

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 64.051.02
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
доктору фізико-математичних наук
професору ШУЛЬЗІ С. М.
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4

ВІДГУК

офіційного опонента, професора кафедри озброєння радіотехнічних військ
факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
доктора технічних наук старшого наукового співробітника
ЗАЛЕВСЬКОГО Геннадія Станіславовича,
на дисертаційну роботу РУБАНА Вадима Петровича
за темою «Адаптоване стробоскопічне перетворення відеоімпульсних сигналів
у радіолокаційних системах»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

1. Актуальність дисертаційних досліджень

При виконанні багатьох задач зондування матеріальних середовищ, зокрема землі, елементів конструкції інженерних споруд тощо, серед датчиків, що функціонують на різних фізичних принципах, рядом переваг володіють радіолокаційні засоби. До основних таких задач слід віднести виявлення і ідентифікацію об'єктів у матеріальному середовищі (у першу чергу це стосується виявлення мін різних типів, встановлених у ґрунті), діагностику стану конструкцій інженерних споруд і дорожнього покриття, виявлення забруднень ґрунті. В залежності від необхідної глибини зондування, враховуючи загасання у різних матеріальних середовищах, зазвичай застосовуються радіолокатори, що використовують сигнали із довжинами хвиль від метрового до сантиметрового діапазонів.

Не зважаючи на те, що з 70-х років ХХ століття у області підповерхневої радіолокації досягнуто суттєвих успіхів, з появою цілого ряду радіолокаторів підповерхневого зондування як за кордоном, так і в Україні, ефективність виконання багатьох задач має підвищуватись. Зокрема до основних факторів, що ускладнюють процес підповерхневої радіолокації, слід віднести неоднорідність середовища розповсюдження, наявність у ґрунті (та інших матеріальних середовищах) сторонніх предметів. У зв'язку з цим дослідження, пов'язані із розвитком функціональних можливостей радіолокаторів підповерхневого зондування є актуальними.

Специфіка підповерхневої радіолокації полягає у тому, що як правило відстань від антенної системи радіолокатору до межі поділу діелектричних середовищ або до об'єкту локації, а також відстань між шуканим об'єктом і межею поділу, можуть складати від 3-х метрів до декількох сантиметрів. Зазначене зумовлює необхідність застосування при підповерхневому зондуванні надширококутових (НШС) сигналів, що мають високу розділяючу здатність за повздовжньою координатою. Крім того сигнали із широким спектром дозволяють здійснювати ідентифікацію шуканих об'єктів за відбитими сигналами.

Ще одним фактором, що знижує ефективність застосування радіолокаторів підповерхневого застосування є слабка радіолокаційна контрастність неоднорідностей (об'єктів), що підлягають локації, що пов'язано із невеликими відмінностями електрофізичних параметрів шуканих об'єктів (неоднорідностей) і оточуючим середовищем. Головним чином це стосується задач пошуку дефектів (пустот) у дорожніх покриттях і стінах, забруднень ґрунту. До слабкоконтрастних об'єктів також відносяться безкорпусні міни і міни у пластиковому корпусі. Крім того застосовуються міни електрофізичні параметри яких, підбираються під конкретний тип ґрунту. Зазначене вище зумовлює жорсткі вимоги до якості відтворення відбитого підповерхневим об'єктом (неоднорідністю) сигналу. Для підвищення інформативності у приймальній пристрої підповерхневого радіолокатору необхідно розділяти сигнали від слабкоконтрастних неоднорідностей.

Основну увагу фахівців у області підповерхневої радіолокації у останній період приділялось розвитку методів обробки прийнятих сигналів, які можуть бути реалізованими на базі спецобчислювачів. Сучасні швидкодіючі аналого-цифрові перетворювачі не забезпечують достатньої точності відтворення НШС радіолокаційних сигналів – імпульсів наносекундної (субнаносекундної) тривалості. Тому у випадку підповерхневої НШС радіолокації застосовується стробоскопічне перетворення. Крім того задачі, напряду пов'язані із виділенням сигналів, які слабо відрізняються за часом запізнення і за амплітудою залишаються невирішеними. У зв'язку із зазначеним вище тема дисертаційної роботи Рубана В. П. «Адаптоване стробоскопічне перетворення відеоімпульсних сигналів у радіолокаційних системах» є **актуальним дисертаційним дослідженням**. Отримані ним результати будуть затребувані при визначенні шляхів розвитку радіолокаторів підповерхневого зондування.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами і пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки

Дисертаційна робота Рубана В. П. безпосередньо пов'язана із дослідженнями в інтересах розвитку вітчизняних засобів підповерхневої радіолокації відповідно до тематики Національної академії наук України. Результати дисертаційної роботи увійшли до звітів з 10 науково-дослідних робіт, 3 з яких госпрозрахункові, у тому числі одна за міжнародним договором («Ground penetrating radar to control soil structure under the surface (GPR «ODYAG»). Development and Delivery» Contract of International Research Cooperation). Крім того результати досліджень увійшли до звітних матеріалів

проектів міжнародного співробітництва: «Активні і пасивні мікрохвилі для безпеки і підповерхневого зондування» Сьомої рамкової європейської програми (номер проекту PIRSES-GA-2010-269157) та «Голографічний та імпульсний радар підповерхневого зондування для виявлення наземних мін і саморобних вибухових пристроїв» програми НАТО «Наука заради миру та безпеки» (номер проекту G 5014).

Таким чином, результати дисертаційних досліджень Рубана В. П., спрямовані на вирішення важливої наукової задачі створення зразків радіолокаторів підповерхневого зондування, пов'язані із науковими програмами Національної академії наук України та важливими міжнародними проектами.

3. Аналіз змісту дисертаційної роботи

Повний обсяг дисертаційної роботи Рубана В. П. становить 182 сторінки і складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 111 найменувань, і додатків. Основний зміст дисертації викладений на 144 сторінках (3 сторінки повністю займають рисунки).

У вступі автором обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, визначено ряд невирішених завдань, які стоять перед розробниками радіолокаторів підповерхневого зондування, наведено мету і завдання досліджень, а також об'єкт, предмет та методи досліджень. Наводяться відомості щодо отриманих наукових і практичних результатів, особистого внеску здобувача у дисертаційну роботу, апробації та публікацій отриманих результатів, а також відомості про зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі аналізуються особливості процесу приймання (реєстрації) НШС імпульсу, використання стробоскопічного перетворення, побудова сучасних стробоскопічних перетворювачів, їх режими роботи. Наводиться огляд основних характеристик стробоскопічних перетворювачів, також аналізуються складові шумів перетворювачів. Проведений детальний аналіз дозволив автору обґрунтувати напрямок дослідження, пов'язаний із зниженням загального рівня шумів стробоскопічного перетворювача, приведених до входу приймальної системи, і розширення динамічного діапазону НШС імпульсних радіолокаторів підповерхневого зондування.

Слід зазначити, що у даному розділі доцільно було б коротко провести порівняльний аналіз радіолокаторів ближньої дії, які застосовують у якості зондувального сигналу короткі імпульси і багаточастотні сигнали (з подальшим стисненням за повздовжньою координатою), навести недоліки і переваги кожного з методів.

У другому розділі аналізується вплив параметрів стробоскопічного перетворення (тривалості вибірки, кроку дискретизації, нестабільності синхронізації, періоду стробування) на якість відтворення прийнятого сигналу. За допомогою математичної моделі досліджено параметри усереднення у часовому вікні з метою згладжування перетвореного сигналу (зменшення шумів перетворення). На підставі отриманих даних моделювання обґрунтовано, що для збереження радіолокаційної інформації у сигналі при застосуванні згладжування випадкових шумових відхилень амплітуди сигналу необхідно коректне задавання тривалості вікна усереднення.

Разом з цим слід відзначити, що для більш чіткого розуміння параметрів згладжування у даній частині роботи доцільно було б навести частотні спектри відбитого сигналу і шумів перетворення.

У результаті проведеного аналізу процесу стробоскопічного перетворення імпульсних сигналів при використанні вибірок різної тривалості у роботі обґрунтовано критерій для визначення максимально припустимої тривалості вибірки, при якій форма імпульсу спотворюється у припустимих межах.

Далі у другому розділі досліджено вплив аналогового накопичення сигналів на характеристики стробоскопічного перетворювача. Показано, що аналогове накопичення дозволяє розширити робочу смугу частот стробоскопічного змішувача. За даними моделювання отримано критерій, який вказує на можливість аналогового накопичення у змішувачі. Розширення смуги частот перетворювача показано як при застосуванні математичної моделі, так і при фізичному моделюванні.

У цьому ж розділі досліджено вплив нестабільності синхронізації (джитера синхронізації) на якість відтворення сигналу при стробоскопічному перетворенні. Запропоновано удосконалений метод оцінювання джитера для стробоскопічного перетворення з неповним зарядом накопичувальної ємності.

На закінчення другого розділу проведено фізичне моделювання стробоскопічного перетворення при різних тривалостях вибірок сигналу, що обробляється, а також при застосуванні аналогового накопичування.

Відповідність результатів чисельного моделювання та експериментальних досліджень доводить правильність обраної математичної моделі стробоскопічного перетворювача.

У третьому розділі досліджуються питання можливості адаптації тривалості вибірки при стробоскопічному перетворенні. У розділі проаналізовано особливості імпульсних сигналів, що розповсюджуються у дисперсійних середовищах із загасанням на різну глибину. Обґрунтовано доцільність збільшення тривалості вибірки при перетворенні сигналів, відбитих від підповерхневих об'єктів (неоднорідностей ґрунту), що знаходяться на більшій глибині. Такий підхід дозволяє підвищити чутливість приймача до слабких сигналів, що надходять з більшої глибини, і при цьому зберегти високу роздільну здатність і точність визначення координат об'єктів на малих глибинах. Зміна тривалості вибірки досягається регулюванням тривалості стробімпульсу у перетворювачі. Крім того можливо здійснювати і аналогове накопичення вибірок і як наслідок розширювати робочу смугу частот стробоскопічного приймача.

Для експериментального дослідження параметрів стробоскопічного перетворення зі змінною тривалістю вибірки у роботі розроблено керований генератор стробімпульсів. Наведені результати експериментів (рис. 3.17, с. 138 дисертації) доводять, що запропоновані у дисертації технічні рішення дозволяють підвищити якість відтворення прийнятого сигналу при стробоскопічному перетворенні.

У четвертому розділі розглядається застосування розроблених Рубаном В. П. методів і створених на їх основі стробоскопічних перетворювачів у НШС імпульсних радіолокаційних системах різного призначення.

У розділі показано ефективність аналогового накопичення при виявленні слабкоконтрастних об'єктів. Фізичні експерименти проводились для трьох різних робочих полос частот стробоскопічного приймача. Результати описаних експериментів доводять ефективність застосування стробоскопічного перетворювача з адаптованою тривалістю вибірки і змінним аналоговим накопиченням при виявленні слабкоконтрастних об'єктів.

У четвертому розділі також наведено опис фізичних експериментів із застосуванням розробленого стробоскопічного перетворювача з адаптацією тривалості вибірки при реалізації методу мікрохвильової томографії для вирішення завдань пошуку та ідентифікації підповерхневих об'єктів. Наведені результати, отримані шляхом оптимізації тривалості вибірки в стробоскопічному перетворювачі, свідчать про достатньо високу якість відтворення прийнятого імпульсу при реалізації методу мікрохвильової томографії для обробки георадіолокаційної інформації.

Згідно описаних у четвертому розділі результатів фізичних експериментів георадар «ОДЯГ», розроблений із застосуванням стробоскопічного перетворювача з розширеним динамічним діапазоном і малим джитером, та доповнений відповідним програмним забезпеченням, показав достатньо високу точність визначення товщини конструктивних шарів дорожнього покриття. Таку точність досягнуто завдяки незначним викривленням радіолокаційних сигналів у стробоскопічному приймачі георадара.

У розділі продемонстровано переваги застосування НШС імпульсних електромагнітних сигналів для вимірювання характеристик антенних систем. Висока розділяюча здатність НШС радіолокатора за дальністю дозволяє проводити компенсацію заважаючих сигналів від оточуючих предметів. Високу точність вимірювань досягнуто за рахунок великого динамічного діапазону НШС імпульсного реєстратора на базі створеного стробоскопічного перетворювача.

У висновках дисертаційної роботи викладені найбільш важливі наукові і практичні результати, отримані автором.

У додатки винесені список публікацій здобувача за темою дисертації, у тому числі і дані щодо апробації, а також документи, які згідно з текстом дисертації підтверджують реалізацію (використання) результатів Рубана В. П. у різних проектах, пов'язаних зі створенням радіолокаторів підповерхневого зондування.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, їх достовірність

Отримані автором результати відповідають теорії радіолокації, зокрема щодо питань зондування матеріальних середовищ. Помилкові з математичної точки зору розрахункові вирази не виявлені. Математичні моделі, що застосовуються автором, правильно відображають фізичні процеси, що спостерігаються при розглянутих у дисертації процесах прийому та стробоскопічного перетворення сигналів у НШС імпульсних радіолокаторах і

дозволяють підвищити інформаційні можливості радіолокаторів, що розглядаються. Прийняті у роботі спрощення і наближення обґрунтовані.

Достовірність основних наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується результатами фізичних експериментів, наведених у дисертаційній роботі.

5. Наукова новизна дисертаційної роботи

У дисертаційній роботі Рубана В. П. вирішена актуальна науково-технічна задача, пов'язана із зменшенням рівня шумів і розширення динамічного діапазону стробоскопічних перетворювачів. Вирішення даної задачі дозволяє підвищити якість первинної обробки сигналів у НШС імпульсних радіолокаторах, зокрема більш якісно здійснювати ідентифікацію підповерхневих об'єктів на фоні неоднорідностей оточуючого середовища і сторонніх предметів.

До основних наукових результатів, отриманих автором у дисертаційній роботі, необхідно віднести наступне.

5.1. Вперше запропоновано метод стробоскопічного перетворення зі змінюваною тривалістю вибірки, що дозволило розширити динамічний діапазон стробоскопічного приймача на 22,3 дБ.

5.2. Отримав подальший розвиток метод аналогового накопичення для приймачів стробоскопічного типу. Перевага запропонованого рішення у порівнянні з відомими полягає у тому, що при застосуванні стробоскопічного перетворювача з неповним зарядом накопичувальної ємності аналогове накопичення призводить до зменшення часу наростання перехідної характеристики перетворювача і до розширення робочої полоси частот приймача на 80% при 10-ти кратному накопиченні.

5.3. Удосконалено метод визначення нестабільності синхронізації (джитера) за амплітудними помилками, який ґрунтується на аналізі амплітудних помилок перетвореного сигналу. У запропонованому методі на відміну від відомих дійсню амплітуду сигналу розраховують за двома сусідніми вибірками, враховуючи коефіцієнти передачі та втрат змішувача стробоскопічного перетворювача. Запропонований метод дозволяє коректно оцінювати джитер синхронізації приймачів зі стробоскопічними перетворювачами, що функціонують у режимі з неповним зарядом накопичувальної ємності.

5.4. Уперше запропоновано в георадіолокаційній системі метод адаптації параметрів стробоскопічного перетворення. Застосування розробленого методу забезпечило підвищення імовірності виявлення підповерхневих об'єктів з близькими до середовища електрофізичними параметрами, а також дозволило за результатами зондування відновити просторовий розподіл діелектричної проникності та провідності середовища, а також визначити товщину шарів дорожнього покриття з точністю не гірше, ніж 5 мм.

6. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

У якості найбільш вагомих практичних результатів слід зазначити, що розроблені методи адаптованого стробоскопічного перетворення розширюють

динамічний діапазон стробоскопічних приймачів і, як наслідок, дозволяють підвищити точність результатів НШС імпульсних радіолокаційних вимірювань.

Про практичне значення результатів досліджень Рубана В. П. додатково свідчить їх використання:

у проекті № G5014 «Holographic and impulse subsurface radar for landmine and IED detection», що виконувався за програмою НАТО «Наука заради миру та безпеки»;

у НШС імпульсних георадарів серії «ОДЯГ» (розроблених для Харківського національного автомобільно-дорожнього університету з метою використання у дочірньому підприємстві Укравтодору «Дор'якість») для визначення товщини шарів дорожнього одягу з точністю не гірше, ніж 5 мм;

у проекті «Active and Passive Microwaves for Security and Subsurface Imaging» Сьомої рамкової європейської програми PEOPLE-2010-IRSES FP7 для тестування методів мікрохвильової томографії відновлення підповерхневої структури ґрунту;

в елементах НШС імпульсних вимірювальних систем, створених в Інституті радіофізики та електроніки імені О. Я. Усикова Національної академії наук України в рамках науково-дослідної роботи «Радіолокаційний моніторинг технічного стану підповерхневої частини інженерних споруд», що виконувалась за Цільовою комплексною програмою наукових досліджень Національної академії наук України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»;

в елементах «Радіолокаційної системи для спостереження за переміщенням об'єктів за стінами», що була створена відповідно до цільової науково-технічної програми наукових досліджень Національної академії наук України «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави».

7. Області можливого використання результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи Рубана В. П. можуть бути використаними при створенні перспективних радіолокаторів підповерхневого зондування, у тому числі при створенні системи виявлення і ідентифікації мін різних типів для Збройних Сил України.

Організаціями, зацікавленими у використанні результатів дисертаційних досліджень Рубана В. П., можуть бути:

підприємства Державного концерну УКРОБОРОНПРОМ;

підприємства і науково-дослідні установи, пов'язані із розробкою НШС радіолокаторів цивільного призначення для діагностування стану дорожніх покриттів, інженерних конструкцій, виявлення забруднень ґрунту нафтопродуктами;

Також отримані результати можуть бути використані і впроваджені:

спеціалізованими науково-дослідними інститутами, які займаються розробкою зразків інженерного озброєння та їх складових частин, озброєння та військової техніки для Сухопутних військ Збройних Сил України;

науково-дослідними установами, у яких ведуться дослідження, пов'язані із радіолокаційним зондуванням матеріальних середовищ;

навчальними закладами, які готують фахівців для Сухопутних військ Збройних Сил України, Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Державного агентства автомобільних доріг України.

8. Публікації і апробації результатів дисертаційної роботи, повнота їх викладу

Основні результати дисертаційної роботи Рубана В. П. викладено у розділі колективної монографії (обліковується у наукометричній базі Scopus) і 6 наукових статтях (з них 3 – у міжнародних виданнях, що обліковуються Scopus і Web of Science) та патенті України. Наукові результати опубліковано у матеріалах 9 наукових конференцій (з них – 7 обліковуються Scopus).

Таким чином, основні результати дисертації досить повно опубліковані, апробовані і відомі фахівцям. Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень і вимоги до кількості публікацій відповідають встановленим вимогам.

9. Оформлення і відповідність змісту автореферату та дисертаційної роботи

Оформлення, стиль і мова викладу, обсяг дисертаційної роботи, її структура відповідають встановленим вимогам. Запропоновані рішення викладені аргументовано. Роботу подано з коректним використанням науково-технічної термінології. Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертаційної роботи.

10. Зауваження по дисертаційній роботі і автореферату

Окрім зауважень, наведених у розділі 3 відгуку, слід відмітити наступні.

10.1. Запропонований у третьому розділі дисертаційної роботи метод адаптації тривалості вибірки при стробоскопічному перетворенні базується на тому, що сигнал відбитий від підповерхневого об'єкту (неоднорідності ґрунту) на невеликій глибині, має достатньо велику амплітуду. На мій погляд при адаптації доцільно враховувати і малі амплітуди відбитого сигналу. Прикладом джерела відбитого сигналу малої амплітуди може бути такий слабконтрастний об'єкт, як діелектрична міна під шаром дерну.

10.2. У висновках до розділу 3 (с. 139 дисертації) вказано, що запропонований метод адаптації тривалості вибірки при стробоскопічному перетворенні «дозволяє розв'язати задачу зменшення динамічного діапазону сигналів, що реєструються стробоскопічним способом». У цьому випадку для кращого сприйняття доцільно говорити про розширення динамічного діапазону приймального пристрою із стробоскопічним перетворювачем.

10.3. У дисертаційній роботі і авторефераті мають місце деякі стилістичні неточності. Зокрема на с. 68 дисертації замість терміну «чисельно математичне моделювання» краще вживати «математичне моделювання». При описі досліджень джитера синхронізації оскільки йде мова про процес

необхідно замість «метод оцінки джитера» вживати «метод оцінювання джитера» (с. 97 дисертації, назва пункту 2.3.2; с. 10 автореферату).

11. Висновки

Зазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку роботи. Представлена Рубаном В. П. дисертаційна робота за темою «Адаптоване стробоскопічне перетворення відеоімпульсних сигналів у радіолокаційних системах» є завершеною науковою працею, яка виконана автором самостійно на високому науковому рівні. У дисертаційній роботі сформульовано і вирішено актуальну науково-технічну задачу зниження загального рівня шумів стробоскопічного перетворювача, приведених до входу приймальної системи, і розширення динамічного діапазону НШС імпульсних радіолокаторів, що призведе до підвищення якості первинної радіолокаційної обробки у таких радіолокаторах. Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи. За змістом і оформленням дисертаційна робота і автореферат відповідають вимогам п.п. 9, 11, 12-14 "Порядку присудження наукових ступенів". За своєю тематичною спрямованістю дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Рубан Вадим Петрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Професор кафедри озброєння радіотехнічних військ
факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
доктор технічних наук старший науковий співробітник


Геннадій ЗАЛЕВСЬКИЙ

Підпис професора кафедри озброєння радіотехнічних військ факультету
радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного
університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, доктора технічних наук,
старшого наукового співробітника Залевського Г. С., ЗАСВІДЧУЮ.

Заступник начальника Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба з навчальної роботи
Заслужений діяч науки і техніки України
доктор технічних наук професор


Костянтин ВАСЮТА



Відгук овершано 24.02.2021р

Вчений секретар спецради

