

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 26.062.19.  
Національного авіаційного  
університету  
д.т.н., проф. Козловському В.В.  
03058, м. Київ, проспект Любомира  
Гузара, 1.

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Клобукова Віталія Віталійовича**

«Метод підвищення ефективності роботи доплерівського вимірювача швидкості на етапі обробки вхідного сигналу», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій до спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19

### **Ступінь актуальності обраної теми дослідження.**

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 перешкод до захищеності 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.

Дисертаційна робота Клобукова В.В. спрямована на вирішення актуального науково-технічного завдання по підвищення ефективності роботи доплерівського вимірювача швидкості на етапі обробки вхідного сигналу.

Визначена автором в роботі науково-технічне завдання розв'язується шляхом розробки методу та на його основі алгоритму оцінки частоти дискретно-експоненціального сигналу, заснованого на спектральному аналізі в базисі функцій Віленкіна – Крестенсона.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**



Автором роботи на достатньому високому рівні проаналізовані недоліки та невідповідності функціонування існуючих методів та алгоритмів обробки зашумленого сигналу, спрямованих на відділення корисного сигналу від шуму при прийомі сигналу радіотехнічним пристроєм вимірювання швидкості, визначені невідповідності схем їх побудови сучасним вимогам точності визначення координат і швидкостей цілей та цілком вірно встановлено та обґрунтовано напрямки наукових досліджень що до їх вирішення.

Обґрунтованість одержаних наукових положень, результатів та висновків підтверджується ретельним багатостороннім системним аналізом процесів, що протікають при обробці сигналів в системах з використанням доплерівських методів вимірювачах швидкості. Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в галузі супутникових телекомунікацій

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** При проведенні досліджень застосовувалися відомі підходи та методи математичного аналізу й синтезу складних технічних систем. Використовувалися сучасні і класичні методи теорії сигналів і систем, методи спектральної теорії, методи математичного й системного аналізу, методи теорії зв'язку, теорії ймовірності і математичної статистики.

Коректне використання методів досліджень та математичного апарату підтверджується результатами аналітичних доведень через математичні перетворення та комп'ютерне моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

- 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.

- удосконалено метод обчислення значень порогів рішення при прийомі сигналу, що приймається на тлі однозв'язного марківського шуму, в базисах ВКФ і ДЕФ, що надає змогу забезпечити імовірнісні характеристики оцінки частоти доплерівсько-імпульсного сигналу.

- 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;

- 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.

**Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях.** 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.

Публікації в фахових наукових журналах та доповіді на науково-практичних міжнародних конференціях достатньо висвітлюють результати дисертаційної роботи.

**Практичне значення результатів дослідження** полягає у наступному:

- 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.

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

- 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.

Дослідження проведено в рамках науково-дослідних робіт: «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.

Результати роботи використані в діяльності Національного авіаційного університету, і впроваджені в науково-технічну діяльність, державного підприємства «Завод 410 Цивільної авіації» та комунального підприємства Міжнародний аеропорт “Київ” (Жуляни). У додатку до дисертаційної роботи представлені акти впровадження, що підтверджують практичне використання результатів дисертаційної роботи.



**Оцінка змісту дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам.** Дисертаційне дослідження автора є самостійним, оригінальним, завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне наукове завдання.

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.

**Вступ** включає в себе загальну характеристику роботи, обґрунтовану актуальність теми дисертації, сформульовану мету та задачі дослідження. В ньому визначено об'єкт, предмет дослідження, пояснено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами досліджень Національного авіаційного університету. Вступ містить наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, публікації, особистий внесок здобувача, відомості про апробацію та практичне впровадження результатів.

**В першому розділі** проведено аналіз особливостей оцінки частоти в доплерівських вимірювачах швидкості. Визначено, що розвиток сучасних радіолокаційних комплексів, направлений на підвищенню точності визначення координат і швидкостей цілей, вимагає підвищення продуктивності систем обробки радіолокаційних сигналів. А 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. На основі вище зазначеного в розділі сформовані основні завдання, які необхідно вирішити для розробки алгоритму оцінки частоти дискретно-експоненціального сигналу. Безпосередньо визначено, що вказаний алгоритм повинен бути заснованим на спектральному аналізі в базисі функцій Віленкіна – Крестенсона. Та обґрунтована необхідність оцінки ефективності цього методу і порівняння його з ефективністю методу, заснованого на швидкому перетворенні Фурє в базисі дискретно-експоненційних функцій.

**Другий розділ** стосується досліджень, спрямованих на 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.

**Третій розділ** присвячено розробці алгоритмів формування графів ШПФ в базисах ВКФ. Для цього автором використано метод ізоморфного представлення дискретних базисів ВКФ. Реалізація методу ізоморфного представлення дискретних базисів ВКФ в роботі подана в вигляді моделей швидкого перетворення Фурє для різних материнських та дочірніх симетричних базисних систем.



З метою оцінки швидкості та обсягу обрахувань 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 обрахування та отримані порівняльні результати. Для подальшого 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.

**В 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 перевірки запропонованих залежностей та отриманих за їх допомогою результатів був проведений аналітичний експеримент методом комп'ютерного моделювання. Його результати підтвердили практичну застосовність запропонованих виразів.

**Висновки** дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну роботи та практичну значимість проведених досліджень.

Робота достатньо проілюстрована графіками й рисунками, а стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків забезпечує доступність їх сприйняття.

Автореферат та основні положення дисертації за змістом є ідентичними. Дисертація є завершеною науковою працею.

**Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.**

1. В першому розділі роботи, потребує більш детального обґрунтування запропоноване автором застосування базису Віленкіна-Крестенсона для вирішення поставленого в роботі наукового завдання щодо розробки методу оцінки частоти зашумленого доплерівсько - імпульсного сигналу.

2. В другому розділі слід більш уваги приділити розкриттю механізму обґрунтування висновку щодо визначення базисів ДЕФ і Уолта як окремих випадків базисів ВКФ.

3. В четвертому розділі при здійсненні оцінки доплерівського-імпульсного сигналу було б доцільно провести комп'ютерне моделювання за запропонованими алгоритмами при використанні більш широкого діапазону вхідних даних. Це надало б змогу оцінити практичну застосовність запропонованого алгоритму для вирішення більш широкого кола завдань щодо оцінки вхідних сигналів для різних радіотехнічних пристроїв.

Зазначені зауваження мають в основному рекомендаційний характер і не знижують загальної високої оцінки наукового дослідження, яке в межах визначених автором мети та завдань є цілісним, ґрунтовним, завершеним дослідженням актуальної тематики радіотехніки та може бути темою для



подальшого дослідження процесів підвищення точності роботи доплерівського вимірника швидкості.

**Загальні висновки.** Дисертаційна робота Клобукова В.В. присвячена розв'язанню важливого науково - технічного завдання по розробці методу та алгоритму оцінки частоти дискретно-експоненціального сигналу, заснованого на спектральному аналізі в базисі функцій Віленкіна – Крестенсона. Проведені наукові дослідження, що містяться в дисертаційній роботі, підкріплені апробацією та відповідними публікаціям. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею на актуальну тему, містить науково обґрунтовані теоретичні результати і положення, що свідчить про особистий внесок здобувача в науку.

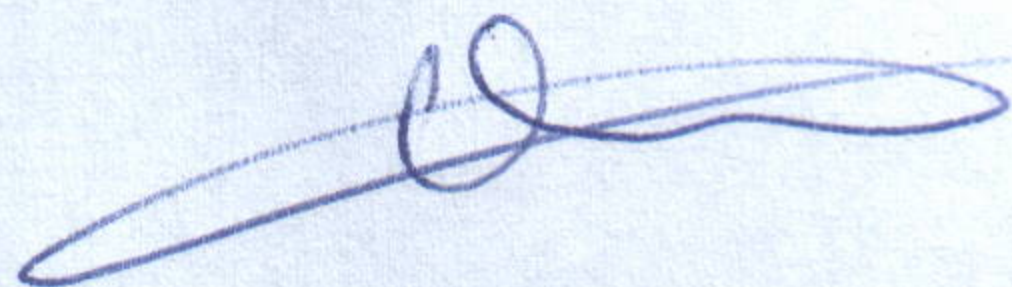
Дисертаційна робота Клобукова В.В. відповідає паспорту спеціальності 05.12.13 – «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій», вимогам пункту 9, 10 та 12 «Про затвердження порядку присудження наукових ступенів», які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор Клобуков Віталій Віталійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за науковою спеціальністю 05.12.13 – «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій».

Завідувач кафедри телекомунікацій

Національного університету

"Львівська політехніка",

д.т.н., проф.



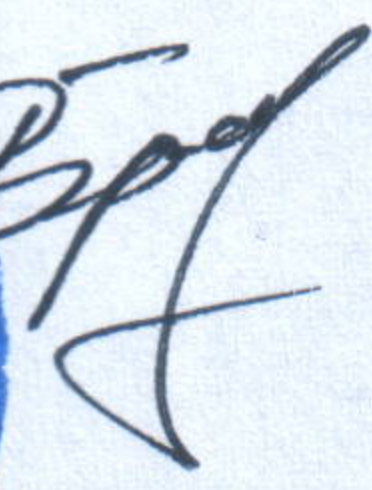
М. М. Климаш

Підпис професора Климаша М. М. засвідчую,

Вчений секретар

Національного університету

"Львівська політехніка"



Р. Б. Брилинський