Transcarpatye State University
Branch of an information technology
Zamarstynivska Str., 83, Lviv, Ukraine*

*²Lviv regional centre on hydrometeorology of the ministry of emergency situations
of Ukraine
Department of radar-tracking supervision*

In article the problem of revealing and forecasting of lightning's nature is considered. Authors offer a method of passive localization of lightning without use of a meteorological radar station. Application of the parametrical approach to modeling of the basic meteorological parameters lightning the phenomena is offered. The probability-theoretic model which is offered provides optimum forecasting of dynamic interrelations of process. At modeling in forecasting calculation the especial attention addresses on "vertical currents" in atmosphere.

Key words: a lightning discharge, electric lightning's, passive registration, probability-theoretic model, an hour number.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРОЗОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ОСНОВАНИИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ПАССИВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ И ПЕЛЕНГАЦИИ МОЛНИИ**В. Данилович¹, В. Смычок²**

*¹Львовский учебно-научный институт
Закарпатского государственного университета
Отделение информационных технологий
ул. Замарстынивска, № 83-А, Львов, Украина*

*²Львовский областной центр по гидрометеорологии
министерства чрезвычайных ситуаций Украины
Отдел радиолокационных наблюдений*

В статье рассмотрена проблема выявления и прогнозирования молний. Авторами предложен метод пассивной локализации молний без использования метеорологической радиолокационной станции. Предложено применение параметрического подхода к моделированию основных метеорологических параметров грозопасных явлений. Предложена теоретико-вероятностная модель, которая обеспечивает оптимальное прогнозирование динамических взаимосвязей процесса. При моделировании в расчете прогнозирования особенное внимание обращается на "вертикальные токи" в атмосфере.

Ключевые слова: грозовой разряд, электрические молнии, пассивная регистрация, теоретико-вероятностная модель, часовой ряд.

Стаття надійшла до редколегії 3.07.2009

Прийнята до друку 7.09.2009