

УДК 621.396.96:551.508.8

АНАЛІЗ ЗОНДУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ СИСТЕМ РАДІОАКУСТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ

Шамрай А.П., Кондрашов І.Є.

e-mail: anton.shamrai@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС
м. Харків, Україна

Radioacoustic sounding (RAS) systems of the atmosphere provide information about the state of processes occurring in the atmosphere. However, the effectiveness of existing means is insufficient and there are practical needs in improving the sounding signals used. The report develops new approaches and a new mathematical apparatus for use in the analysis and synthesis of sounding signals of RA systems. The process of interaction of acoustic and electromagnetic signals in the environment is described using functional analysis and abstract mathematical spaces, which will allow considering such signals together, using visual geometric representations and increasing the efficiency of the tasks of research and synthesis of such signals.

Системи радіоакустичного зондування (РАЗ) атмосфери забезпечують отримання інформації про стан процесів, що відбуваються в нижніх шарах атмосфери. Вони дозволяють вимірювати вертикальні профілі температури атмосфери та швидкості вітру [1-4].

Найбільш важливим серед існуючих обмежень систем РАЗ є недостатня ефективність методів і пристроїв обробки інформаційних сигналів. Недостатньо вивчені питання аналізу і синтезу зондувальних сигналів систем РАЗ, в той час, як ефективність локаційних систем значною мірою визначається саме потенційними можливостями зондувальних сигналів, що використовуються. Крім того, в системах РАЗ випромінюється пара зондувальних сигналів – акустичний та електромагнітний, які мають різну фізичну природу, що також є значною відмінністю систем РАЗ від інших локаційних систем і потребує додатково вивчення [5].

Слід підкреслити, що якість зондувальних сигналів, що використовуються, значною мірою визначає ефективність систем зондування, а помилки проектування, що виникли на цьому етапі, досить важко усунути.

Доповідь присвячена розгляду питання аналізу зондувальних сигналів систем РАЗ в абстрактному функціональному просторі, результати досліджень забезпечать можливість постановки і вирішення актуальних задач аналізу і синтезу зондувальних сигналів з використанням математичного апарату функціонального аналізу.

У сучасній теорії інформаційних систем і сигналів широке застосування знаходять геометричні уявлення сигналів, що використовують такі поняття як простір, вектор, відстань і т.п. Яку б природу не мали елементи, що розглядаються, їх вдається уподібнити точкам простору, зберігши ана-

логію з геометричними образами. При цьому багато залежностей і властивостей об'єктів, що розглядаються, зазвичай отримують наочний геометричний опис, що спрощує вирішення низки завдань.

При розгляді завдань аналізу та синтезу зондувальних сигналів систем РАЗ атмосфери доцільно використовувати методи та подання функціонального аналізу, що дозволить використовувати наочні геометричні образи та уявлення, при яких сигнали розглядаються як елементи деякого простору, властивості сигналів як властивості простору, а перетворення сигналів, наприклад при розсіянні, як відображення одного простору в інший [5].

Все різноманіття допустимих акустичних та електромагнітних сигналів представлено у вигляді відповідних множин S_M і E_M . Завдання синтезу полягає у знаходженні такої пари сигналів, які належать різним множинам, що забезпечує деякі необхідні (оптимальні) властивості критерію синтезу. Вибір критерію доцільно здійснювати з урахуванням вихідних передумов та фізичного змісту задачі, що призвела до постановки проблеми синтезу, на основі неформалізованих процедур [4]. Структура функціоналу якості повинна визначатися бажаними властивостями синтезованих сигналів, зокрема їх спільними властивостями.

Функціонал якості повинен відображати спільну фізичну здатність акустичного та електромагнітного сигналів до формування розсіяної радіохвилі при їх неузгодженні (розстройці) у просторі та в області хвильових частот, а з іншого боку, відображати їхню близькість у деякому геометричному сенсі при такому неузгодженні. Фізичне суміщення (а також попередня і подальша неузгодженість) сигналів у просторі завжди виконується в деякому діапазоні дальностей, якщо радіосигнал випромінюється з деякою затримкою у часі після випромінювання акустичного сигналу, а напрями випромінювання обох хвиль збігаються. Зміна параметра розладу q двох сигналів в області хвильових частот пов'язана зі зміною довжини акустичної хвилі по трасі зондування внаслідок мінливості метеопараметрів (зокрема температури та швидкості вітру).

Ступінь відмінності функцій (сигналів), що належать різним множинам, слід задавати у вигляді деякої відстані, під якою можна розуміти квадратичну різницю сигналів (квадратична метрика), максимальне відхилення функцій у деякому діапазоні значень аргументів (рівномірна або чебишевська метрика) та ін. Квадрат відстані між елементами множини S_M допустимих акустичних сигналів та множини E_M допустимих радіосигналів визначимо як інтеграл квадрата різниці $E(2r' - r)$ та $S(r')e^{-jq'r'}$

$$\Delta^2(r, q) = \int_{-\infty}^{+\infty} |E(2r' - r) - S(r')e^{-jq'r'}|^2 dr'. \quad (1)$$

Розроблена математичну модель, що визначає відстань між векторами акустичного та електромагнітного зондувальних сигналів систем радіоаку-

стичного зондування атмосфери у функціональному абстрактному математичному просторі. Аргументами функції відстані в цьому просторі є поздовжня просторова координата, уздовж якої переміщуються сигнали в процесі зондування атмосфери, будучи випроміненими з поверхні землі, а також параметр розстроювання умови Брега q . Параметр Брега q змінюється внаслідок зміни довжини хвилі акустичних коливань під впливом зміни метеорологічних параметрів атмосфери – температури середовища, вологості повітря.

Розглянуті аргументи r і q , з одного боку, є фізичними параметрами, що характеризують стан простору, в якому відбувається взаємодія акустичної та електромагнітної хвиль, які мають різну фізичну природу, а з іншого боку, їх слід розглядати як параметри абстрактного функціонального математичного простору, що дасть змогу вивчити характерні особливості зміни відстані між функціями, що розглядаються, у математичному просторі.

Вивчені особливості поверхонь відстаней для різних видів і форм зондувальних сигналів будуть затребувані в задачах дослідження й аналізу властивостей різних зондувальних сигналів, у задачах синтезу оптимальних форм зондувальних сигналів, адаптації форм сигналів до мінливих зовнішніх характеристик середовища. Усі ці сигнальні задачі будуть розв'язуватися в абстрактному функціональному математичному просторі з використанням певних критеріїв оптимальності та математичних методів, що використовуються у функціональному аналізі.

Список використаних джерел:

1. Bradley S. Atmosphere Acoustic Remote Sensing. Principles and Application. CRC Press. 2007. 267 p.
2. Remtech Radio Acoustic Sounding System (RASS) for remote sensing of temperature. URL: <https://remtechinc.com/wp-content/uploads/RASS3.pdf> (дата звернення 28.01.2025).
3. Lataitis R.J. Theory and Application of a radio-acoustic sounding system (RASS): NOAA Technical Memorandum ERL WPL-230. Nat. Oceanic and Atmos. Admin. Environ, Res. Labs. Boulder, CO, 1993, 207 p.
4. Ситнік О.В., Карташов В.М. Радіотехнічні системи. Навч. посібник. Х.: Сміт, 2009. 448 с.
5. Kartashov V., Babkin S., Kartashov A., Pershyn Y. Development of the Atmosphere Radio-Acoustic Sounding Method in Ukraine and in the World in the Period of 1961-2000. 2023 IEEE 6th International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2023, 13–15 November 2023, Kyiv, Ukraine. pp. 372-376.