

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЙ**

Кваліфікаційна наукова праця
На правах рукопису

ПРАВДИВИЙ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 004.056.5: 621.391.825 (043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ
ПРИХОВАНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ**

Спеціальність 125 «Кібербезпека»
Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Подається на здобуття наукового ступеня
доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ А.М. Правдивий
(підпис)

Науковий керівник: ТУРОВСЬКИЙ Олександр Леонідович, доктор технічних наук, професор

Київ - 2024

АНОТАЦІЯ

Правдивий А.М. Методи виявлення сигналів цифрових засобів прихованого отримання інформації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 – «Кібербезпека». – Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання, сутність якого полягає в удосконаленні методів виявлення сигналів по відношенню до цифрових засобів прихованого отримання інформації.

Отримання інформації, до якої доступ обмежений, є бажання багатьох представників конкуруючих суб'єктів. Перевага у суперництві з конкурентами підштовхує до створення різних засобів, за допомогою яких можна отримати приховану інформацію по технічним каналам. Отримання несанкціонованого доступу до інформації за допомогою засобів негласного отримання інформації (ЗНОІ) є однією з можливостей, які намагаються використовувати зловмисники, метою яких є політичні, економічні або соціальні інтереси.

Прискорений розвиток засобів цифрових і аналогових комунікацій та інформаційних технологій має як позитивні так і негативні наслідки. Так сучасні засоби негласного отримання інформації є чудово прихованими та мають першокласні технічні параметри та свої технологічні переваги. Вони вдосконалюються в одному ритмі зі змінами, які стаються у сучасних технологіях.

Ситуація з виявленням та розпізнаванням таких засобів ускладнена тим, що новітні ЗНОІ працюють у цілком легальному діапазоні і їх розпізнавання у приміщенні, яке межує з іншими, заповненими легальними пристроями є досить складною задачею. Саме тому, останнім часом стрімко набирає

вагомості питання автоматизації процесу розпізнавання сигналів ЗНОІ за допомогою дієвих алгоритмів з метою виключення помилок та надійного захисту даних, використовуючи нові методи та знання.

Існуючі підходи накладають обмеження на параметри сигналу, а саме амплітуду, фазу та час. Вони у повній мірі не дають можливості вирішувати питання розпізнавання імпульсних випадкових сигналів, які зазвичай є сигналами цифрових ЗНОІ. Існує протиріччя між необхідністю швидкого, гарантованого та достовірного виявлення сигналів цифрових засобів негласного отримання інформації, що працюють на фоні легальних радіосигналів і можливостями існуючих методів, які використовуються у сучасних автоматизованих комплексах їх розпізнавання. Воно формулює мету дослідження - підвищення точності розрахунку параметрів шкідливих сигналів, які передаються цифровими засобами негласного отримання інформації

Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно вирішити наступні окремі завдання дослідження:

1. Провести аналіз основних методів виявлення, розпізнавання та встановлення параметрів сигналів засобів негласного отримання інформації, які працюють на фоні спектрів випромінювання легальних засобів;
2. Розробити метод розпізнавання сигналів від засобів негласного отримання інформації на фоні спектру випромінювання легальних пристроїв;
3. Розробити модель виявлення спектру випромінювання сигналів засобів негласного отримання інформації на фоні суміші спектрів випромінювання від легальних пристроїв;
4. Розробити метод оцінки параметрів сигналу від засобів негласного отримання інформації спрямований на визначення екстремумів їх значень на фоні спектру випромінювання легальних пристроїв.

5. Оцінити ефективність розпізнавання, встановлення спектру випромінювання та значень параметрів сигналу ЗНОІ.

Об'єкт дослідження.

Процес виявлення сигналів від цифрових засобів негласного отримання інформації на фоні легальних радіосигналів

Предмет дослідження.

Методи виявлення сигналів цифрових засобів негласного отримання інформації на фоні легальних радіосигналів.

Методи дослідження.

Методи досліджень ґрунтуються на використанні математичного аналізу, лінійної та векторної алгебри, теорії імовірностей та теорії масового обслуговування, чисельних методів. Вірогідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, обґрунтовано коректним використанням математичного апарату та моделюванням на ЕОМ, збігом результатів теоретичних досліджень з результатами моделювання та лабораторних експериментів.

Наукова новизна дослідження:

1. Набув подальшого розвитку метод розпізнавання сигналів від ЗНОІ, який на відміну від існуючих, на основі чисельно-аналітичної методології диференціальних перетворень та представлення сигналів узагальненими поліномами, дозволяє розпізнавати сигнали від засобів прихованого отримання інформації на фоні випромінювання легальних пристроїв;
2. Удосконалено модель виявлення спектру випромінювання ЗНОІ, яка, на відміну від існуючих, на основі оцінки значень згладжуючих коефіцієнтів представлення випадкового сигналу (процесу), який представлено у виді полінома, за допомогою мінімуму середньоквадратичної миттєвої похибки, дозволяє визначити частину спектру легального сигналу, у якому випромінює засіб негласного отримання інформації.

3. Удосконалено метод оцінки параметрів сигналу від ЗНОІ, який, на відміну від існуючих, на основі застосування двовимірної сплайн-функції та поліномів Бернштейна, дозволяє встановити значення фази та максимуму енергії випромінювання шкідливого сигналу в діапазоні роботи легальних пристроїв.

Практичне значення одержаних результатів

1. Запропонований метод розпізнавання сигналів від засобів негласного отримання інформації дозволяє виявити вказані сигнали в суміші сумарного спектру при відхиленні їх параметрів від значень еталонної моделі на 5% і більше.

2. Запропонована удосконалена модель виявлення спектру випромінювання від ЗНОІ дозволяє скорити час сканування досліджуваного діапазону роботи легальних пристроїв при виявленні ЗНОІ більше ніж у 2 рази.

3. Метод оцінки параметрів сигналів від ЗНОІ дозволяє, на фоні згладжених характеристик сигналів легальних пристроїв, виявляти миттєві фазові та енергетичні сплески та встановити їх параметри.

Запропоновані методи та методики можуть бути використані для виявлення та розпізнавання сигналів засобів прихованого отримання інформації, що працюють на фоні легальних сигналів та застосовані у нових автоматизованих засобах.

Дисертаційна робота складається з вступу та чотирьох розділів, у яких логічно та на високому науково-технічному рівні викладено вирішення поставлених задач дослідження.

У першому розділі проведено аналіз основних методів виявлення, розпізнавання та встановлення параметрів сигналів засобів негласного отримання інформації, які працюють на фоні спектрів випромінювання легальних засобів. Розглянуто класифікацію та аналіз технічних засобів негласного отримання інформації. Проведено аналіз основних характеристик засобів виявлення та ідентифікації засобів негласного отримання інформації.

Проведено аналіз сучасних автоматизованих комплексів пошуку засобів негласного отримання даних, проаналізовано їх переваги та недоліки.

У другому розділі проведено дослідження радіосигналів засобів прихованого отримання інформації як випадкових сигналів різної потужності на основі апроксимації Т-спектру. Було вперше запропоновано комбінацію методу диференціальних перетворень та методу апроксимації спектральної функції для виявлення та розпізнавання сигналів цифрових засобів прихованого отримання інформації. Проведено комп'ютерне моделювання в середовищі MATLAB за запропонованою та існуючою методиками з метою оцінки ефективності запропонованої методики. Отримано графічні результати, які підтверджують достовірність запропонованого методу та дають змогу оцінити відносну похибку апроксимації.

У третьому розділі проведено аналіз існуючих методів визначення випадкових радіосигналів та розроблено метод визначення випадкових радіосигналів, сигнали яких можуть бути сигналами засобів таємного отримання інформації, що дозволяє виявляти сигнали засобів прихованого отримання інформації з більшою ефективністю. Вперше отримано аналітичну залежність згладжувальної функції випускового процесу для виявлення відхилення головних параметрів сигналів цифрових засобів прихованого отримання інформації.

Для підтвердження запропонованого розробленого методу виявлення радіосигналів засобів негласного отримання інформації на основі моделі випадкових сигналів були зроблені обчислення коефіцієнтів поліноміального згладжування для запропонованої функції. Отримані результати підтверджують можливість визначення сигналів засобів прихованого отримання інформації запропонованим методом та доводять переваги розробленого методу над методами та техніками, що існують наразі.

У четвертому розділі проведено аналіз способів аналітичного представлення виявленого сигналу у виді композиції неперервних функцій та у вигляді сплайн-функції двох змінних. З метою підвищення ефективності

розпізнавання сигналів засобів негласного отримання інформації запропоновано методику побудови сингалу ЗНОІ у виді двовимірної сплайн-функції або тензорного добутку двох одновимірних сплайн просторів та поліномів Бернштейна. Такий спосіб дозволяє покращити ефективність виявлення та розпізнавання сигналів ЗНОІ і його автоматизацію.

Показано, що важливою умовою для розпізнавання ймовірного сигналу цифрової ЗНОІ є знаходження максимуму енергії спектру, що в свою чергу надає можливість застосовувати критерії математичного аналізу досягнення екстремумів функції. Застосування такого математичного апарату надає можливість, використовуючи існуючі технічні і програмних комплекси, автоматизувати процес розпізнавання сигналів ЗНОІ.

Ключові слова: апроксимація, перетворення, резонансні вузли, Т-спектр, випадкова функція, поліном згладжування, випадковий сигнал, сканування, засоби прихованого отримання інформації, безпека інформації, закладний пристрій, композиція функцій, двовимірна сплайн-функція, простір сплайнів, тензорний добуток, поліном Бернштейна.

ANOTATION

Pravdyvyi A.M. Methods for Recognizing Signals from Digital Means of Covert Information Retrieval. - Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 125 – "Cyber Security". – State University of Information and Communication Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

The dissertation is dedicated to solving a relevant scientific problem, the essence of which is to improve methods for recognizing signals related to digital means of covert information retrieval.

Accessing restricted information is a desire of many competing entities. The advantage in competition drives the creation of various means by which hidden information can be obtained through technical channels. Unauthorized access to information using covert information retrieval means (CIRM) is one of the opportunities that malicious actors, with political, economic, or social interests, try to exploit.

The accelerated development of digital and analog communication means and information technologies has both positive and negative consequences. Modern means of covert information retrieval are exceptionally well-concealed and possess top-notch technical parameters and technological advantages. They are being improved in tandem with the changes occurring in contemporary technologies.

The situation with detecting and recognizing such means is complicated by the fact that the latest covert information retrieval means (CIRM) operate within completely legal ranges, making their recognition in rooms adjacent to others filled with legal devices a rather challenging task. This is why, recently, the issue of automating the process of recognizing CIRM signals using effective algorithms has

become increasingly significant. The aim is to eliminate errors and ensure reliable data protection by utilizing new methods and knowledge.

Existing approaches impose limitations on signal parameters, namely amplitude, phase, and time. They do not fully address the issue of recognizing impulsive random signals, which are typically the signals of digital CIRM. There is a contradiction between the need for fast, guaranteed, and reliable recognition of signals from digital covert information retrieval means operating amidst legal radio signals and the capabilities of existing methods used in modern automated recognition systems. This contradiction defines the aim of the research: to improve the accuracy of calculating the parameters of harmful signals transmitted by digital covert information retrieval means.

To achieve the set goal, the following specific research tasks need to be addressed:

1. Analyze the current state of technical means of covert information retrieval and classify the main devices used for signal detection and recognition;
2. Conduct an analysis of modern approaches to recognizing signals from digital information retrieval means using automated systems;
3. Investigate methods of differential transformations and methods of approximating the spectral function for recognizing signals from digital covert information retrieval means;
4. Analyze methods for detecting random radio signals, which may include signals from covert information retrieval means;
5. Improve the methodology for the analytical representation of signals from digital covert information retrieval means.

Object of the research.

The process of recognizing signals from digital covert information retrieval means against the background of legal radio signals.

Subject of the research.

The methods for recognizing signals from digital covert information retrieval means against the background of legal radio signals.

Research methods.

The research methods are based on the use of mathematical analysis, linear and vector algebra, probability theory and queuing theory, as well as numerical methods. The likelihood of scientific results, conclusions, and recommendations presented in the dissertation is substantiated by the correct application of mathematical tools and computer modeling, with the alignment of theoretical research results with those obtained from modeling and laboratory experiments.

Scientific novelty of the research:

1. For the first time, a combination of the method of differential transformations and the method of spectral function approximation has been implemented for recognizing signals from digital covert information retrieval means.
2. For the first time, an analytical dependency of the smoothing function of the emission process has been derived to detect deviations in the main parameters of signals from digital covert information retrieval means.
3. For the first time, a methodology has been proposed for constructing signals from covert information retrieval means using a two-dimensional spline function and Bernstein polynomials which allows determining the phase value and maximum energy of harmful signal radiation within the operational range of legitimate devices.

Practical significance of the obtained results:

1. The proposed method of signal recognition from covert information retrieval means allows detecting these signals in a composite total spectrum when their parameters deviate from the values of the reference model by 5% or more.
2. The proposed enhanced model for detecting the radiation spectrum from covert information retrieval means allows reducing the scanning time of the investigated range of operation of legitimate devices by more than 2 times when detecting covert information retrieval means.
3. The method for assessing parameters of signals from covert information retrieval means allows detecting instantaneous phase and energy spikes

against the smoothed characteristics of signals from legitimate devices, and establishing their parameters.

The proposed methods and methodologies can be used for detecting and recognizing signals from covert information retrieval means operating against the background of legal signals and applied in new automated systems.

The dissertation consists of an introduction and four chapters, in which the solutions to the research tasks are logically and at a high scientific-technical level presented.

In the first chapter, a classification and analysis of technical means of covert information retrieval are conducted. The main characteristics of detection and identification tools for covert information retrieval are analyzed. The chapter also examines modern automated systems for detecting covert information retrieval means, evaluating their advantages and disadvantages. Current approaches to searching and recognizing digital information retrieval means are analyzed as well. In the concluding section of the first chapter, based on the conducted analysis and identified issues, the research objectives and goals are formulated.

In the second chapter, research was conducted on radio signals from covert information retrieval means as random signals of varying power based on T-spectrum approximation. For the first time, a combination of the method of differential transformations and spectral function approximation was proposed for detecting and recognizing signals from digital covert information retrieval means. Computer modeling was performed using MATLAB to evaluate the effectiveness of the proposed methodology compared to existing methods. Graphical results were obtained that confirm the reliability of the proposed method and enable assessment of the relative error of approximation.

In the third chapter, an analysis of existing methods for determining random radio signals was conducted, and a method for identifying random radio signals, which may include signals from covert information retrieval means, was developed. This method allows for the detection of signals from covert information retrieval means with greater efficiency. For the first time, an analytical dependency of the

smoothing function of the emission process was obtained to detect deviations in the main parameters of signals from digital covert information retrieval means.

To validate the proposed developed method for detecting radio signals from covert information retrieval means based on a random signal model, computations of polynomial smoothing coefficients were performed for the proposed function. The obtained results confirm the capability of identifying signals from covert information retrieval means using the proposed method and demonstrate the advantages of the developed method over existing methods and techniques currently available.

In the fourth chapter, an analysis of methods for analytically representing detected signals was conducted, focusing on compositions of continuous functions and two-variable spline functions. To enhance the efficiency of recognizing signals from covert information retrieval means (CIRM), a methodology was proposed for constructing the CIRM signal using a two-dimensional spline function or tensor product of two one-dimensional spline spaces and Bernstein polynomials. This approach improves the effectiveness of CIRM signal recognition and its automation. It was demonstrated that a crucial condition for recognizing potential signals from digital CIRMs is locating the maximum energy spectrum, which allows applying mathematical analysis criteria to achieve function extrema. The application of such mathematical tools enables leveraging existing technical and software complexes to automate the process of CIRM signal recognition.

Key words: Approximation, transformation, resonant nodes, T-spectrum, random function, smoothing polynomial, random signal, scanning, covert information retrieval means (CIRM), information security bug (covert device), composition of functions, two-dimensional spline-function, spline space, tensor product, Bernstein polynomial.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у закордонних фахових виданнях, які включені до наукометричних баз даних:

1. Laptiev, O.; Savchenko, V.; Pravdyvyi, A.; Ablazov, I.; Lisnevsky, R.; Koloss, O.; Hudyma, V. (2021) Method of Detecting Radio Signals using Means of Covert by Obtaining Information on the basis of Random Signals Model. International Journal of Communication Networks and Information Security, Journal article, 2021, Vol.13, Issue 1, p.p. 48-54. (**Scopus**)
<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85104804329&partnerID=MN8TOARS>

Статті у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого МОН України:

2. Шуклін Г.В., Правдивий А.М., Котомчак О.Ю. (2019) Динамічна модель дігностики станів кіберзахисту систем інформатизації з використанням fuzzy-технологій / Г.В. Шуклін, А.М. Правдивий, О.Ю. Котомчак // Сучасний захист інформації // Науково-технічний журнал. – Київ. – 2019. – № 2(38). – С. 17-24.– (0,3 друк. арк.).

<https://doi.org/10.31673/2409-7292.2019.021724>

3. Туровський О.Л., Правдивий А.М. (2024) Моделювання сигналів засобів негласного отримання інформації за допомогою сплайн-функцій. //Сучасний захист інформації // Науково-технічний журнал. – Київ. – 2024. – № 1(57). – С. 22-27.

<https://doi.org/10.31673/2409-7292.2024.010003>

4. Правдивий А.М. (2024) Метод виявлення сигналів засобів негласного отримання інформації на основі їх диференціальних перетворень та апроксимації. //Виміррювальна та обчислювальна техніка в технологічних

процесах // Міжнародний науково-технічний журнал. – Хмельницький. – 2024.
– № 2. – С. 185-194.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-21>.

Матеріали й тези доповідей на конференціях:

5. Pomazun, O., Pravdyvyi, A., Pravdyvyi, O., Simulation of Expert`s Assessement Adjustment for Cognitive Maps Buildings. 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunicatios Science and Technology, PIC S&T 2020 – Proceedings 2021, Conference paper, pp. 697-700. (**Scopus**)

<https://doi.org/10.1109/PICST51311.2020.9467932>

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
ВСТУП	18
РОЗДІЛ 1	26
АНЛІЗ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ, РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА ФОНІ СПЕКТРІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛЕГАЛЬНИХ ЗАСОБІВ.....	26
1.1. Класифікація та аналіз технічних засобів негласного отримання інформації	26
1.2. Аналіз основних характеристик технічних засобів пошуку та виявлення засобів негласного отримання інформації.....	35
1.3. Сучасні автоматизовані комплекси пошуку засобів негласного отримання даних, їх переваги та недоліки	37
1.4. Аналіз сучасних підходів щодо пошуку та розпізнавання сигналів цифрових засобі отримання інформації з використання автоматизованих систем	47
1.5. Постановка наукового завдання дослідження	54
Висновки до розділу 1	57
РОЗДІЛ 2	
МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ ПРИХОВАНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМУВАВННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ АПРОКСИМАЦІЇ Т- СПЕКТРУ	58
2.1. Визначення спектру сигналів (спектральної функції) за допомогою метода диференціальних перетворень	58
2.2. Апроксимація спектральної функції в основі передатних функцій резонансних вузлів другого порядку	61
2.3. Результати математичного моделювання апроксимації спектральної функції за допомогою пакета MATLAB.....	65
Висновки до розділу 2	70
РОЗДІЛ 3	71

МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ ПРИХОВАНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ МОДЕЛІ ВИПАДКОВОГО СИГНАЛУ	71
3.1. Зображення випадкового радіосигналу цифрових засобів таємного отримання інформації, що працюють у режимі імпульсів, в вигляді адитивного нестационарного випадкового сигналу	76
3.2. Згладжування операторів на основі методу найменших квадратів	81
3.3. Оптимізація алгоритму ковзного згладжування для отримання більшої точності апроксимації на кінцях відрізка.....	92
Висновки до розділу 3	96
РОЗДІЛ 4	
МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЛАЙН-ФУНКЦІЙ.....	97
4.1. Модель сигналу засобу негласного отримання інформації сигналів на основі сплайн-функцій	99
4.2. Сплайн-моделювання на основі методу послідовних наближень.....	103
4.3. Наближення спектральної функції поліномами Бернштейна	105
4.4. Обчислення максимального значення сплайн-моделі для знаходження максимуму енергії спектру	112
Висновки до розділу 4	115
ВИСНОВКИ.....	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	118

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗНОІ – засоби негласного отримання інформації

ЦЗНОІ – цифрові засоби негласного отримання інформації

АПК – автоматизований пошуковий комплекс

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

ВПФ – віконне перетворення Фур'є

МНК – метод найменших квадратів

ММП – метод максимальної правдоподібності

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Однією із особливостей сьогодення є важливість не тільки матеріальних та людських ресурсів, але й інформації з найрізноманітніших галузей знань. В епоху жорсткої конкуренції між гравцями на внутрішніх та зовнішніх ринках всіх держав є проблема приховування достовірної інформації, яку використовують крупні держави для керування матеріальним світом. Тому проблема запобігання доступу до таємної, конфіденційної та службової інформації щодо її зберігання, користування та отримання доступу з розвитком науково-технічного прогресу стає однією з ключових в розвинені відносин в умовах конкурентної боротьби.

Отримання інформації, до якої доступ обмежений, є бажання багатьох представників конкуруючих суб'єктів. Перевага у суперництві з конкурентами підштовхує до створення різних засобів, за допомогою яких можна отримати приховану інформацію по технічним каналам. Отримання несанкціонованого доступу до інформації за допомогою засобів негласного отримання інформації (ЗНОІ) є однією з можливостей, які намагаються використовувати зловмисники, метою яких є політичні, економічні або соціальні інтереси.

ЗНОІ працюють за різним фізичним принципом, а значить на теперішній час з урахуванням науково-технічного розвитку, різновид таких засобів дуже великий. Прискорений розвиток засобів цифрових і аналогових комунікацій та інформаційних технологій має як позитивні так і негативні наслідки. Так сучасні засоби негласного отримання інформації є чудово прихованими та мають першокласні технічні параметри та свої технологічні переваги. Вони вдосконалюються в одному ритмі зі змінами, які стаються у сучасних технологіях.

З урахуванням вищевикладеного, можна стверджувати, що задача розпізнавання засобів негласного отримання інформації є питанням

актуальним, складним і потребує постійного розвитку методів виявлення ЗНОІ з подальшим їх вдосконалення.

Під розпізнаванням ЗНОІ ми розуміємо процес отримання інформації з обмеженим доступом по технічних каналах. Так як розповсюдження інформації по технічних каналах здійснюється у вигляді сигналів, які мають різний фізичний принцип, а саме принципи радіотехнічного, акустичного та віброакустичного, оптичного способу передачі інформації, та побічне електромагнітне випромінювання, то процес перехоплення вказаної інформації здійснюється завдяки визначенню параметрів, які характеризують властивості сигналу, який надходить до злоумисника від ЗНОІ. Виявлення та розпізнавання таких ЗНОІ стає дедалі важчою задачею, оскільки методи та режими їх роботи ускладнюються завдяки цифровій схемотехніки. Ситуація з розпізнавання такої інформації ускладнена тим, що новітні ЗНОІ працюють у цілком легальному діапазоні і їх розпізнавання у приміщенні, яке межує з іншими, заповненими легальними пристроями є досить складною задачею.

При проектуванні та розробці сучасних ЗНОІ застосовують складні методи і алгоритми приховування випромінювання своїх виробів. При їх установці застосовуються спеціальні методи маскування передачі, наприклад, може бути створений канал зв'язку з урахуванням випромінювання працюючих поблизу об'єкта легальних засобів, що заважають роботі пошукової техніки.

В умовах початкової невизначеності основні параметри радіосигналів невідомі, створення потрібного алгоритму розпізнавання сигналів загальноприйнятими методами пов'язаний труднощами обробки великої кількості інформації та імовірнісного характеру його опрацювання. Саме тому, останнім часом стрімко набирає вагомості питання автоматизації процесу розпізнавання сигналів ЗНОІ за допомогою дієвих алгоритмів з метою

виключення помилок та надійного захисту даних, використовуючи нові методи та знання.

При вирішенні визначеної в дисертаційній роботі проблеми автор у своїх дослідженнях спирався на праці українських так і закордонні вчених, серед яких: Карпов О.М., Хорошко В.О., Грищук Р.В., Барабаш О.В., Савченко В.А., Шуклін Г.В., Чарлз Беббидж, Вапник В.Н., Пухов Г.Є., Євсєєв С.П., Лаптев О.А., Кунченко Ю.П. та інші вчені.

В переважній більшості проаналізованих робіт були запропоновані підходи, які допомагають вирішувати задачу розпізнавання сигналів з метою подальшого зворотного перетворення та встановлення істотного сигналу. Описані підходи накладають обмеження на параметри сигналу, а саме амплітуду, фазу та час. Такі обмеження у повній мірі не дають можливості вирішувати питання розпізнавання імпульсних випадкових сигналів, які зазвичай є сигналами цифрових ЗНОІ.

Аналіз наукових досліджень вчених показав, що існує протиріччя між необхідністю швидкого, гарантованого та достовірного розпізнавання сигналів цифрових засобів негласного отримання інформації, що працюють на фоні легальних радіосигналів і можливостями існуючих методів, які використовуються у сучасних автоматизованих комплексах їх розпізнавання.

У зв'язку з цим, існує необхідність вирішення *актуальної наукової проблеми*, сутність якої полягає в удосконаленні методів виявлення сигналів по відношенню до цифрових засобів прихованого отримання інформації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. 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 19 науково-технічних розробок на період до 2021 року», затвердженого Постановою КМУ від 7 вересня 2011 р. № 942.

Мета дисертаційної роботи є підвищення ефективності виявлення сигналів цифрових засобів прихованого отримання інформації на фоні спектра випромінювання легальних пристроїв.

Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно вирішити наступні окремі завдання дослідження:

1. Провести аналіз основних методів виявлення, розпізнавання та встановлення параметрів сигналів засобів негласного отримання інформації, які працюють на фоні спектрів випромінювання легальних засобів;
2. Розробити метод розпізнавання сигналів від засобів негласного отримання інформації на фоні спектра випромінювання легальних пристроїв;
3. Розробити модель виявлення спектру випромінювання сигналів засобів негласного отримання інформації на фоні суміші спектрів випромінювання від легальних пристроїв;
4. Розробити метод оцінки параметрів сигналу від засобів негласного отримання інформації спрямований на визначення екстремумів їх значень на фоні спектра випромінювання легальних пристроїв.
5. Оцінити ефективність розпізнавання, встановлення спектру випромінювання та значень параметрів сигналу ЗНОІ.

Об'єктом дослідження є процес виявлення сигналів від цифрових засобів негласного отримання інформації на фоні легальних радіосигналів

Предметом дослідження є методи виявлення сигналів цифрових засобів негласного отримання інформації на фоні легальних радіосигналів.

Методи досліджень ґрунтуються на використанні математичного аналізу, лінійної та векторної алгебри, теорії імовірностей та теорії масового обслуговування, чисельних методів. Вірогідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, обґрунтовано коректним використанням математичного апарату та моделюванням на обчислювальних пристроях, збігом результатів теоретичних досліджень з результатами моделювання та лабораторних експериментів.

Наукова новизна одержаних результатів. У результаті теоретичних, експериментальних досліджень та моделювання одержані наступні нові наукові результати:

1. Набув подальшого розвитку метод розпізнавання сигналів від ЗНОІ, який на відміну від існуючих, на основі чисельно-аналітичної методології диференціальних перетворень та представлення сигналів узагальненими поліномами, дозволяє розпізнавати сигнали від засобів прихованого отримання інформації на фоні випромінювання легальних пристроїв;

2. Удосконалено модель виявлення спектру випромінювання ЗНОІ, яка, на відміну від існуючих, на основі оцінки значень згладжуючих коефіцієнтів представлення випадкового сигналу (процесу), який представлено у виді полінома, за допомогою мінімуму середньоквадратичної миттєвої похибки, дозволяє визначити частину спектру легального сигналу, у якому випромінює засіб негласного отримання інформації.

3. Удосконалено метод оцінки параметрів сигналу від ЗНОІ, який, на відміну від існуючих, на основі застосування двовимірної сплайн-функції та поліномів Бернштейна, дозволяє встановити значення фази та максимуму енергії випромінювання шкідливого сигналу в діапазоні роботи легальних пристроїв.

Практичне значення одержаних результатів у процесі виявлення сигналів від цифрових засобів негласного отримання інформації полягає у наступному:

1. Запропонований метод розпізнавання сигналів від засобів негласного отримання інформації дозволяє виявити вказані сигнали в суміші сумарного спектру при відхиленні їх параметрів від значень еталонної моделі на 12 % і більше.

2. Запропонована удосконалена модель виявлення спектру випромінювання від ЗНОІ дозволяє скорити час сканування досліджуваного діапазону роботи легальних пристроїв при виявленні ЗНОІ більше ніж у 2 рази.

3. Метод оцінки параметрів сигналів від ЗНОІ дозволяє, на фоні згладжених характеристик сигналів легальних пристроїв, виявляти миттєві фазові та енергетичні сплески та встановити їх параметри.

Запропоновані методи та методики можуть бути використані для виявлення сигналів засобів прихованого отримання інформації, що працюють на фоні легальних сигналів та застосовані у нових автоматизованих засобах.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення та результати дисертації отримані автором особисто. У опублікованих у співавторстві роботах автором дисертації зроблено такий особистий внесок.

В [1] було запропоновано алгоритм розбиття часового інтервалу ковзного згладжування на пів інтервали та для оцінки точності проведено розрахунок поліноміальних коефіцієнтів згладжувальної функції.

В [2] проведено аналіз динамічної моделі діагностики станів кіберзахисту систем інформатизації з використанням fuzzy-технологій.

В [3] запропоновано методику побудови сигналу засобів негласного отримання інформації за допомогою двовимірної-сплайн функції та поліномів Бернштейна для визначення максимуму енергії спектру сигналів.

В [4] запропоновано удосконалено модель виявлення спектру випромінювання ЗНОІ, у якому випромінює засіб негласного отримання інформації та проведено комп'ютерне моделювання в середовищі MATLAB за запропонованою та існуючою методиками з метою оцінки ефективності запропонованої методики.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації, які одержані в ході роботи, апробовані та оприлюднені в ході: II Національної науково-методичної конференції «Цифрова економіка» – (Київ, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, 2019), VI міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та взаємодії» – (Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2019), II Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні” (Київ, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьман, 2020), Міжнародної конференції «IEEE 2020 International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T) (Scopus).

Публікації. Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано в 4 наукових працях. У тому числі: 1 наукова стаття у закордонному фаховому виданні, яке включене до інших науко-метричних баз даних, в тому числі 1 стаття індексована в науко-метричній базі Scopus , в 3 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до “Переліку наукових фахових видань України”, тезах доповідей та матеріалах

конференцій, опублікованих у збірниках, в тому числі 1 конференція, яка індексована в науко-метричній базі Scopus.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 145 найменувань на 17 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 134 сторінки, серед яких 100 сторінках основного тексту, 12 рисунків, 1 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ, РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА ФОНІ СПЕКТРІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛЕГАЛЬНИХ ЗАСОБІВ

1.1. Класифікація та аналіз технічних засобів негласного отримання інформації

З підвищенням значення та цінності інформації, відповідно, зростає і важливість її захисту. З одного боку, інформація має певну вартість. Тобто витік, втрата, спотворення або модифікація інформації спричиняють матеріальний збиток. З іншого боку, інформація – це управління [5,135].

Несанкціоноване втручання в управління може привести до катастрофічних наслідків в об'єкті управління – промислового виробництва, транспортній системі, банківській справі, на військовому або інфраструктурному об'єктів [6,136].

Питання інформаційної безпеки сьогодні актуальне як ніколи раніше [7]. Кількість використовуваної техніки продовжує зростати, отже, зростає і значення організаційного та програмно-технічного захисту від витоку інформації [8]. Під виток інформації з технічного каналу розуміється неконтрольоване поширення інформації від носія інформації, що захищається, через фізичне середовище до технічного засобу, який здійснює перехоплення інформації [7,9,10,11,12].

Класифікація технічних засобів негласного отримання інформації наведено на рис. 1.1 [11,12,13].



Рис. 1.1. Класифікація пристроїв несанкціонованого отримання інформації

Залежно від фізичної природи виникнення інформаційних сигналів та середовища їх поширення технічні канали витоку акустичної (голосової) інформації можна розділити на: прямі акустичні (повітряні), акустично-вібраційні (вібраційні), акустично-оптичні (лазерні), акустично-електричні (параметричні) [14].

Причому інформацію отриману з перерахованих вище каналів витоку інформації найпростіше передати по радіоканалу [15]. Радіоелектронні закладні засоби негласного отримання інформації являють собою організований канал несанкціонованого отримання і передачі аудіовізуальної інформації за допомогою радіоелектронної апаратури.

Засоби негласного отримання інформації можливо класифікувати за кількома ознаками:

- ЗНОІ-пристрої, що випромінюють в ефір;
- закладні пристрої, що не випромінюють в ефір (з передачею перехопленої інформації по мережах управління, живлення тощо);

- ЗНОІ-пристрої з перевипромінюванням;
- закладні пристрої з передачею перехопленої інформації по каналу зв'язку.

У першу групу входять ЗНОІ, призначені для отримання аудіо інформації з акустики приміщення.

До закладних пристроїв з передачею інформації без випромінювання в ефір можна віднести групу закладних пристроїв у лініях зв'язку, живлення, управління та охоронної сигналізації з використанням цих ліній зв'язку для передачі перехопленої інформації [14]. Проява розглянутих вище груп закладних пристроїв при їх передачі перехопленої інформації по-різному, оскільки вони можуть проявлятися в радіодіапазоні, як радіовипромінювання з різними видами модуляції або кодування, в ІЧ-діапазоні як низькочастотні випромінювання в лініях зв'язку, управління, живлення.

Загальні характеристики закладних пристроїв:

1. Виконання, у вигляді технічних модулів закамфльованих під технічні елементи та пристрої, елементи одягу, побутові предмети.

2. Потужність випромінювання:

- до 10 мВт – мала;
- від 10 до 100 мВт – середня;
- більше ніж 100 мВт – велика;
- з регульованою потужністю випромінювання.

3. Використовуваний вид модуляції:

- АМ, FM, WFM і інші;
- з частотною мозаїкою;
- інверсія спектру;
- дельта-модуляція (адаптивна дельта-модуляція);
- шумоподібні сигнали.

4. Щодо стабілізації частоти:

- нестабілізовані;
- з схемотехнічною стабілізацією частоти;

- кварцовою стабілізацією.

Перехоплена інформація може бути передана по повітрю (радіозакладні ЗНОІ), в мережах живлення, управління, зв'язку (закладні пристрої). Для виявлення випромінювальних в ефір радіозакладних ЗНОІ необхідно визначити можливий діапазон їх роботи та види модуляції, які вони використовують.

Як впливає з аналізу існуючих ЗНОІ, діапазон їх роботи досить широкий і має тенденцію до просування на більш високі частотні діапазони, до використання пристроїв з змінюваними частотами. Радіозакладні ЗНОІ можуть працювати в усьому діапазоні від 20 до 6000 МГц і вище. Це суттєво ускладнює завдання пошуку ЗНОІ по їх випромінюванню.

Найбільш ускладнення в пошуку закладних пристроїв викликають зміна та удосконалення видів модуляції, використовуваних в закладних пристроях. У радіозакладних ЗНОІ в основному застосовується модуляція несучої частоти передавача, однак зустрічаються радіозакладні ЗНОІ з модуляцією сигналу проміжної частоти або подвійної модуляції.

Прийняття таких сигналів на звичайний супергетеродинний приймач неможливий (після детектування прослуховується звичайний шум). Для приймання сигналів може бути використаний тільки спеціальний приймач. В наш час все ще широко використовуються ЗНОІ з WFM (широкосмугового) і NFM (вузькосмугової) модуляцією, але з'явився принципово новий клас радіозакладних ЗНОІ з дельта-модуляцією. Крім того, в найбільш професійних ЗНОІ використовують такі складні сигнали, як шумоподібні або з псевдовипадковою перестановкою несучої частоти. При кодуванні перехопленої інформації часто застосовується аналогове скремблювання, змінює характеристики речового сигналу таким чином, що він стає нерозбірливим. У технічних характеристиках ряду радіоприймальних пристроїв пошуку засобів негласного отримання інформації, кількість можливих, для гарантованого перехоплення, видів модуляції та кодування не перебиває можливостей, закладених в засобах негласного отримання

інформації. Це істотно ускладнює пошук закладних пристроїв по їх випромінюванню, вимагає постійної модернізації автоматизованих комплексів пошуку для забезпечення пошуку та перехоплення, постійно поновлюваних засобів негласного отримання інформації.

Суттєве значення для організації каналів передачі перехопленої інформації в радіодіапазоні має антенна система, яку використовують в закладному пристрої. В якості такої можуть бути використані:

- а) власне антенний пристрій;
- б) випадкова антена.

Частіше картина істотно змінюється, якщо, в якості антени, використовуються відрізки лінії передач, в які включаються закладні пристрої, так звані випадкові антени. Відрізки телефонної лінії передачі (якщо закладний пристрій включається в розетку телефонної лінії та інше. В останньому випадку довжина цих відрізків може бути самою різною, і діаграма спрямованості та поляризаційні характеристики антени виходять різними.

При використанні ЗНОІ, які працюють в ІЧ-діапазоні, приймальний пристрій (з антеною) маскується, як правило, в приладах спостереження або фотографування, тому, що для цього діапазону частот антенний пристрій повинно бути виконано у вигляді направленою пристрою. Разом з таким позитивним якістю, як хороше приховання факту передачі, слід відзначити необхідність суворої фіксації положення закладки та приймального пристрою, а також забезпечення прямої видимості між ними (для забезпечення мінімального загасання на трасі передачі перехопленої інформації).

Для протидії перехоплення випромінювання ЗНОІ використовується включення ЗНОІ тільки на момент проведення переговорів у приміщенні, де він встановлений. Це може бути здійснено шляхом включення в схему ЗНОІ системи управління включення передавача від голосу (система VAS або VOX). У цьому випадку засіб негласного отримання інформації працює (при відсутності джерела акустичного сигналу) в черговому режимі як приймач

акустичного сигналу, що вимагає мінімального споживання від джерела живлення.

При появі в приміщенні джерела акустичного сигналу система містить радіопередавач і закладка працює в повному режимі з передачею перехопленого акустичного сигналу. Включення такої системи в склад засобу негласного отримання інформації дозволяє підвищити її скритність і збільшує термін її дії. Для цих же цілей може бути використана система дистанційного управління. Як правило, ця система використовується для включення і виключення передавача ЗНОІ, а також для зміни режиму роботи передавача, величини випромінюваної потужності та параметрів випромінюваного сигналу.

Це досить складні системи, у такій системі в черговому режимі працює тільки радіоприймальний пристрій контролю управління, після подачі сигналу керування включається передавальний пристрій ЗНОІ. Для передачі сигналу управління використовується, як правило, УКХ діапазон, сигнали управління кодуються в цілях уникнення помилкових спрацьовувань.

В даний час розроблені ЗНОІ, які можуть контролювати кілька приміщень (наприклад, мають два і більше мікрофонів для контролю різних приміщень). Система дистанційного керування дозволяє здійснювати підключення контрольованих приміщень, оптимізувати потужність випромінювання передавача закладки метою їх захисту від перехоплення радіовипромінювань закладного пристрою.

Ще одним способом підвищення скритності переданої ЗНОІ інформації є використання проміжного накопичення перехопленої інформації. До складу такого ЗНОІ-пристрою входить цифровий накопичувач, передавач – для прискореної передачі накопиченої інформації та канал керування роботою ЗНОІ. У подібному ЗНОІ протягом декількох годин накопичується, перехоплена інформація, а потім протягом декількох секунд передається в ефір.

Природно, що використання можливих способів приховування інформації істотно позначається на вимоги до радіоприймального пристрою пошуку закладних пристроїв по їх випромінюванню. ЗНОІ виконуються у вигляді технологічних модулів або закамуфльованими в певні пристрої. Випускається значна кількість ЗНОІ, які закамуфльовані в предмети та пристрої, як правило, супутні для співрозмовників (попільничку, вазу, запальничку, калькулятор або розташовуються в місцях, де проводяться переговори, трійники, перехідні пристрої, настільні лампи, елементи одягу тощо).

Певні обмеження на використання ЗНОІ-пристроїв надають необхідні для їх роботи джерела живлення. Проблема не стоїть гостро, якщо для живлення використовуються зовнішні джерела живлення та мережа живлення (постійна чи змінна), телефонна лінія зв'язку, джерела живлення пристроїв, під які закамуфльовані ЗНОІ-пристрою. Однак і при цьому потужність, що відбирається з цих мереж для живлення ЗНОІ, повинна бути обмеженою. Це пов'язано насамперед з тим, щоб з відбору цієї потужності можна було визначити наявність закладного пристрою. Дана вимога обмежує потужність таких ЗНОІ та дальність їх дії.

При живленні ЗНОІ-пристроїв від автономних джерел живлення (батареї, акумуляторів тощо), час їх роботи може складати від декількох годин до декількох місяців. Використання схем управління роботою передавача (систем VAS, VOX, дистанційних систем управління роботою передавача і т. п.) дозволяє збільшити часовий інтервал працездатності ЗНОІ-пристрою і довести його до кількох років при забезпеченні режиму роботи закладки по включенню до одного-двох місяців.

Відомі випадки, коли живлення ЗНОІ-пристроїв здійснювалося від систем світло перетворення, причому такі системи дають живлення, як від природного, так і від штучного світла. Наприклад, такий світло перетворювач може починати роботу при включенні світла в приміщенні, де встановлена

закладка. Тому, саме ЗНОІ буде працювати тільки в момент наявності світла в приміщенні.

Перші відомості про ЗНОІ з перевипромінюванням відносяться до середини 1940-х років, коли в одному з патентів було описано пристрій, у конструкцію якого був певним чином включений чверть хвильовий резонатор, налаштований на частоту 330 МГц. Спецслужба Англії (MU5) створила копію цього пристрою, який використовувалося як спецслужбами Англії, так і Америки під кодовою назвою «Сатир». Подібні пристрої працюють в УКХ і НВЧ діапазонах.

Закладні пристрої, пов'язані з електромережою, можуть бути умовно розділені на дві групи:

- закладні пристрої, що забезпечують контроль акустичної інформації приміщення з передачею перехопленої інформації мережею електроживлення;
- ЗНОІ, що забезпечують акустичний контроль приміщення з живленням від мережі електроживлення і передачі перехопленої інформації по радіоканалу.

Однією з істотних особливостей подібних закладних пристроїв є необмежений час їх роботи (поки є мережа живлення). Закамуфльовані під широко використовуються в побуті та роботі такі прилади, як подовжувачі, трійники, настінні лампи та інші побутові електроприлади, подібні закладні пристрої досить просто можуть бути впроваджені в цікаве приміщення. У подібних пристроях акустичний канал мікрофону виконується як конструктивні зазори пристрої, у які маскують ЗНОІ. Габарити пристроїв камуфляжу забезпечують розташування передавальних пристроїв і при необхідності антенних систем. Всі пристрої камуфляжу зберігають своє пряме призначення. Включення закладних пристроїв забезпечується, як правило, включенням у подовжувач, трійник тощо.

Для забезпечення більшої скритності закладних пристроїв використовується дистанційне керування, що дозволяє вмикати закладний пристрій тільки на необхідний час.

Інша група ЗНОІ-пристроїв з живленням від електромережі призначена для передачі інформації по радіоканалу. Закладні пристрої є рукотворними технічними каналами витоку інформації, призначеними для прихованого отримання інформації, тому при їх установці, вживаються заходи для маскування різними способами.

Маскування закладних пристроїв істотно ускладнює їх пошук і захист від витоку інформації. На практиці для захисту об'єкта від закладних пристроїв можуть бути використані різні варіанти дій, пов'язаних з такими умовами діяльності об'єкта.

Виходячи з вищевикладеного методики та методи пошуку засобів негласного отримання інформації підлягають постійного удосконалення. В зв'язку з цим пошук радіоканалів ЗНОІ і методи нейтралізації стають актуальними на сучасному етапі розвитку. На сучасному рівні розвитку техніки пошук радіоканалів ЗНОІ ускладнюється декількома факторами:

-по-перше, розробники ЗНОІ застосовують все більш складні методи і алгоритми приховання випромінювання своїх виробів [16]. На етапі установки ЗНОІ застосовуються спеціальні методи маскування, наприклад, створюється канал знімання інформації з урахуванням випромінювання працюючих поблизу об'єкта легальних засобів, що заважають роботі техніки пошуку ЦЗНОІ.

-по-друге, триває збільшення застосування радіочастотного діапазону для організації зв'язку, передачі даних і команд управління. Зараз вже практично весь радіочастотний спектр залучений під роботу пристроїв легальних радіодіапазонів. Це викликає ускладнення радіомоніторингової обставини [17,18], особливо в великих містах.

Виходячи з вищевикладеного, можливо зробити висновок що розробники сучасних ЗНОІ з передачею інформації по радіоканалу переходять на цифрові стандарти дуже близьких до легальних або в діапазони роботи легальних радіосигналів.

1.2. Аналіз основних характеристик технічних засобів пошуку та виявлення засобів негласного отримання інформації

На сучасному ринку представлена широка номенклатура пристроїв пошуку та блокуванню засобів негласного отримання інформації. Це скануючі приймачі: AR 8200, AR-ALPHA, AR8600 Mk2, AR5001D, SR-2000A, детектор електромагнітного випромінювання Protect 1206i, індикатор поля “I-protect”, детектор сигналу SURESAFE SH-055DRV, сканер безпроводних відеокамер “С-Hunter”, багатофункціональний пошуковий прилад “Піранья ST 031” , аналізатор ліній “ULAN-2”, аналізатор спектру “Egilent N1996A”, пошукова система DigiSkan EX, багатофункціональний пошуковий прилад Andre, пошуковий комплекс “Delta-X”, автоматизований пошуковий комплекс для виявлення електромагнітних випромінювань закладених ЗНОІ АК ВЗП "ТІКОС-18", автоматизовані комплекси виявлення радіовипромінювань, пошуку ЗНОІ та виміру ПЕМВН від засобів ЕОТ АКОР та інші [19-27].

Слід відмітити, що автоматизований програмний комплекс пошуку ЗНОІ, в своєму складі має:

- пристрій виявлення сигналів радіодіапазону;
- антено-фідерної системи вимірювання та пеленгації;
- обчислювальний пристрій;
- програмний засіб (або набір декількох програмних засобів) обробки сигналів;
- програмний засіб локалізації сигналів [28].

Для визначення частотних параметрів визначених вище приладів та комплексів, проведемо їх короткий аналіз. Проводячи скорочений частотний аналіз засобів пошуку ЗНОІ, приведених в сучасній літературі, зробимо акцент на частотних параметрах. Дані пошукових засобів приведені в таблиці 1.1:

Таблиця 1.1

Частотний діапазон пристроїв та комплексів пошуку ЗНОІ

Засоби пошуку ЗНОІ	Основний діапазон пошуку	Наявність приладу, для збільшення діапазону частоти
Детектори поля		
NR-D	50-3500 МГц	
ST-110	50-2500 МГц	Антенна-перетворювач до 7 ГГц
Protect 1206i	50-3500 МГц	
SEL SP-75 Black Hunter	100-3000 МГц	
Універсальні пошукові пристрої		
ST-033"Піранья"	30 кГц -2500 МГц	ST 03.SHF до 10 ГГц
ST-131"Піранья-2"	30 кГц -4100 МГц	ST 131.SHF до 18 ГГц
СРМ-700	200 Гц – 3 ГГц	ВМР-1200 до 12 ГГц
Скануючі пристрої		
AOR 8200	30 кГц -3000 МГц	
AR8600 Mk2	30 кГц -3300 МГц	
SR-2000A	30 кГц -3000 МГц	
Апаратно-програмні комплекси радіомоніторингу		
"Кассандра-М"	24кГц-3000 МГц	СВЧ-конвертер до 18 ГГц
АК ВЗП "ТІКОС-18"	25кГц-3300 МГц	
OSC-5000	10 кГц – 3 ГГц	МДС-2100 до 21 ГГц
АКОР	30кГц-3300 МГц	
Delta 2000/6 Real-time	40кГц-6000 МГц	

Із наведених даних (див. табл. 1.1) можливо зробити висновок, що основні частотні діапазони роботи цих засобів – надвисокочастотний 30-300 МГц, плюс ультрависокої частоти 300-3300 МГц [29]. Тобто вони не можуть повною мірою робити аналіз цифрових пакетів, стосовно поставлених завдань пошукового радіоконтролю. Це доводить, що діапазон технічних приладів вже вийшов за рамки аналогових радіосигналів. Тому потрібно використовувати інші прилади вимірювання сигналів.

1.3. Сучасні автоматизовані комплекси пошуку засобів негласного отримання даних, їх переваги та недоліки

Сучасна тенденція розвитку техніки доводить, що для її роботи все більше використовується цифрова обробка сигналів. Для проведення аналізу автоматизованих пошукових комплексів ЗНОІ, коротко розглянемо методи приховування роботи ЦЗНОІ, що застосовуються при розробці таких пристроїв. Відразу відзначимо, що в даний час набагато легше зробити цифровий передавач, використовуючи сучасну елементну базу стандартних засобів зв'язку, ніж конструювати і налагоджувати «аналогову» закладку на транзисторі з позитивним зворотним зв'язком. Тому, сучасні і перспективні вимоги до комплексів пошуку засобів негласного отримання інформації впливають з аналізу можливостей сучасних цифрових засобів передачі даних.

Сучасні радіозакладки можуть використовувати такі методи приховування каналу передачі даних:

- методи накопичення інформації та дискретної її передачі за короткі проміжки часу (до декількох мілісекунд);
- методи накопичення інформації за досить тривалий час з наступною передачею в призначений час або при отриманні зовнішньої команди;
- періодичну або хаотичну перебудову частоти каналу випромінювання;

- використання широкосмугових сигналів, коли енергія сигналу розподілена в широкій смузі частот і сигнал не має яскраво вираженого перевищення над шумами;
- реалізація шумоподібних закладок, які використовують спеціальні алгоритми кодування, що дозволяють стійко приймати інформацію при негативному відношенні сигнал/шум в точці знаходження приймача;
- вибір частоти випромінювання поряд з потужними джерелами легальних сигналів, які перевантажують прийомні тракти пошукової апаратури при недостатньому динамічному діапазоні або маскуються спектром легального сигналу при недостатньо низьких фазових шумах радіоканалу пошукових комплексів;
- маскування під стандартні канали зв'язку і/або робота вузькосмугових випромінювань усередині спектра легальних широкосмугових сигналів;
- використання стандартних каналів зв'язку таких як GSM, CDMA, Wi-Fi, Bluetooth [30].

Використовувані методи можуть комбінуватися один з одним. Так, наприклад, використання сигналів з над широкої смугою займаних частот може комбінуватися з методом накопичення інформації та дискретної її передачею та інше [31]. ЗНОІ, що використовують методи накопичення інформації та дискретної її передачі, перебудови частоти випромінювання і дистанційне керування, надійно можна ідентифікувати тільки по демаскуючим ознакам в просторі амплітуда-частота-час. Які б складні алгоритми приховання каналу передачі даних не застосовувалися в закладках, вони все одно себе демаскують за певною закономірністю (періодичністю) виходу в радіоефір. Ці демаскуючі ознаки радіозакладок виявляються оператором АПК при виконанні часового аналізу радіочастотного спектру [32]. Саме частотно-часовою закономірністю закладки відрізняються від випадкових сплесків індустріального шуму в радіодіапазоні, який недосвідчений оператор може прийняти за сигнал ЗНОІ [33].

При пошуку таких ЦЗНОІ мова не йде про миттєве їх виявлення. Для надійного їх виявлення потрібно радіомоніторинг протягом тривалого часу: до доби або більше, з подальшим аналізом всіх вимірних панорам в часовій площині в поданні спектрограми («водоспаду») [34]. Виходячи з цих міркувань, пред'являються вимоги до алгоритмів, які повинні бути реалізовані в програмному забезпеченні автоматизованого комплексу.

Відносно виявлення над широкосмугових і шумоподібних закладок, зазначимо таке: метод їх виявлення заснований на тому, що в ближній зоні відношення сигнал/шум, навіть у таких передавачів, буде вище нуля, тому збільшення рівня шуму в окремих діапазонах частот може свідчити про роботу таких пристроїв [35].

З цього можна сформулювати вимоги до прийомних засобів комплексів радіомоніторингу: для того, щоб відслідковувати зміну рівня шуму на тлі сильних сигналів приймальний засіб повинен мати хорошу чутливість і широкий динамічний діапазон (не менше 80-90 дБ) [36].

Теза про те, що динамічний діапазон в комплексах радіомоніторингу не так важливий, так як закладки в ближній зоні мають високу потужність сигналу і тому можна використовувати атенюатор, неприйнятний в разі пошуку над широкосмугових і шумоподібних сигналів.

Ситуація, коли разом із закладкою в смузі преселектора працює легальний засіб зв'язку, рівень сигналу якого перевищує рівень закладки на 70-90 дБ, в даний час не є рідкістю. Рівень 70-90 дБ – це дуже високий рівень сигналу, який здатний перевантажити багато радіоприймальних засобів [37]. Якщо сигнал перевищує рівень динамічного діапазону приймального тракту, то на панорамі сигналів буде відображено безліч помилкових побічних і комбінаційних сигналів, які вкрай нестабільні по частоті, амплітуді і в часі. Досвід знайомства з цілою низкою представлених на ринку комплексів радіомоніторингу, при формальній відповідності параметрів їх динамічного діапазону пошуковим вимогам, виявив, що вони легко перевантажуються від

працюючого неподалік простого передавача типу портативної радіостанції двостороннього зв'язку.

Природно, що при наявності великої кількості помилкових сигналів говорити про якість пошуку закладних пристроїв не доводиться. Для пошуку «хитрих» закладок, які маскуються під спектр легальних сигналів або для пошуку вузькосмугових сигналів, які вміють ховатися в спектрі легальних сигналів, комплекс радіомоніторингу повинен мати засоби детального дослідження спектрів сигналів з досягненням дозволу в одиниці Герц [38].

Безумовно, досвід оператора і його інтуїція мають тут вирішальне значення. Проте, і апаратура і програмне забезпечення комплексу повинні дозволити оператору виконувати такі завдання. Нарешті, для ідентифікації пошуку закладних радіопристроїв, що використовують стандартні канали зв'язку, такі як DECT, GSM, CDMA, Wi-Fi, Bluetooth, крім ідентифікації роботи цих передавачів методом аналізу відповідних частотних діапазонів, комплекс радіомоніторингу повинен мати засоби додаткового аналізу мереж, що дозволяють виявляти «чужі» MAC адреси або ідентифікувати «чужі» абонентські пристрої для тих мереж, для яких це можливо. Необхідно констатувати, що окремих приладів аналізу цифрових пакетів, стосовно завдання пошукового радіоконтролю зараз практично немає [40].

Перша спроба створити програмні засоби (ПЗ) демодуляції та аналізу цифрових засобів радіозв'язку можливо вважати пакет цифрової обробки сигналів в програмному забезпеченні програмного засобі АПК DigiScan та в програмному засобі «РадіоІнспекторСофт™» [39]. ПЗ «РадіоІнспекторСофт™» знайшло своє подальше застосування в АПК «Касандра». Пошуковий автоматизованої комплекс «Касандра» з ПЗ RadioInspector надає оператору наступні можливості: довгостроковий контроль діапазону (діапазонів) частот, збір, зберігання і відображення даних про стан радіочастотного спектру за весь час вимірювань (спектрограма або "водоспад" без обмежень за розміром даних вимірювань) [41]. Використання бази даних частотних присвоєнь, лінії порога, переліку сигналів, що

перевищують лінію порога. Запис і аналіз демодульованого аудіо сигналу, формування завдання на запис демодульованого аудіо сигналу при перевищенні лінії порога. Управління другим скануючим приймачем як засобом аудіо контролю без зупинки сканування основним приймачем (настройка на частоту, прослуховування і запис демодульованого аудіо сигналу без зупинки сканування). Можливість управління скануючим приймачем дистанційно (по мережі), передача демодульованого аудіо сигналу по мережі в реальному масштабі часу. Контролювати пристрої бездротового зв'язку Wi-Fi. Моніторинг за пристроями Wi-Fi-мереж діапазонів 2.4 / 5 ГГц з можливістю автономного, цілодобового збору інформації з подальшою передачею накопиченої інформації по мережі LAN.

Робота в реальному масштабі часу. Аналізувати сигнали DECT, GSM, Bluetooth, TETRA, APCO 25, DMR, IEEE 802.15.4 (ZigBee), UMTS (3G) [38,42].

Зовнішній вид апаратно-пошукового комплексу "Кассандра" наведено на рис. 1.2:



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд пошукового АПК «Кассандра» з ПЗ «РадиоИнспекторСофт™»

Як бачимо з опису, комплекс з ПЗ «РадіоІнспекторСофт™» дозволяє практично виконувати всі завдання пошуку цифрових радіозакладок, однак недоліком цього комплексу і ПЗ є його модульність, яка не дозволяє виконувати пошук відразу в повному обсязі. Для цього необхідно опційно докупувати додаткові модулі такі як RadioInspectorWI-FI, DTest (Digital Test) та інше. Оператору необхідно працювати в різних програмних середовищах відсутній так зване «єдине вікно» пошуку ЗНОІ.

Недоліки є у алгоритмах перетворення та розпізнавання. Так у алгоритмі перетворення основним є алгоритм віконного перетворення Фур'є, у алгоритмі розпізнавання – алгоритм порівняння сигналів з заданими оператором.

Цього недоліку частково позбавлений АПК Delta X, який є продовженням АПК з DigiScan. Розробник удосконалив ПЗ DigiScan, доповнивши його можливостями:

демодулювати та аналізувати сигнали, що працюють в стандартах DECT, GSM, Bluetooth, Wi-Fi, TETRA; виконувати демодуляцію та відображувати картинку аналогового телевізійного сигналу, в тому числі, з використання методу інверсії синхроімпульсів;

демодулювати аналогові АМ- и FM-сигнали в смузі частот від десятків герц до декількох мегагерц.

Результатом цих удосконалень, намагаючись виконати вище викладені вимоги в повну обсязі, став апаратно-програмний комплекс (АПК) з ПЗ «Delta 2000/6 Real-time X Advanced». Зовнішній вигляд комплексу представлено на рис. 1.3:



Рис. 1.3. Зовнішній вигляд пошукового АПК з ПЗ «Delta 2000/6 Realtime X Advanced»

На сьогодні автоматизований пошуковий комплекс на базі ПЗ Delta X—це самий передовий комплекс, що дозволяє шукати цифрові радіозакладки, демодулювати, аналізувати, ідентифікувати та локалізувати базові станції та мобільні пристрої [43]. Цей АПК наблизився до оптимального, однак програмний засіб його не використовує для пошуку векторний аналіз, в повну обсязі. Тобто не приділено потрібної уваги векторному аналізу та автоматичній пеленгації цифрових радіозакладок. У якості перетворення вхідних сигналів розробник використовує віконне перетворення Фур'є, що не відповідає сучасним вимогам. Віконне перетворення Фур'є не може у повній мірі задовольняти перетворенню цифрових сигналів.

Аналіз був би не повний як що не буде розглянуто комплекс АКОР. АКОР-5 ПК є другим поколінням універсальних професійних пошуково-вимірювальних комплексів серії АКОР і призначений для пошуку ЗНОІ. Для нього характерні такі особливості:

- використання в якості обчислювача сучасного ПК дозволяє удосконалювати програмне забезпечення комплексу і розширювати його функціональні можливості з радіомоніторингу, виявленню малопотужних

цифрових пристроїв, виявленню технічних каналів витоку інформації від персональних електронно-обчислюваних машин;

- висока автоматизація всіх процесів виявлення технічних каналів витоку інформації по паразитичним електромагнітним випромінюванням (ПЕМВ);

- наявність звукового корелятора для виявлення паразитного модуляції ПЕМВ голосових сигналів;

- наявність набору фільтрів з шириною смуги до 1 Гц, що дозволяє вимірювати сигнали, що лежать нижче рівня шумів;

- універсальність, тому що він поєднує в собі функції двох комплексів:

 - пошукового – для радіомоніторингу та вимірювального який вимірює та визначає ПЕМВ (два в одному);

- простота управління і перемикання з пошукового режиму роботи комплексу в вимірювальний і у навпаки.

Цей АПК перевершує вище описані комплекси по виявленню технічних каналів витоку інформації по ПЕМВ, однак поступається їм по спектральному аналізу та локалізації цифрових ЗНОІ. Так у процесі радіомоніторингу перетворення вхідних сигналів розробник також використовує віконне перетворення Фур'є, що не відповідає сучасним вимогам [44].

Виявлення ПЕМВ у сучасній радіоефірній обстановці проводиться надійно тільки на малій відстані від джерела ПЕМВ, що значно збільшує час перевірки [45].

Зовнішній вигляд комплексу представлено на рис. 1.4:



Рис. 1.4. Зовнішній вигляд пошукового АПК АКОР-5ПК

Підсумовуючи вищенаведені факти, бачимо що всі перераховані АПК мають недоліки. Для того щоб уникнути цих недоліків, потрібно сформулювати наступні вимоги до перспективного автоматизованого програмного комплексу радіомоніторингу:

1. Сучасний комплекс АПК повинен мати досить високоякісні тракти аналогової і цифрової обробки сигналу, щоб присутність сторонніх потужних сигналів не заважало йому виявляти над широкосмугові і шумоподібні сигнали. У тактико-технічних характеристиках радіоприймальних засобів відповідність цим вимогам відображається в таких характеристиках як чутливість і динамічний діапазон. З розвитком технологій дані характеристики будуть поліпшуватися. За точку відліку в даний час можна прийняти характеристики сучасних вимірювальних приймачів з чутливістю, не менше – 160 дБ (1 Гц) та динамічним діапазоном не менше 85 дБ на частоті 1 ГГц.

2. Сучасний комплекс радіомоніторингу повинен мати досить високоякісне і багатофункціональне програмне забезпечення, яке повинно дозволяти, виконувати наступні функції:

- швидко виконувати виявлення сигналів ЗНОІ, для чого використовувати нові методи перетворення сигналів (позбавитися недоліків методів які використовуються на теперішній час);

- забезпечувати розпізнавання сигналів ЦЗНОІ, за допомогою програмних засобів нового покоління, які повинні розпізнавати сигнали, крім класичних методик, ще і методом аналізу енергетичної щільності сигналів;
- проводити аналіз амплітудно-частотно- часового подання результатів радіомоніторингу в режимі реального часу та в відкладеному режимі, мати можливість аналізувати весь сигнал через тривалий період часу;
- проводити аналіз швидкості зміни амплітудно-частотно-часового подання результатів радіомоніторингу в режимі реального часу та в відкладеному режимі, мати можливість аналізувати весь сигнал через тривалий період часу;
- виконувати аналіз сигналів по векторній діаграмі у режимі реального часу та у відкладеному режимі;
- здійснювати пеленгацію невідомих джерел радіосигналів та мати можливість робити пеленгаційне поле.

Крім цього, програмне забезпечення повинно підтримувати методи пошуку, що стали вже «традиційними» і широко використовуються на практиці:

- метод рознесених антен;
- метод порівняння з еталонною панорамою;
- використання селективної лінії порогу і формування переліку сигналів, які перевищили лінію порогу;
- детальний аналіз характеристик спектрів прийнятих сигналів до 6 ГГц;
- автоматичний запис фонограм і низькочастотний аналіз демодульованого аудіо сигналу.

Безумовно, пошук сучасних ЦЗНОІ – це інтелектуальна боротьба розробника таких засобів і оператора, що виконує пошук закладок [2,46,47].

Програмне забезпечення – це інструмент пошуку, і від того, наскільки воно функціональне і зручне, в чималому ступені, залежить результат робіт [2,48]. Підсумовуючи вищенаведені факти, бачимо що всі перераховані АПК мають недоліки. Підвищення функціональних можливостей, ергономічних

характеристик і розробка нового програмного забезпечення всіх комплексів пошуку ЦНОІ є найбільш актуальними завданням на сьогодні.

1.4. Аналіз основних методів виявлення, розпізнавання та встановлення параметрів сигналів засобів негласного отримання інформації, які працюють на фоні спектрів випромінювання легальних засобів

Аналіз сучасних автоматизованих комплексів показав, що процес пошуку ЦЗНОІ АПК має суттєві недоліки. Перший недолік – це використання у якості вимірювальних пристроїв радіосигналів, скануючих приймачів, або спектр-аналізаторів з недостатньою роздільною здатністю та частотним діапазоном вимірювання сигналів [49]. Цей недолік усувають з розвитком технічної елементної бази та конструктивними рішеннями перспективних спектр-аналізаторів та векторних аналізаторів.

Більше уваги заслуговує застосованих у сучасних АПК програмних засобів. Програмне забезпечення – це інструмент шукача, і від того, наскільки воно функціональне і зручне, в значному ступені, визначає результат робіт. Воно складеться з наступних важливих етапів: перетворення вхідного сигналу від вимірювального пристрою у вигляд зручний для подальшого аналізу; виявлення сигналу ЦЗНОІ, розпізнавання сигналу ЦЗНОІ на фоні легальних радіосигналів; локалізація ЦЗНОІ. Аналіз застосування методів перетворення сигналів показав, що більш за все використовується метод перетворення Фур'є [50]. Особливо швидкі алгоритми грають важливу роль при обробці дискретних періодичних сигналів. Найбільш популярним є швидке перетворення Фур'є (ШПФ).

Відзначимо, що теорія ШПФ далеко не проста. Класичними працями по ШПФ стали книги Макклеллана і Райдера, Блейхута, Нуссбаумера. Ключовою роботою в теорії ШПФ стала робота Кулі та Тьюки. З того часу інтерес до ШПФ не згасає. У відомому оглядовому звіті Барраса 1997 згадується понад

3400 робіт по ШПФ. Велика частина з них – це роботи, пов'язані з обчислювальними аспектами ШПФ і питаннями реалізації ШПФ на різних програмних платформах. Головним варіантом цифрової обробки сигналів, сучасного часу, є швидке перетворення Фур'є (ШПФ), яке оперує дискретною за часом вибіркою періодичного сигналу у часовій області [51].

Фундаментальне рівняння для отримання N-точкового ШПФ виглядає наступним чином:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-\frac{2\pi k i n}{N}} \quad (1.1)$$

де: $X(k)$ являє собою частотний вихід ШПФ в k -ої точки спектру;

k знаходиться в діапазоні від 0 до $N-1$.

N становить собою число відділків при обчисленні ШПФ [52].

Незважаючи на те, що ефективні алгоритми ШПФ існують, для практично будь-яких довжин періодів, довжина, рівна ступеню двійки залишається найпопулярнішою через максимальну продуктивність. Основне призначення перетворення Фур'є – виділити частоти регулярних складових сигналу, та сигналу з шумами.

Що стосується завданням пошуку ЗНОІ, то це завдання виявити сигнал радіозакладки, причому як викладалось у літературі сигнал радіозакладки маскується різними шумами.

Звідси впливає наступний висновок, що ШПФ показує загальні відомості про частоти досліджуваного сигналу. Це не може дати уявлення про локальні властивості радіосигналу при швидких тимчасових змінах його спектрального складу. ШПФ також не може аналізувати частотні характеристики сигналу в довільні моменти часу.

Можливо зробити узагальнені висновки:

1. ШПФ дає частотну інформацію, що міститься в сигналі та не дозволяє визначити момент часу виникнення і закінчення цієї частоти.

2. Обмежена інформативність аналізу нестационарних сигналів і практично повна відсутність можливостей аналізу їх особливостей.

3. Гармонійні базисні функції розкладання не здатні показувати перепади сигналів з нескінченною крутизною, тому що для цього потрібно нескінченно велика кількість членів ряду. При обмеженні числа членів ряду Фур'є в околицях стрибків і розривів при відновленні сигналу виникає ефект Гіббса [53].

4. Перетворення Фур'є показує загальні відомості про частоти досліджуваного сигналу і не дає уявлення про локальні властивості сигналу при швидких часових змінах його спектрального складу [54]. Перетворення Фур'є не має можливості аналізувати частотні характеристики сигналу в довільні моменти часу.

Отриманий аналіз свідчить, що ШПФ не підходить для аналізу випадкових радіосигналів з метою визначення сучасних ЗНОІ. З метою усунення перерахованих вище недоліків ШПФ, було застосовано, так зване «віконне перетворення», яке полягає в розбитті сигналу на часові ділянки.

Віконне перетворення обмежує сигнал по величині, а також зменшує амплітуду граничних значень сигналу. Зменшене амплітуди граничних значень сигналу дуже важливо при подальшому перетворенні заданого сигналу. Факт зменшення амплітуди граничних значень сигналу безпосередньо залежить від вибору віконної функції [54].

В свою чергу, вибір віконної функції є одним з важливих критеріїв в цифровій обробці сигналу, тому що обмеження які накладають на сигнал віконні функції можуть приховати або точніше не розпізнати необхідний сигнал радіозакладки. Тому вибір віконної функції доцільно проводити за двома параметрами:

- динамічному діапазону сигналу;
- ширині вікна або так званого діапазону вибірки сигналу.

При пошуку ЦЗНОІ динамічний діапазон сигналу невідомий. Виходячи з чого пропонується визначати його з можливості вхідного пристрою автоматизованого пошукового комплексу (АПК), який виконує функцію аналогової та цифрової обробки вхідного сигналу. Динамічний діапазон сигналу в такому випадку розраховується за формулою:

$$D = \frac{20 \cdot B}{\lg 2} \approx 6,02 \cdot B \quad (1.2)$$

Виходячи з вищевикладеного приходимо до висновку, що перетворення радіосигналу за допомогою віконного перетворення Фур'є (далі ВПФ), усуває недоліки перетворення ШПФ [55]. Тобто аналіз вже відбувається не у частотній, а частотно-часовій області, тому сигнал вже розбивається на часові інтервали – вікна [56].

Однак основною проблемою в ВПФ залишається те, що при отриманні частотно-часової характеристики сигналу з'являється так званий принцип невизначеності Гейзенберга, який виникає для параметрів часу і частоти сигналу [21].

В основі принципу невизначеності лежить той факт, що неможливо сказати точно, яка частота присутня в сигналі в даний момент часу (можна говорити тільки про діапазон частот) і не можливо сказати, в який точно момент часу частота присутня в сигналі (можна говорити лише про період часу). При цьому можливість виявити сигнал цифрової радіозакладки яка передає сигнал в імпульсному режимі, в короткий проміжок часу стає дуже проблематичною.

Як зазначалося вище, можливо добитися необхідної точності, внаслідок збільшення роздільної здатності (звуження вікна), якщо імпульси виходу в ефір радіозакладки будуть проходити з певною періодичністю, але тільки

внаслідок збільшення часу обробки сигналу. Радіозакладку, яка передає накопичену інформацію в одиничному імпульсі, визначити неможливо, з огляду на те, що час обробки радіосигналу може виявитися більше часу виходу радіозакладки в радіоефір.

Проблему невизначеності Гейзенберга вирішує так зване вейвлет – перетворення. Вейвлет-перетворення (Wavelet англ. коротка хвиля) широке розповсюдження отримало порівняно недавно [23] (сам термін Wavelet був введений у 1984 році), у зв'язку з розвитком обчислювальної техніки [57].

Вейвлети мають вигляд коротких хвильових пакетів з нульовим інтегральним значенням [58], локалізованих по осі аргументів (незалежних змінних), інваріантних до зсуву та лінійних до операції масштабування (стиснення / розтягування). За локалізацією у часовому та частотному поданні вейвлети займають проміжне положення між гармонійними (синусоїдальними) функціями, локалізованими по частоті, і функцією Дірака, локалізованої в часі [9].

Теорія вейвлетів не є фундаментальною теорією, але вона дає зручний і ефективний інструмент для вирішення багатьох практичних завдань, зокрема завдання визначення коротких імпульсів передачі інформації радіозакладками [60].

У порівнянні з швидкими перетвореннями Фур'є, вейвлети здатні з більшою високою точністю представляти локальні особливості радіосигналів. На відміну від перетворень Фур'є, вейвлет – перетворення одновимірних радіосигналів забезпечує двовимірну розгортку, при цьому частота і координата розглядаються як незалежні змінні, що дає можливість аналізу радіосигналів відразу у двох просторах. [61] Одна з головних особливостей вейвлет – перетворення сигналів на різних рівнях перетворення полягає в поділі функцій наближення до сигналу на дві групи: апроксимуючу – грубу, з досить повільною часовою динамікою змін, і детальну – з локальною та швидкою динамікою змін. Це можливо як в часовій, так і в частотній областях уявлення сигналів вейвлетами [62].

Оснoву вейвлет – перетворення становить – коротка хвиля яка проходить між сигналами та є свого роду вікном деякої ширини (як у ШПФ) для деякого часового проміжку. Ця коротка хвиля називається материнським вейтвлетом. Материнський вейвлет це функція яка буде надалі прототипом всіх вікон, які будуть створюватися на тимчасовому відрізьку вейвлет перетворення. За аналогією з віконним перетворенням Фур'є масштаб пов'язаний зворотною залежністю з шириною вейвлета (вікна). Чим менше хвиля – більше масштаб і навпаки. Особливістю є зрушення за часом який регулює рух вейвлетов з часової компоненти сигналу [61].

Опираючись на вище викладене, можливо провести узагальнений аналіз вейвлет – перетворень сигналів. Переваги та недоліки вейвлетних перетворень:

- 1) вейвлетні перетворення володіють всіма перевагами перетворень Фур'є;
- 2) вейвлетні базиси можуть бути добре локалізованими як по частоті, так і за часом;
- 3) вейвлетні базиси, на відміну від перетворення Фур'є, мають багато різноманітних базових функцій, властивості яких орієнтовані на рішення різних завдань. Базисні вейвлети можуть реалізуватися функціями різної гладкості;
- 4) Недоліком вейвлетного перетворення є його відносна складність;
- 5) Вейвлетні складові сигналу в перетинах його спектру не мають нічого спільного з синусоїдами, і представлені, як правило, сигналами досить складної і не завжди зрозумілої форми, що може ускладнювати їх наочне уявлення і розуміння.

Останній недолік і свідчить що випадкові імпульси дуже складно виявити за допомогою вейвлет – перетворень, тому потрібно розробляти інші, більш оптимальні методи перетворень.

Не менш важливим при пошуку ЗНОІ є питання розпізнавання сигналів на фоні легальних радіосигналів. Традиційно, практичний інтерес для розпізнавання радіосигналів представляють ті методи, які при заданих умовах забезпечують необхідний рівень правдивості класифікації. До недавнього часу домінантним був підхід до побудови пристроїв розпізнавання, при якому не накладалися обмеження на тривалість оброблюваної реалізації сигналу. Необхідна достовірність розпізнавання досягалася шляхом статистичної обробки отриманих результатів, а також збільшення розмірності простору ознак. Однак при розпізнаванні короточасних сигналів сучасного радіодіапазону складно забезпечити зазначені умови. Додатковою вимогою, часто є необхідність прийняття рішення в умовах дефіциту часу. Тут необхідний перехід до інших методів, які забезпечують необхідну контрастність радіосигналів у сформованих визначених просторах згідно зі сформульованими умовами.

Процес розпізнавання характерних або випадкових сигналів складається з двох етапів:

- розпізнавання сигналів;
- аналіз параметрів і взаємозв'язку розпізнаних сигналів та формування оцінювального висновку.

На етапі розпізнавання присутній ряд труднощів. Радіосигнали квазіперіодичні та у точної міри ніколи не повторюють один одного, що обумовлює вибір різних методів розпізнавання. Одним з яких є синтаксичний метод. При використанні синтаксичного методу спочатку виявляється локалізація одного сигналу пошуком простого максимуму, потім створюється параметричний опис (амплітуда, тривалість переднього і заднього фронту) і далі проводиться сканування всього частотного діапазону на предмет локалізації аналогічних схожих ділянок [63,64,65]. Метод показав хорошу стійкість до коливань ізоляції, однак помилявся при сумарності амплітуд і тривалості сигналів, при значній зашумленості вихідного сигналу [66,67].

Помилки, як правило, склалися з пропусків шуканих фрагментів сигналу при його аналізі. Тобто сигнали ЗНОІ не розпізнавалися і вони пропускалися.

Наступним є кореляційний метод. Цей метод заснований на вимірюванні ступеня подібності (коефіцієнтів кореляції) еталонного зразка або файлу «зразка» з файлом реального сканування радіодіапазону [68]. У результаті отримуємо масив коефіцієнтів кореляції, розподілених по часовій осі сигналу. Кореляційний метод показав високу чутливість навіть на зашумлених ділянках радіодіапазону та дозволив досить точно розпізнавати радіосигнали [69].

Однак недоліками методу є те, що всі результати, отримані за допомогою кореляційного методу можна використовувати тільки в області дослідження або близько до неї. Тобто на ділянках з малою тривалістю. Після виявлення стохастичних зв'язків між досліджуваними змінними величинами необхідно приступати до математичного опису цікавих йому залежностей, тобто необхідно перейти від кореляційного аналізу до регресійного аналізу.

1.5. Постановка наукового завдання дослідження

Аналіз основних методів виявлення, розпізнавання та встановлення параметрів сигналів засобів негласного отримання інформації, які працюють на фоні спектрів випромінювання легальних засобів показав, що проблема побудови автоматизованого програмного комплексу за новими методологічними принципами є дуже широкою та багатогранною. Нарівні з підвищенням показників надійності блокування приміщень від витоку інформації, забезпеченням виявлення, розпізнавання та локалізації цифрових сигналів ЗНОІ є необхідним і першочерговим завданням.

Нині удосконалення систем виявлення сигналів ЗНОІ базується на наступних напрямках:

- удосконалення систем вимірювання радіосигналів;

-використання нових принципів перетворення сигналів з метою визначення характерних параметрів сигналів;

-застосування удосконалених принципів остаточного розпізнавання сигналів;

Проведений аналіз процесу виявлення та розпізнання сигналів ЦЗНОІ на фоні легальних радіосигналів дозволяє говорити про наступне:

1. Остаточно не вирішена проблема з пристроями виявлення радіосигналів.

2. Не розв'язана проблема перетворення сигналів цифрових ЗНОІ з метою остаточного виявлення їх на фоні легальних радіосигналів.

3. Розробка методів розпізнавання випадкових радіосигналів потребує удосконалення.

Існуючі методи виявлення сигналів, в більшості, направлені на проблему виявлення та розпізнавання істотного сигналу [70]. Тобто, від самого початку вже накладені обмеження на методику повного розпізнавання сигналу, що іноді не дає можливості розпізнати замаскований сигнал ЗНОІ [71]. Проблему розпізнання сигналу з метою віднесення його до сигналів ЦЗНОІ, практично, не розглядається та методи вдосконалення процесу розпізнавання випадкових сигналів не впроваджуються.

Можна зробити висновок, що існує протиріччя між необхідністю швидкого, гарантованого та достовірного розпізнання сигналів цифрових засобів негласного отримання інформації, що працюють на фоні легальних радіосигналів і можливостями існуючих методів, які використовуються у сучасних автоматизованих комплексах їх розпізнавання.

У зв'язку з цим, існує необхідність вирішення актуального наукового завдання, сутність якого полягає в розвитку та вдосконаленні методів розпізнавання випадкових сигналів з метою віднесення їх до сигналів від цифрових ЗНОІ, які працюють на фоні легальних радіосигналів.

Таким чином, мета дисертаційної роботи полягає дисертаційної роботи є підвищення ефективності виявлення сигналів цифрових засобів прихованого отримання інформації на фоні спектра випромінювання легальних пристроїв.

Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно вирішити наступні окремі завдання дослідження:

1. Провести аналіз основних методів виявлення, розпізнавання та встановлення параметрів сигналів засобів негласного отримання інформації, які працюють на фоні спектрів випромінювання легальних засобів;
2. Розробити метод розпізнавання сигналів від засобів негласного отримання інформації на фоні спектру випромінювання легальних пристроїв;
3. Розробити модель виявлення спектру випромінювання сигналі засобів негласного отримання інформації на фоні суміші спектрів випромінювання від легальних пристроїв;
4. Розробити метод оцінки параметрів сигналу від засобів негласного отримання інформації спрямований на визначення екстремумів їх значень на фоні спектру випромінювання легальних пристроїв.
5. Оцінити ефективність розпізнавання, встановлення спектру випромінювання та значень параметрів сигналу ЗНОІ.

Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз основних методів виявлення, розпізнавання та встановлення параметрів сигналів засобів негласного отримання інформації, які працюють на фоні спектрів випромінювання легальних засобів. Визначені основні етапи та труднощі на кожному із етапів розпізнавання сигналів ЗНОІ.

2. Проаналізовано сучасний стан технічних засобів негласного отримання інформації та їх класифікацію. Встановлено їх загальні характеристики та загальні підходи до їх виявлення та розпізнавання, а також визначено особливості, що допоможуть у їх ідентифікації. Визначено, що розробники сучасних ЗНОІ переходять на цифрові стандарти передачі сигналів, які близькі до тих, що працюють в діапазоні легальних сигналів. Визнано актуальною задачу пошуку та швидкого розпізнавання сигналів ЗНОІ;

3. Проведено аналіз основних характеристик засобів пошуку та виявлення ЗНОІ. Визначено їх переваги та недоліки. Означено напрями розвитку та новітні методи, які будуть потрібні для швидшої та якіснішої ідентифікації ЗНОІ. Проведено аналіз сучасних автоматизованих комплексів пошуку ЗНОІ та задач, які вони можуть вирішувати. Визначено відмінності між існуючими АПК та основні алгоритми, якими керуються при розпізнаванні сигналів від ЗНОІ;

4. Для вирішення задачі дослідження сформульовано мету дисертаційної роботи, яка полягає у підвищенні точності розрахунку параметрів шкідливих сигналів, які передаються цифровими засобами негласного отримання інформації, які працюють на фоні легальних радіосигналів. Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовано актуальне наукове завдання, сутність якого полягає в підвищенні ефективності виявлення сигналів цифрових засобів прихованого отримання інформації на фоні спектра випромінювання легальних пристроїв.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ПРИХОВАНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ АПРОКСИМАЦІЇ Т-СПЕКТРУ

2.1. Визначення спектру сигналів (спектральної функції) за допомогою метода диференціальних перетворень

Для визначення спектральної функції випадкових сигналів, якими можуть бути сигнали прихованих засобів отримання інформації, на першому етапі використаємо метод диференціальних перетворень запропонований Пуховим Г.Є. [4,72,73,74].

Застосовуючи такий метод ми можемо одразу переходити до вирішення систем нелінійних рівнянь, не зводячи їх до систем лінійних рівнянь. Такий підхід значно зменшує кількість проведених обчислень та прискорює отримання результатів в аналітичному виді. У загальному вигляді диференціальні перетворення Пухова Г.Є мають вигляд:

$$X(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k(x(t))}{dt^k} \right]_{t=0} \Leftrightarrow x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k \cdot X(k) \quad (2.1)$$

де: $x(t)$ – початковий сигнал, яка є неперервним та диференційованим нескінченну кількість разів і обмеженою разом з усіма своїми похідними функцією дійсного аргументу t ;

Як правило в літературі зустрічають еквівалентні позначення диференціального образу оригіналу (диференціального спектрального зрізу),

а саме $X(k)$ і $x(k)$, які визначаються як дискретна функція цілого аргументу, при значеннях $k = 0, 1, 2, \dots$;

H - постійна масштабу, яка має розмірність аргументу t , часто вибирається рівною відрізьку $0 \leq t \leq H$, на якому розглядається функція $x(t)$;

\Leftrightarrow - це символом відповідності (рівносильної відповідності) в між оригіналом $x(t)$ та його диференціальним образом $X(k)$

У перетвореннях (2.1) ліворуч від символу \Leftrightarrow знаходиться пряме перетворення, яке дозволяє по вихідному $x(t)$ знайти зображення $X(k)$, а праворуч – зворотне перетворення, яке дозволяє знайти по образу $X(k)$ отримати сигнал $x(t)$ у вигляді степеневого ряду, який є рядом Маклорена-Тейлора з центром у точці $t=0$.

Величина H повинна бути меншою за радіус збіжності ряду із (2.1), який можна визначити на основі ознаки збіжності Раабе:

$$\rho = \lim_{k \rightarrow \infty} k \left| \frac{X(k)}{H^k} : \frac{X(k+1)}{H^{k+1}} - 1 \right| = H \lim_{k \rightarrow \infty} k \left| \frac{X(k)}{X(k+1)} - 1 \right| \quad (2.2)$$

Оцінка збіжності ряду за ознакою Раабе вказує на те, що ряд буде збіжним у випадку коли $\rho > 1$, а тому стає зрозумілими стають обмеження, які будемо накладати на величину H :

$$H \lim_{k \rightarrow \infty} k \left| \frac{X(k)}{X(k+1)} - 1 \right| > 1 \quad (2.2.1)$$

$$0 < \frac{1}{\lim_{k \rightarrow \infty} k \left| \frac{X(k)}{X(k+1)} - 1 \right|} < H < 1 \quad (2.2.2)$$

У сучасній літературі перетворення (2.1) іноді називають диференціальними перетвореннями Тейлора, або скорочено Т-перетвореннями, надалі ми також будемо дотримуватись такої термінології.

Диференціальні зображення $X(k)$ називають диференціальними Т-спектрами, а значення Т-функцій $X(k)$ при конкретних значеннях аргументу k — дискретними [75,76,77].

Для виявлення сигналів засобів прихованого отримання інформації нами пропонується визначати спектри сигналів, тобто $X(k)$.

Сигнали засобів негласного отримання інформації можуть бути апроксимовані експоненціальними або гармонічними рядами [78,79].

Для подальшого представлення методу, ми визначаємо диференціальний спектр експоненціальної та гармонічної функцій.

Для функції експоненціального типу $x(t) = e^{\omega t} = \exp(\omega t)$, де ω — частота сигналу, використовуючи вираз (2.1) отримуємо:

$$\frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k(e^{\omega t})}{dt^k} \right]_{t=0} = \frac{(\omega H)^k}{k!} \quad (2.3)$$

Для таких гармонічних функцій, як $x(t) = \sin(\omega t)$ і $x(t) = \cos(\omega t)$, де ω є константою, використовуючи вираз (2.1), ми отримали:

$$\frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k(\sin(\omega t))}{dt^k} \right]_{t=0} = \frac{(\omega H)^k}{k!} \sin \frac{\pi k}{2} \quad (2.4)$$

$$\frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k(\cos(\omega t))}{dt^k} \right]_{t=0} = \frac{(\omega H)^k}{k!} \cos \frac{\pi k}{2} \quad (2.5)$$

Вирази (2.3-2.5) є виразами Т-диференціальних спектрів, відповідно, для експоненціальної та гармонічної функцій.

2.2. Апроксимація спектральної функції в основі передатних функцій резонансних вузлів другого порядку

Позначимо спектральний зріз $X(k)$ [4] випадкового сигналу як $S(\omega_k, t_l)$ та припустимо, що модель випадкового сигналу має вигляд:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} (e)^{k\omega t} \quad (2.6)$$

де: $k \in [l; \infty)$, l - інтервал аналізу сигналу.

Диференціальний спектр цього сигналу має вигляд виразу (2.3).

Побудуємо модель $Z(\omega_k, t_l)$ випадкового сигналу $S(\omega_k, t_l)$, у вигляді добутку n модулів передавальних ланок (функцій базису) другого порядку на спектр:

$$Z(\omega_k, t_l) = |S(\omega_k)|^2 \prod_{i=1}^n |W_i(\omega)|^2 \quad (2.7)$$

де: t_l - l -тий інтервал аналізу сигналу.

Нехай функція базису другого порядку має вид:

$$W_i(p) = \frac{c_i(\alpha_i + p)}{\beta_i + p^2 + 2p\alpha_i + \alpha_i^2} \quad (2.8)$$

де c_i – це коефіцієнт затухання;

α_i – це ступінь затухання;

β_i – це резонансна частота.

Коефіцієнт затухання c_i - це параметр, який визначає амплітуду функції. Він впливає на те, наскільки сильно система буде реагувати на зовнішні збурення.

Ступінь затухання α_i - це параметр, що визначає швидкість, з якою система повертається до стану рівноваги після збурення. Високе значення означає сильне затухання, а низьке — слабе затухання.

Резонансна частота β_i - це частота, на якій система природно осцилює в умовах відсутності затухання. Вона визначає характерні коливання системи.

Тоді квадрат норми базису має вид:

$$|W_i(\omega)|^2 = \frac{c_i^2(\alpha_i^2 + \omega_i^2)}{(\beta_i^2 + \alpha_i^2 - \omega_i^2) + (2\omega_i\alpha_i)} \quad (2.9)$$

Підставивши (2.9) у (2.7) ми отримаємо вираз моделі:

$$\begin{aligned} Z(\omega_k, t_l) &= |S(\omega_k)|^2 \prod_{i=1}^n |W_i(\omega)|^2 \\ &= \frac{(\omega_i H)^{2k}}{k!} \prod_{i=1}^n \frac{c_i^2(\alpha_i^2 + \omega_i^2)}{(\beta_i^2 + \alpha_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i\alpha_i)^2} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Або у зручному для проведення обчислень логарифмічному виді:

$$\begin{aligned} \ln Z(\omega_k, t_l) = & 2k \ln \left(\frac{\omega_i H}{k!} \right) \sum_{i=1}^n 2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2) \\ & - \left[\ln(\beta_i^2 + \alpha_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2 \right] \end{aligned} \quad (2.11)$$

Для визначення коефіцієнтів H , α_i , β_i , c_i , можна застосувати метод найменших квадратів, а тому є можливість провести оцінку похибки моделі за допомогою похибки дисперсії випадкової функції і вона матиме наступний вид:

$$\sigma_i^2 = \sum_{k=1}^N (\ln S(\omega_k, t_l) - Z(\omega_k, t_l))^2 \quad (2.12)$$

Для визначення екстремумів (мінімумів та максимумів) функції застосуємо необхідну умову екстремуму функції багатьох змінних. Для цього визначимо частинні похідні похибки дисперсії математичної моделі за змінними H , α_i , β_i , c_i ,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial H} = & \sum_{k=1}^N 2 \left(\{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left(\frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] \right. \\ & \left. - [\ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2)] \right) \cdot \left(\frac{\omega_i H}{k!} \right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial \sigma_i^2}{\partial c_i} = \sum_{k=1}^N 2(\{\ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln\left(\frac{\omega_i H}{k!}\right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)]\} - [\ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2)]/c_i) \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial \beta_i} = & \sum_{k=1}^N (\{\ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln\left(\frac{\omega_i H}{k!}\right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)]\} \\ & - [\ln((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \times \left(\frac{2\alpha_i}{\alpha_i^2 + \omega_i^2}\right) \\ & + \frac{4\beta_i(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + 8\omega_k^2 \alpha_i^2}{(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k^2 \alpha_i^2)^2} \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial \alpha_i} = & \sum_{k=1}^N (\{\ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln\left(\frac{\omega_i H}{k!}\right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)]\} \\ & - [\ln((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \times \left(\frac{2\alpha_i}{\alpha_i^2 + \omega_i^2}\right) \\ & + \frac{8\omega_k^2 \alpha_i^2}{(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k^2 \alpha_i^2)^2} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Прирівнюючи отримані вирази (2.13-2.16) до нуля отримаємо системи алгебраїчних рівнянь, що мають $3N + 1$ невідомих.

Для зручності подальшого аналізу введемо наступні обмеження:

$$N = 3; 0 < H < 1, 0 < \alpha_i < 10, \beta_1, \beta_2 < 1200 \text{ Гц}, \beta_3 > 1200 \text{ Гц}.$$

Так введені обмеження дають посилання на частоти першої та другої формант голосних звуків та положення максимуму в спектрі шумових звуків.

У роботах [80,81,82,83,84] показано, що трьох компонентів апроксимації сигналу достатньо для повного встановлення значень сигналу. Тому

наступним наступний аналіз ми будемо проводити з обмеженням трьома компонентами.

2.3. Результати математичного моделювання апроксимації спектральної функції за допомогою пакета MATLAB

Щоб підтвердити запропонований метод, ми виконаємо математичне моделювання з використанням наведених вище обмежень в середовищі MATLAB [85,86, 128,129].

Крім того, ми припустимо, що змінними будуть частота та змінна, відповідно до яких ми будемо диференціювати.

Тоді система рівнянь (2.13) набуде вигляду:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial H} &= \sum_{k=1}^N 2(\{\ln S(\omega_k, t_i) - 2k \ln\left(\frac{\omega_i H}{k!}\right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] \\
 &\quad - [\ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2)] \cdot \left(\frac{\omega_i H}{k!}\right)\}) \\
 &= (\ln S(\omega_k, t_i) - 2 \ln c_i - \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2) - \ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 \\
 &\quad - 4\omega_i^2 \alpha_i^2) \times (\omega_i H + \frac{(\omega_i H)^2}{2} + \frac{(\omega_i H)^3}{6}) - 2 \ln c_i \cdot \frac{(\omega_i H)^2}{2} \\
 &\quad - 4 \ln c_i \cdot \frac{(\omega_i H)^3}{6} = 0
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

Побудуємо графік, який наочно покаже точність наближення при обчисленні коефіцієнта Н.

Графік збіжності ряду наближень функції з її оригіналом на рис. 2.1:

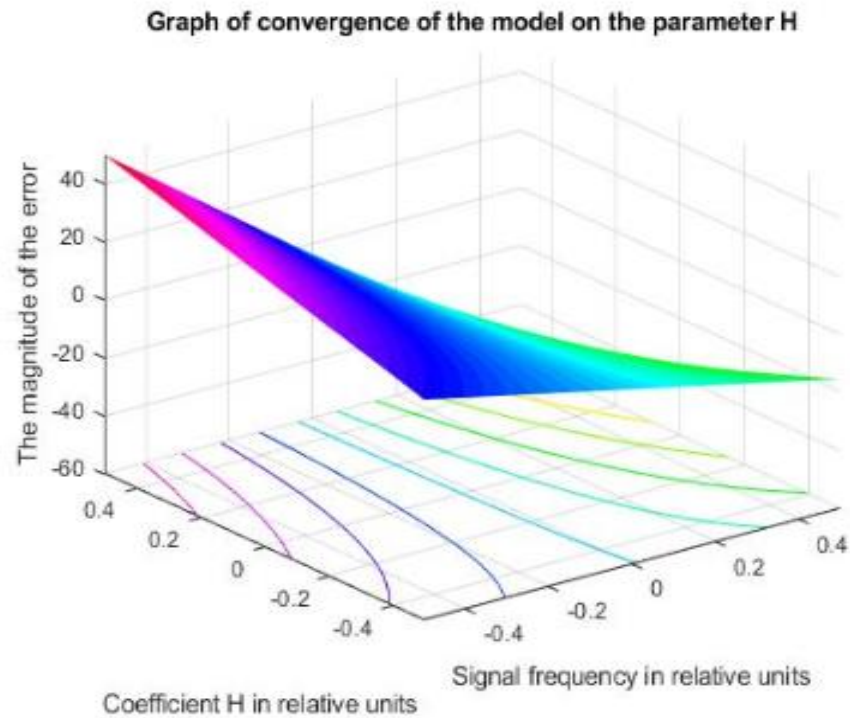


Рисунок 2.1. Графік збіжності моделі за параметром H

Аналізуючи рисунок 2.1 помічаємо що для заданих параметрів першої та другої голосних формант похибка дисперсії моделі за параметром апроксимації H не перевищує 10%.

Система рівнянь (2.14) при набуває вигляду:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial c_i} &= \sum_{k=1}^N 2(\{\ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln\left(\frac{\omega_i H}{k!}\right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] \\
 &\quad - [\ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2)] / c_i \}) \\
 &= (\ln S(\omega_k, t_l) - 2 \ln c_i - \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2) \\
 &\quad - \ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 - 4\omega_i^2 \alpha_i^2) \times \left(\frac{1}{c_i}\right) - \frac{6 \ln c_i}{c_i} \\
 &= 0
 \end{aligned} \tag{2.18}$$

Побудуємо графік, який наочно покаже точність наближення при обчисленні коефіцієнта c .

Графік збіжності ряду наближень функції з її оригіналом:

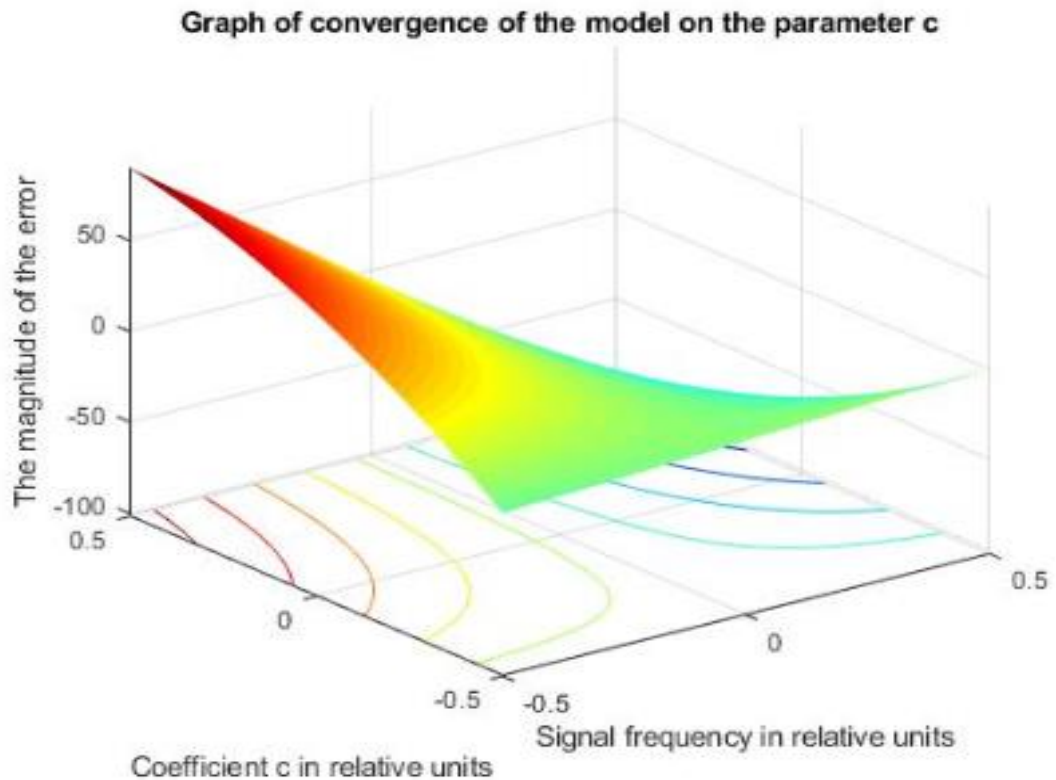


Рисунок 2.2. Графік збіжності моделі за параметром c .

Як бачимо з графіка на рисунку 2.2, при заданих параметрах відносна похибка дисперсії наближення моделі не перевищує 9%. Це свідчить про адекватність запропонованої моделі для оцінки параметра апроксимації c .

Система рівнянь (2.15) набуде вигляду:

$$\frac{\partial \sigma_i^2}{\partial \beta_i} = \sum_{k=1}^N (\{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left(\frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln (\alpha_i^2 + \omega_i^2)] -$$

$$[\ln ((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left(\frac{2\alpha_i}{\alpha_i^2 + \omega_i^2} + \frac{4\beta_i(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + 8\omega_k^2 \alpha_i^2}{(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2} \right) = \{ \ln S(\omega_k, t_l) -$$

$$\begin{aligned}
& 2\ln(\omega_i H) - 4\ln\left(\frac{\omega_i H}{2}\right) - 6\ln(6) - 3 \times \sum_{i=1}^n [2\ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - \\
& [\ln((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \times \left(\frac{2\alpha_i^2(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + 8\omega_i^2 \alpha_i^4 + (\alpha_i^2 + \omega_i^2)}{(\alpha_i^2 + \omega_i^2)[(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_i^2 \alpha_i^2)^2]} + \right. \\
& \left. \frac{2[4\beta_i(\beta_i^2 - \omega_i^2) + 8\omega_i^2 \alpha_i^2]}{(\alpha_i^2 + \omega_i^2)[(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k^2 \alpha_i^2)^2]} \right) = 0
\end{aligned} \tag{2.19}$$

Побудуємо графік, який наочно покаже точність наближення при обчисленні коефіцієнта β .

Графік збіжності ряду наближень функції з її оригіналом, рис.2.3:

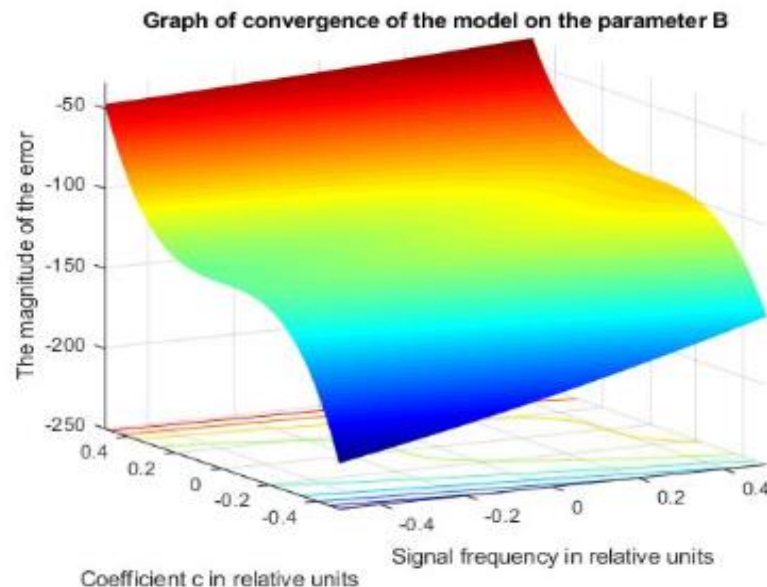


Рисунок 2.3. Графік збіжності моделі за параметром β

Як бачимо з графіка на рисунку 2.3, з урахуванням параметрів відносна похибка не перевищує 11%. Це є прийнятним і свідчить про адекватність запропонованої моделі для оцінки параметра апроксимації β

Система рівнянь (2.16) набуде вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial \alpha_i} = & \sum_{k=1}^N (\{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left(\frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln (\alpha_i^2 + \\ & \omega_i^2)] - [\ln ((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left(\frac{2\alpha_i}{\alpha_i^2 + \omega_i^2} + \frac{8\omega_k^2 \alpha_i^2}{(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k^2 \alpha_i^2)^2} \right) = \\ & \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2 \ln(\omega_i H) - 4 \ln \left(\frac{\omega_i H}{2} \right) - 6 \ln(6) - 3 \times \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln (\alpha_i^2 + \\ & \omega_i^2)] - [\ln ((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left(\frac{2\alpha_i^2 (\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + 8\omega_i^2 \alpha_i^4 + 8\omega_i^2 \alpha_i^2 (\alpha_i^2 + \omega_i^2)}{(\alpha_i^2 + \omega_i^2) [(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_i^2 \alpha_i^2)^2]} \right) = 0 \quad (2.20) \end{aligned}$$

Побудуємо графік, на якому буде наочно видно точність наближення при обчисленні коефіцієнта α . Графік збіжності ряду наближень функції з її оригіналом, рисунок 2.4:

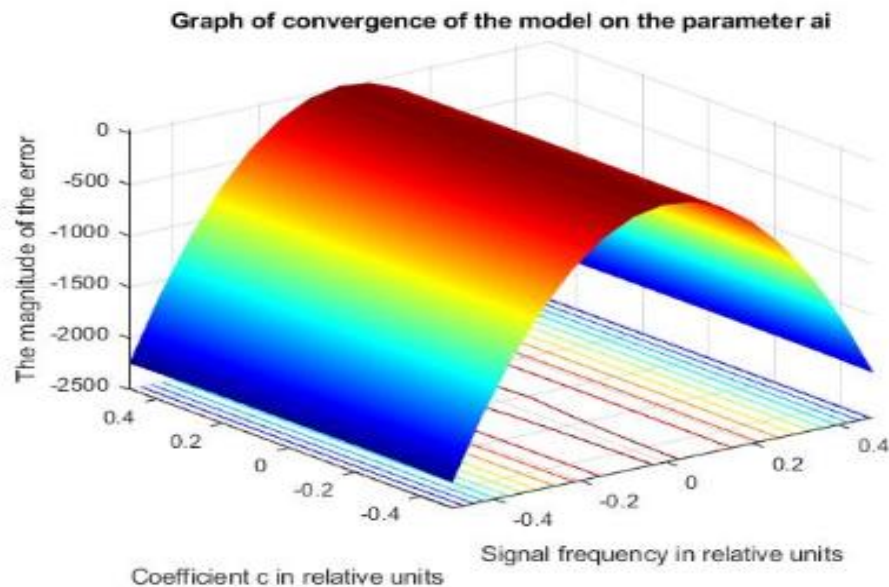


Рисунок 2.4: Графік збіжності моделі за параметром α

Як видно з графіка на рисунку 2.4, при заданих параметрах формант відносна похибка не перевищує 6%. Це свідчить про адекватність запропонованої моделі для оцінки параметра апроксимації α .

Висновки до розділу 2

1. Набув подальшого розвитку метод виявлення сигналів від ЗНОІ, який на відміну від існуючих, на основі чисельно-аналітичної методології диференціальних перетворень та представлення сигналів узагальненими поліномами, дозволяє виявляти сигнали від засобів прихованого отримання інформації на фоні випромінювання легальних пристроїв.

Запропонований метод виявлення сигналів від засобів негласного отримання інформації дозволяє виявити вказані сигнали в суміші сумарного спектру при відхиленні їх параметрів від значень еталонної моделі на 12% і більше.

Отримані результати дають змогу визначити радіосигнали засобів негласного отримання інформації, які мають незначні відхилення від сигналів технічних засобів, легально діючих у заданому радіодіапазоні.

2. Ефективність запропонованого підходу оцінено за допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі MATLAB. Для підтвердження запропонованого методу було проведено математичне моделювання сигналів засобів прихованого отримання інформації, представлених експоненціальною функцією.

Величина похибки апроксимації у відносних одиницях, за коефіцієнтами апроксимації, знаходиться в межах 6-11%.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ ПРИХОВАНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ МОДЕЛІ ВИПАДКОВОГО СИГНАЛУ

Сучасні засоби прихованого отримання інформації мають високу якість камуфляжу та спеціальні характеристики. Засоби прихованого отримання інформації постійно удосконалюються, на основі чого питання ідентифікації таких засобів є дуже складними та потребують постійного вдосконалення. Для цього необхідно постійно удосконалювати програмне обладнання та математичний апарат для опису та моделювання випадкових радіосигналів, які можуть бути сигналами прихованих засобів отримання інформації. Математична модель випадкових сигналів - це опис сигналу формальною мовою математики, тобто за допомогою формул, нерівностей або логічних відносин. Для опису однакових сигналів можуть використовуватися різні математичні моделі. Вибір моделі визначається адекватністю моделі реальному сигналу, простотою математичного опису, призначенням моделі та іншими чинниками. Особливістю моделей вимірювальних інформаційних сигналів завжди є апріорна неоднозначність значень інформативних параметрів, яка в загальному випадку обумовлена невідомими розмірами вимірюваних величин.

Існують різні підходи до побудови математичних моделей сигналів.

1. Сигнал отримується квазідетерміновано. У цьому випадку для математичного опису сигналу використовуються різні детерміновані функції часу. Моделі таких сигналів називають квазідетермінованими (або детермінованими), підкреслюючи тим самим, що тип функції, що описує сигнал, відомий, а його параметри (інформативні складові) – невідомі.

2. Сигнал розглядається як випадковий процес. Опис таких сигналів базується на теорії ймовірностей та теорії випадкових функцій. У цьому випадку зміна сигналу у часі та просторі характеризується законом розподілу, математичним очікуванням, дисперсією та кореляційною функцією. Моделі таких сигналів називають випадковими.

3. Сигнали представлені як комбінація випадкових і детермінованих компонентів, зокрема у вигляді суми сигналу вимірjuвальної інформації (квазидетермінованої компоненти) та перешкод (випадкової компоненти).

У практиці аналізу випадкових радіосигналів широко поширені статистичні методи, що ґрунтуються на теорії стаціонарних випадкових функцій. Для аналізу радіосигналів, особливо випадкових радіосигналів, які можуть бути сигналами прихованих засобів отримання інформації, найчастіше використовується другий варіант. Однак наявні моделі стаціонарного випадкового процесу не відповідають великій кількості випадкових процесів, особливо для процесів, що мають динамічний характер і спостерігаються протягом обмеженого часового інтервалу. Існує розрив між наявним методологічним апаратом для аналізу випадкових радіосигналів та потребою у розробці нового математичного апарату, який усуне існуючі недоліки. У цьому контексті виникає потреба у розробці нового науково-методичного апарату для виявлення та аналізу випадкових радіосигналів. Тобто, розробка науково-методичного апарату для виявлення та аналізу випадкових радіосигналів є актуальним науковим завданням

Значна кількість публікацій присвячена розробці наукового та методологічного апарату для виявлення та аналізу випадкових радіосигналів, тому в [87,88] проводиться аналіз радіо-моніторингових систем з різними технічними параметрами, які об'єднує одне - їхнє програмне або апаратне забезпечення може лише показати і, у найкращому випадку, зберегти спектри сигналів у вигляді панорам спектру сигналу.

Вони не вирішують проблему аналізу сигналів програмним засобом. [89, 90,91]. Це питання розглядає апаратно-програмний комплекс радіомоніторингу "Дельта", який продовжує лінію найбільш передових і технологічних рішень в області радіомоніторингу. Комплекс забезпечує величезні можливості для виявлення та ідентифікації джерел сигналів на основі апаратно-програмного методу. Його недоліком може бути використання методу перетворення Фур'є для виявлення сигналів, який не може здійснити повне перетворення цифрових сигналів.

В [92,93,94] представлено обґрунтування математичної моделі адитивного суміші корисних та перешкодних сигналів для аналогового провідного каналу сигналізації безпеки об'єктів військового призначення. Корисний сигнал подається як детермінована функція з невідомим параметром інформації. Сигнал перешкод представлений у вигляді поточної реалізації випадкового процесу, заданого на обмеженому інтервалі спостереження у вигляді скінченного ряду Фур'є. Інформаційний параметр корисного сигналу, який визначає стан системи безпеки, знаходиться як розв'язок системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Однак математична модель випадкового сигналу для виявлення та аналізу не розглядається.

У роботі [95,96,97] розглядається розробка математичного моделювання циклічних сигналів з подвійною випадковістю, а саме, побудова їх математичної моделі у вигляді умовного циклічного випадкового процесу дискретного аргументу. Ця модель дозволяє послідовно враховувати випадковість циклічних сигналів як у їх морфологічному статистичному аналізі, так і у статистичному аналізі їх ритму. Симуляція випадкових сигналів для отримання характеристик сигналів не розглядається.

У [98,99,100] розглядається проблема виявлення та розрізнення випадкових сигналів радіозасобів короткого діапазону, які використовуються в системах безпеки. Визначаються основні суттєві параметри засобів

радіознаходження короткого діапазону. Показано, що при дії випадкового сигналу оптимальний приймач сигналу засобу виявлення. Практично значущі формули для визначення ймовірностей правильного та помилкового виявлення для випадкових сигналів, відображених від виявленого об'єкта, наведені. Однак варіант зі збільшенням надійності виявлення радіосигналів не розглядається.

У [101,102,103] визначаються ймовірнісні характеристики когерентного виявлення відображених сигналів з повністю відомими параметрами при використанні стохастичного зондування радіосигналів. Отримано аналітичний зв'язок для щільності ймовірності рішучої статистики при наявності лише відображеного сигналу на вході виявлювача, лише перешкод та в наявності як сигналу, так і перешкод. Розраховані залежності ймовірності помилкового спрацювання від відношення порогу та ймовірності правильного виявлення відношення сигнал-шум при різних значеннях стохастичної основи сигналу, розраховані родини характеристик виявлення для фіксованої основи та різних значень ймовірності помилкового спрацювання. Однак виявлення на основі прямих параметрів радіосигналів не розглядається.

У [104,105,106] проведений порівняльний аналіз параметричних моделей періодично нестационарних випадкових процесів. Отримані вирази для компонент кореляційних функцій періодично авторегресійної моделі рухомого середнього та параметричної моделі, заснованої на гармонічному представленні.

Доведено, що періодична авторегресійна модель рухомого середнього є підкласом векторної авторегресійної моделі, побудованої на основі когерентного представлення. Математичні моделі випадкових сигналів з метою їх виявлення та аналізу не стали повними.

Роботи [107,108] спрямовані на встановлення меж застосування моделей опису сигналів у оптоелектронних системах в обчисленнях ефективності.

Пропонується опис процесу формування сигналів з урахуванням корпускулярних та хвильових властивостей при реєстрації сигналів в широкому діапазоні інтенсивностей. Пропонується опис статистичних характеристик вихідних сигналів залежно від енергетичних властивостей сигналу та компонентів шуму. Питання математичного моделювання випадкових радіосигналів з метою визначення їхніх особливостей моделювання не розглядаються.

У [109,110] розглядається проблема обґрунтування методів моделювання різних процесів, зокрема білого шуму. Описано найпростіші моделі шуму з дискретним часом, а також особливості та властивості таких моделей. Представлені результати моделювання білого шуму з дискретним часом. Глибокий аналіз випадкових сигналів та методів їхнього моделювання не розглядається.

У [111,112,113] розглядається проблема обґрунтування методів моделювання різних процесів, зокрема полосного процесу. Описані прості моделі шуму з дискретним часом, особливості та властивості таких моделей, побудовані графіки оцінки кореляційної функції та спектральної щільності потужності полосного процесу. Процес виявлення випадкових сигналів за допомогою розроблених моделей не розглядається.

З аналізу сучасної літератури можна зробити висновок, що апаратне та програмне забезпечення або програмні комплекси, що використовуються для методів виявлення та аналізу випадкових сигналів наукових методів, базуються на моделях випадкових сигналів. У яких опис випадкових сигналів базується на теорії ймовірностей та теорії випадкових функцій, у відношенні до завдань радіо-контролю пошуку тепер практично не існує.

На цій підставі завдання розробки нового наукового та методологічного апарату для виявлення та аналізу радіосигналів засобів прихованого отримання інформації на основі моделі випадкових сигналів є актуальним.

Ми спробували розробити метод виявлення сигналів засобів прихованого отримання інформації, використовуючи визначення відхилення основних параметрів сигналів від функції вибірки. Функція вибірки, визначена як реалізація функції згладжування випадкового процесу за методом найменших квадратів з використанням принципу ковзного згладжування.

3.1. Зображення випадкового радіосигналу цифрових засобів негласного отримання інформації, що працюють у режимі імпульсів, в вигляді адитивного нестационарного випадкового сигналу

Випадкова величина – це змінна величина, яка приймає різні значення, що неможна передбачити в кожному експерименті. Її майбутні значення можна передбачити на основі попередніх лише з певною ймовірністю. При цьому випадкові величин поділяються на два основні типи: неперервні та дискретні.

Неперервні випадкові величини мають здатність приймати будь-які значення в певному діапазоні. Для їх опису використовується функція щільності ймовірності, яка показує, як ймовірність розподілена по можливих значеннях.

Дискретні випадкові величини можуть приймати лише окремі значення. Для кожного такого значення визначається ймовірність його настання.

Повний опис випадкової величини включає знання її закону розподілу, який визначає ймовірності для всіх можливих значень (для дискретних випадкових величин) або функцію щільності ймовірностей (для неперервних випадкових величин).

Задачі, що пов'язані зі спостереженням випадкових величин, можна розділити на дві категорії. Перша категорія включає задачі, де вимірюються майже постійні величини, які приховані випадковим шумом. Значення цих

величин змінюються у часі хаотично навколо деякого середнього значення, і аргументом у таких задачах є час, тобто розглядається часова залежність сигналу, на який впливає випадковий шум.

Друга категорія задач стосується вимірювання величин, які самі по собі є випадковими. Наприклад, це можуть бути параметри окремих деталей у партії або параметри випадкових перешкод. У таких задачах аргументом є номер елемента, тобто розглядається залежність величини від номера спостереження.

В інформаційних та технічних системах інформацію про певну фізичну величину, яку можна виміряти, отримують у виді сигналу виду $X(t, \theta)$, де θ – вектор невідомих параметрів, які необхідно визначити. Якщо такий сигнал розглядати як функцію часу, яка у різні фіксовані моменти часу $t = t_i, i=0,1,2, \dots$, то матимемо миттєві значення або випадкові величини чи процеси.

Надалі під випадковим процесом будемо розуміти такі процеси, чисельні значення яких неможливо точно визначити у конкретний момент часу. Вибіркою випадкового процесу будемо називати окреме його спостереження.

На рисунку 3.1 наведена неперервна реалізація імпульсного сигналу, а на рисунку 3.2 наведена реалізація часового ряду імпульсного сигналу.

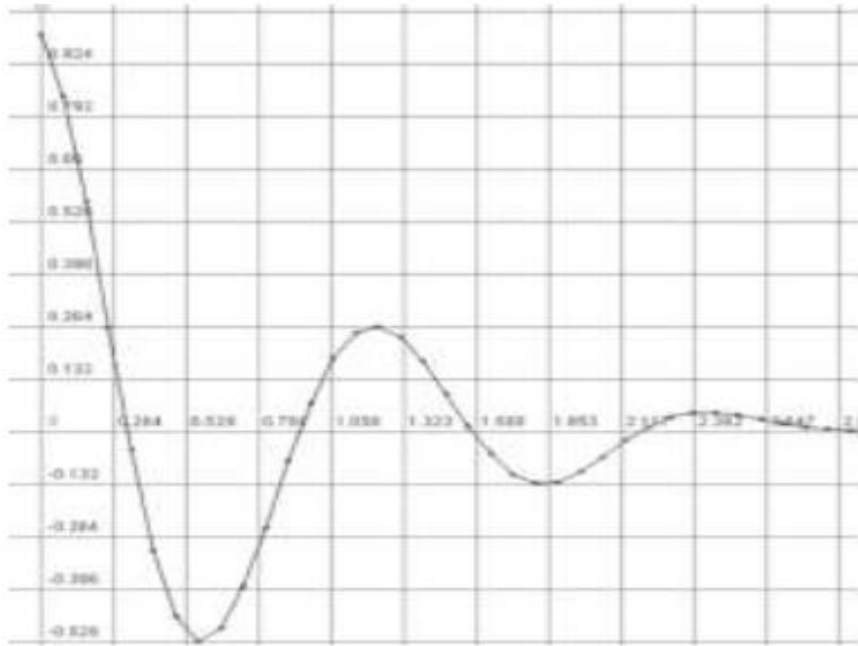


Рис.3.1 Неперервна реалізація імпульсного сигналу

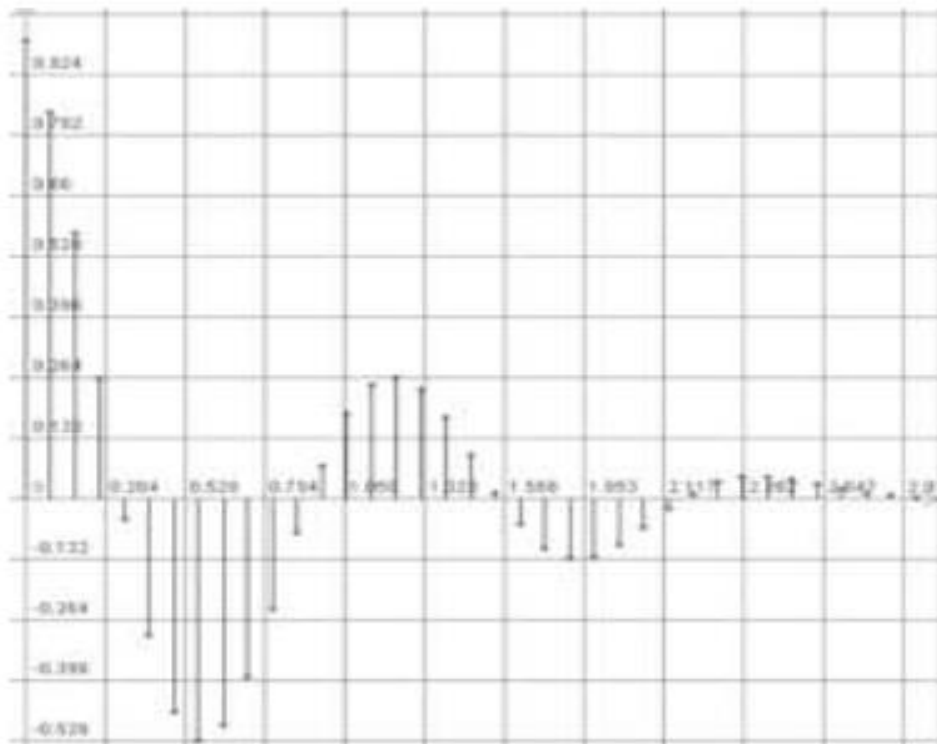


Рис.3.2 Реалізація часового ряду імпульсного сигналу

Ми пропонуємо модель випадкового радіосигналу розробити на основі одновимірних випадкових функцій $X(t)$. Зазначимо, що будь-яка випадкова

величина X є функцією випадкової події P , що є подією, результат якої наперед невідомий і яка може або не може відбутися. Таким чином випадкову величину X можна позначити як $X(P)$, а випадковий процес як $X(P, t)$.

Фіксуючи значення не випадкового параметра $t = t_i$, ми отримуємо випадкову величину $X(P, t_i)$. Але в процесі радіомоніторингу, пошуку випадкових радіосигналів, параметр t змінюється, тому ми отримуємо набір випадкових величин. Отже, випадкову функцію можна представити у вигляді набору випадкових величин.

Випадкові процеси, котрі повністю визначаються ймовірнісними характеристиками:

- ймовірність виникнення події P для випадкових подій;
- випадкові функції розподілу;
- функція розподілу для випадкових функцій.

Кореляційні функції, як автокореляційні, так і міжкореляційні структурні функції, запропоновані Колмогоровим А.М. [119]

Вони мають наступні спектральні характеристики:

- спектральна щільність потужності;
- спектральна функція;
- ширина спектра випадкового процесу;
- положення та значення максимумів щільності потужності спектра;
- частоти зрізу тощо.

Випадковий радіосигнал цифрових засобів таємного отримання інформації, що працюють у режимі імпульсів, є адитивним нестационарним випадковим сигналом, який може бути представлений як:

$$X(t) = Y(t) + \varphi(t) \quad (3.1),$$

де $\varphi(t)$ – детермінована функція, така, що $\varphi(t) \neq \text{const}$, $t \in T$.

Перший момент цього процесу виглядає так:

$$MX(t) = MY(t) + \varphi(t) \quad (3.2)$$

У випадку, коли $MY(t) = 0$, тоді ми отримуємо випадковий процес, нестационарний щодо математичного очікування. У нашому випадку, присутність залишку має велике значення для цього процесу.

Баланс характеризується функцією балансу. Вираз для функції залишку виглядає так:

$$Y(t) = X_0(t) = X(t) - MX(t) = X(t) - \varphi(t) \quad (3.3)$$

Слід зауважити, що функції мають поліноміальний характер, що дає можливість подати її у виді:

$$\varphi(t) = \sum_{i=0}^n a_i t^i \quad (3.4)$$

Характерно, що для адитивного нестационарного процесу, до якого ми відносимо випадкові радіосигнали, кореляційна функція залежить лише від зсуву τ , та не залежить від поточного часу t :

$$R_x(t_1, t_2) = M[X_0(t_1), X_0(t_2)] = M[Y_0(t_1), Y_0(t_2)] \quad (3.5)$$

де $\tau = t_2 - t_1$.

3.2. Згладжування операторів на основі методу найменших квадратів

Загалом, адитивна модель характеризує нестационарні процеси математичним очікуванням, яке може бути перетворене на стаціонарне при центруванні. Це значно спростить обчислення, що скоротить час аналізу і значно збільшить ймовірність виявлення випадкового імпульсного радіосигналу.

Вибір методу виконується із можливих методів вирішення проблеми згладжування, тобто з наступних методів:

- метод максимальної правдоподібності;
- метод тестування статистичних гіпотез;
- метод оптимальної фільтрації;
- метод максимізації поліномів;
- метод найменших квадратів (МНК);
- метод динамічного програмування;
- метод стохастичного наближення, тощо.

Проаналізуємо деякі із цих методів. Термін «максимум правдоподібності» вперше був використаний в роботі Фішера майже 100 років тому [142].

Метод максимальної правдоподібності (ММП) дозволяє оцінювати параметри розподілу ймовірностей на основі вибіркового даних. Якщо загальний вигляд щільності ймовірнісного розподілу описується відомою функцією $p(\mathbf{Z}, \theta)$, що залежить від векторного параметру θ .

Спочатку у методі максимальної правдоподібності будується функція правдоподібності, де функція правдоподібності $L(z, \theta)$ є добутком щільностей ймовірностей для всіх спостережень у вибірці:

$$L(z, \theta) = \prod_{i=1}^n p(z_i, \theta) \quad (3.6)$$

де z_i – спостереження із вибірки Z .

Потім для зручності обчислень використовується логарифмічна функція правдоподібності

$$l(z, \theta) = \ln L(z, \theta) = \sum_{i=1}^n \ln p(z_i, \theta) \quad (3.7)$$

Далі параметри θ оцінюються шляхом максимізації логарифмічної функції правдоподібності

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} l(z, \theta) \quad (3.8)$$

Це досягається шляхом розв'язання системи рівнянь, отриманих шляхом диференціювання логарифмічної функції правдоподібності за параметрами θ

$$\frac{\partial l(\theta)}{\partial \theta} = 0 \quad (3.9)$$

Метод максимальної правдоподібності використовується за накладання строгих умов, оскільки вимагає чіткого знання форми розподілу зібраних даних. Цей метод є більш універсальним, ніж метод найменших квадратів, оскільки використовує повний імовірнісний опис моделі. Однак, його недолік

полягає в тому, що він вимагає більш складних алгоритмів розв'язування, що може призводити до складніших обчислювальних рішень.

Метод тестування статистичних гіпотез [144] полягає в тому, що до вибірки даних, яку отримано в ході експерименту висувають дві гіпотези:

- гіпотеза H_0 – реалізація вибірки містить тільки сигнали легальних пристроїв;
- альтернативна гіпотеза H_1 – реалізація вибірки містить сигнал від ЗНОІ та сигнали легальних пристроїв.

До отриманих експериментальних даних слід запропонувати правило, на підставі якого слід обирати між гіпотезами. Що не є зручним у нашому випадку.

Метод оптимальної фільтрація радіосигналів також знаходить своє використання у сучасних технічних рішеннях [143], але він на думку сучасних науковців та інженерів має недолік, який пов'язаний із його застосуванням лише до сигналів оптимальної тривалості.

Метод максимізації полінома [145] є новим методом знаходження оцінок параметрів випадкової величини. У цьому методі при відсутності повної апіорної інформації використовується кінцева послідовність моментів та кумулянтів, що є частковим описом випадкової величини.

Нехай маємо векторну випадкову величину $\vec{z} (z_1, z_2, \dots, z_n)$, що складається з n незалежних, однаково розподілених випадкових величин, що залежать від скалярного параметра θ , при цьому реальне значення параметра дорівнює θ_0 .

Узагальнений стохастичний поліном першого типу степені s і розміром n має вигляд:

$$S_{sn}(\vec{z}, \theta) = nk_0(\theta) + \sum_{i=1}^s k_i(\theta) \sum_{i=1}^n \varphi_i(\vec{z}) \quad (3.10)$$

де $k_i(\theta)$ – коефіцієнт, що залежить від скалярного значення θ , називають узагальненим стохастичним поліномом 1-го типу.

Нехай всі функції виду $\varphi_i(\theta)$ нескінченно диференційовані за параметром θ , тоді для вказаного полінома (3.10) справедливим є наступне твердження:

Якщо у узагальненому стохастичному поліномі виду (3.10), де коефіцієнти $k_0(\theta)$ та $k_i(\theta)$ рівні відповідно: $k_0(\theta) = \int_a^\theta \sum_{i=1}^s [h_i(\theta)\varphi_i(\theta)] d\theta$ та $k_i(\theta) = \int_a^\theta h_i(\theta) d\theta$, а функція $h_i(\theta)$ знаходиться як розв'язок системи лінійних

$$\text{алгебраїчних рівнянь } \sum_{j=1}^s h_j(\theta) F_{i,j}(\theta) = \frac{\partial \varphi_i(\theta)}{\partial \theta}, \quad i = 1, \dots, s \quad \forall \theta \in [a; b]$$

де $F_{i,j}(\theta) = \varphi_{i,j}(\theta) - \varphi_i(\theta)\varphi_j(\theta)$, $\varphi_{i,j}(\theta) = \exp(\varphi_i(z)\varphi_j(z))$, то при будь-якому скінченному значення s поліном (3.10) при $n \rightarrow \infty$ як функція від θ асимптотично наближається до максимум в точці $\hat{\theta}_n$ у околі істинного значення θ_0 .

Інколи поліном виду (3.10) називають оціночним стохастичним поліномом степені s та позначають його $\Pi_{sn}(\vec{z}, \theta)$

У методі максимізації полінома у якості оцінки береться величина

$$\hat{\theta}_n = \arg \max \Pi_{sn}(\vec{z}, \theta) \quad (3.11)$$

Яка знаходиться як розв'язок рівняння:

$$\left. \frac{\partial \Pi_{sn}(\vec{z}, \theta)}{\partial \theta} \right|_{\theta=\hat{\theta}} = 0 \quad (3.12)$$

Але при вирішенні певного класу задач, зокрема задач оцінки інформативних параметрів сигналів від ЗНОІ, які працюють на фоні сигналів від легальних пристроїв, застосування цього методу потребує значної модифікації та удосконалення, що може стати значною частиною наступних наукових досліджень.

Розглянемо далі метод оптимізації – метод найменших квадратів. Його застосування у різних галузях пов'язане із тим, що [138-141]:

1. метод найменших квадратів простий алгоритм його реалізації за допомогою обчислювальних машин;
2. при виконанні накладених умов певного типу метод найменших квадратів є оптимальним при забезпеченні оцінки мінімуму дисперсії досліджуваного процесу.
3. за допомогою МНК можна оцінити закономірності, які спостерігаються на тлі випадкових процесів і зокрема випадкових коливань, та її використання для подальших розрахунків, зокрема, для прогнозів.

Суть методу найменших квадратів полягає у параметричній оцінці функції регресії, що описує залежність однієї величини Y , значення якої (y_i) спостерігають з випадковими похибками θ_i від групи невідповідних величин X_1, X_2, \dots, X_k .

Функція регресії - це функція k змінних x_1, x_2, \dots, x_k , яка є математичним сподіванням величини Y при $X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_k = x_k$:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = M(Y | X_1 = x_1, \dots, X_k = x_k)$$

Вважається, що функція регресії належить заданій параметричній сім'ї $f(x_1, x_2, \dots, x_k, a_1, a_2, \dots, a_m)$, де a_1, a_2, \dots, a_m - параметри що підлягають оцінці за методом найменших квадратів. Оцінки параметрів дають можливість одержати параметричну оцінку функції регресії:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = f(x_1, x_2, \dots, x_k, a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (3.13)$$

Спостереження y_i називаються рівноточними, якщо дисперсії величин θ_i однакові:

$$D\theta_i = \sigma^2 = const \quad (3.14)$$

Рівняння зв'язку між Y та X_1, X_2, \dots, X_k має вигляд:

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, a_1, \dots, a_m) + \theta_i \quad (3.15)$$

Якщо спостереження рівноточні, то за оцінки параметрів a_1, \dots, a_m в методі найменших квадратів беруть такі значення, за яких сума S квадратів відхилень θ_i є мінімальною:

$$S = \sum_{i=1}^n \theta_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(y_i - f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, a_1, \dots, a_m) \right)^2 \rightarrow \min \quad (3.16)$$

У випадку нерівноточних спостережень оцінками параметрів a_1, \dots, a_m за методом найменших квадратів є такі їх значення, при яких стає мінімальною сума S_p квадратів відхилень θ_i , що взяті з ваговими коефіцієнтами p_i ,

$$S_p = \sum_{i=1}^n \theta_i^2 p_i = \sum_{i=1}^n \left(y_i - f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik_i} a_1, \dots, a_m) \right)^2 p_i \rightarrow \min \quad (3.17)$$

МНК приводить до лінійної системи рівнянь відносно незалежних оцінок a_1, \dots, a_m тоді, коли ці параметри входять до виразу регресії лінійно, тобто функція має вигляд

$$f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik_i} a_1, \dots, a_m) = \sum_{j=1}^m a_j \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3.18)$$

де $\varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_k)$ – задані функції ($j = 1, 2, \dots, m$).

Рівняння зв'язку у цьому випадку набуває вигляду :

$$y_i = \sum_{j=1}^m a_j \varphi_{ij} + \theta_i \quad (3.19)$$

де $\varphi_{ij} = \varphi_j(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik_i})$ – значення функції $\varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_k)$ в умовах i -го досліду.

Перевагою методу найменших квадратів є те, що він навіть при малих вибірках володіє властивістю оптимальності, тому що він дає незміщені оцінки, які являються лінійними функціями від спостережень і мають мінімальну дисперсію. Це дає можливість будувати швидкі та зручні алгоритми обчислень.

Тому для нашої ситуації ми обираємо метод, який найкраще підходить для виконання відповідного алгоритму обробки сигналу та відповідає обраній гіпотезі щодо апріорних характеристик випадкового радіосигналу. Отже, ми вирішили використовувати метод згладжування операторів, заснований на методі найменших квадратів.

Ми використовуємо метод найменших квадратів [1,114]. Побудуємо оператори згладжування. Особливість таких операторів полягає в наступному:

- застосування принципу ковзного згладжування;
- вибір початку та напрямку посилення для функції згладжування;
- врахування крайових ефектів.

Вибір ковзного згладжування використовується, оскільки це дозволяє використовувати низький ступінь полінома, вибираючи достатньо малий інтервал згладжування.

Це алгоритмічний метод, заснований на ідеї усереднення спостережуваних сусідніх значень серії. Вибір початку та напрямку посилення для полінома забезпечує спрощення операторів. Щоб пояснити запропонований метод, припустимо, що в інтервалі часу $[t - T, t]$ ми маємо:

- виконання згладжування $x(t)$ випадкового процесу $X(t)$, де $X(t)$ - це функція процесу радіомоніторингу визначеної частотної радіодіапазону;

- статичний поліном виду: $\sum_{j=0}^m a_j \varphi_j(x)$,

де базисна функція $\varphi_j(x) = \tau^j$, яка є статичною функцією параметра τ - час.

Деякі зміни на відрізку $[-T/2-b, T/2+b]$, де b - початок осі τ , який розраховується з середини відрізка $[t - T, t]$.

При цьому миттєву похибку визначає вираз:

$$\varepsilon(t) = x\left(t \pm \tau - \frac{T}{2} - b\right) - \sum_{j=0}^m a_j \varphi_j(x) \quad (3.20)$$

Середньоквадратична миттєва похибка в інтегральному виді визначається виразом:

$$\varepsilon^2(t) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}-b}^{\frac{T}{2}+b} \left[x\left(t \pm \tau - \frac{T}{2} - b\right) - \sum_{j=0}^m a_j \varphi_j \right]^2 d\tau \quad (3.21)$$

або

$$\varepsilon^2(t) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}-b}^{\frac{T}{2}+b} \left[x\left(t \pm \tau - \frac{T}{2} - b\right) - \sum_{j=0}^m a_j \tau^j \right]^2 d\tau \quad (3.22)$$

У виразах (3.21) і (3.22) знак \pm позначає напрямок по осі τ .

В формулі (3.22) вираз $A_n = \sum_{j=0}^m a_j \tau^j$ називають оператором поліноміального згладжування.

Значення згладжуючих коефіцієнтів a_j – визначаються за умови на мінімальності середньоквадратичної миттєвої похибки, тому накладемо вимогу:

$$\varepsilon^2(t) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}-b}^{\frac{T}{2}+b} \left[x\left(t \pm \tau - \frac{T}{2} - b\right) - \sum_{j=0}^m a_j \tau^j \right]^2 d\tau \rightarrow \min \quad (3.23)$$

Зважаючи на те, що на коефіцієнти не накладають жодних обмежень, ми застосовуємо до виразу (3.23) вимоги безумовного екстремуму, та отримуємо систему:

$$\frac{\partial \varepsilon^2(t)}{\partial a_j} = 0, \quad j = 0, 1, 2 \dots m. \quad (3.24)$$

Провівши перетворення у виразі (3.24) отримуємо систему лінійних рівнянь:

$$\sum_{j=0}^m \alpha_{j+n} a_j = \beta_n \quad n = 0, 1, 2 \dots m. \quad (3.25)$$

В рівності (3.25) ми ввели наступні позначення для коефіцієнтів:

$$\alpha_{j+n} = \sum_{i=1}^m (t_i - t_0)^{j+n}, \quad n = 0, 1, 2 \dots m \quad (3.26)$$

$$\beta_n = \sum_{i=1}^m (t_i - t_0)^n x_i, \quad n = 0, 1, 2 \dots m \quad (3.27)$$

З системи лінійних рівнянь (3.25) ми визначаємо оператори згладжування a_i . Таким чином, ми отримали реалізацію функції згладжування випадкового процесу.

Функція згладжування потрібна для використання як посилення. Посилення буде використане в апаратно-програмному комплексі як функція вибірки.

Виявивши миттєву похибку, ми отримаємо відхилення випадкового сигналу від функції вибірки. Чим більша моментальна похибка, тим більша ймовірність того, що виявлений випадковий сигнал буде сигналом засобів отримання прихованої інформації.

Варто зазначити, що функцію згладжування в процесі пошуку засобів прихованого отримання інформації слід визначати заздалегідь у момент загрози витоку інформації або отримувати реалізацію процесу радіомоніторингу у той час, коли ймовірність непоміченої роботи дуже мала, наприклад вночі.

Наявність математично апроксимованого файлу потрібного радіодіапазону, що визначається запропонованим методом функції згладжування, дозволяє дуже швидко виявляти нові випадкові сигнали.

Швидкість пояснюється тим, що сканування радіодіапазону відбувається не по загальному діапазону, а лише для виявлення відхилень від функції вибірки.

Серед важливих завдань дослідження операторів згладжування для розробки методу слід визначити:

- визначення власних функцій;
- виявлення помилок згладжування;
- оптимізацію параметрів згладжування (крок квантування, інтервал тощо).

3.3. Оптимізація алгоритму ковзного згладжування для отримання більшої точності апроксимації на кінцях відрізка

Під час використання принципу ковзного згладжування [1] слід враховувати той факт, що найбільша точність згладжування досягається в середині інтервалу згладжування (у нашому випадку це $t = t_0$).

Проте, в кінці виконання точність згладжування зменшується. Тому ми пропонуємо обрати алгоритм згладжування наступним чином:

Інтервал часу $0 \leq t \leq T_0$ повинен бути поділений на три пів інтервали:

1. $0 \leq t \leq t_0$;

2. $t_0 \leq t \leq T_0 - t_0$;

3. $T_0 - t_0 \leq t \leq T_0$.

Для згладжування $x(t)$ проводимо наступні дії:

На першому пів інтервалі, ми використаємо значення імплементації на $0 \leq t_i \leq T$, де T -інтервал згладжування, $i = 1, 2, \dots, n$.

На другому пів інтервалі проведемо згладжування таким чином:

Нехай t_1 – будь яка точка з другого інтервалу часу. Зі значень імплементації на інтервалах $t_i - \frac{T}{2} \leq t \leq t_i + \frac{T}{2}$, порахуємо a_{ni}^0 .

За припущення $t_0 = t_i$, отримаємо $A_n x(t) = a_{ni}^0 x(t)$,

де a_{ni}^0 – значення на проміжку $t_i - \frac{T}{2} \leq t \leq t_i + \frac{T}{2}$.

Третій пів інтервал подібний першому, проте значення імплементації $x(t)$ беруться із проміжку часу $T_0 - t_0 \leq t \leq T_0$.

Для практичної оцінки отриманих результатів, розрахуємо коефіцієнти згладжування полінома a_j для значень $1 \leq m \leq 5$ та $x(t) = \sum_{j=0}^m a_j(t - t_0)^j$:

$$m = 1,$$

$$a_0 = \frac{\beta_0}{n}, \quad a_1 = \frac{\beta_1}{\alpha_2} \quad (3.14)$$

$$m = 2,$$

$$a_0 = \frac{\alpha_4\beta_0 - \alpha_2\beta_2}{n}, \quad a_1 = \frac{\beta_1}{\alpha_2}, \quad a_2 = \frac{n\beta_2 - a_2\beta_0}{n\alpha_4 - \alpha_2^2} \quad (3.15)$$

$$m = 3,$$

$$a_0 = \frac{\alpha_2\beta_0 - \alpha_2\beta_2}{n\alpha_4 - \alpha_2^2}, \quad a_1 = \frac{\alpha_6\beta_1 - \alpha_4\beta_3}{\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2}, \quad a_2 = \frac{n\beta_2 - a_2\beta_0}{n\alpha_4 - \alpha_2^2}, \quad a_3 = \frac{\alpha_2\beta_3 - \alpha_4\beta_1}{\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2} \quad (3.16)$$

$$m = 4,$$

$$a_0 = \frac{(\alpha_4\alpha_8 - \alpha_6^2)\beta_0 + (\alpha_4\alpha_6 - \alpha_2\alpha_8)\beta_2 + (\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2)\beta_4}{n\alpha_4\alpha_8 + 2\alpha_2\alpha_4\alpha_8 - \alpha_4^3 - n\alpha_6^2 - \alpha_2^2\alpha_8}$$

$$a_1 = \frac{\alpha_6\beta_1 - \alpha_4\beta_3}{\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2}$$

$$a_2 = \frac{(\alpha_4\alpha_6 - \alpha_2\alpha_8)\beta_0 + (n\alpha_8 - \alpha_4^2)\beta_2 + (\alpha_2\alpha_4 - n\alpha_6)\beta_4}{n\alpha_4\alpha_8 + 2\alpha_2\alpha_4\alpha_8 - \alpha_4^3 - n\alpha_6^2 - \alpha_2^2\alpha_8}$$

$$a_3 = \frac{\alpha_2\beta_3 - \alpha_4\beta_1}{\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2}$$

$$a_4 = \frac{(\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2)\beta_0 + (\alpha_2\alpha_4 - n\alpha_6)\beta_2 + (n\alpha_4 - \alpha_2^2)\beta_4}{n\alpha_4\alpha_8 + 2\alpha_2\alpha_4\alpha_8 - \alpha_4^3 - n\alpha_6^2 - \alpha_2^2\alpha_8} \quad (3.17)$$

$$m = 5,$$

$$a_0 = \frac{(\alpha_4\alpha_8 - \alpha_6^2)\beta_0 + (\alpha_4\alpha_6 - \alpha_2\alpha_8)\beta_2 + (\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2)\beta_4}{n\alpha_4\alpha_8 + 2\alpha_2\alpha_4\alpha_8 - \alpha_4^3 - n\alpha_6^2 - \alpha_2^2\alpha_8}$$

$$\begin{aligned}
a_1 &= \frac{(\alpha_6\alpha_{10} - \alpha_8^2)\beta_1 + (\alpha_6\alpha_8 - \alpha_4\alpha_{10})\beta_3 + (\alpha_4\alpha_8 - \alpha_6^2)\beta_5}{n\alpha_4\alpha_8 + 2\alpha_2\alpha_4\alpha_8 - \alpha_4^3 - n\alpha_6^2 - \alpha_2^2\alpha_8} \\
a_2 &= \frac{(\alpha_4\alpha_6 - \alpha_2\alpha_8)\beta_0 + (n\alpha_8 - \alpha_4^2)\beta_2 + (\alpha_2\alpha_4 - n\alpha_6)\beta_4}{n\alpha_4\alpha_8 + 2\alpha_2\alpha_4\alpha_8 - \alpha_4^3 - n\alpha_6^2 - \alpha_2^2\alpha_8} \\
a_3 &= \frac{(\alpha_6\alpha_8 - \alpha_4\alpha_{10})\beta_1 + (\alpha_2\alpha_{10} - \alpha_6^2)\beta_3 + (\alpha_4\alpha_6 - \alpha_2\alpha_8)\beta_5}{n\alpha_4\alpha_8 + 2\alpha_2\alpha_4\alpha_8 - \alpha_4^3 - n\alpha_6^2 - \alpha_2^2\alpha_8} \\
a_4 &= \frac{(\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2)\beta_0 + (\alpha_2\alpha_4 - n\alpha_6)\beta_2 + (n\alpha_4 - \alpha_2^2)\beta_4}{n\alpha_4\alpha_8 + 2\alpha_2\alpha_4\alpha_6 - \alpha_4^3 - n\alpha_6^2 - \alpha_2^2\alpha_8} \\
a_5 &= \frac{(\alpha_4\alpha_8 - \alpha_6^2)\beta_1 + (\alpha_2\alpha_4 - \alpha_2\alpha_8)\beta_3 + (\alpha_2\alpha_6 - \alpha_4^2)\beta_5}{\alpha_2\alpha_6\alpha_{10} + 2\alpha_4\alpha_6\alpha_8 - \alpha_6^3 - \alpha_2^2\alpha_8 - \alpha_4^2\alpha_{10}}
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Помилка згладжування заданої функції при $m = 5$ та при більших значеннях вже не має значного впливу на випадкові відхилення від отриманої функції, що дозволяє виявляти випадкові радіосигнали.

Практично неможливо обчислити коефіцієнти більшого порядку. Подальше обчислення коефіцієнтів згладжування призводить до збільшення часу обчислення, що є більш впливовим фактором у виявленні випадкових короткочасних сигналів, ніж помилка згладжування заданої функції.

Розглянемо на рисунку 3.3 графік отриманого згладженого сигналу та накладемо його на сигнали існуючих легальних пристроїв.

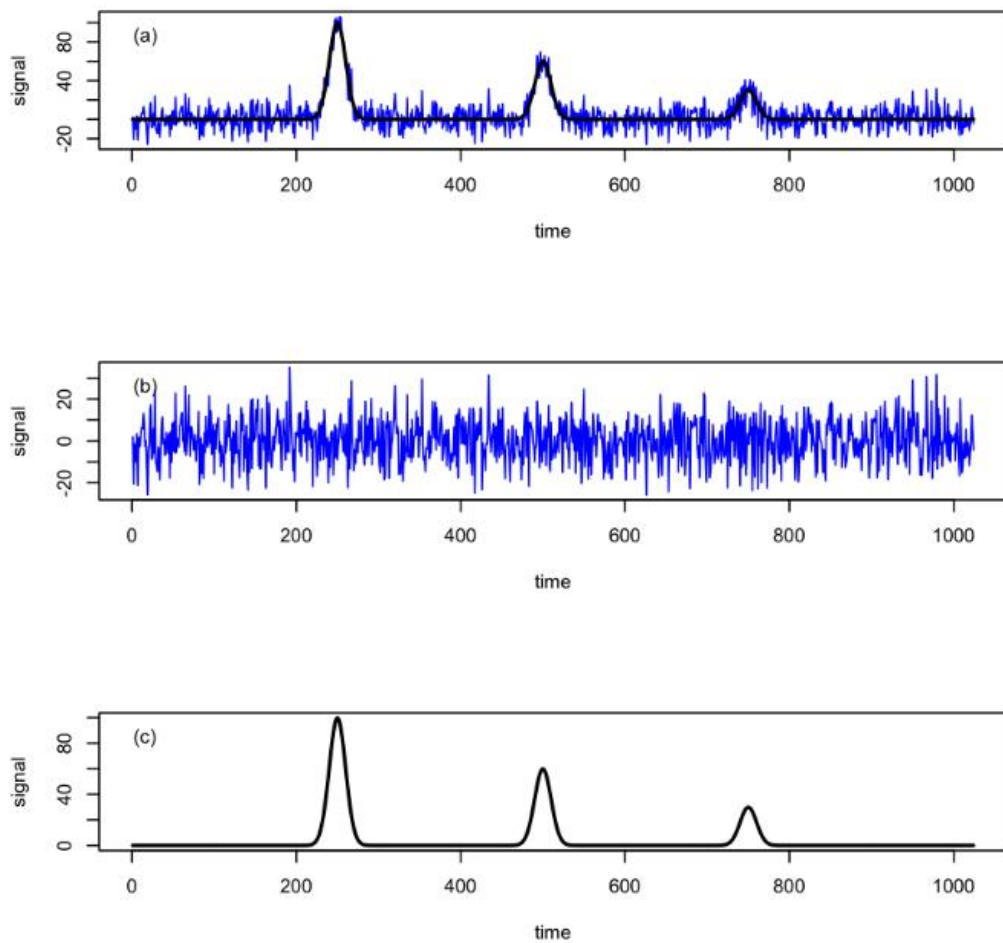


Рис. 3.3. Згладжений сигнал від ЗНОІ на фоні сигналів легальних пристроїв.

При аналізі інтервалу часу в 1000 мілісекунд, на якому виявлені відхилення, зауважуємо, що їх тривалість складає близько 150 мілісекунд. Таким чином сигнал від ЗНОІ триває близько 15% від досліджуваного інтервалу.

Висновки до розділу 3

1. Удосконалено модель виявлення спектру випромінювання ЗНОІ, яка, на відміну від існуючих, дозволяє визначити частину спектру легального сигналу, у якому випромінює засіб негласного отримання інформації. Запропонована удосконалена модель виявлення спектру випромінювання від ЗНОІ дозволяє скорити час сканування досліджуваного діапазону роботи легальних пристроїв при виявленні ЗНОІ більше ніж у 2 рази.

2. На основі удосконаленої моделі випадкових сигналів були зроблені обчислення коефіцієнтів поліноміального згладжування для запропонованої функції. Отримано результати, які повністю підтверджують можливість визначення сигналів засобів прихованого отримання інформації запропонованим методом, доводять переваги розробленого методу над методами та техніками, що існують наразі.

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЛАЙН- ФУНКЦІЙ ТА ПОЛІНОМІВ БЕРНШТЕЙНА

Сутність пошуку ЗНОІ полягає в виявленні, розпізнаванні демаскуючих ознак по сигналам від вказаних пристроїв та їх подальша локалізації.

Демаскуючі ознаки, які притаманні практично всім заставних пристроям:

- 1) випромінюються електромагнітні поля радіочастотного каналу передачі;
- 2) інформаційні сигнали в провідних комунікаціях;
- 4) інфрачервоне випромінювання, модульоване голосовим сигналом;
- 5) наявність напівпровідникових приладів у пасивних ЗП, що дають відгук на скануючий високочастотний сигнал;
- б) демаскуючі ознаки, що визначаються візуальним шляхом.

Всі згадані ознаки можуть бути використані для виявлення та розпізнавання ЗНОІ. В процесі такого розпізнавання, в ході виділення шкідливого сигналу постає завдання його подання в аналітичному вигляді. Для цього використовують різні способи представлення сигналу.

Загальний вид сигналу ЗНОІ зручно подавати у вигляді складеної функції, що зумовлено різноманітними методами його приховування. Поряд з цим, також існують різні чинники, які заважають якісно провести як збір та аналіз інформації про наявність в контрольованій зоні функціонуючого ЗНОІ так і встановити параметри такого сигналу.

Одним із таких чинників є проблема застосування ЗНОІ, які використовують легальні діапазони поширення інформації [2,115,116]. Ці обставини формують наукову задачу щодо розробки та удосконалення

методів, моделей та алгоритмів виявлення сигналів прихованого отримання інформації в легальному діапазоні передачі даних.

Загальна проблема виявлення сигналів від засобів негласного отримання інформації полягає в безпосередньому формуванні методики, яка б дозволила подати виявлений сигнал від ЗНОІ, що використовує легальний діапазон передачі даних, в його в аналітичному представлені, зручному для подальшого аналізу та безпосереднього виявлення шкідливого сигналу.

Формування такої методики розпочинається з вибору початкових даних сигналу від ЗНОІ. В свою чергу, для вибору початкових даних методики розпізнавання засобів негласного отримання інформації, потрібно виявити та встановити властивості та ознаки функціонування засобів негласного отримання інформації. Існуючі методи розпізнавання сигналів від ЗНОІ мають свої переваги та недоліки. Їх розробці та аналізу присвячено ряд робіт.

У джерелах [115,116] розглядаючи процес пошуку ЗНОІ як сукупність дій по виявленню, розпізнаванню та локалізації ЗНОІ. Акцентовано увагу, що важливим елементом виявлення ЗНОІ є математичний апарат, який дозволяє перетворити отриманий від них сигнал у зручний для подальшого аналізу вигляд. Важливим є також встановлення параметри сигналу, за якими проводиться процес розпізнавання. Безпосереднє питання розробки та подання сигналу від ЗНОІ в аналітичному вигляді в даній роботі не розглядається.

У статті [117] розглянуто процес розпізнавання випадкового цифрового сигналу на основі отриманих параметрів у процесі його виявлення. При введеному в статті припущенні – «співвідношення сигнал-шум невелике» сигнал аналізується у вигляді: сигнал; сигнал + шум; сигналу латентного періоду.

Завдання локалізації сигналу вирішується за допомогою оптимального лінійного фільтра, який пригнічує спектральні компоненти шуму і виділяє

сигнал ЗНОІ. При цьому аналітичне подання сигналу від ЗНОІ в даній роботі відсутнє.

В роботі [118] сигнал від ЗНОІ розглядається при умові, що його характеристика частоти близька до спектра сигналу. При цьому в розглянутій роботі аналітичний вираз такого сигналу входить комплексно-поєднане значення спектральної амплітуди. Оцінка параметрів прихованих періодів здійснюється з допомогою кореляційних функцій, кінцевих функцій, кінцевих різниць і методами Брунса, Кюнена, Лагранжа. В свою чергу, аналітичний вираз самого сигналу від ЗНОІ в закінченому вигляді в даній статті не представлено.

Для підвищення ефективності розпізнавання сигналів від засобів негласного отримання інформації ми розробили наступну методику представлення випадкового сигналу у наступному аналітичному виді

4.1. Модель сигналу засобу негласного отримання інформації сигналів на основі сплайн-функцій

У джерелі [117] розглядається регулярний сигнал, який діє на систему:

$$S(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_0(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (4.1)$$

з довільним спектром, миттєвою інтенсивністю $I_0(t) = S^2(t)$ та енергією

$$Q(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} I_0(t) dt = 2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} |S_0(\omega)|^2 d\omega \quad (4.2)$$

Розглядається, що разом з сигналом $S(t)$ на вхід надходить стаціонарний шум з нульовим середнім значенням і спектральною щільністю $G(\omega)$.

Передавальна функція $K(\omega)$ оптимального фільтра буде описуватися виразом:

$$K(\omega) = S_0(-\omega)e^{-i\omega t_0} \quad (4.3)$$

де t_0 – довільна постійна.

Відомо [119], що довільна раціональна функція декількох змінних може бути записана у виді композиції чотирьох арифметичних дій: додавання, віднімання, множення і ділення, композицією функцій та зберігає властивості функцій, композицією яких вона є.

У роботі [119] показано, що будь-яка визначена на n -мірному кубі ($n > 3$) неперервна функція може бути представлена композицією неперервних функцій трьох змінних, а потім Арнольд В. І. показав, що кількість вона може бути композицією неперервних функцій двох змінних до двох. [120,121].

Встановлено, що будь-яка неперервна функція n змінних може бути отримана за допомогою композиції неперервних функцій однієї змінної та єдиною функцією двох змінних $g = (x, y) = x + y$.

Вище згадане твердження дозволяє представити будь-яку функцію f , неперервну на n -мірному кубі, у вигляді:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{2n+1} h_i \left(\sum_{j=1}^n \varphi_{ij}(x_j) \right) \quad (4.4)$$

де функції h_i та φ_{ij} неперервні, функція φ_{ij} крім того, стандартна та не залежить від вибору функції f .

Такий спосіб запису дає можливість представити сигнал ЗНОІ у виді, який можна швидко опрацьовувати та досліджувати.

Іншим методом представлення сигналу є задання його у вигляді сплайн-функції двох змінних [122,123,124]. Двовимірна сплайн-функція, зібрана зі шматків двовимірних алгебраїчних многочленів. Різні узагальнення сплайн-функції від багатьох змінних характеризуються двома ознаками: формою заданої області та визначення простору сплайнів.

Розглянемо прямокутну область Ω , так, що $x \in [a;b]$, $y \in [c;d]$, та введемо в ній прямокутну сітку виду:

$$\Delta = \Delta_x \times \Delta_y \quad (4.5)$$

де: $\Delta_x: a = x_0 < x_1 < \dots < x_N = b$ та $\Delta_y: c = y_0 < y_1 < \dots < y_M = d$,

що розбиває область Ω на прямокутні області виду:

$$\Omega_{ij} = \{(x; y) | x \in [x_i; x_{i+1}], y \in [y_j; y_{j+1}]\} \quad (4.6)$$

де $i = 0, \dots, N-1; j = 0, \dots, M-1$.

Для цілих $k \geq 0$ та $l \geq 0$ позначимо як $C^{k,l}[\Omega]$ множину неперервних на прямокутній області Ω множини функцій $f(x, y)$, що мають частинні похідні другого порядку у кожному із прямокутників сітки.

Позначимо як $C^{-1,-1}[\Omega]$ множину частково-неперервних функцій з розривами першого роду на деяких замкнутих лініях, які можуть містити межі області.

Функцію $S_{n,m,v,\mu}(x,y)$ називатимемо сплайном [124-128] від двох змінних степеня n дефекту v ($0 \leq v \leq n + 1$) за змінною x та степеня m дефекту μ ($0 \leq \mu \leq m + 1$) за змінною y із лініями склейки на сітці Δ , якщо:

1) У кожній прямокутній області Ω_{ij} маємо, що функція сплайну має вид:

$$S_{n,m,v,\mu}(x,y) = \sum_{\alpha=1}^n \sum_{\beta=1}^m a_{\alpha\beta}^{ij} (x - x_i)^\alpha (y - y_j)^\beta \quad (4.7)$$

де $i=0,\dots,N-1; j=0,\dots,M-1$;

2) Функція сплайну така, що $S_{n,m,v,\mu}(x,y) \in C^{n-v,m-\mu}[\Omega]$

У випадку, коли задані два простори сплайнів від однієї змінної: $S_{n,v}(\Delta_x)$ та $S_{m,\mu}(\Delta_y)$, тоді справедлива наступна твердження [124-128]:

Твердження: Простір сплайнів двох змінних збігається з тензорним добутком двох просторів сплайнів однієї змінної.

$$S_{n,m,v,\mu}(x,y) = S_{n,v}(\Delta_x) \otimes S_{m,\mu}(\Delta_y) \quad (4.8)$$

де \otimes - знак тензорного добутку,

З огляду на попередні дані ми можемо проводити розпізнавання виділеного сигналу ЗНОІ у вигляді складеної функції, сплайн-функції двох змінних, яка зводиться в кінцевому підсумку до тензорного добутку двох просторів однієї змінної, що спрощує завдання допомагає проведенню математичного аналізу функцій виділеного сигналу.

4.2. Сплайн-модельовання на основі методу послідовних наближень

Для розв'язання завдання розпізнавання цифрового сигналу використовуватимемо метод послідовних наближень та метод послідовних витягів складових спектру.

Врахувавши, що конструкція системи невідома, для аналізу параметрів випадкових сигналів у частотній області можна обчислити спектральну функцію, а для нею можемо побудувати опис згладжуючим сплайном $Y(\omega)$.

Нехай ця невідома система описується деякою функцією $W(i\omega)$. Якщо на вхід системи подаємо ймовірний сигнал, то зі спектром $S_g(\omega_k)$, то після проходження через систему отримуємо сигнал $S(\omega)$.

Тепер наше завдання зводиться до апроксимації невідомої функції $W(i\omega)$ у базисі функцій другого порядку, виду:

$$W_i(p) = \frac{c_i(a_i + p)}{\beta_i^2 + p^2 + 2p\alpha_i + \alpha_i^2} \quad (4.9)$$

де c_i – це коефіцієнт затухання;

α_i – це ступінь затухання;

β_i – це резонансна частота.

Коефіцієнт затухання c_i - це параметр, який визначає амплітуду функції. Він впливає на те, наскільки сильно система буде реагувати на зовнішні збурення.

Ступінь затухання α_i - це параметр, що визначає швидкість, з якою система повертається до стану рівноваги після збурення. Високе значення означає сильне затухання, а низьке — слабе затухання.

Резонансна частота β_i - це частота, на якій система природно осцилює в умовах відсутності затухання. Вона визначає характерні коливання системи.

Для визначення елементів функції $W(i\omega)$ та значень i -х параметрів α_{0i} та β_{0i} скористаємось методом послідовних вилучень інформативних складових у частотній області.

Фазу випадкового сигналу визначатимемо як:

$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \left(\frac{b_k}{a_k} \right), 0 \leq \varphi_k \leq 2\pi \quad (4.10)$$

де a_k – парна (дійсна) компонента, а b_k – непарна (уявна) компонента.

Виконуючи сплайн-моделювання у класі згладжувальних функцій за допомогою опису спектральних параметрів сплайн-функціями двох змінних отримуємо опис спектральних параметрів у вигляді функції двох змінних $Y(\omega, t)$ для фіксованого інтервалу часу.[3,122-124]

Повний опис спектрального зрізу у полосі частот від 0 до 8500 Гц для фіксованого інтервалу часу може бути реалізовано за допомогою моделі з вісьмома вузлами, яка може бути записана у виді виразу:

$$Y(\omega) = \frac{A_3(\omega - \Omega_0)^3 + A_2(\omega - \Omega_0)^2 + A_1(\omega - \Omega_0)^1 + A_0}{A_{33}(\omega - \Omega_8)^3 + A_{22}(\omega - \Omega_8)^2 + A_{11}(\omega - \Omega_8)^1 + A_{00}} \quad (4.11)$$

де $\Omega_0 \leq \omega \leq \Omega_1$ та $\Omega_8 \leq \omega \leq \Omega_9$

При цьому загальний опис спектру та фази у виді сплайн-моделі матиме вид:

$$\begin{cases} Y_i \\ \varphi_i \end{cases} = \sum_{i=1}^n A_{j,n-p} (\omega - \Omega_i)^{n-p} \quad (4.12)$$

де $\Omega_j \leq \omega \leq \Omega_{j+1}$ та $0 \leq j \leq m$

4.3. Наближення спектральної функції поліномами Бернштейна

Розглянемо теоретичні відомості про многочлени найкращого наближення функції на деякій замкненій множині.

Нехай $f(x)$ буде довільно задана неперервна (обмежена) функція на відрізку $[a, b]$, де задана деяка система неперервних функцій $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \varphi_2(x) \dots \varphi_n(x)$. При цьому, якщо функції $\varphi_k(x)$ при всякому k задовольняють умову $\varphi_k(a) = \varphi_k(b)$, ми будемо також обмежуватися розглядом функцій $f(x)$, підпорядкованих умові $f(b)=f(a)$.

Нехай S - це яка-небудь замкнена підмножина відрізка (a, b) , що містить не менше $n+2$ точок, зокрема, S може збігатися з самим відрізком (a, b) .

Якщо $F_n(x) = \sum_{k=0}^n A_k \varphi_k(x)$ є деякий даний поліном, то абсолютне найкраще наближення буде досягатись, коли всі відхилення виду $|f(x) - F_n(x)|$ будуть досягати мінімуму. Отриманий поліном $P_n(x)$, який буде задовольняти умові мінімуму будемо називати найкращим наближенням функції $f(x)$ за допомогою поліномів описаної вище системи

Можна показати, що коефіцієнти полінома $F_n(x) = \sum_{k=0}^n A_k \varphi_k(x)$ можна записати у виді співвідношення $A_k = \sum_{i=0}^n c_{i,k} F_n(x_i)$, а поліном найкращого

наближення, або як його ще називають поліномом найменшого відхилення від функції $f(x)$ можна записати як суму двох функцій – парної та непарної.

Одна із властивостей полінома найкращого наближення є твердження: Для того щоб $P_n(x) = \sum_{k=0}^n A_k \varphi_k(x)$ був найкращим наближенням функції $f(x)$ у систему $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \varphi_2(x) \dots \varphi_n(x)$ на замкненій множині S необхідно і досить, щоб абсолютний максимум $|f(x) - P_n(x)|$ досягався не менше ніж у 2-х точках множини S у яких знаки різниці $f(x) - P_n(x)$ послідовно протилежні.

Наслідок 1: У випадку коли поліном $P_n(x)$ існує, то він є єдиним найкращим наближенням функції $f(x)$ на множині S .

Наслідок 2: Якщо поліном $P_n(x)$, що найменш відхиляється від $f(x)$ на множині S , то він також є поліномом, який найменш ухиляється від $f(x)$ на будь-якій підмножині S' множини S , що містить не менше, ніж $n+2$ точки максимального від, зі знаками, що послідовно чергуються.

Наслідок 3. Якщо поліном $P_n(x)$ є найкращим наближенням $f(x)$ в множині S , що складається тільки з $n + 2$ точок, то для нього вірним є те, що $f(x) - P_n(x)$ в цих точках має однакове значення з точністю до знаку (знаки послідовно чергуються).

Таким чином, для визначення коефіцієнтів A_k полінома $P_n(x)$ найкращого наближення функції $f(x)$ в множині S , яка містить рівно $n+2$ точки, достатньо вирішити систему $n+2$ лінійних рівнянь з $n+2$ невідомими:

$$\sum_{k=0}^n A_k \varphi_k(x) - \rho \cdot (-1)^i = f(\xi_i) \quad (4.13)$$

де ξ_i – множина точок із S , $i=1 \dots n+2$

ρ – найменша різниця між значенням $f(x)$ та поліном $P_n(x)$

Позначимо найкращу різницю $|f(x) - P_n(x)|$ як $E_n[f(x), S]$. Очевидною є оцінка $E_n[f(x), S] \leq \max|f(x) - P_n(x)|$. Як правило цю оцінку використовують, коли шукають поліном найкращого наближення на нескінченних множинах S .

Наслідок 4. Якщо різниця $|f(x) - Q_n(x)|$ набуває у деяких $n+2$ послідовних точках $x_0 < x_1 < \dots < x_{n+1}$ множини S набуває значень $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{n+1}$ значення знаків яких чергуються, при цьому m є найменший з їх модулів, то тоді $E_n[f(x), S] \geq m$ та знак рівності можливий у випадку, коли всі $|\lambda_i| = m$ і тоді $P_n(x) = Q_n(x)$

Розглянемо деякі вирази, що допомагають знаходити поліноми найкращого наближення функції.

Нехай $f_0(x)$ це функція, для якої відомий поліном найкращого наближення $P_n(x)$ у системі функцій $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \varphi_2(x) \dots \varphi_n(x)$ з точками максимального відхилення x_0, x_1, \dots, x_{n+1}

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^n A_k(0) \varphi_k(x) \quad (4.14)$$

А $f_1(x)$ це така функція, яку задає поліном найкращого наближення

$$R_n(x) = \sum_{k=0}^n A_k(1) \varphi_k(x) \quad (4.15)$$

Тоді розглядаючи функцію $f(x, \lambda) = \lambda f_1(x) + (1 - \lambda) f_0(x)$, та застосувавши до неї параметричний підхід, можна показати що поліном виду:

$$\sum_{k=0}^n [A_k(0) - A'_k(0)] \varphi_k(x) \quad (4.16)$$

буде найкращим наближенням для функції $f_1(x)$.

Якщо розглянути поліном $F(x, \lambda) = f(x, \lambda) - P_n(x, \lambda)$, то коефіцієнти поліному найкращого наближення можна визначати як розв'язки диференціального рівняння:

$$\frac{\partial^2 F(x, \lambda)}{\partial \lambda^2} = \sum_{k=0}^n A_k''(\lambda) \varphi_k(x) = 0 \quad (4.17)$$

Одним із найпростішим класів функцій, до яких можна застосувати перелічену вище теорію є функції у яких в розкладі у ряд Лорана $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{B_k}{(a-x)^k}$ коефіцієнти B для достатньо великого значення k зберігають сталий знак.

Спираючись на описані вище теоретичні відомості застосуємо ще один підхід до вирішення задач апроксимації є поліноміальна оцінка, що базується на теоремі Вейерштрасса, що звучить так: якщо функція $f(x)$ неперервна на відрізьку $[a, b]$, то існує послідовність многочленів $\{P_n(x)\}$, що рівномірно на відрізьку $[a, b]$ сходиться до $f(x)$, що рівносильно тому, що для будь якого $\varepsilon > 0$ знайдеться многочлен $P_n(x)$, де n не залежить від ε , такий, що:

$$|P_n(x) - f(x)| < \varepsilon \quad (4.18)$$

для всіх x на відрізьку $[a, b]$.

Дане твердження було доведено відомим вченим С.Н. Бернштейном [132,133]. При цьому у якості наближуючих многочленів $P_n(x)$ було використано многочлени наступного вигляду:

$$B_n(f; x) = B_n(x) = \sum_{k=0}^n f\left(\frac{k}{n}\right) b_{k,n}(x), \quad (4.19)$$

де $b_{k,n}(x) = C_n^k x^k (1-x)^{n-k}$,

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Функцію $b_{k,n}(x)$ називають базисним многочленом Бернштейна степені n , оператори $B_n(f; x)$ відповідно поліномами Бернштейна порядку n функції $f(x)$, а коефіцієнти $f\left(\frac{k}{n}\right)$ – коефіцієнтами Бернштейна.

С.Н. Бернштейн, опираючись на результати з теорії ймовірностей, показав, що послідовність поліномів $\{B_n(f; x)\}$ при $n \rightarrow \infty$ збіжний до $f(x)$ рівномірно на проміжку $[0,1]$, тобто:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|f - B_n(f)\| = 0 \quad (4.20).$$

При цьому, має місце наступне твердження: Якщо функція $f(x)$ на відрізьку $[0,1]$ задовольняє умові Ліпшиця [134] з константою M , то при всіх $n \geq 2$ та всіх $x \in [0,1]$ справедлива оцінка

$$|B_n(f; x) - f(x)| \leq M \sqrt{\frac{x(1-x)}{n}} \quad (4.21)$$

Описана теорія дає можливість проводити дослідження та розпізнавання виділеного сигналу ЗНОІ у вигляді функції, яка записується за допомогою поліномів Бернштейна, та при такому представленні можна зробити всі необхідні оцінки сигналу за допомогою методів математичного аналізу.

Розглянемо випадок, коли нам відомі значення спектрально-часової вибірки випадкового сигналу у вигляді масиву значення:

$$S_l(\omega_k, t) = S(\omega_k, t_l), \text{ де спектр } S_l \text{ отримано у момент часу } t_l \text{ на інтервалі } T_l.$$

Інтервал $T_l = T$ постійний, та $\omega_k = k\omega_0$ – це частоти обчислених спектральних коефіцієнтів, $k = \frac{1}{M}$, $l = \frac{1}{N}$, ω_0 – початкова частота спектру

Виконаємо моделювання спектральної функції за допомогою поліномів Бернштейна у класі згладжувальних функцій [131-133] як опис спектральних

параметрів, що має вигляд функції двох змінних $Y_{M,N}(\omega, t)$ для фіксованого інтервалу часу. Отримаємо функцію виду:

$$Y_{M,N}(\omega, t) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N C_N^k C_M^l S(\omega_k, t_l) \frac{(\omega - \omega_0)^i (\omega_M - \omega)^{M-i} t^j (T - t)^{N-j}}{(\omega_M - \omega_0)^M T^N} \quad (4.22)$$

Відомо, що поліноми Бернштейна рівномірно збігаються до початкової функції. Швидкість, з якою поліноми Бернштейна прямують до оригінальної функції квадратична, тому, за достатньо великої вибірки, ми швидко отримаємо наближення із наперед заданою точністю.

$$\lim_{N, M \rightarrow \infty} \sup_{\omega \in [\omega_0, \omega_M]} \sup_{t \in [0, T]} \|S(\omega, t) - Y_{M,N}(\omega, t)\| = 0 \quad (4.23)$$

Спектральні та фазові функції, отримані після такого наближення мають зручний вид, особливо для спектрів, які обчислюються на дуже коротких інтервалах часу. Проте нас цікавить відхилення в такій моделі, тобто нам необхідно визначати не тільки функцію наближення, а й визначити відхилення від апроксимації.

Виходячи з того, що реальний сигнал цифрового ЗНОІ знаходиться у тому ж діапазоні, що і легальні пристрої, розпізнати його можливо за величиною енергії спектру. Сигнал цифрового ЗНОІ у зоні перевірки буде значно більший за величиною спектральної енергії ніж любий сигнал за межами зони перевірки.

Сигнал цифрової ЗНОІ у зоні перевірки буде на тій же частоті, що і усі легальні пристрої, що ускладнює його виявлення. Однак розпізнати його

можливо за величиною спектральної енергії та фази сигналу. Для розпізнання ймовірного сигналу цифрової ЗНОІ необхідно визначити максимум спектру сигналу, точніше енергії спектру.

Для цього розглянемо частинні похідні від наближення (4.18)

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial \omega} Y_{M,N}(\omega, t) &= \\
 &= \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \frac{C_N^k C_M^l S(\omega_k, t_l)}{(\omega_M - \omega_0)^{MTN}} t^j (T - t)^{N-j} (i(\omega - \omega_0)^{i-1} (\omega_M - \omega)^{M-i} \\
 &\quad - \omega)^{M-i} \\
 &\quad + (M \\
 &\quad - i) i (\omega - \omega_0)^i (\omega_M - \omega)^{M-i-1}
 \end{aligned} \tag{4.24}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial t} Y_{M,N}(\omega, t) &= \\
 &= \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \frac{C_N^k C_M^l S(\omega_k, t_l)}{(\omega_M - \omega_0)^{MTN}} (\omega - \omega_0)^i (\omega_M - \omega)^{M-i} (j t^{j-1} (T \\
 &\quad - t)^{N-j} \\
 &\quad + (N - j) t^j (T - t)^{N-j-1})
 \end{aligned} \tag{4.25}$$

Прирівнявши до нуля отримані частинні похідні отримаємо поліноміальну систему рівнянь другого порядку, після розв'язування якої можна отримати наближені значення екстремумів функції, які будуть близькі до екстремумів оригінальної функції із заданою наперед точністю.

4.4. Обчислення максимального значення сплайн-моделі для знаходження максимуму енергії спектру

Спектральні та фазові функції, отримані після сплайн-моделювання добре корелюють із спектрами, що обчислюються для дуже коротких інтервалів часу. Схожі результати щодо фазочастотних характеристик можна бачити у літературі Хорошко В.О.[120,121].

Реальний сигнал цифрового ЗНОІ знаходиться у тому ж діапазоні, що і легальні пристрої, розпізнати його можливо тільки за величиною енергії спектру та фази сигналу [3,117].

У цьому випадку важливою умовою для розпізнавання ймовірного сигналу цифрової ЗНОІ є знаходження максимуму енергії спектру.

Для обчислення максимального значення сплайн-моделі визначатимемо похідну функцію частоти $\varphi(\omega)$, яку представимо у виді:

$$\varphi(\omega) = \sum_{i=0}^{n-1} (n-p)A_{j,n-p}(\omega - \Omega_j)^{n-p-1} \quad (4.26)$$

Прирівнявши похідну $\varphi(\omega)$ у виді виразу (4.21) до нуля [3] отримаємо такий результат:

$$\varphi'(\omega) = 3A_{j,3}(\omega - \Omega_j)^2 + 2A_{j,2}(\omega - \Omega_j) + A_{j,1} = 0 \quad (4.27)$$

Отримане квадратне рівняння, що залежить від $\omega - \Omega_j$, має розв'язок:

$$\omega - \Omega_j = \frac{-2 \pm \sqrt{4A_{j,2}^2 - 12A_{j,3}A_{j,1}}}{6A_{j,3}} \quad (4.28)$$

Таким чином, між вузлами Ω_j можливо знайти точне положення екстремумів $Y_j(\omega)$, а положення екстремумів $\varphi_i(\omega)$, дозволить визначити динаміку сигналу.

Проаналізуємо отриманий результат графічно (рис.4.1). Для цього обираємо два довільних набори параметрів сигналів для постійних складових та зобразимо їх на довільному інтервалі значення похідної фази сигналу функції.

Графік на рис.4.1 показує, що максимальне значення графіку, який зображений червоним, дорівнює 4 та є максимумом функції і відповідає критерію розпізнавання як сигнал ЗНОІ. Графік на рис.4.1, який зображений синім всередині діапазону, що аналізується, не приймає максимальних значень.

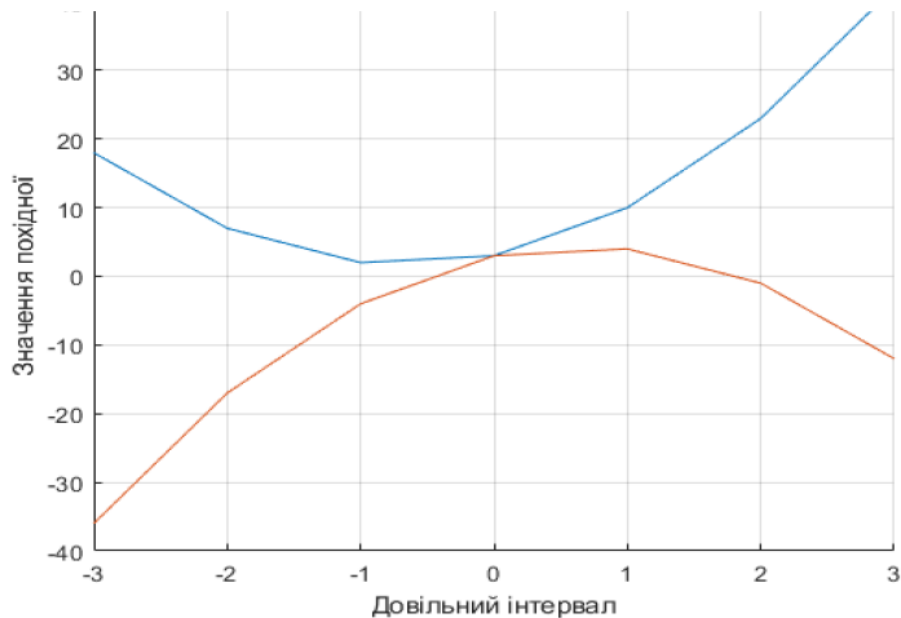


Рис. 4.1. Значення похідної фази сигналу функції

Найбільше його значення на інтервалі $[-4;4]$, є більшим за 35, а тому він відповідає сигналу, який не буде сигналом ЗНОІ, так як це значення функції знаходиться поза межами інтервалу.

Такий підхід, коли ми будемо функцію сигналу за допомогою сплайну, дозволяє покращити ефективність розпізнавання сигналів ЗНОІ, а також автоматизувати процес розпізнавання.

Аналогічний підхід може буде застосований у випадку, коли спектральну функцію випадкового сигналу наближати поліномами Бернштейна.

Висновки до розділу 4

1. Удосконалено метод оцінки параметрів сигналу від ЗНОІ, який, на відміну від існуючих, на основі застосування двовимірної сплайн-функції та поліномів Бернштейна, дозволяє встановити значення фази та максимуму енергії випромінювання шкідливого сигналу в діапазоні роботи легальних пристроїв.

2. Запропонований метод оцінки параметрів сигналів від ЗНОІ дозволяє на фоні згладжених характеристик сигналів легальних пристроїв виявляти миттєві фазові та енергетичні сплески та встановити їх параметри.

Такий спосіб дозволяє покращити ефективність розпізнавання сигналів ЗНОІ та його автоматизацію. Застосування такого математичного апарату надає можливість, використовуючи існуючі технічні і програмних комплекси, автоматизувати процес розпізнавання сигналів ЗНОІ.

ВИСНОВКИ

Сукупність наукових результатів, що були сформульовані, обґрунтовані та практично реалізовані в ході дисертаційного дослідження дозволили вирішити актуальне наукове завдання щодо розвитку та вдосконалення методів розпізнавання випадкових сигналів з метою віднесення їх до сигналів ЦЗНОІ, які працюють на фоні легальних радіосигналів.

В дисертаційному дослідженні отримані такі основні результати:

1. На підставі аналізу основних методів виявлення, розпізнавання та встановлення параметрів сигналів засобів негласного отримання інформації, які працюють на фоні спектрів випромінювання легальних засобів виявлено протиріччя між необхідністю швидкого, гарантованого та достовірного розпізнавання сигналів цифрових засобів негласного отримання інформації, що працюють на фоні легальних радіосигналів і можливостями існуючих методів, які використовуються у сучасних автоматизованих комплексах їх розпізнавання.

Існуючі методи виявлення та розпізнавання сигналів, в більшості, направлені на проблему виявлення та розпізнавання істотного сигналу, таким чином, від самого початку були накладені обмеження на методику повного розпізнавання сигналу, що іноді не дає можливості розпізнати замаскований сигнал ЗНОІ.

Проблема виявлення сигналів, з метою віднесення їх до сигналів цифрових ЗНОІ, практично не розглядається, а методи вдосконалення процесу розпізнавання випадкових сигналів не впроваджуються. Це підтверджує актуальність вирішення поставленого наукового завдання.

2. Набув подальшого розвитку метод розпізнавання сигналів від ЗНОІ, який на відміну від існуючих, на основі чисельно-аналітичної методології диференціальних перетворень та представлення сигналів узагальненими поліномами, дозволяє розпізнавати сигнали від засобів прихованого отримання інформації на фоні випромінювання легальних

пристроїв. Запропонований метод розпізнавання сигналів від засобів негласного отримання інформації дозволяє виявити вказані сигнали в суміші сумарного спектру при відхиленні їх параметрів від значень еталонної моделі на 12% і більше.

3. Удосконалено модель виявлення спектру випромінювання ЗНОІ, яка, на відміну від існуючих, дозволяє визначити частину спектру легального сигналу, у якому випромінює засіб негласного отримання інформації. Запропонована удосконалена модель виявлення спектру випромінювання від ЗНОІ дозволяє скоротити час сканування досліджуваного діапазону роботи легальних пристроїв при виявленні ЗНОІ більше ніж у 2 рази.

4. Удосконалено метод оцінки параметрів сигналу від ЗНОІ, який, на відміну від існуючих, на основі застосування двовимірної сплайн-функції та поліномів Бернштейна, дозволяє встановити значення фази та максимуму енергії випромінювання шкідливого сигналу в діапазоні роботи легальних пристроїв. Запропонований метод оцінки параметрів сигналів від ЗНОІ дозволяє на фоні згладжених характеристик сигналів легальних пристроїв виявляти миттєві фазові та енергетичні сплески та встановити їх параметри.

5. Мета дослідження щодо підвищення ефективності виявлення сигналів цифрових засобів прихованого отримання інформації на фоні спектра випромінювання легальних пристроїв досягнута та всі часткові завдання вирішено повністю. Наукові результати є корисним внеском у розвиток науково-методичних основ та новітніх методів щодо ідентифікації засобів негласного отримання інформації, а також для розробки та оновлення програмного забезпечення для автоматизованих пошукових комплексів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Laptiev, O.; Savchenko, V.; Pravdyvyi, A.; Ablazov, I.; Lisnevsky, R.; Koloss, O.; Hudyma, V. (2021) Method of Detecting Radio Signals using Means of Covert by Obtaining Information on the basis of Random Signals Model. International Journal of Communication Networks and Information Security, Journal article, 2021, Vol.13, Issue 1, p.p. 48-54. (Scopus) <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85104804329&partnerID=MN8TOARS>
2. Шуклін Г.В., Правдивий А.М., Котомчак О.Ю. (2019) Динамічна модель дігностики станів кіберзахисту систем інформатизації з використанням fuzzy-технологій / Г.В. Шуклін, А.М. Правдивий, О.Ю. Котомчак // Сучасний захист інформації // Науково-технічний журнал. – Київ. – 2019. – № 2(38). – С. 17-24.– (0,3 друк. арк.). <https://doi.org/10.31673/2412-9070.2020.042740>
3. Туровський О.Л., Правдивий А.М. (2024) Моделювання сигналів засобів негласного отримання інформації за допомогою сплайн-функцій. //Сучасний захист інформації // Науково-технічний журнал. – Київ. – 2024. – № 1(57). – С. 22-27 <https://doi.org/10.31673/2409-7292.2024.010003>
4. Правдивий А.М. (2024) Метод виявлення сигналів засобів негласного отримання інформації на основі їх диференціальних перетворень та апроксимації. //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах // Міжнародний науково-технічний журнал. – Хмельницький. – 2024. – № 2. – С. 185-194. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-21>.
5. Ndi Meksianis, Anggriani Nursanti, Supriatna Asep K. Application of differential transformation method for solving dengue transmission mathematical model AIP. Conference Proceedings. 2018. Vol. 1937, Issue 1, id.020012/
6. Кибербезпека 2017 – 2018: цифри, факти, прогнози. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://www.ptsecurity.com/> 2017
7. Журиленко Б.Е., Хорошко В.А. Системи та пристрої захисту інформації. - К.: НАУ, 2004. 63 с.

8. Киберщит України: хто стоїть на захисті кіберкордонів країни [Електронний ресурс]. 2015. Режим доступу: <http://zillya.ua/ua/kibershchitukrainy-kto-stoit-na-strazhe-kibergranits-strany>.
9. Доктрина інформаційної безпеки України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://www.president.gov.ua/documents/472017-21374>.
10. Swets J. A Signal detection theory and ROC analysis in psychology and diagnostics: Collected papers. Psychology Press, 2014. 12. SDR and CR Boost Wireless Communications [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.electronicdesign.com>
11. Державний стандарт України ДСТУ 3396.0-96 "Захист інформації. Технічний захист інформації. Основні положення".
12. Державний стандарт України ДСТУ 3396.1-96 "Захист інформації. Технічний захист інформації. Порядок проведення робіт".
13. Державний стандарт України ДСТУ 3396.2-97 "Захист інформації. Технічний захист інформації. Терміни та визначення"
14. Журиленко Б.Є., Левандівська Л.І., Ніколаєва Н.К. Захист циркулюючої в приміщенні акустичної інформації тональним сигналом. // Захист інформації. К: НАУ, 2007. С. 36 – 39.
15. Borglund A. Statistical Pattern Recognition. International Journal of Computer (IJC). 2014. Vol. 7. No 1.
16. Lorraine K. J. Kumar D., Bhaskar, C.V., Sipora K. Analysis of Near-Far Effect and Multipath Mitigation Techniques for Pseudolite Based Positioning Applications [Text] International Journal of Electronics & Communication Technology. 2014. Vol. 5, Issue 3. P. 37 – 41.
17. Климаш М.М., Бурачок Р.А., Андрухів Т.В. Методи визначення показника якості послуг в телекомунікаційних мережах. Львів, 2009. 285 с.
18. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайлович П.М. Технології мереж мобільного зв'язку. К.: «Освіта України», 2010. 624 с.
19. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 1.5-001-2000 «Радіовиявлювачі. Класифікація. Загальні технічні вимоги».

20. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 2.3-001-2001 «Радіовиявлювачі вимірювальні. Методи та засоби випробувань».

21. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 2.3-004-2001 «Радіовиявлювачі індикаторні. Методи та засоби випробувань».

22. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 2.3-005-2001 «Радіовиявлювачі панорамні. Методи та засоби випробувань».

23. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 2.3-006-2001 «Радіовиявлювачі аналізувальні. Методи та засоби випробувань».

24. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 1.4-002-08 «Радіолокатори нелінійні. Класифікація. Рекомендовані методи та засоби випробувань».

25. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 2.7-011-2012 «Захист інформації на об'єктах інформаційної діяльності. Методичні вказівки з розробки Методики виявлення закладних пристроїв».

26. Кривцун А.В. Захаров А.В. Використання нових можливостей комплексу радіомоніторингу та цифрового аналізу сигналів «Касандра-М» для виявлення сучасних спеціальних технічних засобів з передачею інформації по радіоканалу [Електронний ресурс] режим доступу: <http://www.inspectorsoft.com/article.php?id=388>

27. Лукова-Чуйко Н.В., Складанний П.М. Визначення оптимального варіанту побудови комплексних систем захисту інформації. Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень: Матеріали круглого столу: 10 – 11 листопада 2014. Київ, КНУ імені Т. Шевченка, 2014. С. 32 – 35.

28. Кушлик-Дивульська О.І., Поліщук Н.В., Орел Б.П., Штабальок П.І. Теорія ймовірностей та математична статистика. К: НТУУ «КПІ», 2014. 212 с.

29. Мазера Ю.А., Мачуський Е.А., Правда В.І. Радіотехніка. Енциклопедичний навчальний довідник. К.: Вища школа, 2001. 533 с.
30. Шиян Д.В. Методика оцінки фінансової безпеки банківської системи України. Ефективна економіка. № 12. 2013 [Електронне видання]. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2586>.
31. Слюсарчук Ю.М., Хром'як Й.Я., Джавала Л.Л., Цимбал В.М. Теорія ймовірностей, математична статистика та імовірнісні процеси: Міністерство освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. 364 с.
32. Quian Quiroga, R. Nadasdy Z., Ben-Shaul Y. Unsupervised spike detection and sorting with wavelets and superparamagnetic clustering. *Neural Computation*. 2004. Vol. 16. P. 1661 – 1687.
33. Lewis T. *Critical Infrastructure Protection in Homeland Security: Defending a Networked Nation.*, 2014. 400 p. (Wiley).
34. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. К.: Техніка, 2001. 650 с.
35. Cellmer S., Rapinski Z., Rzepeca J. Pseudolites and their Applications [Text]. *INGEO 2011 – 5th International Conference on Engineering Surveying*. Brijuni. Croatia. 2011. P. 269 – 278.
36. Matteo A., Pirrotta A. Generalized differential transform method for nonlinear boundary value problem of fractional order. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2015. Vol. 29 (1–3), Issues 1–3, P. 88–101.
37. Garg V., Srivastava A., Mishra A. Obscuring Mobile Agents by Source Code Obfuscation. *International Journal of Computer Applications*. 2013. 61 (9). P. 46 – 50.
38. Davidović T. & Teodorović, Dušan & Selmic, Milica. Bee Colony Optimization – part I: The algorithm overview. *Yugoslav Journal of Operations Research*. 2015. 25. P. 33 – 56.

39. Хорошко В.О., Павлов І.М. Функторність та граничність відображень об'єктів множин в системах захисту інформації. Інформаційна безпека. 2013. № 1. С.107 – 116.
40. Радзієвський В.Г., Сирота А.А. Теоретичні основи радіоелектронної боротьби. Видавництво Радіотехніка. 2004. 432 с.
41. Використання віконних функцій в задачах цифрового спектрального аналізу. Приклади та рекомендації [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://intellect.icu/ispolzovanie-okonnykh-funktsij-v-zadachakh-tsifrovogospektralnogo-analiza-primery-i-rekomendatsii-4872>.
42. Cellmer S., Rapinski Z., Rzepca J. Pseudolites and their Applications [Text]. INGEO 2011 – 5th International Conference on Engineering Surveying. Brijuni. Croatia. 2011. P. 269 – 278.
43. Лаптев О.А., Клюковський Д.В., Удосконалена модель пеленгаційної системи ймовірностей визначення радіозакладок з заданою точністю. Збірник наукових матеріалів XXXIII Міжнародної науковопрактичної інтернет-конференції. «Вересневі наукові читання» м. Вінниця, 16 вересня 2019 р. Частина 2. С. 54 – 59.
44. Безкоровайний М.М., Татузов А.Л. Кібербезпека – підходи до визначення поняття. //Питання кібербезпеки. 2014. №1 (2). С. 22– 27.
45. Основи інформаційної безпеки: навч. посібник / В. Б. Вишня, О. С. Гавриш, Е. В. Рижков. Дніпро: 2020, Дніпропетровський державний університет внутрішніх справ, 128 с.
46. Богданович В.Ю., Алексєєв М.М. Методологічний підхід до обґрунтування режимів функціонування системи забезпечення кібернетичної безпеки України. Сучасний захист інформації. 2013. № 4. С. 68 – 77.
47. Браїловський М.М., Лазарєв Г.П., Хорошко В.О. Захист інформації у банківській діяльності. К: ТОВ “Поліграф Консалтинг”, 2004. 216 с.
48. Бурячок В. Л. Технології забезпечення безпеки мережевої інфраструктури. [Підручник] / В. Л. Бурячок, А. О. Аносов, В. В. Семко, В. Ю. Соколов, П. М. Складанний. – К.: КУБГ, 2019. – 218 с.

49. Васюта К.С. Тесленко О.В. Купрій В.М. Малишев О.А. Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору. Харків: ХУПС, 2013. 212 с.

50. Бурячок В.Л. Основи формування державної системи кібернетичної безпеки: Монографія. К: НАУ, 2013. 432 с.

51. Лаптів О.А., Федоренко Р.М., Берестов Д.С. Удосконалення методики пошуку цифрових радіозакладок в діапазоні Wi-Fi. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУО України імені Івана Черняхівського. К: ЦВСД, 2019. № 2 (66). С. 102 – 110.

52. Ленков С.В., Орехова І.І., Хорошко В.О. Концептуальний і методологічні підходи до підготовки спеціалістів з інформаційної безпеки в Україні Зб. Наук. Праць Військового інституту КНУ імені Тараса Шевченка. Вип. № 33. 2011. С. 6 – 14.

53. Максименко Г.А., Хорошко В.А. Методи виявлення, обробки, ідентифікації сигналів радіозакладних пристроїв. К: ПоліграфКонсалтинг, 2004. 317 с.

54. Машков О.А., Кравченко Ю.В., Савченко В.А., Власенко Г.М. Метод багатокритеріального вибору оптимального варіанта системи радіонавігаційного забезпечення. Збірник наукових праць «Моделювання та інформаційні технології». Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. К.: ІПМЕ, 2003. Вип. 22. С. 37 – 41.

55. Jont B. Allen. Short Time Spectral Analysis, Synthesis, and Modification by Discrete Fourier Transform. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. ASSP-25 (3): 235—238.

56. Науменко М.І. Високошвидкісна завадостійка передача інформації в каналах телекомунікаційних систем: монографія. К.: Альтерпрес, 2003.

57. Tverdohleb J. V. Processing of ECG signals based on wavelet transformation / J. V. Tverdohleb, V. I. Dubrovin // International journal of advanced science and technology. – 2011. – Vol. 30. – P. 73–81. (Ulrich's Periodicals Directory, EBSCO, ProQuest, DOAJ, OpenJ-Gate, Cabell Publishing)

58. F. Yang, W. Liao. Modeling and Decomposition of HRV Signals with Wavelet Transforms // IEEE Engineering in Medicine and Biology. –1997. -Vol. 16, No. 4. -P. 17-22.

59. Li Z. A Dynamic Multiple Watermarking Algorithm Based on DWT and HVS / Z. Li, Y. Xilan, L. Hongsong, C. Minrong // Int. J. Communications, Network and System Sciences. – 2012. – Vol. 5, No.8. – P. 490–495.

60. An introduction to wavelet transforms: a tutorial approach [Електронний ресурс]–

Режимдоступу:<https://pdfs.semanticscholar.org/8960/a36e956b996d7f1639ff577d4b21f389ded9.pdf>

61. Лаптев О.А. Порівняний аналіз методів розпізнавання сигналів радіозакладних пристроїв на основі частотних перетворень. Телекомунікаційні та інформаційні технології: науковий журнал. К.: ДУТ, 2019. №3. С. 71 – 83.

62. Звіт Cisco по інформаційній безпеці за 2018 рік. База даних [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.cisco.com/dam/global/co_2018_acr_us.pdf.

63. Ronald Bracewell. The Fourier Transform And Its Applications , McGraw-Hill, 2000, 444p.

64. Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Кільчицький Є.В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. К.: Техніка, 2004. 576 с.

65. Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Козелков С.В. Формування багатопозиційного сигналу технологій 5G на базі фазорізницевої модуляції високого порядку. Науково-практичний журнал «Зв'язок». 2016. № 4 (122), С. 3 – 7.

66. Ступак В.С., Долматов С.О. Основи радіочастотного контролю. К.: Український державний центр радіочастот, 2004. 231 с.

67. Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Козелков С.В. Ефективна транспортна мережа п'ятого покоління мобільного зв'язку (ІМТ-2020). Науково-практичний журнал «Зв'язок». 2016. № 6 (123). С. 7 – 12

68. Сеньо П.С. Теорія ймовірностей та математична статистика. 2-ге вид. К.: Знання. 2007. 556 с
69. Савченко В.А., Воробйов О.М., Миколайчук Р.А., Миколайчук А.І, Курсеіетов Т.Л. Модель точності локальної радіонавігаційної системи з урахуванням нестабільності функціонування окремих елементів. СхідноЄвропейський журнал передових технологій. Том 3, № 9 (81). 2016. С.4 – 10.
70. Толюпа С.В., Дружинін В. А., Наконечний В.С., Цьопа Н.В., Батрак Є.О. Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації у багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією - К.: Логос, 2014. – 230 с.
71. Шевченко В.Л., Щебланін А.В. Епідеміологічний підхід щодо прогнозування та управління інформаційними інцидентами. Системи обробки інформації. 2017. Вип. 5 (151). С. 145 – 150.
72. V. Savchenko, V. Zaika, M. Trembovetskyi, G. Shuklin, L. Berkman, K. Storchak, I. Rolin Composite Radioisotope Coating Parameters and Reflecting Characteristics Calculation Selection Method. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. Volume 8, No.5, September - October 2019. – pp. 2246-2251.
73. Pukhov G.E. Differential transformations and mathematical modeling of physical processes. - К: Naukova dumka, 1986. - 157 p.
74. Pukhov G.E. Differential spectra and models. К.: Naukova dumka, 1990. 184 p.
75. Olexandr Laptiev, German Shuklin, Spartak Hohonians, Amina Zidan, Ivanna Salanda. Dynamic model of Ceber Defence Diagnostics of information Systems with the Use of Fozzy Technologies IEEE ATIT 2019 Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, December 18-20, pp.116- 120.
76. Samoilenko A.M., Samoilenko V.G., Sobchuk V.V. On periodic solutions of the equation of a nonlinear oscillator with pulse influence. Ukrainian Mathematical Journal, 1999 (51), 6 Springer New York – P. 926-933

77. Mashkov O.A., Sobchuk V.V., Barabash O.V., Dakhno N.B., Shevchenko H.V., Maisak T.V. Improvement of variational-gradient method in dynamical systems of automated control for integro-differential models. *Mathematical Modeling and Computing*, 2019, Vol. 6, No. 2, pp. 344 – 357.

78. Barabash Oleg, Laptiev Oleksand, Tkachev Volodymyr, Maystrov Oleksii, Krasikov Oleksandr, Polovinkin Igor. The Indirect method of obtaining Estimates of the Parameters of Radio Signals of covert means of obtaining Information. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*), Volume 8. No. 8, August 2020. Indexed- ISSN: 2278– 3075. P4133 – 4139

79. Praveen Kumar Kollu, R. Satya Prasad. Intrusion Detection System Using Recurrent Neural Networks and Attention Mechanism. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*), Volume 7. No. 8, August 2019. pp 178 – 182

80. Milov O., Yevseiev S. Milevskyi S. Ivanchenko Y., Nesterov O., Puchkov O., Yarovyi A., Salii A., , Tiurin V., Timochko O. Development the model of the antagonistic agent's behavior under a cyberconflict. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. Kharkiv. 2019. 4/9 (100). pp. 6–19.

81. Lubov Berkman, Oleg Barabash, Olga Tkachenko, Andri Musienko, Oleksand Laptiev, Ivanna Salanda. The Intelligent Control System for infocommunication networks. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)* Volume 8. No. 5, May 2020. pp. 1920 – 1925.

82. Musienko A.P., Serdyuk A.S. Lebesgue-type inequalities for the de la Vallée poussin sums on sets of entire functions. *Ukrainian Mathematical Journal* October 2013, Volume 65, Issue 5, pp. 709 – 722.

83. Laptiev Oleksandr, Shuklin German, Savchenko Vitalii, Barabash Oleg, Musienko Andrii and Haidur Halyna. The Method of Hidden Transmitters Detection based on the Differential Transformation Model. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering (IJATCSE)*. Vol. 8, No 6, November – December 2019, pp. 2840 – 2846.

84. Ihor Ruban, Nataliia Bolohova, Vitalii Martovytskyi, Nataliia Lukova-Chuiko, Valentyn Lebediev. Method of sustainable detection of augmented reality markers by changing deconvolution. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering (IJATCSE)*. Volume 9, No.2, March-April 2020, pp.1113 - 1120.

85. Забара С. Характеристики моделювання систем у середовищі MATLAB. - К.: Вид. Университет "Україна", 2011. 137 с.

86. Ігліч С.П. Теорія імовірностей та математична статистика на базі MATLAB.- Харків: НТУ "ХПІ", 2006. 612 с.

87. S. Khan, K. K.. Loo. Real time cross layer flood detection mechanism," *Elsevier Journal of Network Security*, Vol. 16, No. 5, pp. 2-12, 2009.

88. Praveen Kumar Kollu, R. Satya Prasad. Intrusion Detection System Using Recurrent Neural Networks and Attention Mechanism. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*), Volume 7. No. 8, August 2019. pp 178 – 182

89. Bieliaevi V.F., Chyhrin R.M., Myronovych V.M., Mathematical model of a random signal of an analog conducting signaling channel of security systems of military objects on the basis of a multidimensional system of algebraic linear equations. *Collection of scientific works of Kharkiv University of the Air Force*, 2009, issue 1 (19). P.95 – 99.

90. Yavorskiy I.M., Isaiev I.Y., Kravets I.B., Comparison of parametric models of periodically nonstationary random processes. Selection and processing of information: *Collection of scientific works 2019. Issue 31 (107)*. pp.12-17. 2019

91. Mashkov O.A., Sobchuk V.V., Barabash O.V., Dakhno N.B., Shevchenko H.V., Maisak T.V. Improvement of the variational gradient method in dynamical systems of automated control for integrodifferential models. *Mathematical Modeling and Computing*. Vol. 6, No 2, pp. 344 – 357. 2019

92. Strilkova T.O., Lytiuha O.P., Kalmykov O.S., Khoroshun H.M., Riazantsev A.O., Riazantsev O.I. Influence of signal description model on

calculations of efficiency indicators of optoelectronic systems. Eastern European Journal of Advanced Technologies. Vol. 4. N 5 (106). P.1-20. 2020.

93. Vitalii Savchenko, Oleh Ilin, Nikolay Hnidenko, Olga Tkachenko, Oleksander Laptiev, Svitlana Lehominova, Detection of Slow DDoS Attacks based on User's Behavior Forecasting. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER) Volume 8. No. 5, May 2020. Scopus Indexed - ISSN 2347 – 3983. pp.2019 – 2025. 2020.

94. A. Musienko, O. Barabash, V. Sobchuk, N. LukovaChuiko. Application of Petri Networks for Support of Functional Stability of Information Systems. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). 08-12 October 2018. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine. pp. 36–39. 2018.

95. Marchenko N.B. Band process modeling. Electronics and control systems.2012.№3(33). P.97-101. 2012.

96. Laptiev O., Shuklin G., Savchenko V., Barabash O., Musienko A., Haidur H. The Method of Hidden Transmitters Detection based on the Differential Transformation Model. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2019. Vol. 8, №6, November- December. pp. 538 – 542. 2019.

97. Hryshchuk R., Korobiichuk, V. Horoshko V., Y. Khokhlacheva Y. Microprocessor Means for Technical Diagnostics of Complex Systems. Computer Modeling and Intelligent Systems – 2019. – Vol. 2353. p. 1020–1029. 2019.

98. Milov O., Yevseiev S. Milevskyi S. Ivanchenko Y., Nesterov O., Puchkov O., Yarovy A., Sali A., Tiurin V., Timochko O., “Development the model of the antagonistic agent's behavior under a cyber-conflict” Eastern European Journal of Advanced Technologies. Kharkiv. 4/9 (100). Pp. 6–19. 2019

99. Olexandr Laptiev, German Shuklin, Spartak Hohonanc, Amina Zidan, Ivanna Salanda Dynamic model of Cyber Defence Diagnostics of information Systems with the Use of Fuzzy Technologies IEEE ATIT 2019 Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, December 18-20, P.116-120.2019.

100. S. Korotin, Y. Kravchenko, O. Starkova, K. Herasymenko, R. Mykolaichuk, “Analytical determination of the parameters of the self-tuning circuit of the traffic control system on the limit of vibrational stability”, International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S&T`2019 – Proceedings, pp. 471–476. 2019.

101. Lubov Berkman, Oleg Barabash, Olga Tkachenko, Andri Musienko, Oleksandr Laptiev, Ivanna Salanda6 The Intelligent Control System for info communication networks. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER) Volume 8. No. 5, May 2020. Scopus Indexed - ISSN 2347 – 3983. P1920 – 1925. 2025

102. Rakushev, M., Permiakov, O., Tarasenko, S., Kovbasiuk, S., Kravchenko, Y. and Lavrinchuk, O. Numerical Method of Integration on the Basis of Multidimensional Differential-Taylor Transformations. In Proceedings of the IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S&T`2019 – Proceedings, pp. 675 – 678. 2019.

103. Y. Kravchenko, O. Leshchenko, N. Dakhno, O. Trush, O. Makhovych “Evaluating the effectiveness of cloud services”, IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT`2019 – Proceedings, pp.120–124. 2019.

104. Olexandr Laptiev, German Shuklin, Spartak Hohonianc, Amina Zidan, Ivanna Salanda Dynamic model of Ceber Defence Diagnostics of information Systems with the Use of Fozzy Technologies IEEE ATIT 2019 Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, December 18-20, P.116-120.Oleksandr Laptiev, Oleh Stefurak, Igor Polovinkin, Oleg Barabash, Savchenko Vitalii, Olena Zelikovska. The method of improving the signal detection quality by accounting for interference. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, November 25-27, pp.172 –176. 2020.

105. M. Z. Ahmad, D. Alsarayreh, A. Alsarayreh, I. Qaralleh Differential Transformation Method (DTM) for Solving SIS and SI Epidemic Models. *Sains Malaysiana*. 2017. Vol. 46(10). pp. 2007 – 2017. 2017.

106. Musienko A.P., Serdyuk A.S. Lebesgue-type inequalities for the de la Vallée poussin sums on sets of entire functions. *Ukrainian Mathematical Journal* October 2013, Volume 65, Issue 5, pp. 709 – 722., No.2, March-April 2020, pp.1113 - 1120.

107. Oleksandr Laptiev, Savchenko Vitalii, Serhii Yevseiev, Halyna Haidur, Sergii Gakhov, Spartak Hohoniants. The new method for detecting signals of means of covert obtaining information. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, November 25-27, pp.176 –181. 2020.

108. Maha Abdelhaq, Raed Alsaqour, Noura Albrahim, Manar Alshehri, Maram Alshehri1, Shehana Alserayee, Eatmad Almutairi, Farah Alnajjar. The Impact of Selfishness Attack on Mobile Ad Hoc Network. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*. Vol. 12, No. 1, April 2020, pp.42 – 46, 2020.

109. Valentyn Sobchuk, Volodymyr Pichkur, Oleg Barabash, Oleksandr Laptiev, Kovalchuk Igor, Amina Zidan. Algorithm of control of functionally stable manufacturing processes of enterprises. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, November 25-27, pp.206 –211. 2020.

110. Musienko A.P., Serdyuk A.S. Lebesgue-type inequalities for the de la Vallée-Poussin sums on sets of analytic functions. *Ukrainian Mathematical Journal* September 2013, Volume 65, Issue 4, pp. 575 – 592. 2013.

111. Vitalii Savchenko, Oleksandr Laptiev, Oleksandr Kolos, Rostyslav Lisnevskyi, Viktoriia Ivannikova, Ivan Ablazov. Hidden Transmitter Localization Accuracy Model Based on Multi-Position Range Measurement. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT

2020) Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, November 25-27, pp.246 – 251. 2020.

112. Y. Kravchenko, O. Leshchenko, N. Dakhno, O. Trush, O. Makhovych “Evaluating the effectiveness of cloud services”, IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT`2019 – Proceedings, pp.120–124. 2019.

113. Abdullah Shakir, Raed Alsaqour, Maha Abdelhaq, Amal Alhussan, Mohd Othman, Ahmed Mahdi. Novel Method of Improving Quality of Service for Voice over Internet Protocol Traffic in Mobile Ad Hoc Networks. International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS). Vol. 11, No. 3, December 2019, pp.331–341, 2019.

114. Карташов М. В. Імовірність, процеси, статистика. — К.: ВПЦ Київський університет, 2007. — 504с.

115. ДСТУ 3396.2–97. Захист інформації. Технічний захист інформації. Терміни і визначення. Київ: Держстандарт України, 1998. 19 с

116. Клименко, К. О, Костенко, О. В., Ільченко, О. М. Загальна класифікація засобів негласного отримання інформації та методик їх виявлення. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Радіотехніка та телекомунікації. Том 31 (70), Ч. 1, № 6, 2020р. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/02>

117. Лаптев, О. А. Методологічні основи автоматизованого пошуку цифрових засобів негласного отримання інформації. Монографія. Київ. ДУТ, 2020, 332с.

118. Горкавий В. К. Статистика: Підручник. Третє вид., переробл. і доповн. Київ: Алерта, 2020. 644 с..

119. Kolmogorov, A. M. On the representation of continuous functions of several variables in the form of superpositions of continuous functions of one variable. Report. Academy of Sciences. 1957. Vol. 114. No. 5. P. 953-956.

120. Хорошко, В. О., Павлов, І. М. Функторність та граничність відображень об'єктів множин в системах захисту інформації. Інформаційна безпека. 2013. № 1. С.107 – 116.
121. Хорошко, В. О., Хохлачова, Ю. Є. Алгоритм розпізнавання об'єктів у складних умовах. Сучасна спеціальна техніка. 2017. № 1. С. 10 – 16.
122. Теорія розривних сплайнів та її застосування в комп'ютерній томографії: монографія / І. В. Сергієнко, В. К. Задірака, О. М. Литвин, Ю. І. Першина // – К.: Наук. думка, 2017. – 314 с.
123. Литвин, О. М. Побудова кусково-білінійних сплайнів для наближення функцій з розривами першого роду у вузлах ректангуляції двовимірної області / О.М. Литвин, Ю.І. Першина // Таврічний вісник інформатики та математики. – 2011. – №1. – С. 63 – 72.
124. Литвин, О. М. Наближення розривних функцій розривними сплайнами на криволінійній трапеції / О. М. Литвин, Ю. І. Першина // Доповіді НАНУ. 2013. – №2. – С. 30 – 35.
125. Нікулін, О. В. Основи векторного і тензорного числення: теоретичні відомості та тести / О. В. Нікулін, Т. В. Наконечна. – Дніпропетровськ: Біла К.О., 2012. – 73 с.
126. Lebedev, L., Cloud, M., Eremeyev V. Tensor analysis with applications in mechanics, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010. –198с.
127. Валь, О. Д. Основи векторного та тензорного аналізу: навч. посібник / О.Д. Валь, С.Л. Королюк, С.В. Мельничук. – Чернівці: Книги - XXI, 2006.– 351 с.
128. Едвардс, Ч. Г., Пенні, Д. Е. Диференціальні рівняння і крайові задачі: моделювання та обчислення за допомогою Mathematica, Maple і MATLAB. 3-е видання. К.: Діалектика-Вільямс, 2007. 434 с.
129. Забара, С. Характеристики моделювання систем у середовищі MATLAB. К.: Вид. Університет "Україна", 2011. 137 с.

130. Bernstein S.N. (1937) Extremal properties of polynomials and the best approximation of continuous functions of one variable. Part I./ S.N. Bernshtein - M.: Main edition of general technical literature , p.203
131. Bernstein S.N. (1952) Proof of the Weierstrass theorem based on the theory of probabilities / S.N.Bernshtein // Collection of works. - Numerical methods for least squares problems. Volume 1.
132. Малозьомов В. Н. Про многочлени Бернштейна // Семинар «CNSA & NDO». Обрані доповіді. 17 вересня 2019р. – 8с.
133. Положення про технічний захист інформації в Україні, затверджене Указом Президента України від 27 вересня 1999 року № 1229. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1229/99>.
134. Закон України “Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах”. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80/94>
135. Pavlo Sydorkin, Sergey Nesterenko, Sergey Salnyk, Mykola Konotopets, Oleg Kulynich, & Oleksandr Smolkov. (2021). Methods and techniques of protecting information from leakage by technical channels via side electromagnetic radiation. Political Science and Security Studies Journal, 2(3), 15-25. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5534847>
136. Yelchenkov, V., Smyrnov, O. (2020). Сучасні підходи до класифікації загроз безпеці інформації, яка циркулює на об’єктах інформаційної діяльності національної гвардії України. //Честь і Закон, - К: 2(73), с. 27-32.
137. Шокало В. М., Усін В. А., Грецьких Д. В., Хорошко В. О., Крючкова Л. П.. Поля і хвилі в системах технічного захисту інформації. Харків: ХНУРЕ.- 2012
138. Seber G.A.F Wild C.J. (1989) Nonlinear Regression. New York: John Wiley and Sons.
139. Nocedal J., Wright S.J. (1999) Numerical Optimization, Springer, 1999
140. Björck, A. (1996). Numerical methods for least squares problems. Society for Industrial and Applied Mathematics.

141. Levenberg, K. (1944) A Method for the Solution of Certain Problems in Last Squares. *Quart. Appl. Math.* Vol. 2. P. 164—168
142. Fisher, R. A. (1922). On the mathematical foundations of theoretical statistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 222(594-604), 309-368
143. Umberto Spagnolini (2018). *Statistical Signal Processing in Engineering*, – John Wiley & Sons Ltd., p.608.
<https://doi.org/10.1002/9781119294016.fmatter>
144. Burnham, K. P.; Anderson, D. R. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach* (2nd). Springer-Verlag, 2002 – 488p.
145. Kunchenko Yu.P (1992). Estimation of parameters of random variables by the polynomial maximization method / Yu.P. Kunchenko, Yu.G. Lazy person. - K.: Naukova dumka, - 180 p.