

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КЛОБУКОВ Віталій Віталійович



УДК 517.518.34

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДОПЛЕРІВСЬКОГО
ВИМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ НА ЕТАПІ ОБРОБКИ ВХІДНОГО СИГНАЛУ**

05.12.13 – «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій»

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електроніки, робототехніки, технологій моніторингу та Інтернету речей Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки та техніки України,
лауреат державної премії України
Білецький Анатолій Якович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри електроніки, робототехніки і
технологій моніторингу та Інтернету речей

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Климаш Михайло Миколайович
Національний університет «Львівська
політехніка»,
завідувач кафедри телекомунікацій

кандидат технічних наук, професор
Дробик Олександр Васильович
Державний університет телекомунікацій,
директор наукового центру

Захист відбудеться “28” вересня 2021 року о 13⁰⁰ годині, ауд. 6.205 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 у Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий “20” серпня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19
доктор технічних наук, доцент



Р. С. Одарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Для забезпечення соборності, незалежності і державного суверенітету, Україна повинна підвищувати рівень економічного і промислового потенціалу держави та покращувати рівень народного добробуту. Одним із напрямків такої діяльності є забезпечення інфраструктури України засобами сучасного швидкісного зв'язку та засобами аеронавігації та радіолокаційними комплексами.

Розвиток сучасних радіолокаційних комплексів, направлений на підвищення точності визначення координат і швидкостей цілей, вимагає підвищення продуктивності систем обробки радіолокаційних сигналів. У той же час підвищення кількості та потужності пристроїв, що працюють на високих і надвисоких частотах, створює додаткові перешкоди, що посилюють перешкоди, створювані відбитим сигналом і природними електромагнітними коливаннями. Цей факт, в свою чергу, вимагає посилення перешкодозахищеності радіолокаційних комплексів, що забезпечується не тільки збільшенням потужності зондуючого випромінювання, удосконаленням апаратної частини радіолокаційних станцій, але і алгоритмами обробки зашумленого сигналу, що сприяє відділенню корисного сигналу від шуму.

Одним з сімейств методів фільтрації корисного сигналу є сімейство алгоритмів, заснованих на аналізі спектра прийнятого сигналу.

Ці методи мають на увазі прийом сигналу і перетворення його з метою отримання його ж спектра в одному з базисів. Після цього параметри прийнятого сигналу оцінюються за допомогою аналізу не самого сигналу, а аналізу його спектра. Далі операція аналізу спектру прийнятого сигналу буде називатися узагальненим перетворенням Фур'є.

Окремим випадком узагальнених перетворень Фур'є класичні перетворення Фур'є. У разі дискретної обробки сигналів базисом класичних перетворень Фур'є виступає набір дискретно-експоненційних функцій (ДЕФ). Цей базис отримав широке застосування в багатьох галузях техніки, пов'язаних з обробкою сигналу. Радіолокація не стала винятком. Головними факторами популярності базисів ДЕФ для обробки радіолокаційних сигналів стали гармонійний характер багатьох сигналів, які використовуються в радіолокації, і поява цифрових методів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Перший фактор через те, що базисні ДЕФ теж мають гармонійний характер, забезпечує високу концентрацію енергії сигналу в околицях одного або декількох вихідних частотних каналів процесора ШПФ. Другий фактор дозволяє виконувати класичні перетворення Фур'є зі швидкістю, з якою легко справляються сучасні обчислювальні системи.

Однак базис Фур'є є далеко не єдиним базисом, в якому можливі ортогональні перетворення. Зокрема, базис функцій Віленкіна – Крестенсона (ВКФ) забезпечує більш високу швидкодію при виконанні ШПФ, ніж базис ДЕФ. Крім того, цей базис не накопичує похибки округлення, що дає базис ДЕФ при великих обсягах вибірки. Тому дослідження даного базису з метою застосування його для спектрального аналізу радіолокаційних сигналів є актуальним і перспективним.

При вирішенні визначеного в дисертаційній роботі завдання автор у своїх дослідженнях спирався на праці вітчизняних і зарубіжних вчених, які зробили значний внесок у розвиток теорії обробки радіолокаційних сигналів. А саме: Віленкін Н. Я., Chrestenson Н.Е., Білецький А.Я., Тараканов А.В., Малоземов В.Н., Банкет В.Л., Козелков С. В., Бойко Ю.М., Клімаш М.М.,

Аналіз наукових досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених показав, що завданням підвищення точності оцінки частоти дискретно-експоненціального сигналу, заснованого на спектральному аналізі в базисі функцій Віленкіна – Крестенсона не приділяється достатньої уваги.

Розв'язання вказаного завдання передбачає розробку методу та на його основі алгоритму оцінки частоти дискретно-експоненціального сигналу, заснованого на

спектральному аналізу в базисі функцій Віленкіна – Крестенсона. В свою чергу розроблений алгоритм вимагає оцінки ефективності цього методу і порівняння його з ефективністю методу, заснованого на швидкому перетворенні Фур'є в базисі дискретно-експоненційних функцій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження відповідає вимогам статті 5 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11 липня 2001 року № 2623-III (зі змінами та доповненнями від 29.01.2021 р.), пункту першого розділу другого «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2021 року», затвердженого Постановою КМУ від 7 вересня 2011 р. № 942.

Дослідження проведено в межах науково-дослідної роботи: «Методологія розроблення високоточних динамічних модульних систем багатоальтернативного виявлення, розпізнавання та класифікації об'єктів» (ДР №0117U004333), та «Структурно-параметричний синтез і розроблення технології побудови геліоенергетичних стратосферних платформ з адаптивно-нейронним керуванням» (ДР №0120U01989), у яких автор був співвиконавцем.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності роботи доплерівського вимірювача швидкості на етапі обробки вхідного сигналу.

Для досягнення поставленої мети і вирішення зазначеної проблеми необхідно вирішити наступні наукові задачі:

- провести аналіз існуючих методів обробки інформації, заснованих на ШПФ в базисі ВКФ;
- розробити метод синтезу базисів ВКФ із заданими параметрами;
- розробити алгоритми ШПФ в будь-яких базисах ВКФ із заданими параметрами;
- розробити математичну модель сигналу, що приймається на тлі шуму (в загальному випадку небілого), як складову методу оцінки частоти доплерівського сигналу методом спектрального аналізу в базисах ВКФ;
- розробити методи оцінки частоти зашумленого сигналу, що забезпечують необхідну ймовірність правильної оцінки при заданій максимальній ймовірності помилкової тривоги;
- здійснити перевірку ефективності отриманих методів.

Об'єктом дослідження є процес оцінювання частоти дискретно-експоненціального сигналу, що приймається на тлі адитивної корелятивної перешкод доплерівським вимірювачем швидкості.

Предметом дослідження є методи оцінки частоти сигналу, засновані на спектральному аналізі в базисі ВКФ.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі нові наукові результати й висновки отримані на єдиній методологічній основі математичного аналізу й синтезу складних технічних систем. Використовувалися сучасні і класичні методи теорії сигналів і систем, методи спектральної теорії, методи теорії інваріантності, методи математичного й системного аналізу, методи теорії зв'язку, теорії ймовірності і математичної статистики.

Вірогідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, обґрунтовано коректним використанням математичного апарату та моделюванням на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів. У процесі теоретичних досліджень і моделювання у дисертаційній роботі одержані наступні нові наукові результати, а саме:

1. *Вперше розроблено* метод формування дочірніх симетричних базисних систем, в якому на відміну від існуючих, синтезовано зв'язок дискретно - експоненційних функцій, функцій Уолша і функцій Віленкіна – Крестенсона, що надає змогу забезпечити більш високу швидкодію при виконанні ШПФ, в порівнянні з базисом ДЕФ.
2. *Удосконалено* метод обчислення значень порогів рішення при прийомі сигналу, що приймається на тлі однозв'язного марківського шуму, в базисах ВКФ і ДЕФ, що надає

зможу забезпечити імовірнісні характеристики оцінки частоти доплерівсько-імпульсного сигналу.

3. *Вперше розроблено* метод ізоморфного представлення дискретних базисів ВКФ, який дозволив перейти від комплексно-значних компонентів базису до їх модулярних цілочисельних еквівалентів, що істотно спростило як аналіз, так і синтез алгоритмів обробки сигналів в цих базисах;

4. *Удосконалено* метод індикаторних матриць який за рахунок виключення процедур факторизації матриць ВКФ і Уолша при синтезі алгоритмів ШПФ, дозволяє синтезувати повну безліч базисів ВКФ (в тому числі і базисів Уолша) із заданими параметрами.

Практичне значення одержаних результатів у галузі розробки та створення радіолокаційних систем супутникових телекомунікацій полягає у тому, що запропоновані в дисертаційній роботі методи у поєднанні з алгоритмами їх застосування забезпечують підвищення ефективності роботи доплерівського вимірювача швидкості на етапі обробки вхідного сигналу.

1. Розроблено методику оцінки дисперсії квадратур гармонік при спектральному аналізі корельованого шуму в різних базисах. Дана методика може знайти практичне застосування в пристроях вимірювання параметрів радіолокаційних сигналів для визначення порогів рішення при прийомі сигналу, що приймається на тлі однозв'язного марківського шуму, в базисах ВКФ і ДЕФ, при умові забезпечення необхідні імовірнісні правильної оцінки частоти сигналу.

2. Розроблено метод оцінки частоти доплерівського сигналу методом спектрального аналізу в базисах ВКФ. Метод може бути використаний в пристроях радіолокації для оцінки швидкості руху цілі.

3. Встановлено, що базиси ВКФ для досягнення тієї ж ймовірності вірної оцінки частоти, що і базиси ДЕФ, вимагають більшого на 2 – 3 дБ відношення сигнал/шум за потужності, ніж базиси ДЕФ. Базиси ВКФ вимагають значно менше, до одного порядку, машинного часу при здійсненні операції ШПФ, ніж базиси ДЕФ. Базиси ДЕФ можуть бути успішно замінені базисами ВКФ, при умові підвищення потужності зондуючого випромінювання. При цьому швидкість обробки радіолокаційних даних, завдяки застосуванню базису ВКФ може зрости до трьох і більше разів.

Практична цінність роботи підтверджена актами реалізації основних результатів дослідження у навчальному процесі Національного авіаційного університету, і актами впровадження в науково-технічну діяльність, державного підприємства «Завод 410 Цивільної авіації» та комунального підприємства Міжнародний аеропорт «Київ» (Жуляни). У додатку до дисертаційної роботи представлені документи, що підтверджують практичне використання результатів дисертаційної роботи.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення та результати дисертації отримані автором самостійно. Особисто автором здійснена розробка загальної концепції дисертації, вибір об'єктів, визначено мету та задачі роботи, обрано та обґрунтовано методи досліджень.

В дисертаційній роботі узагальнено результати досліджень, виконаних автором самостійно і опублікованих одноосібно в роботах [20,39] та в співавторстві в роботах [1-19,21-38]. Усі наукові результати, що подаються до захисту, одержано особисто автором, наукові статті, опубліковані у фахових виданнях, відповідають вимогам як за назвою, так і за змістом.

В наукових публікаціях у співавторстві автору належать: провідна роль у виборі та обґрунтуванні напрямку досліджень, постановка задачі на різних етапах виконання роботи, аналіз та інтерпретація одержаних результатів. В дисертаційній роботі не використовувалися ідеї та розробки, що належать співавторам, з якими опубліковано наукові праці.

У опублікованих у співавторстві роботах автором дисертації зроблено такий особистий внесок. В [1] подано особисто розроблені математичні залежності часного алгоритму упорядкування базисних функцій Уолша. В [2] подано математичні залежності та на їх основі отримані результати дослідження базисів Віленкіна – Крестенсона. В [3] подані результати синтезу та аналізу трикутно-симетричних функцій. В [4] обґрунтовано наукове завдання та подано матеріали стосовно аналізу літератури відповідно наукового завдання статті. В [5] подано технологію інтеграції гібридної хмарної обчислювальної системи. В [6] подано матеріал стосовно аналізу нейронних мереж. В [7,8,9] обґрунтовано наукове завдання та подано матеріали стосовно аналізу літератури відповідно наукового завдання статті. В [10] проведено порівняльний аналіз обчислювальної ефективності швидкого перетворення Фур'є в дискретних експоненціальних функціях та базах функцій Віленкіна – Крестенсона. В [11] викладено аспекти синтезу базисних систем Віленкіна – Крестенсона. В [12,13] подано результати досліджень комбінаційних пристроїв з складу радіотехнічних систем. В [14,15] обґрунтовано наукове завдання та подано матеріали стосовно аналізу літератури відповідно наукового завдання статті. В [16] проведено аналіз статистичних характеристик дельта-модульованого сигналу. В [17] проведено аналіз цифрових інтегральних мікросхемах щодо обробки великих масивів інформації. В [18,19] проведено дослідження щодо упорядкування функції Уолша та модифікації базиса матеріально - уявних функцій. В [21] наведено аналітичний метод виміру частоти сигналу радіотехнічного пристрою. В [22] подано матеріал стосовно аналізу технології пасивних оптичних мереж. В [23] визначені особливості застосування технології радіопередачі даних при побудові конвергентних телекомунікаційних мереж. В [24,25,26] обґрунтовано наукове завдання та подано матеріали стосовно аналізу літератури відповідно наукового завдання статті. В [27] подано матеріали дослідження протоколів побудови маршрутів в мережах METRO ETHERNET. В [28] подано матеріал аналізу критеріїв продуктивності корпоративних конвергентних мереж. В [29,30] обґрунтовано застосування віртуальної локальної мережі. В [31] подано матеріали віртуалізація робочих станцій на базі програмного забезпечення з відкритим програмним кодом. В [32] подано матеріали стосовно аналізу сучасних інформаційних (технологічних) платформ для створення систем електронного документообігу. В [33] розглянуто та подано аспекти розвитку бездротових мереж передачі даних. В [34] подано основні принципи розгортання автоматизованих мереж. В [35] обґрунтовано основні принципи електронного уряду. В [36,37] подано матеріали стосовно електронного документообігу в межах розвитку електронного урядування. В [38] проведено базовий аналіз стандартів безпроводної передачі даних.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації, які одержані в ході роботи, апробовані та оприлюднені в ході: Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2000», Національний авіаційний університет, 2000; II Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2000», Національний авіаційний університет, 2001; II Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми й перспективи розвитку ІТ-індустрії», Харківський національний економічний університет, Харків, 18 – 19 листопада 2010 г.; V Всесвітнього конгресу "Авіація у XXI столітті" - "Безпека в авіації та космічні технології", 2012; XII International Scientific and Practical Conference "Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends", 2021.

Крім того, основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації також апробовано на міжкафедральному семінарі Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету.

Публікації. Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано в 39 наукових працях. У томи числі: в 2 наукових статтях у періодичних наукових виданнях держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу, з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію; в 9 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до

“Переліку наукових фахових видань України”; в 28 тезах доповідей та матеріалах конференцій, з них дві опубліковано одноосібно.

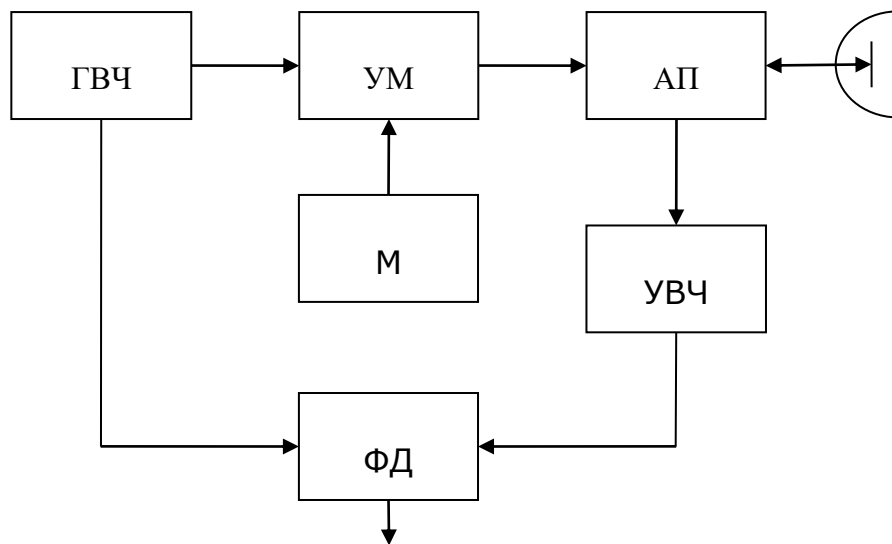
Структура дисертації та її обсяг. Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків і має 152 сторінки основного тексту, 46 рисунків та таблиць, 17 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 105 найменувань і займає 9 сторінок. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 180 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, сформована наукова проблема, вирішенню якої присвячене дослідження, обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульована мета та задачі досліджень, розкритий зв'язок роботи з науковими планами та програмами, показана наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, відзначений особистий внесок автора, наведені дані про апробацію та практичне впровадження, публікації та структуру роботи.

У першому розділі на основі опрацьованих літературних джерел проведено аналіз особливостей оцінки частоти в доплерівських вимірювачах швидкості. Визначено, що розвиток сучасних радіолокаційних комплексів, направлений на підвищення точності визначення координат і швидкостей цілей, вимагає підвищення продуктивності систем обробки радіолокаційних сигналів. У той же час підвищення кількості та потужності пристроїв, що працюють на високих і надвисоких частотах, створює додаткові перешкоди, що посилюють перешкоди, створювані відбитим сигналом і природними електромагнітними коливаннями.

Розгляд роботи доплерівського вимірювача швидкості в роботі проведено відносно схеми Рис. 1.



До системи обробки радіолокаційних даних

Рис. 1 – Схема доплерівського вимірювача швидкості

Встановлено, що існуючі методи оцінки частоти вхідного сигналу доплерівським вимірювачем швидкості мають ряд недоліків та невідповідностей. До таких віднесено: наявність перешкод, що впливають на кількість переходу частоти гармонійного сигналу через «0»; вузька смуга прийому вхідного сигналу при використанні частотних та амплітудних детекторів; при спектральному аналізі широкосмугового сигналу наявність

перешкод приводить до перерозподілу енергії між спектральними коефіцієнтами та до зміщення центру ваги енергетичного спектру. Що не прийнятно для вузько смугового сигналу. Відмічено, що загальним завданням оцінки параметрів сигналу є оцінка амплітуди, фази та частоти сигналу на фоні дії перешкод та завад. В якості моделі прийнятої послідовності сигналів доплерівським вимірювачем швидкості в роботі прийнята модель, що описана виразом (1)

$$\dot{x}(l) = \dot{s}_g(l) + \dot{\omega}_M(l), \quad (1)$$

Де $\dot{s}_g(l)$ – корисний вхідний сигнал;

$\dot{\omega}_M(l)$ – однозв'язний марківський ланцюг гаусівських випадкових величин.

В розділі визначено, що виявлення в прийнятій послідовності $\dot{x}(l)$ корисного сигналу $\dot{s}_g(l)$ та оцінка нормованої частоти на фоні пливу перешкод та завад проводиться за допомогою аналізу відліків спектру отриманих на входах процесора узагальнених дискретних перетворень Фур'є (ДПФ). Що передбачає застосування класичного тригонометричного базису Фур'є, при переведення сигналу з тимчасової області в частотну. Відмічено, що іншими базисами, поширеними при обробці сигналів, є базиси Уолша, базиси дискретно-косінусних перетворень та ін. При цьому на даний момент широкого застосування в техніці не знайшли базиси Віленкіна – Крестенсона функцій.

В розділі визначено, що для досягнення мети роботи необхідно: розробити ефективні алгоритми синтезу базисів ВКФ із заданими параметрами; розробити алгоритми ШПФ в будь-яких базисах ВКФ із заданими параметрами; розробити методи оцінки частоти зашумленого доплерівсько-імпульсного сигналу, що забезпечують необхідну мінімальну ймовірність вірної оцінки при заданій максимальній ймовірності помилкової тривоги; перевірити ефективності отриманих методів. У якості критерію ефективності базису при оцінці частоти сигналу в розділі обґрунтовано відношення сигнал/шум за потужністю, що забезпечує необхідну ймовірність вірної оцінки при ймовірності помилкової тривоги, що не перевищує максимально допустиму задану величину.

Вирішення зазначених питань є суттю подальших досліджень, що визначають мету та задачі, які вирішуються в даній дисертаційній роботі.

У другому розділі проведено синтез базисних систем функцій Віленкіна – Крестенсона. Наведено матричну інтерпретацію базисів ДЕФ, функцій Уолша і функцій ВКФ. Показано, що базиси ДЕФ і Уолша є окремими випадками базисів ВКФ. Запропоновано алгоритми формування дочірніх симетричних базисних систем ДЕФ, функцій Уолша і ВКФ. Наведені аналітичні описи фундаментальних систем Уолша і ВКФ. За допомогою складових кодів Грея показано взаємозв'язок між симетричними системами функцій Уолша порядку $N=8$. За допомогою складових кодів Грея показано взаємозв'язок між симетричними системами ВКФ з параметрами $m=3$ та $n=2$.

При синтезі дочірніх структур ДЕФ використано аналітичний дискретний класичний базис Фур'є (2)

$$f_k(l) = e^{-j\frac{2\pi}{N}kl} \quad (2)$$

Впорядкована множина його функцій подана в вигляді матриці на Рис.2. Встановлено, що матриця Рис.2 є N періодичною.

$$\{f_k(l)\} \Rightarrow E_8 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} & / \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccccc} W^0 & W^0 & W^0 & W^0 & W^0 & W^0 & W^0 & W^0 \\ W^0 & W^1 & W^2 & W^3 & W^4 & W^5 & W^6 & W^7 \\ W^0 & W^2 & W^4 & W^6 & W^8 & W^{10} & W^{12} & W^{14} \\ W^0 & W^3 & W^6 & W^9 & W^{12} & W^{15} & W^{18} & W^{21} \\ W^0 & W^4 & W^8 & W^{12} & W^{16} & W^{20} & W^{24} & W^{28} \\ W^0 & W^5 & W^{10} & W^{15} & W^{20} & W^{25} & W^{30} & W^{35} \\ W^0 & W^6 & W^{12} & W^{18} & W^{24} & W^{30} & W^{36} & W^{42} \\ W^0 & W^7 & W^{14} & W^{21} & W^{28} & W^{35} & W^{42} & W^{49} \end{array} \right] & \end{matrix}$$

Рис. 2 – Матриця дочірніх структур ДЕФ

Для обрахунку формування вказаної матриці запропоновано систему виразів (3) для довільного двоїчного - раціонального порядку.

Рекурентні алгоритми формування строк базисних матриць ДЕФ для любых N подано виразами (4) та (5).

Початкові умови для формування строк визначаються виразом (6).

$$\left. \begin{aligned} W^{l+kN} &= W^l, l = \overline{0 \dots N-1}, k = 0, 1, 2, \dots \\ W^{\frac{N}{2}+l} &= -W^l, l = \overline{0 \dots \frac{N}{2}-1} \end{aligned} \right\} f_k(l) = (f_1(l))^k \quad (3)$$

$$\text{– парні строки } f_{2k}(l) = f_k(\text{mod}_N(2l)), k \geq 1, l = \overline{0 \dots N-1}; \quad (4)$$

$$\text{– непарні строки } f_{2k+1}(l) = f_{2k}(l)f_1(l), k \geq 1, l = \overline{0 \dots N-1}. \quad (5)$$

При початкових умовах:

$$f_1(l) = \begin{cases} W^l, l = \overline{0 \dots \frac{N}{2}-1}; \\ -W^{\text{mod}_{N/2}(l)}, l = \overline{\frac{N}{2} \dots N-1}. \end{cases} \quad (6)$$

$$f_0(l) = 1, l = \overline{0 \dots N-1}$$

На основі застосування вказаних виразів (2)–(6) сформовано правило, яке дозволяє синтезувати множину симетричних матриць ДЕФ для любого заданого порядку N , вираз (7).

Правило синтезу множини симетричних матриць ДЕФ для заданого порядку N :

$$f_k(l) = f_1(\text{mod}_N(kl)) \quad (7)$$

Для оцінки застосовності вказаного правила була вибрана материнська матриця та синтезована до симетричної матриці ДЕФ восьмого порядку. Результати розрахунку параметра k на елементи множини материнської матриці, взяті по модулю 8 подано в таблиці 1.

Синтезовано симетричні дочірні структури Уолша.

Для його здійснення застосовувався метод індикаторних матриць які мають властивість встановлювати відповідність між номером K базисної функції системи ВКФ і номером строки матриці нової системи ВКФ.

Для оцінки кількості симетричних матриць ВКФ в роботі запропоновано вираз (9)

$$m,n = L_{m,1} \prod_{i=2}^n (m^i - \text{mod}_2(i)) \quad (9)$$

В роботі отримано повний ансамбль симетричних матриць ВКФ при визначених кодах Грея (m) та порядку матриці (n)

На Рис. 4 подано ансамбль симетричних матриць ВКФ при $m = 3$ $n = 2$.

Який включає часткові варіанти матриць ДЕФ та функцій Уолша.

Таким чином отримано алгоритм формування базисних дочірніх систем ДЕФ, функцій Уолша та ВКФ

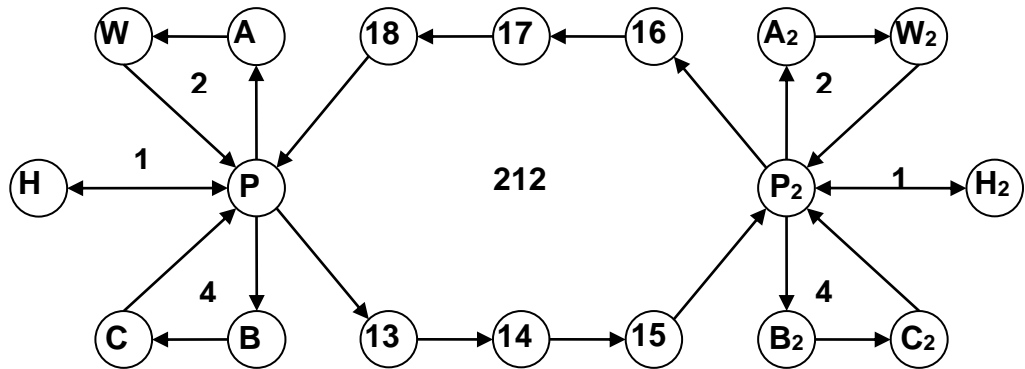


Рис. 4 – Ансамбль симетричних матриць ВКФ при $m = 3$ $n = 2$

У третьому розділі розроблено та представлено алгоритми формування графів ШПФ в базисах ВКФ. Для цього використовувався метод ізоморфного представлення дискретних базисів ВКФ. Реалізація методу ізоморфного представлення дискретних базисів ВКФ в роботі подана в вигляді моделей швидкого перетворення Фур'є для різних материнських та дочірніх симетричних базисних систем.

Для синтезу графа ШПФ в базисі ДЕФ в роботі подано ступені фазообертаючого множника W , Рис 5. при виконанні умови (10).

В розділі одержано та подано систему графів ДЕФ. Один з варіантів – граф 8-ми точеного в базисі ДЕФ подано на Рис.5.

В даному випадку вказаний граф уявляє собою графічну інтерпретацію операції помноження двомірного вектора на матрицю розміром 2×2 .

Аналіз вказаного Графу показує, що відліки вхідного сигналу розташовуються на входах графа ШПФ довічно інверсійному порядку.

При синтезі в базисах ВКФ було враховано, матриці ДЕФ є складовими функції ВКФ.

В роботі показано, що алгоритм 16-ти очкового перетворення ШПФ представляє собою двох етапну процедуру перетворення, кожний етап якої здійснюється чотирма 4-х точеними графами ШПФ в базисі ДЕФ.

Його інтерпретація дозволила синтезувати та подати в роботі структурні схеми процесора ШПФ в базисі ВКФ.

Один з варіанті такого процесора подано на Рис.8.

Для синтезу алгоритмів ШПФ в роботі подано базиси Уолша

Вид якого подано на Рис.9.

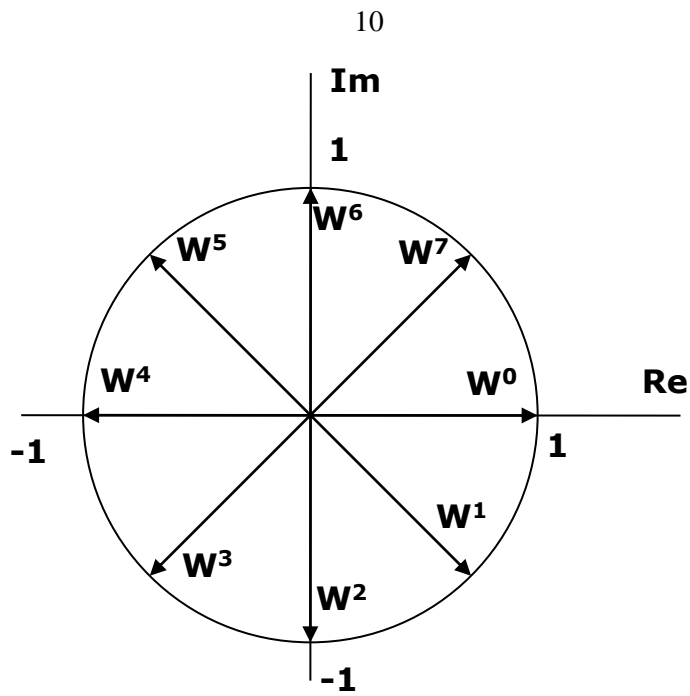


Рис. 5 – Ступені фазообертаючого множника

Для всіх $k \in \left[0; \frac{N}{2}\right]$ виконується рівність $W^k = -W^{\frac{N}{2}+k}$. (10)

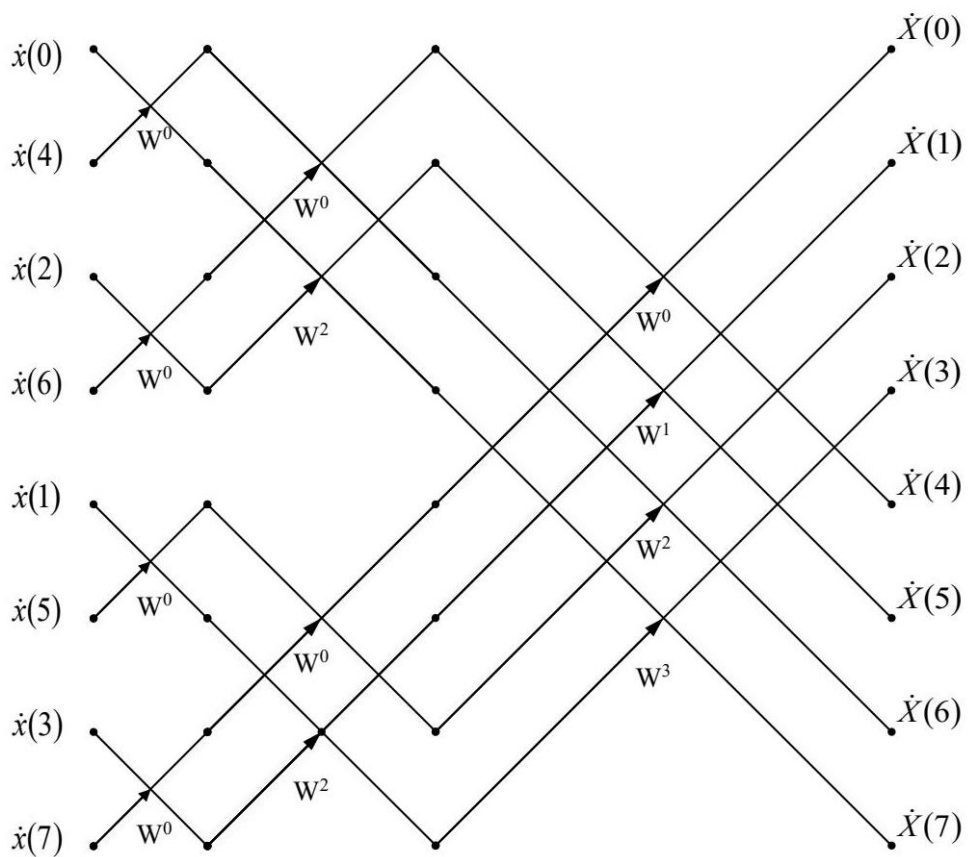


Рисунок 6. – Граф 8-ми точкового ШПФ в материнському базисі ДЕФ

З метою оцінки швидкості та обсягу обрахунку для випадків, коли всі елементарні графи в базисі ДЕФ, що складають схему ШПФ, складаються з елементарних графів з коефіцієнтами, що повторюють елементарні коефіцієнти перетворення в базисі ВКФ та для випадку, коли ці коефіцієнти є комплексними числами в роботі проведені необхідні обрахунки та отримані порівняльні результати.

Для оцінки часу обрахунку ШПФ при переході від базису ДЕФ до базису ВКФ в роботі використовувався вираз (11).

$$\xi = \frac{T_{ДЕФ}}{T_{ВКФ}} = 1 + 4 \left(1 - \frac{2^{n-1} - 1}{3 \cdot 2^{n-1} n} \right) \quad (11)$$

Залежність виграшу в часі обрахунку часу при переході від ШПФ ДЕФ до ШПФ ВКФ від порядку ШПФ подано на Рис.10.

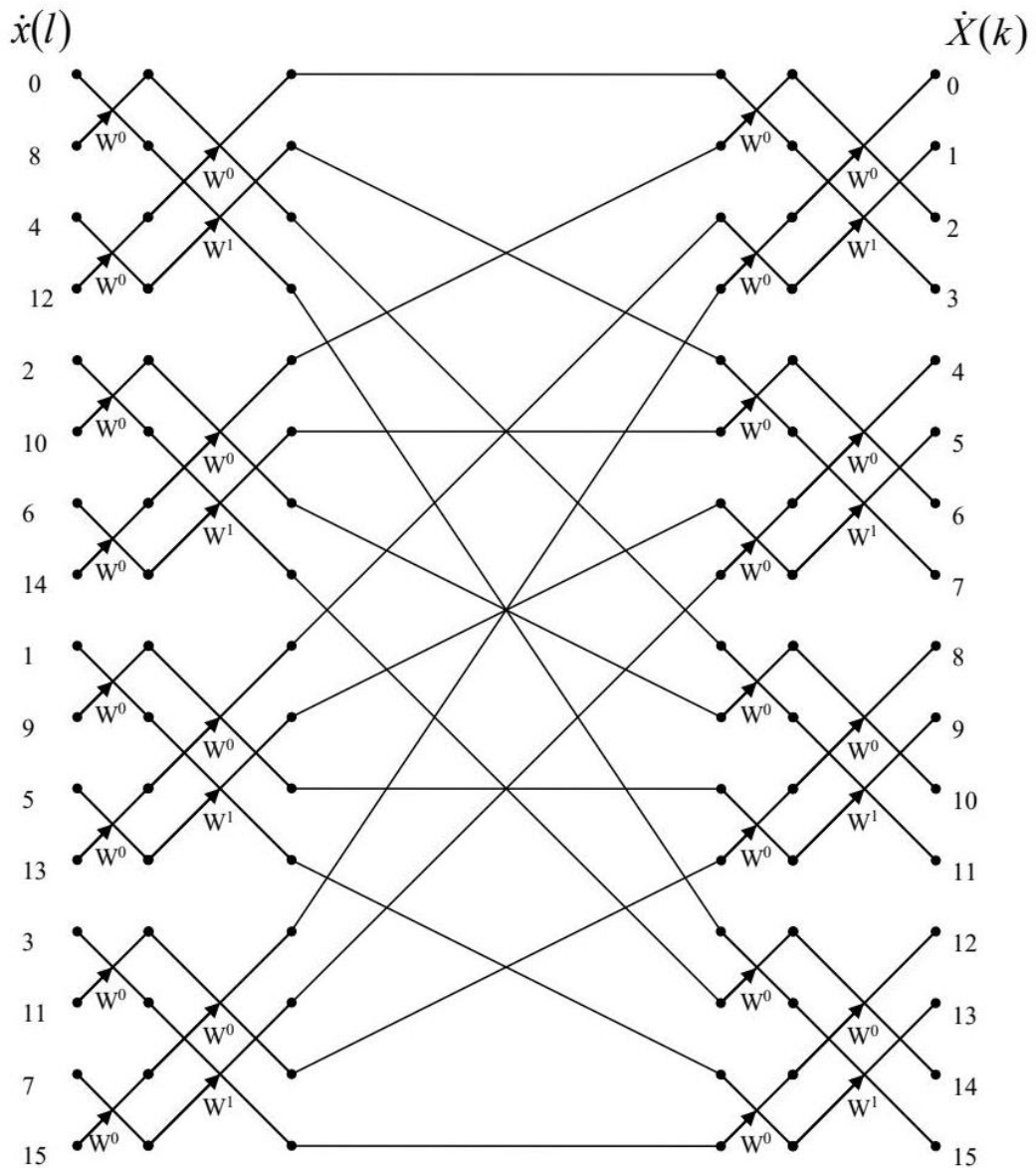


Рис.7 – Граф 16-ми точеного ШПФ в базисі ВКФ

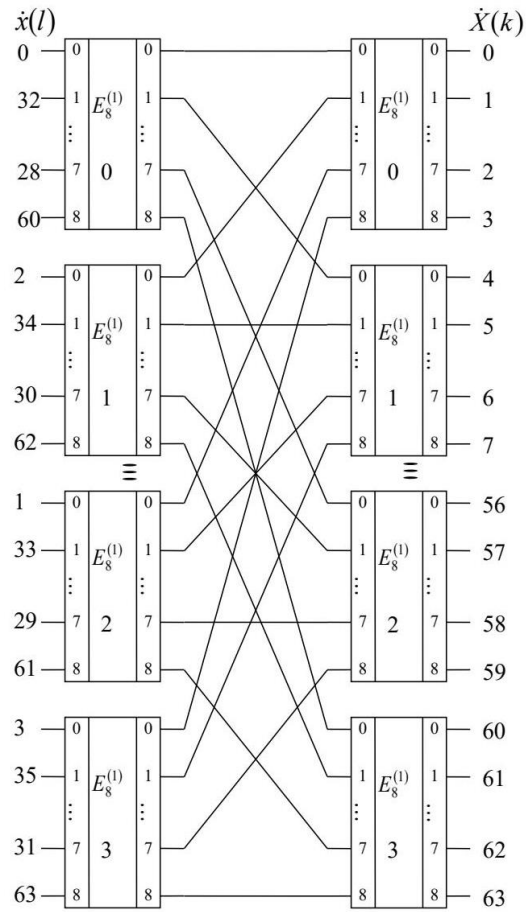


Рис. 8 – Структурна схема процесора ШПФ в базисі ВКФ-Кронекера $H_{8,2}^{(1)}$

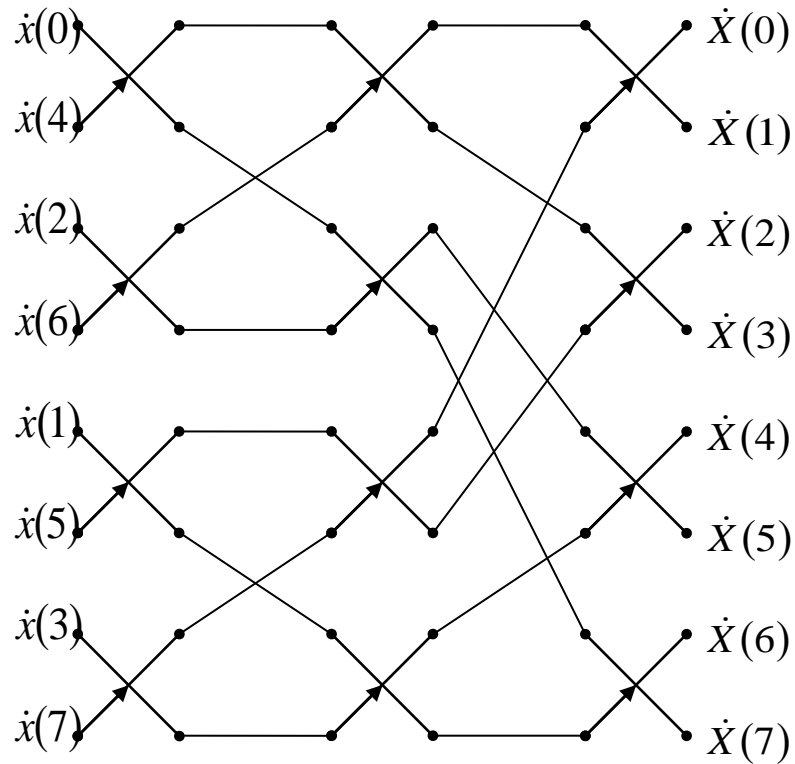


Рис. 9 – Граф 8-ми точкового ШПФ в базисі Уолша-Адамара

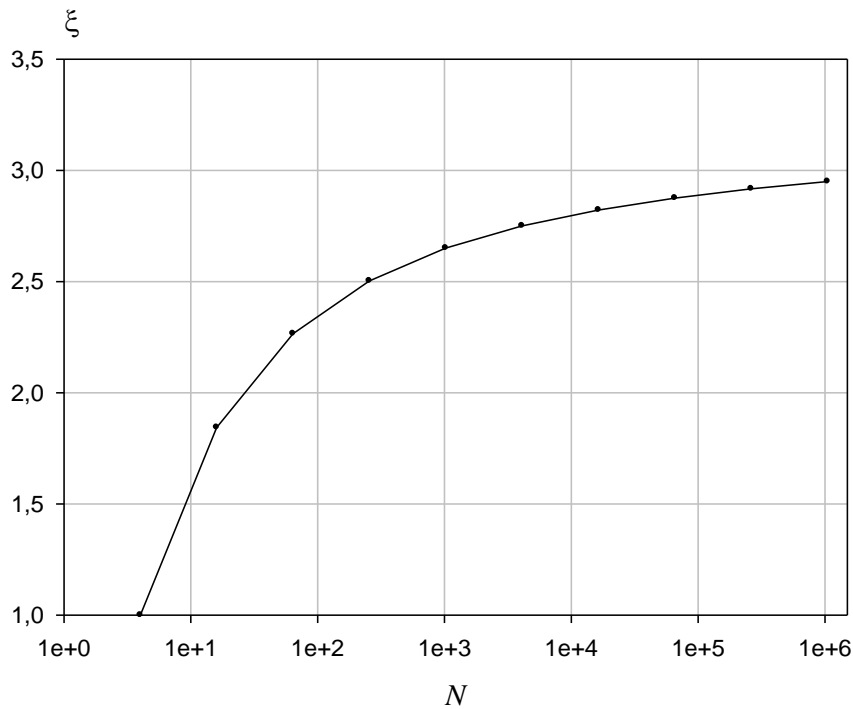


Рис.10 – Залежність виграшу в часі обрахувань при переході від ШПФ ДЕФ до ШПФ ВКФ від порядку ШПФ (N)

Його аналіз показує, що вигравш в часі може скласти до трьох і більше разів.

Для подальше скорочення машинного часу роботи з матрицями в процесі обрахування ШПФ запропоновано метод індикаторних матриць, що дозволяє синтезувати повну безліч базисів ВКФ (в тому числі і базисів Уолша) із заданими параметрами, а також виключити процедуру факторизації матриць ВКФ і Уолша при синтезі алгоритмів ШПФ в цих базисах.

Сутність методу полягає в переході від симетричних до індикаторних матриць по правилу

1. Матриця повинна бути правосторонне симетрична;
2. Її визначник, взятий по модулю, не повинен бути рівний «0».

У четвертому розділі розроблена методика обчислення значень порогів рішення при прийомі сигналу, що приймається на тлі однозв'язного марківського шуму, в базисах ВКФ і ДЕФ, які забезпечують необхідні імовірнісні характеристики оцінки частоти сигналу. Та здійснено оцінку частоти дискретно-експоненціального сигналу за допомогою спектрального аналізу в базисі ВКФ.

Для обрахування численного значення порога рішень, при перевищенні якого амплітудою K - того спектрального коефіцієнта сигналу буде прийнято рішення про наявність в прийнятій послідовності корисного сигналу в роботі запропоновано вираз (12):

$$V_k = \sqrt{-2N \ln(1 - \sqrt[2N]{1 - P(F)})} \quad (12)$$

Даний вираз включає ймовірність хибної тривоги, а саме ймовірність позитивного відгуку на вхідний спектр сигналу одним з каналів – вираз (13)

$$P_f = Q(V) = e^{-\frac{V_k^2}{2N}} \quad (13)$$

Для аналітичного обрахунку ймовірності правильної оцінки нормованої частоти гармонічного сигналу, що приймається на фоні адитивного білого шуму в роботі подано вираз (14).

$$P(D) = \frac{1}{N-1} \sum_{G=0}^{N-2} P(D/g \in (G; G+1)) \quad (14)$$

Який включає амплітуду відгуку на G -м вихідному каналі процесора обрахування Швидкого перетворення Фур'є при подачі на вхід послідовності, що є незашумленим сигналом, вираз (15):

$$u_G(g) = |\dot{s}(G)| = \left| \sum_{l=0}^{N-1} f_G(l) \dot{s}_g(l) \right| \quad (15)$$

Ймовірність правильної оцінки частоти сигналу від співвідношення сигнал/шум, розрахована при різних амплітудах, подана на Рис 12 та Рис.13.

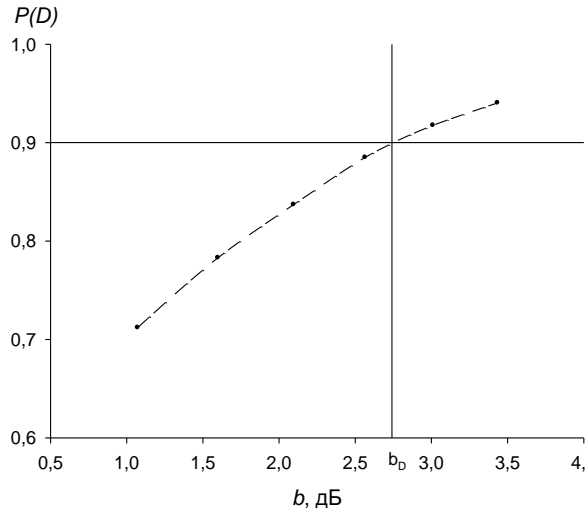


Рис. 12 – Результати експерименту з визначення залежності ймовірності вірної оцінки сигналу від співвідношення сигнал/шум за потужністю. $N=16$.

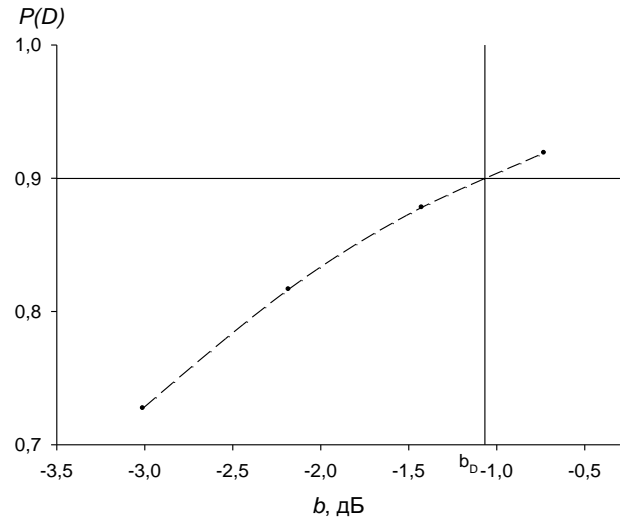


Рис. 13 – Результати експерименту з визначення залежності ймовірності вірної оцінки сигналу від співвідношення сигнал/шум за потужністю. $N=64$.

Аналіз залежності показує, що можна знайти точні величини відношення сигнал/шум. Для перевірки запропонованих залежностей та отриманих за їх допомогою результатів був проведений аналітичний експеримент методом комп'ютерного моделювання. Його результати підтвердили практичну застосовність запропонованих виразів.

Для даної залежності відношення сигнал/шум складає 1.27 дБ, при якому забезпечується ймовірність правильної оцінки нормованої частоти сигналу 0.9.

В розділі здійснено оцінку частоти дискретно-експоненціального сигналу за допомогою спектрального аналізу в базисі ВКФ

Допплерівсько-імпульсний вхідний сигнал задавався залежністю (12):

$$\dot{s}_g(l) = U e^{j \frac{2\pi g l}{N}}, \quad l = \overline{0 \dots N-1}, \quad g \in [0, N-1] \quad (16)$$

Залежність необхідного співвідношення сигнал шум для забезпечення визначеної ймовірності вірної оцінки сигналу по потужності від коефіцієнта кореляції між сусідніми підрахунками по шуму для різних значень сила підрахунку ШПФ подано на Рис. 14 та Рис 15.

Аналіз вказаних залежностей показав, що запропоновані методи забезпечують ймовірність вірної оцінки частоти сигналу, близькою до заданої – 0.9.

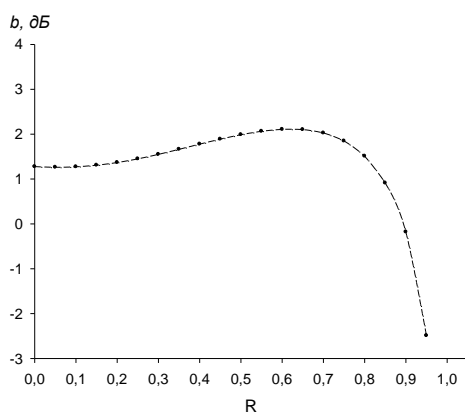


Рис. 14 – Графік залежності необхідного відношення сигнал/шум за потужністю від коефіцієнта кореляції, базис ДЕФ, N=16

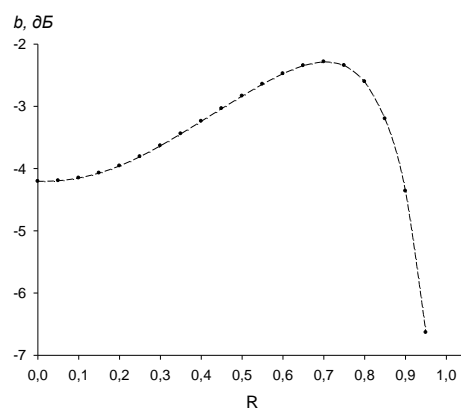


Рис. 15 – Графік залежності необхідного відношення сигнал/шум за потужністю від коефіцієнта кореляції, базис ДЕФ, N=64

Залежність необхідного відношення сигнал/шум по потужності, яке забезпечить ймовірність вірної оцінки нормованої частоти сигналу при заданій ймовірності 0.9 і ймовірності хибної тривоги 0.001 при обробці сигналу 16-ти точковим ШПФ в базису ВКФ подано на Рис.16 та Рис. 17.

Подані залежності дозволяють визначити коефіцієнти кореляції, при яких оптимально здійснити перемикання між методами оцінки нормованої частоти сигналу.

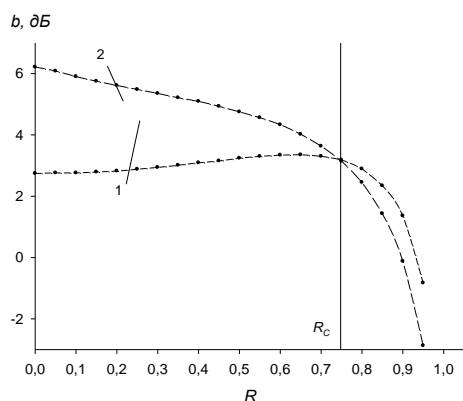


Рис. 16 – Залежність необхідного співвідношення сигнал шум для забезпечення визначеної ймовірності вірної оцінки сигналу, базис ВКФ, N=16 (1 – оцінка без ЧПК, 2 – оцінка з ЧПК)

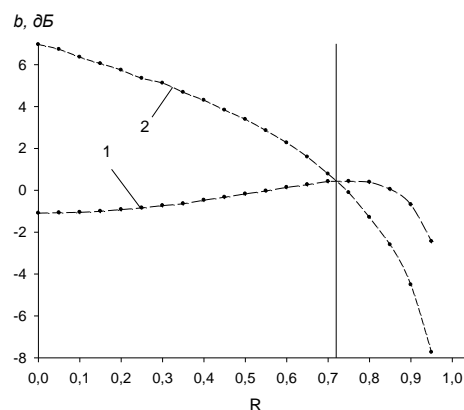


Рис. 17 – Залежність необхідного співвідношення сигнал шум для забезпечення визначеної ймовірності вірної оцінки сигналу, базис ВКФ, N=64 (1 – оцінка без ЧПК, 2 – оцінка з ЧПК)

ВИСНОВКИ

У процесі теоретичних і експериментальних досліджень у дисертаційній роботі отримано наступні науково-практичні результати.

Головним результатом проведеного наукового дослідження стала розробка методу оцінки частоти доплерівсько – імпульсного сигналу, заснованого на спектральному аналізі в базисах Віленкіна – Крестенсона функцій.

Доведено, що оцінка частоти зашумленого сигналу здійснюється на підставі перевищення порогового значення амплітудою одного або декількох спектральних коефіцієнтів.

1. Проведений аналіз існуючих методів обробки інформації, що передається доплерівсько - імпульсним сигналом показав що існуючі методи оцінки частоти вхідного сигналу доплерівським вимірювачем швидкості мають ряд недоліків та невідповідностей.

До таких в роботі віднесено: наявність перешкод, що впливають на кількість переходу частоти гармонійного сигналу через «0»; вузька смуга прийому вхідного сигналу при використанні частотних та амплітудних детекторів; при спектральному аналізі широкосмугового сигналу перешкоди приводять до перерозподілу енергії між спектральними коефіцієнтам та до зміщення центру ваги енергетичного спектру.

Відмічено, що загальним завданням оцінки параметрів сигналу є оцінка амплітуди, фази та частоти сигналу на фоні дії перешкод та завад

2. Розроблено метод. формування дочірніх симетричних базисних систем. Даний метод дозволяє за рахунок формування повного ансамблю забезпечити більше чим в три рази підвищення швидкодію оцінки частоти вхідного сигналу при здійсненні операції ШПФ на основі базису ВКФ в порівнянні з базисом ДЕФ.

3. Удосконалений в роботі метод обчислення значень порогів рішення при прийомі сигналу, що приймається на тлі однозв'язного марківського шуму, в базисах ВКФ і ДЕФ, дозволяє забезпечити необхідні імовірнісні характеристики оцінки частоти доплерівсько – імпульсного сигналу при заданих значення співвідношень сигнал/шум.

Встановлено, що базиси ВКФ для досягнення тієї ж ймовірності вірної оцінки частоти, що і базиси ДЕФ, вимагають більшого на 2 – 3 дБ відношення сигнал/шум, ніж базиси ДЕФ.

4. Представлений в роботі метод індикаторних матриць за рахунок виключення процедур факторизації матриць ВКФ і Уолша при синтезі алгоритмів ШПФ, дозволяє синтезувати повну безліч базисів ВКФ (в тому числі і базисів Уолша) із заданими параметрами. Це обґрунтовує успішну заміну базису ДЕФ базисом ВКФ, коли є можливість підвищити потужність зондуючого випромінювання. При цьому значно зросте швидкість обробки радіолокаційних даних.

Для пошуку порогових значень, що забезпечують допустиму ймовірність помилкової тривоги був розроблений метод оцінки дисперсій спектральних коефіцієнтів послідовності, що представляє собою шум. Для моделювання шуму було використано однозв'язний марківський ланцюг нормальних випадкових величин із заданою дисперсією.

Отримані в дисертаційні роботі результати носять самостійне, вагоме значення і можуть бути використані при модернізації існуючих та в процесі розробки, проектування будівництва і експлуатації нових радіолокаційних систем, заснованих на використанні доплерівсько - імпульсних сигналів.

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. А.Я. Белецкий, В.В. Клобуков, «Часний алгоритм упорядкування базисних функцій Уолша». *Вісник Національного Авіаційного Університету*, № 2(1), С. 173–178, 1999. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.2.8985>

2. А.Я. Білецький, Швець В.А., В.В. Клобуков, «Дослідження базисів Виленкіна-Крестенсона», *Актуальні проблеми автоматичних та інформаційних технологій: збірник наукових праць*. Дніпропетровськ: “Навчальна книга”, Том 3. С. 74-78, 2000.

3. А.Я. Білецький, Шутко В.О., В.В. Клобуков, «Синтез та аналіз трикутно-симетричних функцій», *Актуальні проблеми автоматичних та інформаційних технологій: збірник наукових праць*. – Дніпропетровськ: “Навчальна книга”, Том 3. С. 82-89, 2000.

4. M. Fuzik, V. Klobukov, O. Zykov, «Integration technology of hybrid cloud computing infrastructure of the university to perform the tasks of scientific research and education.», *The IV world congress “Aviation in the XXI-st century” – “Safety in Aviation and Space Technologies” National Aviation University*, Vol.1, pp. 18.50-18.54, 2010.

5. V. Klobukov, O.Zykov, S. Volhonskyi, S. Dobrovolskyi, Wang Bo, S.Ermak, «Information protection in automated information systems. Definition, threats, approaches and measures

to protect information», *The seventh world congress "Aviation in the XXI-st century" – "Safety in Aviation and Space Technologies" National Aviation University*, September 19-21, pp. 214-218, 2016.

6. V. Klobukov, O. Nechyporuk, S. Dobrovolskyi, Wang Bo, Y. Nakonechny, «Algorithm of forming the estimating method of total logistic costs based on artificial neural networks», *The seventh world congress "Aviation in the XXI-st century" – "Safety in Aviation and Space Technologies" National Aviation University*, September 19-21, pp. 114-118, 2016.

7. V. Klobukov, L. Klobukova, S. Dobrovolskyi, Wang Bo, M. Glivenko, «UAV flight mechanics», *The seventh world congress "Aviation in the XXI-st century" – "Safety in Aviation and Space Technologies" National Aviation University*, September 19-21, pp. 349-354, 2016.

8. V. Klobukov, Wang Bo, Hu Danjuan, «Model Research on Ningbo – CEEC Scientific and Technological Exchange and Cooperation», *The Eighth world congress "Aviation in the XXI-st century" – "Safety in Aviation and Space Technologies" National Aviation University*, pp. 179-184, 2018.

9. V. Kharchenko, V. Klobukov, O. Zыkov, V. Ryabokon, «Multipurpose intelligent unmanned aircraft system (MIUAS) for detecting and tracking objects using elements of computer vision and artificial intelligence», *The Eighth World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY" – "Safety in Aviation and Space Technologies" National Aviation University October 10-12*, pp. 129-137, 2020.

10. V. Klobukov, A. Biletsky, «Comparative analysis of the computational efficiency of the fast fourier transform in the discrete exponential functions and Vilenkin-Chrestenson functions bases», *multidisciplinary international magazine «Věda a perspektivy»*, No 1(1), pp. 244 – 251, 2021. DOI: [https://doi.org/10.52058/2695-1584-2021-1\(1\)](https://doi.org/10.52058/2695-1584-2021-1(1)).

11. В. Клобуков, А. Білецький, А. Миколушко «Деякі аспекти синтезу базисних систем Віленкіна - Крестенсона функцій», *multidisciplinary international magazine «Věda a perspektivy»*, No 2(2), pp. 146 – 155, 2021. DOI: [https://doi.org/10.52058/2695-1584-2021-2\(2\)](https://doi.org/10.52058/2695-1584-2021-2(2)).

12. Корчинський А.П., Бідний М.С., В.В. Клобуков, С.В. Лобур «Синтез и исследование комбинационных устройств». *XLII студентська науково-технічна конференція, Київський міжнародний університет цивільної авіації*, С. 215-217, 1994.

13. В.В. Клобуков, С.В. Лобур «Синтез и исследование триггеров». *XLIII студентська науково-технічна конференція, Київський міжнародний університет цивільної авіації*, С. 175-176, 1995.

14. В.В. Клобуков, С.В. Лобур «Разработка аппаратно-программного комплекса информационной справочной службы аэропорта». *XLIII студентська науково-технічна конференція, Київський міжнародний університет цивільної авіації*, С. 215-217, 1995.

15. Корчинський А.П., Бідний М.С., В.В. Клобуков, С.В. Лобур «Методы создания и хранения информации в электронном справочнике». *XLII студентська науково-технічна конференція, Київський міжнародний університет цивільної авіації*, С. 215-217, 1995.

16. В.В. Клобуков, С.В. Лобур «Анализ статистических характеристик дельта-модулированного сигнала». *XLV студентська науково-технічна конференція, Київський міжнародний університет цивільної авіації*, С. 165-167, 1997.

17. В.В. Клобуков, С.В. Лобур, Слесарь А.Н. «Електронний довідник по цифрових інтегральних мікросхемах». *Всеукраїнська конференція молодих науковців "Інформаційні технології в науці та освіті, Черкаський державний Університет ім. Б. Хмельницького*, С. 125-129, 1997.

18. А. Я. Белецкий, В.В. Клобуков, «Исследование новых способов упорядочивания функций Уолша». *XVIII звітна науково-технічна конференція, Київський міжнародний університет цивільної авіації*, С. 187-188, 1998.

19. А. Я. Белецкий, Швец В.А., В.В. Клобуков, «Модификация базиса вещественно-нимых функций (ВМФ) с целью повышения информативности». *XVIII звітна науково-технічна конференція, Київський міжнародний університет цивільної авіації*, С. 92-93, 1998.

20. В.В. Клобуков, «Метод преобразования координат при обобщенном спектральном анализе радиотехнических сигналов». *Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2000», Національний авіаційний університет, Том 1, С. 221-227, 2000.*

21. А.Я. Белецкий, В.В. Клобуков, «Аналитический метод измерения частоты радиолокационного доплеровско-импульсного сигнала». *Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2000»*, Національний авіаційний університет, Том 1, С. 152-156, 2001.
22. В.В. Клобуков, О.С. Зиков «Питання створення мультисервісних телекомунікаційних мереж з застосуванням технології пасивних оптичних мереж (Passive optical networks)». *Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2007»*, Національний авіаційний університет, Том 1, С. 453-457, 2007.
23. М.І. Фузік, В.В. Клобуков, В.А. Рябоконт «Особливості застосування технології радіопередачі даних при побудові конвергентних телекомунікаційних мереж». *Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2007»*, Національний авіаційний університет, Том 1, С. 312-317, 2007.
24. В.В. Клобуков, В.А. Швець, В.А. Рябоконт «Питання захисту інформації в мультисервісних мережах на прикладі технології Voice-Over-IP». *Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» CSNT-2009*, Національний авіаційний університет, С. 62-63, 2009.
25. В.В. Клобуков, В.А. Швець, В.А. Рябоконт «Побудова розподіленого конвергентного інформаційного простору на базі національної науково-освітньої мережі URAN». *Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» CSNT-2010*, Національний авіаційний університет, С. 43-44, 2010.
26. В.В. Клобуков, М.І. Фузік, О.С. Зиков «Побудова розподіленої відкритої GRID-інфраструктури ВНЗ для задач наукових досліджень і освіти». *Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» CSNT-2011*, Національний авіаційний університет, С. 103-104, 2011.
27. В.В. Клобуков, В.А. Рябоконт, С.О. Ермак, «Дослідження протоколів побудови маршрутів в мережах METRO ETHERNET». *Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2011»*, Національний авіаційний університет, Том 1, С. 5.72-5.76, 2011.
28. В.В. Клобуков, О.С. Зиков, А.О. Краснопольский, «Управління продуктивністю корпоративних конвергентних мереж». *Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2011»*, Національний авіаційний університет, Том 1, С. 5.66-5.69, 2011.
29. В.В. Клобуков, О.С. Зиков, С.А. Ермак, «Использование технологии виртуальной локальной сети (VLAN) для коммуникации между LPAR». *Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» CSNT-2011*, Національний авіаційний університет, С. 39-40, 2011.
30. V.V. Klobukov, V.A. Ryabokon, L.P. Klobukova «Integration virtual desktop infrastructure in the learning Process», *Матеріали V Всесвітнього конгресу "Авіація у XXI столітті" - "Безпека в авіації та космічні технології"*, Vol. 1, pp. 156-159, 2012.
31. В.В. Клобуков, В.А. Рябоконт, Ю.В. Максименко, «Віртуалізація робочих станцій на базі програмного забезпечення з відкритим програмним кодом». *Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2013»*, Національний авіаційний університет, Том 1, С. 5.21-5.26 2013.
32. В.В. Клобуков, О.С. Зиков, С.І. Волхонський, С.О. Ермак, Д.В. Самофалов, «Порівняльний аналіз сучасних інформаційних (технологічних) платформ для створення систем електронного документообігу». *Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2013»*, Національний авіаційний університет, Том 1, С. 5.75-5.78 2013.
33. В.В. Клобуков, О.С. Зиков, В.А. Рябоконт, Ю.В. Максименко «Технічні аспекти розвитку бездротових ширококутових мереж передачі даних на базі стандарту IEEE802.11». *Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2013»*, Національний авіаційний університет, Том 1, С. 5.81-5.84, 2013.
34. V.V. Klobukov, O. Zikov, V.A. Ryabokon, L.Kloukova, «The basic principles of automated systems deployment Inside containers virtualization software in a project», *Матеріали VI Всесвітнього конгресу "Авіація у XXI столітті" - "Безпека в авіації та космічні технології"*, Vol. 1, pp. 216-220, 2014.

35. V.V. Klobukov, V.A. Ryabokon, S. Volhonskiy, D. Samofalov, «Basic principles of the e-government», *Матеріали VI Всесвітнього конгресу "Авіація у XXI столітті" - "Безпека в авіації та космічні технології"*, Vol. 1, pp. 174-178, 2014.

36. V.V. Klobukov, V.A. Ryabokon, S. Volhonskiy, D. Samofalov, «Requirements for infrastructure electronic document management systems in higher education institutions», *Матеріали VI Всесвітнього конгресу "Авіація у XXI столітті" - "Безпека в авіації та космічні технології"*, Vol. 1, pp. 231-234, 2014.

37. В.В. Клобуков, О.С. Зиков, В.С.І. Волхонський, С.О. Єрмак, Д.В. Самофалов, «Електронний документообіг вищого навчального закладу як складова електронного урядування». *Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2015», Національний авіаційний університет*, Том 1, С. 6.125-6.130., 2015.

38. В.В. Клобуков, О.С. Зиков, В.А. Рябоконт, «Базовий аналіз стандартів безпроводної передачі даних та перспективи їх розвитку». *Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2015», Національний авіаційний університет*, Том 1, С. 6.151-6.154, 2015.

39. В.В. Клобуков, «Питання підвищення ефективності роботи радіолокаційних комплексів на етапі обробки вхідного сигналу», *Materials of the XII International Scientific and Practical Conference "Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends" Lisbon (Portugal)*, pp. 77-80, 2021.

АНОТАЦІЯ

Клобуков В.В. Метод підвищення ефективності роботи доплерівського вимірювача швидкості на етапі обробки вхідного сигналу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій». – Національний авіаційний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі вирішується актуальне науково-технічне завдання щодо розробка алгоритму оцінки частоти дискретно-експоненціального сигналу, заснованого на спектральному аналізі в базисі функцій Віленкіна – Крестенсона, та також оцінки ефективності цього методу і порівняння його з ефективністю методу, заснованого на швидкому перетворенні Фур'є в базисі дискретно-експоненційних функцій.

У роботі: вперше розроблено алгоритм формування дочірніх симетричних базисних систем, який на відміну від існуючих пов'язує дискретно-експоненційні функції, функцій Уолша і функцій Віленкіна – Крестенсона; вперше запропонована методика обчислення значень порогів рішення при прийомі сигналу, що приймається на тлі однозв'язного марковського шуму, в базисах Віленкіна – Крестенсона і дискретно-експоненційні функції, які забезпечують необхідні імовірнісні характеристики оцінки частоти сигналу; вперше запропоновано метод ізоморфного представлення дискретних базисів Віленкіна – Крестенсона, що дозволив перейти від комплексно-значних компонентів базису до їх модулярних цілочисельних еквівалентів, що істотно спростило як аналіз, так і синтез алгоритмів обробки сигналів в цих базисах; вперше запропоновано метод індикаторних матриць, що дозволяє синтезувати повну безліч базисів Віленкіна – Крестенсона (в тому числі і базисів Уолша) із заданими параметрами, а також виключити процедуру факторизації матриць Віленкіна – Крестенсона і Уолша при синтезі алгоритмів швидкого перетворення Фур'є в цих базисах.

Практичне значення одержаних результатів полягає в: розробці методу оцінки дисперсії квадратур гармонік при спектральному аналізі корельованого шуму в різних базисах.; розроблені алгоритму оцінки частоти доплерівського сигналу методом спектрального аналізу в базисах ВКФ.

Ключові слова: оцінка частоти, дискретно-експоненційний сигнал, базис функцій Віленкіна – Крестенсона, базис дискретно-експоненційні функції, базис Уолша, швидке перетворення Фур'є.

АННОТАЦИЯ

Клобуков В.В. Метод повышения эффективности работы доплеровского измерителя скорости на этапе обработки входного сигнала - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 - «Радиотехнические устройства и средства телекоммуникаций». - Национальный авиационный университет, Киев, 2021.

В диссертационной работе решается актуальная научно-техническая задача по разработке алгоритма оценки частоты дискретно-экспоненциального сигнала, основанного на спектральном анализе в базисе функций Виленкина - Крестенсона, и также оценки эффективности этого метода и сравнение его с эффективностью метода, основанного на быстром преобразовании Фурье в базисе дискретно-экспоненциальных функций.

В работе: впервые разработан алгоритм формирования дочерних симметричных базисных систем, который в отличие от существующих связывает дискретно-экспоненциальной функции, функций Уолша и функций Виленкина - Крестенсона; впервые предложена методика вычисления значений порогов решения при приеме сигнала на фоне односвязного марковского шума, в базисах Виленкина - Крестенсона и дискретно-экспоненциальной функции, которые обеспечивают необходимые вероятностные характеристики оценки частоты сигнала; впервые предложен метод изоморфного представления дискретных базисов Виленкина - Крестенсона, что позволило перейти от комплексно-значных компонентов базиса к их модулярных целочисленных эквивалентов, существенно упростило как анализ, так и синтез алгоритмов обработки сигналов в этих базисах; впервые предложен метод индикаторных матриц, позволяет синтезировать полную множество базисов Виленкина - Крестенсона (в том числе и базисов Уолша) с заданными параметрами, а также исключить процедуру факторизации матриц Виленкина - Крестенсона и Уолша при синтезе алгоритмов быстрого преобразования Фурье в этих базисах.

Практическое значение полученных результатов заключается в: разработке метода оценки дисперсии квадратур гармоник при спектральном анализе коррелированного шума в различных базисах; разработаны алгоритма оценки частоты доплеровского сигнала методом спектрального анализа в базисах Виленкина - Крестенсона.

Ключевые слова: оценка частоты, дискретно - экспоненциальное сигнал, базис функций Виленкина - Крестенсона, базис дискретно-экспоненциальной функции, базис Уолша, быстрое преобразование Фурье.

ANNOTATION

Klobukov V.V. A method of increasing the efficiency of the Doppler speedometer at the stage of processing the input signal - Manuscript.

Thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.12.13 - "Radio engineering devices and means of telecommunications". – National Aviation University. Kyiv, 2021.

The dissertation solves the current scientific and technical problem of developing an algorithm for estimating the frequency of a discrete exponential signal based on spectral analysis in the basis of Vilenkin - Chrestenson functions, as well as evaluating the effectiveness of this method and comparing it with the efficiency of the method based on fast Fourier transform. discrete-exponential functions.

In the work: for the first time an algorithm for the formation of child symmetric basis systems was developed, which, in contrast to the existing ones, connects discrete-exponential functions, Walsh functions and Vilenkin-Chrestenson functions; for the first time the method of calculation of values of decision thresholds at reception of the signal accepted against one-connected Markov noise in Vilenkin - Chrestenson bases and discrete-exponential functions which provide necessary probabilistic characteristics of an estimation of frequency of a signal is offered; for the first time a method of isomorphic representation of discrete Vilenkin - Chrestenson bases was proposed, which allowed to pass from complex-significant components of the base to their modular integer equivalents, which significantly simplified both analysis and synthesis of signal processing algorithms in these bases; The method of indicator matrices was proposed for the first time, which allows to synthesize a complete set of Vilenkin - Chrestenson bases (including Walsh bases) with given parameters, and to exclude the factorization procedure of Vilenkin - Chrestenson and Walsh matrices in the synthesis of fast Fourier transform algorithms in these Fourier transform bases.

The practical significance of the obtained results is: development of a method for estimating the variance of harmonic quadratures in the spectral analysis of correlated noise in different bases.; developed algorithms for estimating the frequency of Doppler signal by spectral analysis in the bases of Vilenkin - Chrestenson.

Keywords: frequency estimation, discrete-exponential signal, basis of Vilenkin-Chrestenson functions, basis of discrete-exponential functions, Walsh basis, fast Fourier transform.