

Рецензія

на дисертаційну роботу

Карташова Олександра Володимировича

на тему «**Методи адаптації систем радіоакустичного зондування атмосфери**»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність дисертаційної роботи

Необхідність отримання та аналізу інформації про стан атмосферних процесів у нижніх шарах атмосфери обумовлена потребами авіації, метеорології, служб контролю навколишнього середовища, а також складністю структури і мінливістю фізичних умов у даному висотному діапазоні. Традиційно для отримання необхідної метеорологічної інформації використовуються висотні метеорологічні щогли, балонні аеростати, кулі-зонди. Однак процес виконання вимірювань у цьому випадку є не досить оперативним і потребує значних економічних витрат, у зв'язку з чим в останні роки значна увага приділяється розвитку дистанційних способів вимірювання метеопараметрів: лазерних, радіолокаційних, акустичних і радіоакустичних.

Системи радіоакустичного зондування атмосфери (РАЗ) все ширше використовуються на практиці, тому що дозволяють отримувати досить повну інформацію про процеси, що відбуваються в атмосферному граничному шарі. Такий значний обсяг метеорологічної інформації вкрай важко отримати іншими відомими способами при тих самих чи порівнянних витратах. Перевагою радіоакустичного методу є його оперативність: однократне посилення звукового імпульсу в принципі дозволяє визначати профіль температури у всьому досліджуваному шарі. Іншими важливими перевагами методу є його досить висока завадозахищеність, обумовлена вузькосмуговістю спектра розсіяного сигналу, можливість ефективного функціонування за різних погодних умов, а також стабільність розсіяного сигналу незалежно від ступеня турбулізованості атмосфери.

Однак наявні сьогодні численні публікації з питань радіоакустичного зондування не можуть забезпечити повною мірою потреби фахівців, що займаються проектуванням, експлуатацією та метрологічною атестацією засобів зондування. Відомі публікації характеризуються певною радіофізичною спрямованістю та призначені, насамперед, для науковців, що вирішують завдання поширення та розсіювання хвиль в атмосфері, або ці публікації містять опис результатів натурних експериментів і існуючих систем, створених без достатнього теоретичного обґрунтування.

Побудова теорії методу РАЗ просувається важко, повільно і не закінчена дотепер. Питання, що стосуються побудови апаратури зондування, вибору видів зондувальних сигналів при проектуванні станцій, синтезу алгоритмів і пристроїв обробки прийнятих коливань розроблені ще явно не достатньо і стримують значною мірою подальший розвиток напрямку.

У зв'язку з цим дисертація Карташова О.В., присвячена удосконаленню систем РАЗ, розвитку теоретичних питань та розробленню практичних рекомендацій з поліпшення характеристик існуючих станцій, є актуальною і своєчасною.

Новизна і достовірність наукових результатів

У роботі отримано нові наукові результати, що полягають у розвитку системних принципів побудови систем РАЗ, удосконаленні математичної моделі інформаційного каналу, розробленні методу частотної адаптації, удосконаленні методу вимірювання швидкості звуку та алгоритму фільтрації сигналів. Прийняті коливання систем РАЗ описуються адекватними моделями, що відображають механізми перетворення сигналів у відповідних локаційних каналах. Це дає змогу ефективно досліджувати системи РАЗ з використанням різних видів зондувальних сигналів та здійснювати синтез оптимальних алгоритмів їх функціонування. Розроблені та вдосконалені в межах запропонованого підходу методи, моделі та алгоритми, а також отримані з їх використанням результати мають наукову новизну.

Одним із важливих наукових результатів дисертації є вдосконалена математична модель інформаційного каналу систем РАЗ, яка описує процес формування розсіяного сигналу та створює основу для дослідження та удосконалення методів функціонування таких систем. Особливістю використовуваної моделі є просторове подання сигналів, у якому незалежною змінною є не час, як це прийнято, а просторова координата. Такий підхід дав можливість урахувати зміни в структурі звукового сигналу, зумовлені властивостями середовища, і адекватно описати процес формування розсіяного сигналу в інформаційному каналі.

Модель ґрунтується на численних результатах експериментальних і теоретичних досліджень, наведених у науковій літературі. В асимптотичних випадках модель описує розсіювання хвиль на крапковій цілі або, при звуженні просторових спектрів зондувальних сигналів, зводиться до відомого твердження про розсіювання радіохвиль на синусоїдальних решітках неоднорідностей із просторовим періодом, що дорівнює половині довжини падаючої хвилі.

Удосконалені методи аналізу сигналів дозволили дослідити різні види випромінюваних акустичних і електромагнітних коливань, виявити їхні

особливості, що проявляються при взаємодії із середовищем, запропонувати новий метод обробки та виділення корисної інформації із прийнятих коливань.

Вперше виконано розробку ефективного методу частотної адаптації систем РАЗ до метеорологічної ситуації, що змінюється, з використанням адекватної моделі радіоакустичного інформаційного каналу і на основі теореми розділення, відомої з теорії оптимального стохастичного управління. Метод управління частотою зондувального радіосигналу включає послідовно виконувані операції формування оцінок інформаційного параметра розсіяного радіосигналу, оптимальної лінійної фільтрації отриманих оцінок і детермінованого управління частотою зондувального радіосигналу.

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним застосуванням положень теорії радіоакустичного зондування, статистичної теорії радіотехнічних систем, теорії стохастичного управління та оптимальної лінійної фільтрації, а також підтверджується узгодженістю результатів комп'ютерного моделювання з відомими теоретичними та експериментальними даними. Отримані автором результати дослідження властивостей зондувальних сигналів мають ясне фізичне трактування та не суперечать даним, опублікованим у науковій літературі. Запропоновані в роботі алгоритми обробки сигналів і моделі розсіювання хвиль узагальнюють раніше відомі моделі та алгоритми, які, як показано в дисертації, є їх окремими випадками.

Практичне значення результатів роботи

Практичну цінність результатів підтверджує їх упровадження в діяльність ТОВ «ЕТВ-Технологія», а також використання в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки. Розроблені методи та рекомендації можуть бути використані при створенні та модернізації сучасних систем радіоакустичного зондування атмосфери, зокрема станцій виробництва МЕТЕК, REMTEC, SCINTEC та BIRAL.

Основні практичні результати дисертації полягають у наступному:

- запропонована методика вимірювання профілів метеопараметрів з використанням розробленого методу частотної адаптації систем дистанційного радіоакустичного зондування дозволяє підвищити якісні показники систем та більш обґрунтовано і акцентовано використовувати отримані результати зондування при вирішенні різноманітних наукових та прикладних задач;

- використання в практиці зондування вдосконаленого методу обробки прийнятих сигналів дозволить підвищити якісні показники систем РАЗ, зокрема забезпечить підвищення точності оцінювання інформативних параметрів сигналів і метеорологічних параметрів атмосфери;

– запропонований метод частотної адаптації систем РАЗ до метеорологічної ситуації є перспективним при організації та проведенні екологічного моніторингу граничного шару атмосфери, в районах розміщення ТЕЦ, АЕС, великих майданчиків сховищ енергоносіїв (нафти, газу та ін.), де застосування контактних або авіаційних засобів вимірювання може бути обмеженим;

– за результатами моделювання показано можливість підвищення ефективності використання енергетичного потенціалу станцій РАЗ у десятки разів шляхом застосування розробленого методу керування частотою зондувального радіосигналу;

– застосування оптимального лінійного фільтра в системах РАЗ дозволяє отримувати оцінки, що мають значно менші значення випадкових та динамічних похибок, згладжувати миттєві значення температури і отримувати оцінки вертикального профілю температури при меншій кількості вертикальних зондувань, що зменшує час осереднення профілів і мінімізує помилки.

Отримані результати забезпечують підвищення ефективності функціонування систем РАЗ за рахунок скорочення часу зондування, ефективнішого використання енергетичного потенціалу станцій та підвищення дальності зондування, що підтверджує їх практичну значущість.

Аналіз змісту роботи

Дисертація складається з чотирьох розділів, в яких викладено отримані наукові результати. Структура дисертації логічна та послідовна. Актуальність дисертації обґрунтовано та відповідає проблематиці сучасного стану досліджень в області систем радіоакустичного зондування атмосфери. Всі подані матеріали цілком відповідають чинним вимогам до оформлення дисертаційних робіт.

У *вступі* подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет, розкрито наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено дані стосовно апробації та впровадження в практику результатів дослідження.

Перший розділ присвячений огляду літературних джерел за темою дисертації. Розглянуто наявні системи зондування, відомі методики вимірювання профілів метеопараметрів, стан науково-методичного апарату для синтезу та аналізу систем. Вибрано та обґрунтовано напрямок досліджень.

У *другому розділі* розроблено удосконалену послідовність проєктування структури та елементів структурної схеми систем РАЗ. Визначено основні задачі дослідження та оптимізації систем: синтез видів

векторних зондувальних радіо та акустичних сигналів; синтез алгоритмів обробки сигналів; розробка алгоритмів управління комплексом і адаптації до зовнішніх умов.

У третьому розділі виконано удосконалення і дослідження адекватної математичної моделі радіоакустичного інформаційного локаційного каналу для використання її в контурі управління частотою зондувального радіосигналу з метою адаптації систем РАЗ до наявної метеорологічної ситуації. Модель відрізняється використанням просторових хвильових частотних уявлень зондувальних акустичного та електромагнітного сигналів і дозволяє описати процес їх взаємодії в атмосфері та процес формування розсіяного радіосигналу.

У четвертому розділі розроблено ефективний метод частотної адаптації систем РАЗ до метеорологічної ситуації, що змінюється, з використанням адекватної моделі радіоакустичного інформаційного каналу і на основі теореми розділення, відомої з теорії оптимального стохастичного управління. Метод управління частотою зондувального радіосигналу включає послідовно виконувані операції формування оцінок інформаційного параметра розсіяного радіосигналу, оптимальної лінійної фільтрації отриманих оцінок і детермінованого управління частотою зондувального радіосигналу.

Синтезовано структуру та визначено параметри оптимального лінійного фільтра, що використовується для фільтрації оцінок вектора стану акустичного хвильового пакета в контурі адаптації. Досліджено різні види математичних моделей, що описують зміни інформаційного параметра в атмосфері в просторі та в часі. Запропоновано удосконалений метод вимірювання швидкості звуку в каналі частотної адаптації.

Результати проведеного моделювання показують, що синтезований комплексний алгоритм управління частотами зондувальних сигналів систем РАЗ дозволяє суттєво підвищити якісні показники систем – точність вимірювання профілів температури атмосфери та оперативність зондування.

У висновках зазначено, що в дисертації створена узагальнена теоретична база для розроблення методів адаптації систем РАЗ, спрямованих на забезпечення підтримки умови Бреґга під час поширення АХП в атмосфері.

В *додатках* до роботи надано акти впровадження результатів та список наукових праць автора.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація складається із вступу, 4-х розділів, висновків і 2-х додатків; структура побудови її логічна, матеріал викладається послідовно, продумано

та аргументовано. Мова дисертації відповідає сучасним вимогам наукової літератури; текст легко читається, містить, в основному, загальноприйняті терміни науково-технічної літератури. Оформлення дисертаційної роботи відповідає вимогам нормативних документів.

Основні наукові та практичні результати в достатній мірі висвітлені в опублікованих наукових працях – 9 статтях, 11 матеріалах конференцій, і добре відомі в середовищі фахівців.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Карташова Олександра Володимировича повністю відповідає напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка в Харківському національному університеті радіоелектроніки.

За результатами аналізу звіту про перевірку на текстові збіги та ознайомлення з дисертаційною роботою Карташова Олександра Володимировича не виявлено ознак порушення принципів академічної доброчесності. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Опублікування результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 20 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у періодичному науковому виданні, що проіндексоване у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus; 11 тез доповідей у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій, з яких 1 індексується в Scopus.

Публікації здобувача відповідають темі дисертаційного дослідження, відображають його основні наукові результати та свідчать про належний рівень апробації роботи. Особистий внесок здобувача у публікаціях, виконаних у співавторстві, відповідно задокументований та є суттєвим.

Принципи академічної доброчесності у наукових публікаціях дотримано. Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі вказано, що апріорна метеорологічна інформація може бути використана в процесі зондування атмосфери, але як саме інформація наземних метеорологічних датчиків може бути використана в роботі систем РАЗ, не конкретизовано.

2. У роботі використовуються різні визначення параметра q , що описує ступінь порушення умови Брегга.

3. Частина матеріалу щодо існуючих алгоритмів адаптації систем РАЗ повторюється у першому та четвертому розділах, що дещо збільшує обсяг роботи.

4. У роботі використовуються різні терміни для позначення одних і тих самих процесів або об'єктів: завада – перешкода, керування – управління. Не розглянуто також особливості вимірювання температури атмосфери системами РАЗ при похилому зондуванні, що супроводжується додатковими змінами в структурі звукового пакета.

Водночас наведені зауваження не знижують рівня обґрунтованості та значимості створених під час дисертаційних досліджень результатів. Відповідно вони не впливають на наукову та практичну цінність.

Загальна оцінка роботи, її відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота Карташова Олександра Володимировича на тему «Методи адаптації систем радіоакустичного зондування атмосфери» є закінченим науковим дослідженням, виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності. Сукупність отриманих теоретичних та практичних результатів розв'язує актуальну науково-прикладну задачу, що має істотне значення для галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною, об'ємом та змістом повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Карташов Олександр Володимирович за рівнем своєї підготовки та кваліфікації заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри медіаінженерії
та інформаційних радіоелектронних систем
Харківського національного університету
радіоелектроніки

Сергій ШЕЙКО