

УДК 621.396.96 (045)

Ю. А. Авер'янова, канд. техн. наук

ПРОСТОРОВА ОЦІНКА РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГІЇ ЗА СКЛАДОВИМИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО СПЕКТРА ВІДБИТОГО ВІД МЕТЕОУТВОРЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ

Національний авіаційний університет, e-mail: Yuliya-ans@yandex.ru

Виконано моделювання енергетичного розподілу складових поляризаційного спектра сигналу, відбитого від гідрометеорів, для різних значень амплітуди вібрації крапель. Відзначено необхідність спостереження за швидкістю варіації розподілу енергії з урахуванням інерційності крапель різної маси під дією динамічних процесів в атмосфері.

Ключові слова: поляризація, гідрометеор, метеорологічний радіолокатор, вібрація крапель.

Вступ та постановка проблеми. Сучасні метеорологічні радіолокаційні засоби – це мережі некогерентних та доплерівських радіолокаційних систем. Якщо антени та приймальні тракти некогерентних систем дозволяють вимірювати лише потужність відбитих від метеорологічних об'єктів сигналів, утрачаючи інформацію про зсув частоти та когерентні антенно-приймальні системи доплерівських радіолокаторів вимірюють і частотні зсуви відбитих сигналів. Надалі прийнятий антеною сигнал обробляється здебільшого як функція часу.

Реальна атмосфера є доволі динамічним середовищем, у якому постійно відбуваються різноманітні процеси та зміни. Для того, щоб отримати більш детальну інформацію про атмосферний стан, необхідно одночасно вимірювати декілька параметрів, що відображають або характеризують процесир з різних сторін. Такими параметрами додатково до найчастіше вимірюваних амплітуди та фази, або частоти може бути напрямок поширення, а також поляризація. Сучасні поляриметричні системи для відображення поляризаційних особливостей відбивальних об'єктів використовують переважно осереднені дані. За такого підходу інформація про деякі властивості об'єктів, наприклад про флуктуації, не може бути відображена. Відповідно до статистичних даних [1] такі метеорологічні об'єкти, як ансамбль гідрометеорів, постійно вібрують під дією внутрішніх та зовнішніх сил і можуть розглядатися як об'єкти з нестабільною формою. Вібрації або флуктуації об'єкта містять важливу інформацію про поведінку, характеристики та структуру об'єкта. Характер вібрацій залежить від характеристик об'єкта, його взаємодії з середовищем, що оточує. Вітрові явища також істотно впливають на характер вібрації об'єктів, форма яких не є жорсткою.

Аналіз досліджень та публікацій. У праці [2] презентовано новий підхід щодо використання поляриметрії для виявлення атмосферних явищ, що пов'язані з вітром, зокрема турбулентності, зсуву вітру тощо. В підході [2] введено поняття поляризаційного спектра, що відображає розподіл відбитої енергії за поляризаційними складовими. У розглядуваному випадку відбита енергія може бути оцінена декількома приймальними антенами [3], фазованою антенною решіткою, або MISO (Multiple Input Single Output), SIMO (Single Input Multiple Output), або MIMO (Multiple Input Multiple Output) системами [4]. Поляризаційні спектри досі недостатньо досліджені.

Мета роботи – математичне моделювання просторового розподілу складових поляризаційного спектра енергії, відбитої від гідрометеорів, зокрема крапель. Аналіз швидкості зміни енергетичного рівня на приймальних антенах з урахуванням інерції крапель. Це необхідно для урахування різниці у реакції крапель різних форм та розмірів на дію атмосферних динамічних процесів.

Об'єкти нестабільної форми та їх вплив на відбитий радіолокаційний сигнал.

У випадку відбиття зондувального сигналу від ансамблю гідрометрів необхідно брати до уваги відбивальні властивості крапель хмар, які здебільшого перебувають у завислому стані, і крапель в опадах. Крапля, що падає, має сплюснену форму, якої набирає під дією аеродинамічних сил. Чим крапля більша за розміром, тим вона більше сплюснена. Крапля, що перебуває в потоці повітря, постійно вібрає під дією різних сил та процесів, а тому її форма не є стабільною [4], як і параметри її розміру. Амплітуда вібрації залежить як від зовнішніх факторів, так і від розміру самої краплі. Відповідно до статистичних даних [1] чим більша крапля, тим більшою є амплітуда вібрації, і, як наслідок, тим більшою є дисперсія коливань розмірів сплюсненого сфероїда. Отже, краплю в повітрі можна розглядати як об'єкт нестабільної форми, або сфероїд з осями, розмір яких є випадковими величинами. Однією з причин нестабільності є динамічні явища, такі як атмосферна турбулентність. Таким чином, параметри турбулентності впливають на процес зміни осей краплі-сфероїда, що, в свою чергу, може зумовити частотні, поляризаційні та амплітудні зміни відбитого радіолокаційного сигналу.

Оцінюючи розподіл відбитої енергії за складовими поляризаційного спектра, необхідно враховувати різницю в рівнях спектральних складових та динаміку спектра, тобто зміну рівнів спектральних складових з часом.

У праці [1] одержано вираз для розрахунку зворотного розсіяння віброуючою краплею. Найбільший вплив несферичності та вібрації крапель виявляється в поляризаційних характеристиках електромагнітної хвилі. Вирази для розрахунку сополяризаційних та крос-поляризаційних компонент поля на вході приймальних антен такі:

$$E_{parallel} = E^s [1 + A(\delta)q\Delta\gamma_0 + A(\delta)q\Delta\gamma_d \cos(\Omega t + \varphi)]; \quad (1)$$

$$E_{orthogonall} = E^s [B(\delta)q\Delta\gamma_0 + B(\delta)q\Delta\gamma_d \cos(\Omega t + \varphi)]; \quad (2)$$

$E^s = \frac{1}{2} D^3 \left[\frac{(\varepsilon - 1)}{(\varepsilon + 2)} \right] E_0 \cos[\omega_0 t + 2kr(t)]$ – поле, що розсіюється краплею еквівалентного об'єму;

ω_0 – кутова частота зондувальної хвилі; D – діаметр сферичної краплі еквівалентного об'єму; ε – відносна проникність води; E_0 – амплітуда лінійно поляризованої зондувальної хвилі; $k = 2\pi\lambda$ – хвильове число; $r(t)$ – проекція радіус-вектора розсіювача на напрямок зондування, $\Omega = 2\pi F$; F – частота вібрації краплі; $\Delta\gamma_d$ – амплітуда вібрації краплі; φ – початкова фаза вібрації краплі; $B(\delta) = \frac{3}{2} \sin 2\delta$; δ – кут між площиною поляризації E_0 та

вертикаллю, $q = 0,4 \frac{(\varepsilon - 1)}{(\varepsilon + 2)}$; γ_0 – середня форма краплі.

Середня форма краплі визначається як відношення вертикальної півосі краплі, що апроксимується сфероїдом, до її горизонтальної півосі. Значення середньої форми для реальних крапель становить 0,4 ... 1,5 [1]. Амплітуда вібрації краплі $\Delta\gamma_d$ є тим більшою, чим більший розмір краплі і дорівнює 0,2 ... 0,3.

Моделювання просторового розподілу складових поляризаційного спектра.

У реальному випадку зондування хмар та опадів сигнал відбивається від ансамблю гідрометеорів. У цьому ансамблі наявні краплі різних форм та орієнтацій, а отже, на вході приймальної антени можна одержати спектр, який відображає внесок кожного з відбивачів радіолокаційної хвилі.

Змодельовані спектри відбитого радіолокаційного сигналу на вході приймальної антени для невеликої кількості розсіювачів і для значення амплітуди вібрації крапель $\Delta\gamma_d = 0,2$ показано на рис. 1. По вертикалі відкладено енергетичний рівень складових поляризаційного

спектра відбитого від гідрометеорів сигналу на вході приймальної антени, по горизонталі – розмір крапель (рис. 1, а) або кількість розсіювачів (рис. 1, б). Змодельовані складові поляризаційного спектра відповідно до конкретного розміру розсіювачів показано на рис. 1, а. Випадковий розподіл складових поляризаційного спектра сигналу, відбитого від невеликої кількості розсіювачів, показано на рис. 1, б. Розмір крапель розсіювачів на рис. 1, б збігається з розміром крапель на рис. 1, а.

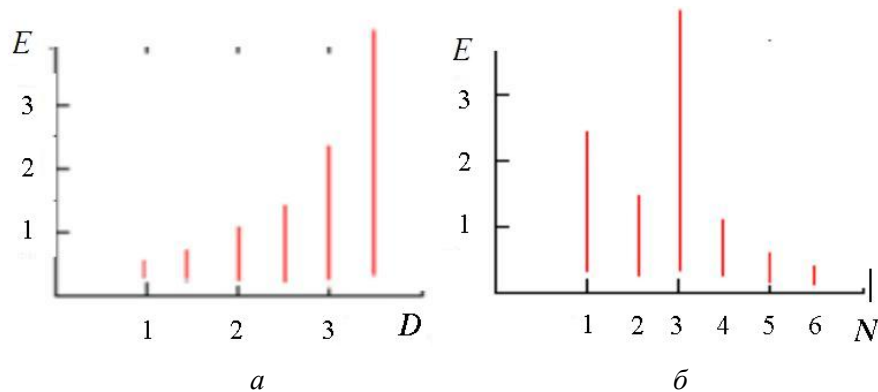


Рис. 1. Змодельовані спектри для невеликої кількості розсіювачів і для значення амплітуди вібрації крапель $\Delta\gamma_d = 0,2$ (розміри крапель: 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5)

Змодельовані аналогічні спектри відбитого радіолокаційного сигналу на вході приймальної антени з основною поляризацією для невеликої кількості розсіювачів, але для більшого значення амплітуди вібрації крапель $\Delta\gamma_d = 0,3$ показано на рис. 2.

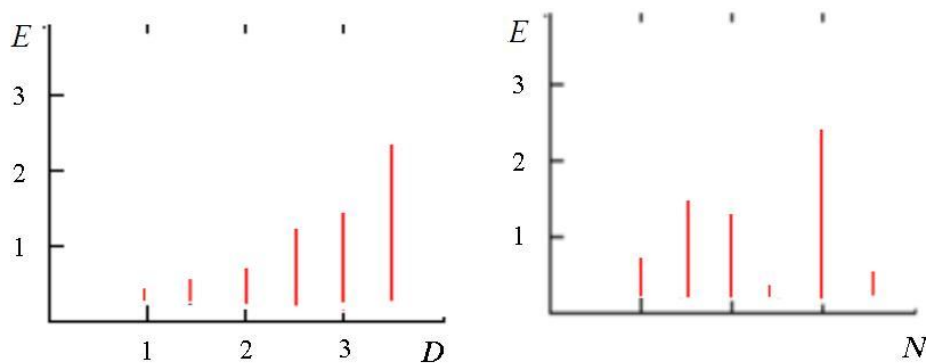


Рис. 2. Змодельовані спектри для невеликої кількості розсіювачів і для значення амплітуди вібрації крапель $\Delta\gamma_d = 0,3$ (розміри крапель: 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5)

Як видно з рис. 1 і 2, зі збільшенням амплітуди вібрації крапель енергетичний рівень складових спектра на вході приймальної антени з основною поляризацією зменшується, як і рівень сигналу. Найбільше змінюється рівень складових спектра, що відповідають великим розмірам крапель, які більшою мірою можуть вібрувати та змінювати свою форму і орієнтацію під дією зовнішніх факторів і, таким чином, зміна поляризації відбитої від великих крапель є більш істотною. Відповідно до цього очікується збільшення енергетичного рівня складових поляризаційного спектра в антенах, що налаштовані приймати сигнал з поляризацією, яка відрізняється від поляризації зондувальної хвилі.

Різниця впливу розмірів краплі на відбиту електромагнітну хвилю відчувається не тільки в можливій більшій вібрації великих крапель, а також у швидкості реакції краплі на вплив на неї зовнішніх факторів, що зумовлено більшою інерційністю великих крапель порівняно з малими. У праці [5] наведено результати моделювання поведінки гідрометеорів різного розміру під впливом градієнта вітру як перехідний процес. Таким чином, реальний

спектр на вході приймальної антени не буде складатися з фіксованих енергетичних компонент. У ньому будуть наявні «спалахи» з різним часом існування відповідно до розміру крапель, що їх зумовлюють. Отже, оцінювання вітрових явищ, зокрема турбулентності, потребує не тільки оцінки просторового розподілу енергетичних складових поляризаційного спектра відбитого радіолокаційного сигналу, але і їх часової поведінки.

Висновки. В роботі рідкі гідрометеори розглядаються як об'єкти з нестійкою формою, що постійно вібрують під дією різних сил. Виконано математичне моделювання розподілу енергетичних складових поляризаційного спектра сигналу, відбитого від метеорологічних об'єктів за різних значень амплітуди вібрації крапель. На базі даних моделювання оцінено внесок вібрації крапель у відбитий радіолокаційний сигнал. Такий підхід демонструє більшу можливість поляризаційних радіолокаційних методів оцінювати інтенсивність опадів, динамічні атмосферні явища, вимірювати розподіл крапель за розміром тощо. Запропонований підхід можна використовувати в сучасних доплерівських радіолокаторах для надання більших можливостей та підвищення інформативності отриманої інформації.

Список літератури

1. Горелик А. Г. Влияние вибрации капель дождя на поляризационные характеристики радиолокационного сигнала / А. Г. Горелик, В. В. Стерлядкин // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1989. – Т. 25, N.9. – С. 960–968.
2. Yu. Averyanova Polarization Selective Antennas for Reflected Wave Depolarization Determination / Yu. Averyanova, A. Averyanov, F.J. Yanovsky // Proc. of International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT 2009), Lviv, Ukraine, October 2009. – P. 256–258.
3. Пат. №34917 на корисну модель. Поляриметричний радіолокатор / Ю. А. Авер'янова, А. О. Аверьянов, Ф. Й. Яновський; Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 26. 08. 2008; Опубл. 25.07.2008, Бюл. №14. 53.
4. Golden G. D. Detection algorithm and initial laboratory results using V-BLAST space-time communication architecture / G. D. Golden, G. J. Foschini, R. A. Valenzuela, and P. W. Wolniansky // Electron. Lett. – 1999. – Vol. 35. – P. 14–16.
5. Стерлядкин В. В. Натурные измерения колебаний капель осадков / В. В. Стерлядкин // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1988. – Т.24, N.6. – С. 613–621.
6. Аверьянова Ю. А. Комп'ютерне моделювання аеродинаміки рідких гідрометеорів / Ю. А. Аверьянова, А. А. Аверьянов // Технологические системы. – 2006. – № 3. – С. 43–45.

Ю. А. Аверьянова

Пространственная оценка распределения энергии поляризационного спектра отраженного от гидрометеоров сигнала

Выполнено математическое моделирование распределения энергии поляризационного спектрального сигнала, отраженного от гидрометеоров для различных значений амплитуды вибрации капель. Отмечена необходимость наблюдения за скоростью изменения энергетического уровня составляющих поляризационного спектра с учетом инерции капель с разной массой под действием динамических процессов в атмосфере.

Yu. A. Averyanova

Spatial Estimate of Energy Distribution over Polarization Spectrum of The Signal Reflected from Hydrometeors

In this paper the simulation of spatial distribution of polarization spectrum components of a field scattered by hydrometeors is made for different values of vibration amplitude of hydrometeor. The emphasis is done on the necessity to watch the speed of the variation of field intensity distribution over the receiving antennas caused by the inertia of drops with different weight for atmospheric dynamic processes detection.