

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0824U001827

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 07-05-2024

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** № 983-уч від 08.07.24, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "ХАІ"



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Церне Едуард Олексійович

2. Eduard Tserne

**Кваліфікація:** 172

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 172

**Назва наукової спеціальності:** Електронні комунікації та радіотехніка

**Галузь / галузі знань:** електроніка та телекомунікації

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Телекомунікації та радіотехніка

**Дата захисту:** 20-06-2024

**Спеціальність за освітою:** інженер-дослідник з телекомунікацій

**Місце роботи здобувача:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ID 5449

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 47.45, 47.49, 47.53, 49.40

**Тема дисертації:**

1. Апертурний синтез зображень з використанням широкопосмугових сигналів
2. Aperture synthesis of images using wideband signals

**Реферат:**

1. Дисертаційне дослідження спрямоване на розроблення та дослідженню методів обробки сигналів у системах активного апертурного синтезу радіозображень з широкопосмуговими та надширокопосмуговими стохастичними зондуючими сигналами. Вказані системи пропонується використовувати у якості доповнення до класичних бортових радарів з синтезуванням апертури антени для формування суцільного радіозображення у широкому діапазоні кутів без мертвої зони в області надиру аерокосмічного носія і кутах, близьких до нього. Таким чином, мета дослідження – збільшити зону огляду класичних радарів з синтезуванням апертури антени за рахунок їх доповнення системами активного апертурного синтезу з новими методами оброблення стохастичних широкопосмугових та надширокопосмугових зондуючих сигналів. Об'єктом дослідження є апертурний синтез зображень на основі використання та обробки стохастичних сигналів. Предметом дослідження є методи, алгоритми, структурні схеми, програмно-алгоритмічні та

схемотехнічні рішення обробки радіосигналів у системах активного апертурного синтезу з ширококуговими та надширококуговими стохастичними зондуючими сигналами. Необхідність проведення дослідження обумовлена тим, що сучасні радарні системи з синтезуванням аперттури антени, які є найпоширенішими при вирішенні задач дистанційного зондування Землі у радіодіапазоні, не можуть забезпечити високу роздільну здатність формованих радіозображень у кутових напрямках  $\pm 15^\circ$  від надиру аерокосмічного носія. Це призводить до зниження загальної ефективності зондування заданої області, оскільки вимагає додаткових прольотів аерокосмічного носія для формування повного радіозображення. Можливим варіантом вирішення проблеми є доповнення існуючих радарів з синтезуванням аперттури антени додатковими системами, здатними формувати радіозображення у кутових напрямках  $\pm 15^\circ$ , що дозволить отримувати радіозображення зондованої поверхні без розривів, пов'язаних з особливостями радарів з синтезуванням аперттури антени. У якості додаткового радару можна використати системи апертурного синтезу, які є поширеними у радіоастрономії. Проте у нас час такі системи є вузькокуговими, тому формування ними радіозображень з високою роздільною здатністю вимагає залучення антенних решіток з великими базами між елементами, що не дозволяє зробити систему бортовою. Даний недолік пропонується вирішити переходом до обробки ширококугових сигналів, що дозволить зменшити розмір антенної решітки при незмінній роздільній здатності формованих радіозображень. Водночас методи та алгоритми оброблення ширококугових сигналів у системах апертурного наразі є мало дослідженими. Тому для досягнення мети дисертаційного дослідження було вирішено низку завдань. Перш за все, у роботі розроблено математичні моделі відбитих від зондованої поверхні ширококугових полів і пов'язаних з ними когерентних і некогерентних зображень. Отримані моделі ґрунтуються на використанні -перетворень, а їх особливістю є відсутність необхідності виконання умови квазімонохроматичного наближення, яка створювала математичні складнощі під час розв'язання задач активного апертурного синтезу зображень при використанні широко- та надширококугових стохастичних зондуючих сигналів. Водночас запропоновано евристичні алгоритми формування радіозображень у системах активного апертурного синтезу. Окрім евристичних, за критерієм максимуму функціоналу правдоподібності синтезовано оптимальний алгоритм формування радіозображень у системах активного апертурного синтезу, особливістю математичного представлення якого є операція декореляції спостережень. Дана операція дозволяє розширити робочий діапазон частот та підвищити якість формованих системою радіозображень. Також на основі синтезованої математичної моделі оптимального алгоритму запропонована структурна схема радіосистеми активного апертурного синтезу радіозображень та визначено особливості її реалізації. Перевірка отриманих алгоритмів формування радіозображень виконана шляхом імітаційного моделювання. У результаті продемонстровано їх загальну працездатність, а також ефективність операції декореляції спостережень задля підвищення якості отриманих зображень. Водночас показано, що операція декореляції є ефективною лише у випадку, коли функція невизначеності радіосистеми оцінена з малою похибкою, а збільшення цієї похибки призводить до значного спотворення формованих радіозображень та загальної недоцільності використання декорелюючого фільтру. Враховуючи експериментальні результати, виконано розрахунок потенційної лінійної роздільної здатності радіозображень, формованих пропонованою системою активного апертурного синтезу за різних умов. Показано доцільність її використання у якості доповнення існуючих РСА для формування неперервних радіозображень у широкому діапазоні кутів.

2. The dissertation research is aimed at developing and studying signal processing methods in systems of active aperture synthesis of radio images with wideband and ultra-wideband stochastic sounding signals. These systems are proposed to be used as an addition to classical airborne synthetic aperture radar to obtain radio images in a wide range of sounding angles without a "blind" zone in the area of the aerospace carrier nadir and angles close to it. Thus, the aim of the research is to increase the imaging area of synthetic aperture radars by supplementing them with active aperture synthesis systems with new methods of processing stochastic wideband and ultra-wideband sounding signals. The object of research is aperture synthesis of images based on the processing of stochastic signals. The subject of the research is methods, algorithms, structural diagrams, algorithmic and circuitry solutions for radio signal processing in active aperture synthesis systems with wideband and ultra-

wideband stochastic sounding signals. The need for this research is caused by the fact that modern synthetic aperture radar systems, which are the most common in solving remote sensing problems in the radio band, cannot provide high resolution of the formed radio images in angular directions  $\pm 15^\circ$  from the nadir direction of the aerospace carrier. This leads to a decrease in the overall efficiency of sensing a given area, as it requires additional overflights of the aerospace carrier to form a complete radio image. A possible solution to the problem is to supplement the existing SAR with additional radars capable of forming radio images in angular directions of  $\pm 15^\circ$ , which will allow obtaining radio images of the underline surface without gaps caused by the specifics of synthetic aperture radars. Aperture synthesis systems, which are common in radio astronomy, can be used as an additional radar. However, such systems are currently narrow-band, so the high-resolution imaging requires the use of antenna arrays with large bases between elements, which does not allow the system to be made on-board. This drawback is proposed to be solved by transitioning to the processing of wideband signals, which will reduce the size of the antenna array while maintaining the same resolution of the generated radio images. At the same time, the methods and algorithms for processing broadband signals in aperture systems are currently not well studied. Therefore, a number of tasks were solved to achieve the aim of the dissertation research. First, in this work, we develop mathematical models of wideband fields reflected from the sounded surface and related coherent and incoherent images. The obtained models are based on the use of  $\omega$ -transforms, and their peculiarity is the avoidance of the need to fulfil the condition of quasi-monochromatic approximation, which created mathematical difficulties in solving the problems of active aperture image synthesis when using wide- and ultra-wideband stochastic sounding signals. At the same time, heuristic algorithms for radio imaging in active aperture synthesis systems are proposed. In addition to the heuristic ones, the optimal algorithm for radio imaging in active aperture synthesis systems is synthesized according to the criterion of maximum likelihood functional, the specific feature of which is the operation of observation decorrelation. This operation makes it possible to extend the operating frequency range and improve the quality of radio images generated by the system. Also, on the basis of the synthesized mathematical model of the optimal algorithm, a structural diagram of the active aperture synthesis radio system is proposed, and the features of its implementation are determined. The obtained imaging algorithms were tested by simulation modelling. As a result, their overall performance, and the effectiveness of the observation decorrelation operation to improve the quality of the obtained images were shown. At the same time, it was shown that the decortication operation is effective only when the ambiguity function of the radio system is estimated with a small error, and an increase in this error leads to a significant distortion of the generated radio images and the general inexpediency of using a decorticating filter. Considering the experimental results, the potential linear resolution of the radio images formed by the proposed active aperture synthesis system is calculated under various conditions. The expediency of its use as a complement to the existing RSAs for the formation of continuous radio images in a wide range of angles is shown.

**Державний реєстраційний номер ДіР:** 0123U102000

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Інформаційні та комунікаційні технології

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- 1. O. E. Tserne, M. V. Nechyporuk, V. V. Pavlikov, A. D. Sobkolov, V. K. Volosyuk, S. S. Zhyla. Aperture synthesis of surface images using active remote sensing with ultra-wideband stochastic signals // Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 79, 2020, Is. 15, pp. 1327-1347.
- 2. Tserne, E., Volosyuk, V., Zhyla, S., Pavlikov, V., Sobkolov, A., Shmatko, O. & Belousov, K. 2021, "Mathematical description of imaging processes in ultra-wideband active aperture synthesis systems using stochastic sounding signals", Radioelectronic and Computer Systems, 2021, no. 4, pp. 166-182.

- 3. Tserne, E., Pavlikov, V., Belousov, K., Zhyla, S., Shmatko, O., Sobkolov, A., Vlasenko, D., Kosharskyi, V., Odokiienko, O. & Ruzhentsev, M. 2021, "Radar imaging complex with sar and asr for aerospace vehicle", Radioelectronic and Computer Systems, 2021, no. 3, pp. 63-78.
- 4. E. Tserne, S. Zhyla, V. Volosyuk, V. Pavlikov, N. Ruzhentsev, A. Popov, et al., "Practical imaging algorithms in ultra-wideband radar systems using active aperture synthesis and stochastic probing signals," in Radioelectronic and computer systems, vol.105, issue 1, 2023, pp. 55-73.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології

**Соціально-економічна спрямованість:** забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0119U100968, 0123U102000

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Волосюк Валерій Костянтинович
2. Valeriy Volosyuk

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.07.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1442-6235

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Васишин Володимир Іванович
2. Volodymyr Vasylyshyn

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.12.17

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5461-0125

**Додаткова інформація:** ;<https://orcid.org/0000-0002-5461-0125>;<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8383205800>;<https://publons.com/researcher/1929335/volodymyr-i-vasylyshyn/>

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба

**Код за ЄДРПОУ:** 24980799

**Місцезнаходження:** вул. Сумська, буд. 77/79, Харків, Харківський р-н., 61023, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство оборони України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Жук Сергій Якович
2. Sergey Zhuk

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 20.02.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0046-8450

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Шульгін Вячеслав Іванович
2. Vyacheslav Shulgin

**Кваліфікація:** к.т.н., професор, 05.12.17

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002- 4128-808

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Васильєва Ірина Карлівна

2. Iryna K. Vasylieva

**Кваліфікація:** к. т. н., доцент, 05.07.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1378-1104

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Тоцький Олександр Володимирович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Тоцький Олександр Володимирович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Дмитренко Євгенія Валеріївна

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна