

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

УДК 004

ПРАВДИВИЙ Андрій

Державний університет інформаційно-телекомунікаційних технологій

<https://orcid.org/0000-0001-6164-1950>

e-mail: pravdivy@gmail.com

## МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ЇХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ТА АПРОКСИМАЦІЇ

В статті вирішується питання виявлення сигналів засобів негласного отримання інформації, які використовують радіоканали для передачі перехопленої інформації.

Новизна методу полягає в комбінації двох методів: методу диференціальних перетворень і методу апроксимації спектральної функції в основі передавальних функцій резонансних вузлів другого порядку. Сигнали засобів прихованого отримання інформації можуть бути апроксимовані за допомогою диференціальних перетворень Тейлора, при цьому отримані диференціальні зображення є також диференціальними Т-спектрами.

Для виявлення сигналів від засобів негласного отримання інформації пропонується використовувати на першому кроці для отримання спектру сигналів метод диференціальних перетворень Тейлора, а на другому кроці, з метою отримання складових сигналу, пропонується використати метод апроксимації спектральної функції на основі передавальної функції резонансних вузлів другого порядку.

За допомогою пакету прикладних програм числового аналізу MATLAB проведено моделювання, у якому функцію сигналу від засобів негласного отримання інформації апроксимовано у експоненціальному виді. Аналіз отриманих графічних результатів підтверджує достовірність запропонованого методу.

Ключові слова: диференціальні перетворення, апроксимація, метод, резонансні вузли, Т-спектр.

PRAVDYVYI Andrii

State University of Information and Telecommunication Technologies

## METHOD OF DETECTING SIGNALS OF SILENT INFORMATION RECEIVING MEANS BASED ON THEIR DIFFERENTIAL TRANSFORMATIONS AND APPROXIMATION

Life in modern society in recent years is impossible to imagine without the information and technical means that are used. People cannot imagine their existence without "smart" devices. The growing value of information leads to the growing importance of its preservation and protection. As the importance and value of information grows, so does the importance of its protection. In our time, information is sold and bought, and therefore any loss of information or its leakage is a material loss.

Leakage of information from a technical channel means the uncontrolled spread of information from a protected information carrier through the physical environment to a technical device that intercepts the information.

According to existing research, about three-quarters of companies and government agencies have experienced industrial espionage. At the same time, criminals secretly obtain up to 90 percent of information using technical means.

Means of reception and transmission of intercepted information have taken a significant step in their development over the past few years. Many automated detection systems for these tools are simply unable to detect them with acceptable probability. Devices for transmitting information using the latest devices and algorithms are actively developing. Devices with the accumulation of intercepted information, its further compression and extremely short transmission time began to be used especially actively. The most dangerous direction in the development of such tools is the direction where they use legal channels of communication.

Thus, there is an important problem: to distinguish between a legitimate device that works as intended, and a device that is used to covertly obtain information. Therefore, the development of methods and techniques for detecting the means of secretly obtaining information is relevant.

The article deals with the issue of detecting the signals of means of secretly obtaining information, which use radio channels to transmit intercepted information.

The novelty of the method consists in the combination of two methods: the method of differential transformations and the method of approximation of the spectral function based on the transfer functions of second-order resonant nodes. Signals of means of covert information acquisition can be approximated by means of differential Taylor transformations, while the obtained differential images are also differential T-spectra.

To detect signals from the means of tacitly obtaining information, it is proposed to use the Taylor differential transformation method in the first step to obtain the signal spectrum, and in the second step, in order to obtain signal components, it is proposed to use the spectral function approximation method based on the transfer functions of second-order resonant nodes.

With the help of the MATLAB numerical analysis application program, a simulation was carried out, in which the function of the signal from the means of tacitly obtaining information is approximated in an exponential form. The analysis of the obtained graphical results confirms the reliability of the proposed method.

Key words: differential transformations, approximation, method, resonance nodes, T-spectrum.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Життя у сучасному суспільстві в останні роки неможливо уявити без інформації та технічних засобів, які використовуються. Люди не уявляють свого буття без «розумних» приладів. Зростаюча цінність інформації призводить до зростання важливості її збереження та захисту. Із зростанням значущості та цінності інформації зростає й важливість її захисту. У нас час інформація продається і купується, а тому будь яка втрата інформації або її витік – це матеріальні втрати.

Під витоком інформації з технічного каналу розуміється неконтрольоване поширення інформації з захищеного носія інформації через фізичне середовище до технічного засобу, який перехоплює інформацію. Згідно з існуючими дослідженнями близько трьох чвертей компаній та державних установ стикалися з промисловим шпигунством. При цьому до 90 відсотків інформації зловмисники негласно отримують за допомогою технічних засобів.

Засоби прийому та передачі перехопленої інформації за останні кілька років зробили значний крок у своєму розвитку. Багато автоматизованих систем виявлення цих інструментів просто не в змозі їх виявити з прийнятною ймовірністю. Активно розвиваються пристрої для передачі інформації з використанням новітніх пристроїв та алгоритмів. Особливо активно почали використовувати пристрої з накопиченням перехопленої інформації, її подальшим стисненням і надзвичайно коротким часом передачі. Найнебезпечнішим напрямком розвитку таких засобів є напрям, де вони використовують легальні канали зв'язку.

Таким чином є важлива проблема: відрізнити легальний пристрій, що працює за призначенням, від пристрою, який використовується для прихованого отримання інформації. Тому розробка методів і прийомів виявлення засобів негласного отримання інформації є актуальною.

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Більшість відомих підходів і методів виявлення засобів прихованого отримання інформації відрізняються тим, які параметри вони використовують як вхідну інформацію при моделюванні та які характеристики змодельованої системи обчислюються та виводяться. Моделі будуються із використанням теорії ймовірностей, випадкових процесів, теорії графів, нечітких множин, тощо [1].

Спроба розробки математичного апарату диференціальних перетворень і його застосування до класу випадкових або стохастичних функцій і процесів була зроблена в [1-3].

Математичний апарат диференціальних перетворень застосовувався до векторної випадкової функції, яка має бути  $n$ -разів диференційованою. Така вимога істотно обмежувала можливості диференціальних перетворень в межах локальної області перетину випадкового процесу для кожного фіксованого моменту часу. Застосування диференціальних перетворень дає змогу проводити тільки наближений метод моделювання випадкових процесів.

У [4] математичне моделювання розглядається як математична модель конкретних параметрів хоча деякі параметри є ймовірнісними. Не розглядаються питання взаємозв'язку вхідних параметрів при моделюванні процесів, глибини їх взаємозв'язку моделі. Описані факти взаємозв'язку та взаємодії можуть значно спотворити результати моделювання та поставити під сумнів адекватність моделі та отриманих результатів.

У [5-7,14] наведено методи виявлення сигналів засобів прихованого отримання інформації та їх узагальнення, занесення в базу з послідовним спектральним та іншими методами аналізу. Однак питання аналізу сигналів для розділення реальних і складних радіосигналів не розглядається. У результаті використовуються значні математичні та технічні обчислення, що призводить до збільшення часу пошуку небезпечних сигналів.

Запропонований у [6] підхід не дозволяє реалізувати точно моделювання випадкових процесів. Але така можливість існує, оскільки диференціальні перетворення є точними операційними методами.

У [8-10,16] аналізується складність сучасного радіомоніторингу в інтересах забезпечення виявлення радіосигналів негласних засобів отримання інформації. Проблема в тому, що сучасні вбудовані пристрої з передачею інформації по радіоканалу все частіше використовують ті ж стандарти передачі інформації, що і пристрої, які легально знаходяться в приміщеннях. Тому старі методи радіомоніторингу не здатні ідентифікувати вбудовані пристрої, що працюють під виглядом легально діючих пристроїв. Необхідно розробити нові пристрої та методи для пошуку засобів прихованого отримання інформації, які працюють у дозволених діапазонах частот.

Проведений аналіз попередніх джерел дозволяє зробити висновок, що на сучасному етапі розвитку техніки процес пошуку небезпечних сигналів якісно переходить на інший рівень. Проблема полягає в тому, що легальний пристрій, що працює за призначенням, важко відрізнити від пристрою, який використовується для негласного отримання інформації, що робить розробку методів виявлення засобів отримання секретної інформації дуже актуальною.

У [11-13,15] на основі досліджень, проведених у MATLAB, була розроблена модель оптимізації для вимірювання потужності в схемах. Запропоновані алгоритми можуть бути використані для розробки характеристик різноманітних інформаційних сигналів, у тому числі сигналів від негласних засобів отримання інформації.

Аналіз існуючої літератури дає можливість зробити висновок, про те що майже не розглядаються питання виявлення сигналів, які мають свої особливості в процесі виявлення негласних засобів отримання інформації. Тому на сьогоднішній день доцільно досліджувати виявлення сигналів негласних засобів отримання інформації, особливо непрямих методів.

Таким чином метою статті є розгляд радіосигналів від засобів прихованого отримання інформації як випадкових сигналів різної потужності на основі комбінації двох методів: методу диференціальних перетворень і методу апроксимації спектральної функції в основі передавальних функцій резонансних вузлів другого порядку. Сигнали засобів прихованого отримання інформації можуть бути апроксимовані за допомогою диференціальних перетворень Тейлора, при цьому отримані диференціальні зображення є також диференціальними Т-спектрами. Провести комп'ютерне моделювання в середовищі MATLAB за запропонованою та існуючою методів з метою оцінки ефективності запропонованого методу.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

#### Моделювання випадкового сигналу від як сигналу від засобів прихованого отримання інформації

Для виявлення сигналів від засобів прихованого отримання інформації пропонується використовувати:

- першому кроці для отримання спектру сигналів метод диференціальних перетворень Тейлора
- на другому кроці, з метою отримання складових сигналу, пропонується використати метод апроксимації спектральної функції на основі передавальної функції резонансних вузлів другого порядку.

Для визначення спектральної функції випадкових сигналів, якими можуть бути сигнали прихованих засобів отримання інформації, на першому етапі використаємо метод диференціальних перетворень [18].

Основна перевага цього методу полягає в тому, що його можна використовувати безпосередньо для розв'язування нелінійних рівнянь без попередньої лінеаризації. Це дозволяє отримувати результати в аналітичній формі та зменшує обсяг обчислювальної роботи. У загальному вигляді диференціальні перетворення мають вигляд:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H}\right)^k \cdot X(k) \quad (1)$$

якому відповідає:

$$X(k) = \frac{H^k}{k!} \left[ \frac{d^k(x(t))}{dt^k} \right]_{t=0} \quad (1.1)$$

де:  $x(t)$  – вихідний випадковий сигнал, який є неперервною, диференційованою нескінченну кількість разів і обмеженою разом з усіма своїми похідними функцією дійсного аргументу  $t$ ;

$X(k)$  - диференціальний образ оригіналу (диференціального спектрального зрізу), що представляє собою дискретну функцію цілого аргументу  $k = 0, 1, 2, \dots$ ;

$H$  - постійна масштабу, яка має розмірність аргументу  $t$ , зазвичай вибирається із урахуванням вимоги  $0 \leq t \leq H$ , на якому розглядається функція  $x(t)$ ;

У перетвореннях (1) та (1.1) маємо пряме перетворення, яке дозволяє по вихідному  $x(t)$  знайти образ (відображення)  $X(k)$ , та зворотне перетворення, яке дозволяє знайти по образу  $X(k)$  отримати прообраз (сигнал)  $x(t)$  у вигляді степеневого ряду, який є рядом Тейлора з центром у точці  $t=0$ .

Величина  $H$  повинна бути меншою за радіус збіжності ряду із (1.1), який можна визначити на основі ознаки збіжності Д'Аламбера:

$$D = \lim_{k \rightarrow \infty} \left| \frac{X(k)}{H^k} : \frac{X(k+1)}{H^{k+1}} \right| = H \lim_{k \rightarrow \infty} \left| \frac{X(k)}{X(k+1)} \right| \quad (2)$$

Перетворення (2) називають диференціальними перетвореннями Тейлора, або скорочено Т-перетвореннями.

Диференціальні зображення  $X(k)$  називають диференціальними Т-спектрами, а значення Т-функцій  $X(k)$  при конкретних значеннях аргументу  $k$  — дискретними [9-11].

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 [19-22].

Для подальшого представлення методу, ми визначаємо диференціальний спектр експоненціальної та гармонічної функцій [23].

Для функції експоненціального типу  $x(t) = e^{\omega t} = \exp(\omega t)$ , де  $\omega$  — частота сигналу, використовуючи вираз (1) отримуємо у виді:

$$\frac{H^k}{k!} \left[ \frac{d^k(e^{\omega t})}{dt^k} \right]_{t=0} = \frac{(\omega H)^k}{k!} \quad (3)$$

Для таких гармонічних функцій, як  $x(t) = \sin(\omega t)$  і  $x(t) = \cos(\omega t)$ , де  $\omega$  є константою, використовуючи вираз (1), ми отримали:

$$\frac{H^k}{k!} \left[ \frac{d^k(\sin(\omega t))}{dt^k} \right]_{t=0} = \frac{(\omega H)^k}{k!} \sin \frac{\pi k}{2} \quad (4)$$

$$\frac{H^k}{k!} \left[ \frac{d^k(\cos(\omega t))}{dt^k} \right]_{t=0} = \frac{(\omega H)^k}{k!} \cos \frac{\pi k}{2} \quad (5)$$

Вирази (3-5) є виразами Т-диференціальних спектрів, відповідно, для експоненціальної та гармонічної функцій.

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

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} (e)^{k\omega t} \quad (6)$$

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

Диференціальний спектр цього сигналу має вигляд виразу (3).

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

$$Z(\omega_k, t_l) = |S(\omega_k)|^2 \prod_{i=1}^n |W_i(\omega)|^2 \quad (7)$$

де:  $t_l$  -  $l$ -тий інтервал аналізу сигналу.

Розглянемо передавальна функцію резонансних вузлів (базис розкладу) другого порядку у виді:

$$W_i(p) = \frac{c_i(\alpha_i + p)}{\beta_i + p^2 + 2p\alpha_i + \alpha_i^2} \quad (8)$$

де  $c_i$  — це коефіцієнт затухання;

$\alpha_i$  — це ступінь затухання;

$\beta_i$  — це резонансна частота.

Тоді квадрат норми базису має вид:

$$|W_i(\omega)|^2 = \frac{c_i^2(\alpha_i^2 + \omega_i^2)}{(\beta_i^2 + \alpha_i^2 - \omega_i^2) + (2\omega_i\alpha_i)} \quad (9)$$

Підставивши значення виразу (9) у вираз (7) отримаємо загальний вираз, який описує модель:

$$Z(\omega_k, t_l) = |S(\omega_k)|^2 \prod_{i=1}^n |W_i(\omega)|^2 = \frac{(\omega_i H)^{2k}}{k!} \prod_{i=1}^n \frac{c_i^2 (\alpha_i^2 + \omega_i^2)}{(\beta_i^2 + \alpha_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2} \quad (10)$$

Для зручності проведення обчислень можна представити модель у логарифмічному виді:

$$\ln Z(\omega_k, t_l) = 2k \ln \left( \frac{\omega_i H}{k!} \right) \sum_{i=1}^n 2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2) - \left[ \ln(\beta_i^2 + \alpha_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2 \right] \quad (11)$$

Коефіцієнти  $H$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $c_i$ , визначаються методом найменших квадратів. Та тоді оцінка похибки моделі використаємо наступні вирази:

$$\sigma_i^2 = \sum_{k=1}^N (\ln(S(\omega_k, t_l)) - Z(\omega_k, t_l))^2 \quad (12)$$

$$\frac{\partial \sigma_i^2}{\partial H} = \sum_{k=1}^N 2 \left( \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left( \frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2)] \} \cdot \left( \frac{\omega_i H}{k!} \right) \right) \quad (13)$$

$$\frac{\partial \sigma_i^2}{\partial c_i} = \sum_{k=1}^N 2 \left( \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left( \frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2)] \} / c_i \right) \quad (14)$$

$$\frac{\partial \sigma_i^2}{\partial \beta_i} = \sum_{k=1}^N \left( \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left( \frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left( \frac{2\alpha_i}{\alpha_i^2 + \omega_i^2} + \frac{4\beta_i(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + 8\omega_k^2 \alpha_i^2}{(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k^2 \alpha_i^2)^2} \right) \right) \quad (15)$$

$$\frac{\partial \sigma_i^2}{\partial \alpha_i} = \sum_{k=1}^N \left( \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left( \frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left( \frac{2\alpha_i}{\alpha_i^2 + \omega_i^2} + \frac{8\omega_k^2 \alpha_i^2}{(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k^2 \alpha_i^2)^2} \right) \right) \quad (16)$$

Система алгебраїчних рівнянь (13-16) мають  $3n + 1$  невідомих, які задовольняють обмеженням  $0 < H < 1$ ,  $0 < \alpha_i < 0$ ,  $\beta_1, \beta_2 < 1200$  Гц,  $\beta_3 > 1200$  Гц.

Ці обмеження дають посилання на частоти першої та другої формант голосних звуків і положення максимуму в спектрі шумових звуків. У роботах [6,7,15-17] показано, що трьох компонентів апроксимації сигналу достатньо для повного встановлення значень сигналу. Тому наступним наступний аналіз ми будемо проводити з обмеженням трьома компонентами ( $n=3$ ).

### Оцінка моделі в середовищі MATLAB

Щоб підтвердити запропонований метод, було виконано математичне моделювання з використанням наведених вище обмежень.

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

Тоді система рівнянь (13) набуде вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial H} &= \sum_{k=1}^N 2(\{\ln S(\omega_k, t_i) - 2k \ln \left(\frac{\omega_i H}{k!}\right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2)]\} \cdot \left(\frac{\omega_i H}{k!}\right)) \\ &= (\ln S(\omega_k, t_i) - 2 \ln c_i - \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2) - \ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 - 4\omega_i^2 \alpha_i^2) \times (\omega_i H \\ &+ \frac{(\omega_i H)^2}{2} + \frac{(\omega_i H)^3}{6}) - 2 \ln c_i \cdot \frac{(\omega_i H)^2}{2} - 4 \ln c_i \\ &\cdot \frac{(\omega_i H)^3}{6} \end{aligned} \quad (17)$$

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

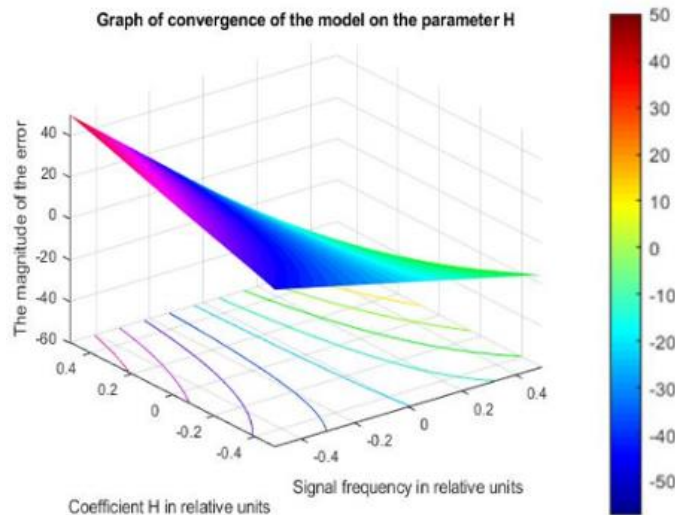


Рис. 1. Графік збіжності моделі за параметром H

Як видно з рис.1, для заданих обмежень параметрів похибка не перевищує 10%. Це свідчить про адекватність запропонованої моделі для оцінки параметра апроксимації H.

Система рівнянь (14) при цьому набуде вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial c_i} &= \sum_{k=1}^N 2(\{\ln S(\omega_k, t_i) - 2k \ln \left(\frac{\omega_i H}{k!}\right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 + (2\omega_i \alpha_i)^2)]\} / c_i) \\ &= (\ln S(\omega_k, t_i) - 2 \ln c_i - \ln(\alpha_i^2 + \omega_i^2) - \ln((\beta_i^2 - \omega_i^2)^2 - 4\omega_i^2 \alpha_i^2) \times \left(\frac{1}{c_i}\right) - \\ &\frac{6 \ln c_i}{c_i} \end{aligned} \quad (18)$$

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

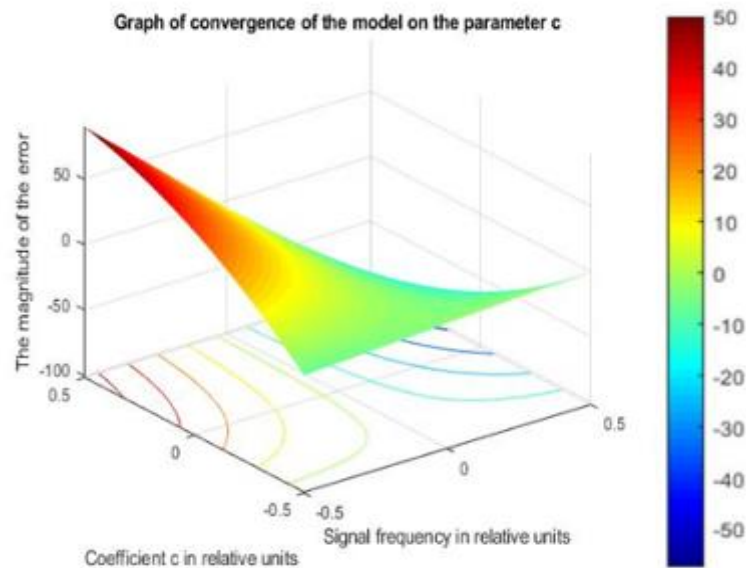


Рис.2. Графік збіжності моделі за параметром c.

Як бачимо з графіка на рис.2, при заданих параметрах відносна похибка не перевищує 9,5%. Це свідчить про адекватність запропонованої моделі для оцінки параметра апроксимації c.

Система рівнянь (15) набуде вигляду:

$$\frac{\partial \sigma_i^2}{\partial \beta_i} = \sum_{k=1}^N \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left( \frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln (\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln ((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left( \frac{2\alpha_i}{\alpha_i^2 + \omega_i^2} + \frac{4\beta_i(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + 8\omega_k^2 \alpha_i^2}{(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2} \right) = \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2 \ln(\omega_i H) - 4 \ln \left( \frac{\omega_i H}{2} \right) - 6 \ln(6) - 3 \times \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln (\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln ((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left( \frac{2\alpha_i^2(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + 8\omega_k^2 \alpha_i^4 + (\alpha_i^2 + \omega_i^2)}{(\alpha_i^2 + \omega_i^2)[(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2]} + \frac{2[4\beta_i(\beta_i^2 - \omega_k^2) + 8\omega_k^2 \alpha_i^2]}{(\alpha_i^2 + \omega_i^2)[(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2]} \right) \quad (19)$$

Побудуємо графік, який наочно покаже точність наближення при обчисленні коефіцієнта  $\beta$ .

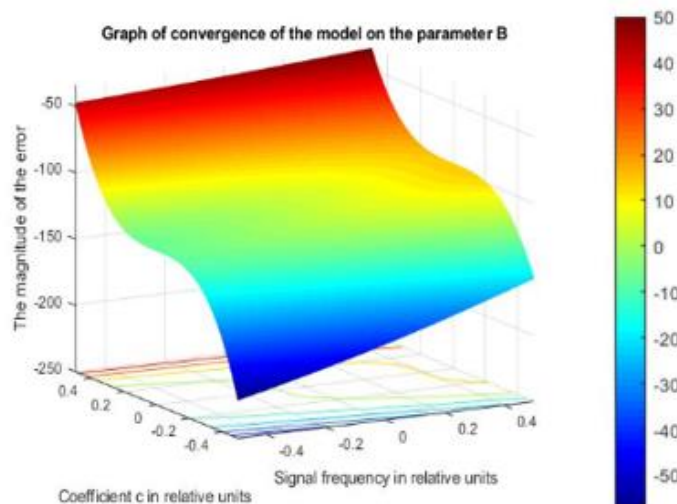


Рис. 3. Графік збіжності ряду наближень моделі з оригіналом за параметром  $\beta$

Як бачимо з графіка 3 на рисунку 3, з урахуванням параметрів відносна похибка не перевищує 14,5%. Це є прийнятним і свідчить про адекватність запропонованої моделі для оцінки параметра апроксимації  $\beta$

Система рівнянь (16) набуде вигляду:

$$\frac{\partial \sigma_i^2}{\partial \alpha_i} = \sum_{k=1}^N \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2k \ln \left( \frac{\omega_i H}{k!} \right) - \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln (\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln ((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left( \frac{2\alpha_i}{\alpha_i^2 + \omega_i^2} + \frac{8\omega_k^2 \alpha_i^2}{(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2} \right) = \{ \ln S(\omega_k, t_l) - 2 \ln(\omega_i H) - 4 \ln \left( \frac{\omega_i H}{2} \right) - 6 \ln(6) - 3 \times \sum_{i=1}^n [2 \ln c_i + \ln (\alpha_i^2 + \omega_i^2)] - [\ln ((\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2)] \} \times \left( \frac{2\alpha_i^2 (\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + 8\omega_k^2 \alpha_i^4 + 8\omega_k^2 \alpha_i^2 (\alpha_i^2 + \omega_i^2)}{(\alpha_i^2 + \omega_i^2) [(\beta_i^2 - \omega_k^2)^2 + (2\omega_k \alpha_i)^2]} \right) \quad (20)$$

Побудуємо графік, на якому буде наочно видно точність наближення при обчисленні коефіцієнта  $\alpha$ .

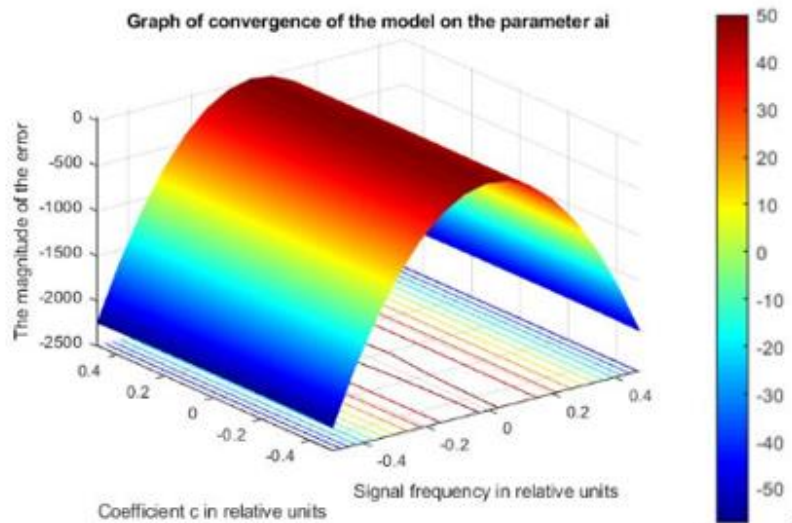


Рис.4. Графік збіжності ряду наближень функції з її оригіналом  $\alpha$

Як видно з графіка на рис.4, при заданих параметрах відносна похибка не перевищує 5,5%. Це свідчить про адекватність запропонованої моделі для оцінки параметра апроксимації  $\alpha$

#### ВИСНОВКИ ДО ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропоновано новий спосіб виявлення технічних засобів негласного отримання інформації, які використовують радіоканал для передачі перехопленої інформації. В основі методу виявлення комбінація методу диференціальних перетворень та методу апроксимації спектральної функції в основі передавальних функцій резонансних вузлів другого порядку.

Показано, що сигнали засобів прихованого отримання інформації можна апроксимувати диференціальними перетвореннями Тейлора, при цьому, диференціальні зображення є диференціальними Т-спектрами.

Пропонується на першому етапі визначити спектр сигналів (спектральну функцію). Надалі необхідно апроксимувати отриману спектральну функцію на основі передавальних функцій резонансних вузлів другого порядку для виділення складових істотного сигналу. Проводиться подальший аналіз вилучення складових істотного радіосигналу з метою визначення сигналів засобів негласного отримання інформації.

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

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.

Для визначення похибки апроксимації запропонованим методом проведено моделювання. Величина похибки апроксимації у відносних одиницях, за коефіцієнтами апроксимації, відрізняється за першим коефіцієнтом на 10%, за другим - на 9,5%, за третім - на 14% і за четвертим - на 5,5%.

Отримано графічні матеріали, які підтверджують, що похибка апроксимації знаходиться в межах 5,5-14,5%. Це гарний результат і свідчить про надійність запропонованого методу.

### Література

1. Маслов А.А., Сотникова М.В. Визначення радіотехнічних параметрів фазоманіпуляційних сигналів. Журнал сучасних інформаційних технологій та IT-освіти. 2019.Т.15, №1. С.107-114
2. Громов Д. В., Суяков С. А. Методи вимірювання та перетворення частотно-часових параметрів сигналів // Журнал «Інформатизація та системи управління в промисловості» 2013. № 3 (45).
3. 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. P2019 – 2025.
4. Ara Jullion A. Abello, Gabriele Francesca Y., Domingo, Maria Jamelina T. Joven, Samanta Alexis S. Malubay. Power Measurement Model Optimization using MATLAB. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. (IJATCSE). 2019. Vol. 8, № 3, May – June. pp. 538 – 542.
5. Бакіко В.М., Попович П.В., Швайченко В.Б. Визначення завадостійкості каналу зв'язку при випадкових перешкодах. Вісник Національного техн. ун-т «ХП»: зб. Наука. Харків: НТУ «ХП», 2018. № 14 (1290). С. 7 - 10.
6. Мілов О., Євсєєв С. Мілевський С. Іванченко Ю., Нестеров О., Пучков О., Яровий А., Салій А., Тюрін В., Тимочко О. Розробка моделі поведінки антагоністичного агента в умовах кіберконфлікту. Східноєвропейський журнал передових технологій. Харків.2019. 4/9 (100). С. 6–19.
7. Любов Беркман, Олег Барабаш, Ольга Ткаченко, Андрій Мусієнко, Олександр Лаптев, Іванна Саланда. Інтелектуальна система управління інфокомунікаційними мережами. Міжнародний журнал нових тенденцій в інженерних дослідженнях (IJETER) Том 8. № 5, травень 2020 р. С. 1920 – 1925.
8. Savchenko Vitalii, Syrotenko Anatolii, Shchypanskyi Pavlo, Matsko Oleksander, Laptiev Oleksander. The Model of Localization Precision for Detection of Hidden Transmitters. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJTEEE), Volume-9 Issue-4, February 2020. ISSN: 2278- 3075. pp. 2114-2119.
9. Олександр Лаптев, Герман Шуклін, Спартак Гогоняц, Аміна Зідан, Іванна Саланда. Динамічна модель кібер захисту. Діагностика інформаційних систем з використанням Fuzzy технологій . IEEE ATIT 2019. Матеріали конференції Київ, Україна, 18-20 грудня, стор.116-120.
10. Самойленко А.М., Самойленко В.Г., Собчук В.В. Про періодичні розв'язки рівняння нелінійного осцилятора з імпульсним впливом. Український математичний журнал, 1999 (51), 6 Springer New York – С. 926-93.
11. Машков О. А., Собчук В. В., Барабаш О. В., Дахно Н. Б., Шевченко Г. В., Майсак Т. В. Удосконалення варіаційно-градієнтного методу в динамічних системах автоматизованого керування для інтегро-диференціальних моделей. Математичне моделювання та обчислення, 2019, Вип. 6, № 2, С. 344 – 357.
12. Обідін Д., Арделян В., Лукова-Чуйко Н., Мусієнко А. Оцінка функціональної стійкості мереж спеціального призначення, розташованих на транспортних засобах. Матеріали 4-ї міжнародної конференції IEEE, 2017 року «Актуальні проблеми розробки безпілотних літальних апаратів», 17-19 жовтня, 2017, Київ, Україна. – К.: Національний авіаційний університет, 2017. С. 167 – 170.
13. Барабаш О., Дахно Н., Шевченко Г., Собчук В. Інтегро-диференціальні моделі систем підтримки прийняття рішень для керування безпілотними літальними апаратами на основі модифікованого градієнтного методу. IEEE 5-та Міжнародна конференція з методів і систем навігації та керування рухом (MSNMC). 16-18 жовтня, Національний авіаційний університет, 2018. Київ, Україна. С. 94 – 97.
14. Мусієнко А.П., Сердюк А.С. Нерівності типу Лебега для сум де ла Вале-Пуссена на множинах аналітичних функцій. Український математичний журнал вересень 2013, том 65, випуск 4, С. 575 – 592.
15. Мусієнко А.П., Сердюк А.С. Нерівності типу Лебега для сум де ла Валле Пуссена на множинах цілих функцій .Український математичний журнал жовтень 2013, том 65, випуск 5, С. 709 – 722.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Barabash Oleg, Laptiev Oleksandr, 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
20. 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
21. Aaron Don M. Africa, Patrick Bernard T. Arevalo, Arsenic S. Publico, Mharela Angela A. Tan. A Fuzzy Neural Control System. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER), Volume 7. No. 9, August 2019. pp 311 – 322.
22. J. Boiko, V. Druzhynin, S. Buchyk, I. Pyatin, and A. Kulko, "Methodology of FPGA Implementation and Performance Evaluation of Polar Coding for 5G Communications", CEUR Workshop Proceedings, 3654 (2024): 15-24.
23. O. Shynkaruk, J. Boiko and O. Eromenko, "Measurements of the energy gain in the modified circuit signal processing unit," 2016 IEEE 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, Ukraine, 2016, pp. 582-584.

## References

1. Maslov A.A., Sotnikova M.V. Determination of radiotechnical parameters of phasomanipulated signals. *Journal of Modern Information Technologies and IT Education*. 2019. Vol.15, No. 1. pp.107-114
2. Gromov D. V., Suyakov S. A., Methods for measuring and converting time-frequency parameters of signals, "Journal Informatization and Control Systems in Industry" 2013.No. 3 (45).
3. 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. P2019 – 2025.
4. Ara Jullion A. Abello, Gabriele Francesca Y., Domingo, Maria Jamelina T. Joven, Samanta Alexis S. Malubay. Power Measurement Model Optimization using MATLAB. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering (IJATCSE)*. 2019. Vol. 8, № 3, May – June. pp. 538 – 542.
5. Bakiko V.M., Popovich P.V., Shvaichenko V.B. Determination of noise immunity of a communication channel in case of accidental interference. *Bulletin of the National tech. University "KhPI": Coll. Science. Kharkiv: NTU "KhPI", 2018. № 14 (1290). P. 7 - 10.*
6. Milov O., Yevseiev S. Milevskiy S. Ivanchenko Y., Nesterov O., Puchkov O., Yarovy A., Sali A., Tiurin V., Timochko O. Development of 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.*
7. 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.
8. Savchenko Vitalii, Syrotenko Anatolii, Shchypanskyi Pavlo, Matsko Oleksander, Laptiev Oleksander. The Model of Localization Precision for Detection of Hidden Transmitters. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, Volume-9 Issue-4, February 2020. ISSN: 2278- 3075. pp. 2114-2119.
9. Olexandr Laptiev, German Shuklin, Spartak Hohoniianc, 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.
10. 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
11. 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.
12. Obidin D., Ardelyan V., Lukova-Chuiko N., Musienko A. Estimation of Functional Stability of Special Purpose Networks Located on Vehicles. *Proceedings of 2017 IEEE 4th International Conference "Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)", October 17-19, 2017, Kyiv, Ukraine. – Kyiv: National Aviation University, 2017. pp. 167 – 170.*
13. Barabash O., Dakhno N., Shevchenko H., Sobchuk V. Integro-Differential Models of Decision Support Systems for Controlling Unmanned Aerial Vehicles on the Basis of Modified Gradient Method. *IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*. 16-18 October, National Aviation University, 2018. Kyiv, Ukraine. pp. 94 – 97.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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
20. 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
21. Aaron Don M. Africa, Patrick Bernard T. Arevalo, Arsenic S. Publico, Mharela Angela A. Tan. A Fuzzy Neural Control System. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*, Volume 7. No. 9, August 2019. pp 311 – 322
22. J. Boiko, V. Druzhyinin, S. Buchyk, I. Pyatin, and A. Kulko, "Methodology of FPGA Implementation and Performance Evaluation of Polar Coding for 5G Communications", *CEUR Workshop Proceedings*, 3654 (2024): 15-24.
23. O. Shynkaruk, J. Boiko and O. Eromenko, "Measurements of the energy gain in the modified circuit signal processing unit," 2016 IEEE 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, Ukraine, 2016, pp. 582-584.