

Голові спеціалізованої вченої ради Д26.861.01

Толубко В.Б.

Державний університет телекомунікацій

03680, м. Київ, вул. Солом'янська, 7.

ВІД'УК

офіційного опонента директора навчально-наукового інституту інформаційних технологій і механотроніки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка доктора технічних наук, доцента

ЩУЛЬГИ Олександра Васильовича

на дисертаційну роботу ІВАНІЧЕНКА Свєнена Вікторовича на тему:
"Методика підвищення завадозахищеності каналів зв'язку із складними видами завад на основі нелінійних методів цифрової обробки сигналів",
яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрой та засоби телекомунікацій

Актуальність обраної теми. Питання оптимального прийому сигналів в умовах складної завадової обстановки постійно були предметом інтенсивних досліджень фахівців по радіотехнічним системам. Це пояснюється як постійно зростаючими вимогами до якісних характеристик радіосистем, з одного боку, так і безперервним ускладненням завадової обстановки - з іншого. Остання обставина викликана високою завантаженістю частотного діапазону і просторовою концентрацією радіотехнічних систем, що ускладнює проблему їх електромагнітної сумісності, а також безперервним вдосконаленням теорії та техніки постановки комплексу завад.

В умовах дії комплексу різновідніх високопотенційних завод створення заводостійких радіосистем вимагає використання у повній мірі усіх ознак сигналу для виявлення, фільтрації і вимірювання параметрів. У зв'язку з цим, розвиток теорії оптимального прийому на тлі перешкод супроводжувався ускладненням моделей спостерігаємих процесів, в яких все більш повно враховувалися їх суттєві характеристики.

Найбільший розвиток отримала кореляційна теорія заводостійкого прийому, що була розвинена В. А. Котельниковим, К. Шенюном і іншими. У цій теорії використовуються виключно спектральні характеристики процесів, що пояснюється достатньотою ефективністю обліку спектральних відмінностей на початковому етапі розвитку радіосистем. Логічним розвитком теорії і техніки заводостійкого прийому сигналів є перехід до нелінійної обробки сигналів, яка враховує відмінності в амплітудному розподілі сигналів і завад.

Широкий спектр завдань, що виникають при обробці сигналів, стимулював появу різноманітних теоретичних методів і підходів, серед яких найбільш універсальним і конструктивним показав себе метод опису процесів, що

спостерігаються змінами стану. Засновниками цього напрямку є Р.Л. Стратоновіч, який створив теорію марковської фільтрації, а також Р. Калман, і Р. Бьюсі. Подальший розвиток цього напрямку розширив область додатку нелінійних динамічних систем до різних завдань обробки сигналів.

Разом з тим, складність опису негауссовських сигналів і нелінійних систем перешкоджала їх широкому застосуванню. Вирішенню цієї проблеми сприяли запропоновані у свій час Ю.Г. Сосуліним і Т.Кайлатцем оціночно-кореляційний і оціночно-кореляційно-компенсаційний підходи, що дозволяють синтезувати структурно-інваріантні системи обробки сигналів. Структурна інваріантність зберігається на досить широкому класі сигнально-завадових ситуацій і охоплює практично всі завдання обробки сигналів.

Незважаючи на високу ступінь узагальнення, досягнуту в оціночно-кореляційно-компенсаційному підході, його використання як методології у науково-технічних дослідженнях, а також як концепції при створенні систем обробки сигналів, не отримало відповідного поширення, що не дозволяє реалізувати потенційну ефективність. Це пояснюється складністю використованого математичного апарату, а також тим, що технічні завдання, що вирішувались раніше могли бути з усіхм вирішенні іншими методами.

У даний час нові практичні завдання зробили нагальною потребою розвиток і конкретизацію даного методу: обробка сигналів з урахуванням нелінійності приймального і передавального тракту, компенсація комплексу завад з урахуванням спектральних, тимчасових, просторових і амплітудних характеристик, підвищення ефективності обробки сигналів з урахуванням їх спотворень у нелінійних системах завадозахисту, подолання апріорної невизначеності щодо характеристик комплексу завад, забезпечення стійкості систем нелінійної адаптивної компенсації завад.

Розглянутий у дисертації напрямок досліджень пов'язаний з розробкою алгоритмів і пристройів завадостійкої обробки сигналів у складній сигнально-завадовій обстановці. Можливості тут далеко не вичерпані, так як у даний час у повному обсязі властивості сигналів і завад враховуються при обробці сигналів. Це пояснюється як статистичною апріорною невизначеністю щодо характеристик сигналів і завад, так і складністю одержуваних алгоритмів. Одним з перспективних методів підвищення завадостійкості є компенсація завад що є складовою частиною оціночно-кореляційно-компенсаційного алгоритму обробки сигналів.

Розвиток сучасних теорій і техніки дозволяє реалізувати просторово-часову обробку сигналів, у тому числі і негауссовських, що призводить до нелінійних пристройів обробки. Разом з тим, недостатньо вивченим залишається питання синтезу нелінійних алгоритмів обробки полів, що пояснюється відсутністю технічних засобів, що дозволяють реалізувати оптимальну нелінійну і одночасно безперервну по простору обробку полів. Тому актуальні завдання представлення безперервного по простору негауссовського поля його дискретними по простору відміками і розробки оптимальних алгоритмів обробки з урахуванням такого представлення.

Компенсація завад нерозривно пов'язана із подоланням статистичної апріорної невизначеності щодо параметрів завад. Одним з основних методів

подолання статистичної априорної невизначеності с адаптація - аналіз завадової обстановки і підстроювання параметрів компенсатора відповідно до результатів аналізу. При розробці адаптивних компенсаторів комплексу завад виникає проблема забезпечення стійкості системи адаптивного підстроювання їх параметрів при зміні сигнально-завадової обстановки.

Тому, розглянутий автором комплекс завдань, є спрямованим на актуальне наукове завдання, що спрямоване на підвищення якості функціонування та завадостійкості радіотехнічних систем у складній завадовій обстановці.

Загальна характеристика дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження та вирішення задач, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, викладена загальна характеристика роботи. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок автора, а також публікації за темою дисертації. Представлено структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі**, у пункті 1.1 виконано аналіз моделей і імовірностіх характеристик адитивних завад у каналах зв'язку. По результатам аналізу, стас зрозумілим що як для апроксимації реальних завад, так і для синтезу алгоритмів демодуляції оптимальними моделями є квазідетерміновані моделі феноменологічного типу для імпульсних завад та квазігармонічні для зосереджених завад . Наведено, що чітка границя між зосередженими та імпульсними завадами - відсутня, та більшість негаусівських завад можливо аналізувати як завади проміжного типу, які також можуть бути зображені як радіоімпульси з високочастотним заповненням та можуть бути апроксимовані моделями цих типів.

Аналіз відомих моделей придушення завад, а саме лінійний метод – неможливо практично реалізувати. Ефективність всіх нелінійних методів цифрової обробки сигналів, змінюється при зміні амплітуди та тривалості сигналу. Ефективними засобами придушення негаусівських завад, при передачі дискретних повідомлень є – безінерційні нелінійні перетворення, наприклад режекція.

Продемонстровано, доцільність використання методів роздільного придушення завад, у конкретних умовах. Для чого, суміші сигналів повинна бути промодульованою, для збільшення різниці між завадою та залишковою сумішшю сигналу, та іншого виду завади.

У **другому розділі**, у результаті виконаного аналізу встановлено, що нелінійні попередні спотворення суміші сигналів є одним з найбільш ефективних шляхів підвищення ефективності методів селекції сигналу та завади. Для вузькосмугових завад, та завад проміжного типу, такі преселектуючі перетворення доцільно виконувати у частотній області.

З'ясовано те, що таким вимогам у максимальній мірі задоволяє нелінійне перетворення яке описує зміну імпульсу у середовищі з розподіленими параметрами, та які забезпечують ефект стиснення імпульсів певної амплітуди

без зміни основної суміші. Такому перетворенню присутня фазова характеристика, яка залежить від еволюції огинаючої суміші.

Також були отримані теоретичні оцінки ступеня стиснення спектрів імпульсів різноманітних форм, у результаті яких було виявлено, що найбільшому стисненню піддаються імпульси спектри яких мають секанс-гіперболічну або дзвонувату форму.

Розглянуті питання стійкості нелінійного перетворення до різноманітних флюктуацій вхідного сигналу. На їх основі отримано умови для ефективного стиснення спектру.

Отримано кількісні оцінки ефективності придушення складних завад, за допомогою використання описаного нелінійного спектрального перетворення. Продемонстровано, що навіть при багатьох апроксимаціях та округлень в розрахунках мова може йти про ефективність цього перетворення при придушенні негаусівських зосереджених завад.

У **третьому розділі**, доведено, що описана методика придушення складних завад у частотній області, може зображенісь у вигляді простої дискретної моделі, яка складається з лінійних та нелінійних операторів.

Показано, що методика без складної реалізується за допомогою цифрової обробки сигналів у вигляді цифрового нелінійного фазового фільтра, що під час розробки цих алгоритмів, використовувались інвидодіючі алгоритми ортогональних перетворень Фур'є та Френеля.

Представлений удосконалений метод оптимізації параметрів нелінійного фазового фільтра для імпульсу з детермінованими параметрами, який забезпечує оптимальний по критерію мінімуму середньої ймовірності помилкового прийому символу вибір параметрів лінійної та не лінійної частини фільтра.

Також у розділі був розроблений підхід статичної оптимізації нелінійного фазового фільтра для стиснення спектрів випадкових завад.

Отримали вираз для густини ймовірності спектру суміші на виході селекуючого блоку, на основі якого було зроблено заключення, що оптимальним методом селекції в спектральній області є – режекторний фільтр.

У **четвертому розділі**, доведено, що розглянуті раніше у другій главі теоретичні, та у цій главі практичні оцінки були отримані для найбільших відомих типів заважаючих факторів, які впливають на реальні канали зв'язку.

Оцінка вказує на те, що розроблена методика має суттєву енергетичну перевагу при придушенні зосереджених завад з негаусівською статистикою у порівнянні з іншими методами, які розглянуті були у цій главі. Окрім цього, нелінійні перетворення які використовуються у методиці та забезпечують селекцію сигналів та завад, не потребують великої кількості апріорної інформації. Це дозволяє узагальнити методику до класу завад проміжного типу, найбільш поширені в сучасних системах передачі та каналах зв'язку.

Доведено, що перетворення також дозволяє використовувати технології роздільного придушення завад. Внаслідок цого, воно може ефективно використовуватись для придушення завад як зосереджених, так і імпульсних з негаусівською статистикою.

Ступінь обґрутованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Ступінь обґрутованості

наукових положень підтверджується науковою обґрунтованістю теоретичних положень, коректним використанням результатів аналізу факторів, які впливають на підвищення завадостійкості системи прийому дискретних повідомлень по критерію – середньої вірогідності прийняття помилкового сигналу, при проведенні теоретичних досліджень і побудові адекватних математичних моделей, що дозволило врахувати специфіку їх застосування; коректністю виведення математичних залежностей для формулювання актуального наукового завдання; узгодженістю з наявними результатами інших авторів, опублікованими у вітчизняй і зарубіжній літературі; даних про їх успішне практичне застосування.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Достовірність одержаних результатів, які захищаються здобувачем, висновків і рекомендацій підтверджується їх співставленням з відомими положеннями теорії статистичних рішень, нелінійних радіопристрій, статистичної теорії зв'язку, математичного моделювання, теорії ймовірності, теорії функцій та функціонального аналізу, а також методами обчислювальної математики та статистичного моделювання.

Новизна отриманих наукових результатів.

1. Удосяконалено, методику придушення складних негаусовських завад, яка на відміну від відомих використовує преселектуюче нелінійне спектральне перетворення у частотній області. Це дозволило отримати ефективний засіб селекції сигналів і вузькосмугових завад та завад проміжного типу.
2. Вперше запропоновано реалізацію удосяконаленої методики у вигляді дискретної моделі цифрового нелінійного фазового фільтру і алгоритму цифрової обробки сигналів з використанням швидких алгоритмів ортогональних перетворень;
3. Удосяконалено метод параметричної оптимізації нелінійного фазового фільтру для імпульсу з детермінованими параметрами, який на відміну від існуючого по критерію мінімуму середньої ймовірності помилкового прийому символу, забезпечує оптимальний вибір параметрів лінійної та нелінійної частини фільтра.
4. Вперше розроблено програму моделювання прийому дискретних повідомлень у каналі із негаусовськими завадами з використанням нелінійного фазового фільтру, на основі якого проведено комп’ютерне статистичне моделювання.

Практична значимість дисертаційних досліджень. Удосяконалено, на основі запропонованого нелінійного спектрального перетворення методика придушення складних негаусовських завад проміжного типу була прийнята до практичного використання у навчальному процесі Державного університету телекомунікацій та на Державному підприємстві «Центральне конструкторське бюро «Протон».

Результати, що представлені у другій та четвертій главах дисертаційної роботи, прийняті для практичного використання у наступних напрямках:

- проектування радіорелейних ліній зв'язку пропускною здатністю до 10 Гбіт/сек при малому відношенні сигнал/завада;
- моделювання багатоточкової мережі радіодоступу пропускної здатності 54 Мбіт/сек з послугами гарантованої якості обслуговування;
- тестування каналів зв'язку, які створені по окремим лініям у кабелях з низькими експлуатаційними показниками.

За підсумками проектних робіт та результатів статичного моделювання, приймаються наступні рішення: про доцільність використання досліджуваного середовища передачі та технологічний резерв системи передачі.

Використання результатів відповідних заходів дозволяє прогнозувати очікувану зміну характеристик досліджуваних каналів та підбирати оптимальне апаратне рішення.

Розроблене програмне забезпечення моделювання прийому дискретних повідомлень у каналі із складними завадами та алгоритм цифрової обробки сигналів, які реалізують описану методику придушення завад, та які було запропоновано у Державному підприємстві «Центральне конструкторське бюро «Протон» під час розробки програмних комплексів.

Програмний комплекс, в свою чергу, використовується зазначеною компанією для роботи у наступних напрямках:

- проектування мереж радіодоступу з пропускною здатністю 250 Мбіт/с, реалізованих на обладнанні Rucks ZoneFlex;
- моделювання передачі по абонентським цифровим лініям зв'язку, з пропускною здатністю від 40 до 70 Мбіт/с, які побудовані як за допомогою кабельного з'єднання, так і по радіоканалам в умовах складної завадової обстановки.

Практичне використання і впровадження результатів роботи підтверджено відповідними актами, наведеними у лодатках.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.

Наукова новизна безсумнівна та достатня для кандидатської дисертації. Всього опубліковано у наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 12 наукових праць: 6 наукових статей, з яких 1 зареєстровано у міжнародних наукометрических базах даних, та опубліковано 4 доповіді на міжнародних науково-практических і науково-техніческих конференціях (семінарах) різного рівня. Результати дослідження увійшли до 1 звіту про виконання науково-дослідної роботи та 1 навчального посібника.

Дисертація є завершеною науковою роботою. Її обсяг, структура, зміст і оформлення відповідають вимогам ВАК України, що висуваються до кандидатських дисертацій. Робота відповідає паспорту спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. Представленій до розгляду автореферат загалом відповідає змісту дисертації та відображає основні наукові результати дослідження.

Недоліки роботи.

Поряд з позитивними сторонами дисертаційного дослідження варто зробити наступні зауваження:

1. При розгляданні у другому розділі дисертації методики придушення зосереджених завад автором було стверджено, що одним з головних питань було обрання преселектуючого перетворення, яке у свою чергу повинно забезпечувати збільшення розбіжностей між спектрами сигналу та завади по ширині і амплітуді.

Враховуючи той факт, що забезпечити цю вимогу використовуючи будь-яке лінійне перетворення не можливо, по причині того, що в силу принципу суперпозиції воно однаково діє і на сигнал, і на заваду, а також, нелінійні безінерційні перетворення теж не дозволяють вирішити цю задачу, залишається не з'ясованим, яким чином автором була реалізована ця вимога.

2. Незрозуміло, з чим пов'язане значне спотворення огинаючої прямокутного імпульсу після етапу стискання та відновлення спектру, зображеного на рис. 2.2 (п. 2.2).

3. Незрозуміло, виходячи з чого автором було зроблено висновок, що здійснене ним допущення стосовно того, що на інтервалі, який був проаналізований, присутній тільки спектр тільки однієї зосередженої завади, тобто вірогідність появи двох і більш імпульсів дуже мала, не порушує загальність розрахунків (2.29), (п.2.3).

4. У третьому розділі автором здійснюється пошук зміни тривалості імпульсу. Залишається не з'ясованим, чому для цього були обрані саме прямокутна і гаусівська форми імпульсу? (п.3.3).

5. З дисертаційної роботи не з'ясовано, яким чином отриманий закон зміни тривалості імпульсу при стисканні його спектру за допомогою преселектуючого перетворення може вплинути на отримані залежності зміни пікової потужності спектру імпульсу.

Вказані недоліки безумовно знижують якість роботи, але не є визначальними для оцінки отриманих результатів та висновків у цілому.

Загальні висновки.

1. Дисертація Іваніченка Є.В. є суттєвим кроком уперед у науковому відношенні, і обумовлює продовження дослідження у заявленому напрямку. Разом з тим, робота є завершеною науковою працею, у якій отримані нові наукові положення та науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальні наукові завдання, яке полягає у підвищенні завадозахищеності каналів зв'язку із складними видами завад на основі розробки нових більш ефективних методів нелінійної обробки сигналів у спектральній області. і цілком відповідає вимогам «Паспорту» спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

2. Теоретичні викладки включають розроблені базові та концептуальні математичні моделі у складі її структурної та функціональної частини, щодо розробки та дослідження нової найбільш ефективної методики підвищення завадостійкості каналів зв'язку із складними видами завад на основі нелінійних методів цифрової обробки сигналів, що визначено метою дисертаційного дослідження. Таким чином, поставлені наукові завдання вирішенні у повному обсязі, мета дослідження досягнута.

3. Автореферат повністю відображає зміст та основні положення дисертації.

4. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає п. 9, 10 та 12 вимог «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, ІВАНІЧЕНКО Світлана Вікторович, заслужує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 - радіотехнічні пристрой та засоби телекомунікацій.

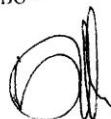
Директор навчально-наукового інституту
інформаційних технологій і механотроніки
Полтавського національного технічного
Університету імені Юрія Кондратюка
доктор технічних наук, доцент

 О.В. ШУЛЬГА

Підпис директора навчально-наукового інституту інформаційних технологій і
механотроніки Полтавського національного технічного університету
імені Юрія Кондратюка
доктора технічних наук, доцента ШУЛЬГИ О.В. засвідчує

Перший проректор – проректор з науково –
педагогічної роботи
доктор технічних наук, доцент



 Б.О.КОРОБКО