

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Андрія Анатолійовича ОНИЩЕНКА

“Фрактальний аналіз в методах дистанційного радіозондування геокосмосу”,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
зі спеціальності 01.04.03 – радіофізика

Підвищення інформативності із використанням методів фрактального та мультифрактального аналізів є важливою та необхідною задачею, оскільки це дозволяє ретельно вивчати навколишній простір та неордinarie поля в ньому.

Деякі процеси у геокосмосі, що спричиняють дію потужних нестационарних джерел енерговиділення, мають великомасштабний, а подекуди і глобальний характер. Вони можуть становити значну загрозу безпеці і навіть самому існуванню людської цивілізації. У зв'язку з цим, однією з найважливіших наукових проблем є проблема створення глобальної системи оперативного моніторингу стану геокосмосу. Побудова фізичної моделі таких процесів є важливим кроком до розв'язання цієї проблеми.

У відкритих, нелінійних, динамічних системах, до яких у складі геокосмосу належать системи Земля – атмосфера – іоносфера – магнітосфера та Сонце – міжпланетне середовище – магнітосфера – іоносфера – атмосфера – Земля, багато процесів, що спричинені дією потужних, нестационарних джерел енерговиділення, виявляються нелінійними, короткочасними, надширококутовими і фрактальними, відповідно до нелінійної та системної парадигми. Такі джерела енерговиділення можуть мати як природне походження (землетруси, вибухи вулканів, геокосмічні бурі, падіння крупних космічних тіл і т. ін.), так і штучне (старти ракет, ядерні та потужні хімічні вибухи, потужне нестационарне електромагнітне випромінювання і т. ін.). Для дослідження часо-частотної структури процесів використовуються сучасні методи, до яких належать, зокрема, вейвлет-аналіз, адаптивне перетворення Фур'є, системний спектральний аналіз тощо. З огляду на фрактальну парадигму, фрактальність (як і нелінійність) є фундаментальною властивістю навколишнього світу. Оскільки багато процесів у геосфері мають фрактальні властивості, для їх ретельного вивчення дуже важливим є застосування спеціальних методів аналізу, що дозволяють отримати унікальну інформацію про фрактальні властивості сигналів та процесів.

Особливо необхідним є вивчення за допомогою фрактального аналізу процесів, які спричинені явищами, що погрожують життю та здоров'ю людей, зокрема землетрусами, вибухами вулканів. Побудова фізичної моделі таких процесів може сприяти прогнозуванню, попередженню та зменшенню наслідків надзвичайних ситуацій.

Тема дисертації пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки, визначеними Верховною Радою України. Результати дисертації отримано автором дисертації у 2014 – 2022 рр. в рамках виконання **5 науково-дослідних робіт**, де він обіймав посаду **виконавця**.

Дисертаційна робота А. А. Онищенко присвячена підвищенню інформативності методів

дистанційного радіозондування для радіофізичних досліджень геокосмосу із використанням методів фрактального та мультифрактального аналізів. Враховуючи все сказане вище, **тема дисертаційної роботи є актуальною**. Під час дослідження отримано важливі результати, що мають **велике фундаментальне та прикладне значення**.

Всі результати, наукові положення та висновки дисертаційної роботи є **повністю обгрунтованими та достовірними**. Далі наведено декілька фактів у підтвердження цього.

1. Теоретичні результати базуються на відомих, фундаментальних положеннях радіофізики, що є експериментально підтвердженими.

2. Результати роботи отримано з застосуванням методів фрактального аналізу, що використовувався як для теоретичного дослідження модельних фрактальних сигналів, так і для дослідження реальних експериментальних даних; методів мультифрактального аналізу, що застосовувалися як для теоретичного вивчення модельних фрактальних і мультифрактальних сигналів, так і для вивчення сигналів і процесів, отриманих у методах дистанційного радіозондування геокосмосу; методів комп'ютерного моделювання, вейвлет-аналізу та Фур'є-аналізу, а також відповідають сталим уявленням про вигляд і параметри наведених даних.

3. Всі результати, отримані здобувачем, опубліковані у фахових наукових журналах, що видаються в Україні та за кордоном і мають зовнішнє незалежне рецензування. Вони також пройшли апробацію на міжнародних і українських наукових конференціях.

Слід зазначити, що всі результати, наукові положення та висновки є **новими**. Далі наведено найбільш значимі, на мій погляд, результати, отримані у цій дисертаційній роботі.

1. Розроблено новий комплексний метод фрактального аналізу – метод узагальненого фрактального аналізу, який за інформативністю значно перевищує решту існуючих методів монофрактального аналізу, оскільки він пропонує дослідження шістнадцяти характеристик замість традиційних двох-трьох подібних характеристик.

2. Розроблено алгоритми моно- та мультифрактального аналізу, які можуть бути корисними при застосуванні засобів фрактального та мультифрактального аналізів для моделювання та дослідження процесів у різних сферах науки і техніки.

3. З використанням розроблених алгоритмів проведено дослідження фрактальних характеристик реальних експериментальних даних, отриманих в методах дистанційного радіозондування геокосмосу. Проаналізовано унікальні реєстрації гравітаційних хвиль, інфразвукових хвиль, що виникли під час падіння Челябінського метеороїда, а також часові варіації електромагнітного поля Землі, що спостерігалися під час надпотужної геокосмічної бурі 7–8 вересня 2017 р. та потужного землетрусу у Туреччині 20 січня 2020 р., оцінено низку фрактальних і мультифрактальних характеристик відповідних сигналів і процесів.

У Списку використаних джерел наведено перелік наукових статей, зокрема статей здобувача, на яких базується дисертаційна робота. Він містить 7 статей А. А. Онищенко, що опубліковані у фахових наукових журналах України «Радіотехніка» (2 статті), «Problems of Atomic Science and Technology. Series 'Plasma Electronics and New Methods of Acceleration'» (Scopus, 2 статті), «Vestnik of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series Physics», у міжнародних наукових журналах «Journal of Natural Science and Technologies» і «Eskişehir

Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering (ESTUJST-A)», що рецензуються, додаткову наукову статтю, а також 12 тез доповідей наукових конференцій. Всі наукові роботи автора є оригінальними та не повторюють одна одну. Результати дисертаційної роботи повністю відображені в наведених наукових статтях, а також доповідались на вітчизняних і міжнародних конференціях.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

Наукова новизна дисертаційної роботи А. А. Опищенко полягає в тому, що в ній вперше створено комплексний метод фрактального аналізу сигналів і процесів – узагальнений фрактальний аналіз, який має унікальну інформативність: вперше розроблено метод фрактального аналізу – динамічний фрактальний аналіз, який встановлює зв'язок між фрактальним і часо-частотним аналізами; вперше запропоновано метод покращення точності числових характеристик, отримуваних у методах фрактального та мультифрактального аналізів – метод коригуючої функції; у рамках мультифрактального аналізу запропоновано набір нових числових характеристик, що є корисними й ефективними під час аналізу нестационарних (у сенсі фрактальних властивостей) сигналів і процесів, корисність застосування даних характеристик доведено з використанням аналізу як модельних, так і реальних сигналів і процесів; вперше з використанням створених нових методів фрактального та мультифрактального аналізів отримано унікальну інформацію про особливості фрактальної структури шквли процесів геоскосмосі, які є його реакцією на дію потужних, нестационарних джерел енерговиділення (гравітаційна хвиля, падіння Челябінського метеороїда, найпотужніа геоскосмічна буря, потужний землетрус), встановлено, що досліджені процеси належать до класу фрактальних надширококуглових; вперше виявлено характер дисперсійних спотворень високочастотних фрактальних надширококуглових сигналів, що виникають під час їх поширення у геоскосмосі.

Практична значимість роботи полягає в тому, що запропоновані автором методи узагальненого фрактального аналізу і динамічного фрактального аналізу є надпотужним інструментом детального дослідження фрактальних властивостей сигналів і процесів у найрізноманітніших галузях науки і техніки. Ці методи дозволяють виявляти певні збурення й отримувати оцінки їхніх параметрів і саме на основі цих оцінок проводити оптимальне дослідження фрактальних характеристик. Метод коригуючої функції сприяє підвищенню точності оцінок характеристик досліджуваних сигналів і процесів в методах фрактального та мультифрактального аналізів.

Розроблені автором нові моделі фрактальних, мультифрактальних і фрактальних надширококуглових сигналів, а також запропоновані нові мультифрактальні характеристики можуть бути корисними для розв'язання різноманітних задач в області фрактальної радіофізики, фрактальної радіолокації, фрактальної радіотехніки, фрактальних телекомунікації та зв'язку, а також при застосуванні засобів фрактального та мультифрактального аналізів для моделювання та дослідження процесів у геофізиці, біофізиці, медицині, біології, екології, астрономії тощо.

Запропоновані алгоритми проведення фрактального та мультифрактального аналізів

сигналів і процесів є корисними для практичного застосування спеціалістам у різноманітних галузях науки та техніки.

Отримана нова інформація про особливості фрактальної структури низької частоти процесів геокосмосу, які є його реакцією на дію потужних, нестационарних джерел енерговиділення вже застосовується для успішного розв'язання проблеми створення глобальної міжнародної системи оперативного моніторингу стану геокосмосу.

Використання досліджень А. А. Онищенка, на мій погляд, можливі та корисні в науковій роботі і для поширення нових знань в таких провідних вищих навчальних закладах України, як, наприклад, Харківський національний університет імені В. П. Караїпа, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Національний університет «Львівська політехніка», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харківський національний університет радіоелектроніки; для дослідження доквіли, явищ і процесів природного та штучного походжень – Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Радіоастрономічний інститут НАН України, Інститут іоносфери; для розв'язання спеціальних найважливіших прикладних задач – Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, Національний авіаційний університет, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Ці дослідження можуть також бути корисними для установ, що займаються розробкою нових матеріалів, а також для медичних наукових і лікувальних закладів.

Дисертаційна робота і автореферат А. А. Онищенка мають такі **недоліки та неточності**.

1. На стор. 68 у формулі (2.3) замість « $\log k$ » написано « $\ln k$ ».
2. На стор. 93 є опіски, які дещо утрудняють знайомство з результатами досліджень: у реченні «Результати відповідних обчислень наведено у табл. 2.6.» наведено «табл. 2.6» замість «табл. 2.5»; у наступному реченні наведено «табл. 2.5» замість «табл. 2.4». Така ж помилка є внизу стор. 93 у реченні «На жаль, використовуючи результати, наведені у табл. 2.6...»; наведено «табл. 2.6» замість «табл. 2.5».
3. На мою думку, було би логічніше переставити графіки на рисунках 2.9 і 2.10 так, щоб вони почиталися з $N=4096$ і закінчувалися $N=32$, тобто відповідно тому, як це викладено в тексті (а не навпаки, як це є на цих рисунках – спочатку $N=32$, а в кінці $N=4096$).
4. На стор. 100, очевидно, є опіска у реченні «Але з теорії сигналів добре відомо, що така операція є еквівалентною пропусканню сигналу через фільтр високих частот», тоді як операція децимації, про яку пише автор, рівнозначна застосуванню фільтра нижніх частот (перед цим реченням на тій самій сторінці написано: «Почнемо зменшувати N на кожному кроці вдвічі, використовуючи операцію децимації початкового сигналу.»).
5. На стор. 151 у підписі до рис. 3.1 не позначено модель до рис. 3.1, м; тоді як у тексті все докладно описано.
6. Рисунки 3.3 і 3.4 є однаковими, а саме, на рис. 3.4 наведено модель 2 замість моделі 3.

7. Деякі рисунки у дисертаційній роботі (наприклад, рис. 3.1) розташовані досить далеко від місця їх першого згадування, що утрудняє знайомство з результатами досліджень.

8. У роботі є ряд помилок здебільшого друкарських. Зокрема, на стор. 25 у реченні «Згідно з пеліційного та системного ...» є зайве слово «відповідно», на стор. 57 опіска у слові «величини», на стор. 66 зайве слово «розмірності», на стор. 76 опіска у слові «оцінювання», на стор. 179 написано «є діапазоні» замість «в діапазоні», на стор. 188 написано «Результаті» замість «Результати», на стор. 200 зайве слово «почаюся».

9. Автор мабуть забув висловити подяку своєму науковому керівнику та вченим, з якими він співпрацював.

Слід, однак, відзначити, що виявлені недоліки, неточності та зроблені зауваження, в цілому, не знижують значимість отриманих А. А. Опіщенко результатів і зовсім не усувають загального позитивного враження від дисертаційної роботи. Дисертацію написано гарною науковою мовою. В ній отримано нові обґрунтовані результати, а сама дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Автором розв'язано цілу низку важливих радіофізичних задач. Ним розроблено та вдосконалено методи, алгоритми фрактального і мультифрактального аналізів, моделі фрактальних і мультифрактальних сигналів, а також запропоновані нові мультифрактальні характеристики та корисні рішення, деякі з яких було впроваджено для дослідження процесів у геокосмосі, спричинених потужними, нестационарними джерелами енерговиділення. Результати роботи мають значну наукову і практичну значимість. Вони внесуть суттєвий вклад у подальше вдосконалення методів визначення характеристик довкілля та його дослідження.

Вважаю, що дисертаційна робота Андрія Анатолійовича ОНИЦЕНКА повністю відповідає всім вимогам, що висуваються до дисертацій кандидатського рівня, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

Провідний науковий співробітник
Інституту іоносфери
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



Леонід СМЕЛЬЯНОВ

Підпис Л. Я. Смельянова засвідчую
Заступник директора Інституту іоносфери



Людмила КОГТЯЄВА

Відступ одержано 06 жовтня 2023 р

Чесний секретар спецради

