

УДК 621.391

**Лілія ТРАСКОВЕЦЬКА**

кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький  
<https://orcid.org/0000-0002-0577-5054>  
*tlm5@email.ua*

**Олександр РУДИК**

кандидат технічних наук, доцент,  
Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький  
<https://orcid.org/0000-0002-6937-1366>  
*Yuhymovych@gmail.com*

## КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Робота присвячена важливій темі теорії інформаційних систем – теорії і практиці виявлення сигналів у завадах. У будь-якому середовищі на поширення сигналів діють завади, що спотворюють структуру сигналів і, відповідно, інформацію, яку вони несуть. Загальною властивістю сигналів є їх випадковий характер, тому для математичного опису сигналів використовують апарат теорії ймовірностей. Сигнал – носій інформації, якої немає в точці приймання до моменту його прийняття. Оскільки інформація про об'єкт кодується в одному або декількох параметрах сигналу – амплітуді, частоті, фазі, часі затримки, то принаймні один з цих параметрів невідомий для спостерігача. Крім того, наявність завад і шумів, що є випадковими процесами, а та-

© Трасковецька Л., Рудик О.

кож випадкові параметри каналу поширення сигналу зумовлюють потребу в застосуванні методів теорії ймовірностей, теорії випадкових процесів та методів математичної статистики під час проведення досліджень з обробки сигналів. Для математичного опису сигналів і завад використовують ті чи інші моделі випадкових процесів – гаусівські випадкові процеси, негаусівські випадкові процеси із складеним розподілом, негаусівські марковські випадкові процеси. Моделюють випадковий процес заданою багатовимірною щільністю розподілу ймовірностей. В роботі обґрунтовано методологічні принципи обробки сигналів за умов апіорної невизначеності, коли щільність розподілу ймовірностей невідома. В основу статистичної обробки інформаційних параметрів сигналів покладено знаходження таких інформаційних ознак: середніх значень інтервалів, статистичний розподіл вибірки, дисперсії амплітуд. Використовуючи комп'ютерне моделювання в системі Matlab, за допомогою адаптивних алгоритмів проведено генерацію сумішей радіотехнічних завад різних видів. У процесі оброблення за цими алгоритмами також визначено статистичні оцінки параметрів суміші сигналу і завад. Обчислені параметри сигналу використовуються для з'ясування, наскільки узгоджена з дослідними даними гіпотеза про те, що невідома характеристика має саме те значення, яке отримане в результаті її оцінювання. Для візуалізації досліджень створено програмний код в системі Matlab з використанням спеціального середовища візуального програмування GUIDE, який дозволяє: генерувати випадкові сигнали з різними формами спектрів завад, демонструвати їх, будувати гістограми та підбирати закони розподілу, що якнайкраще описують випадковий процес. Крім того, в програмі обчислено ймовірність виявлення сигналу і побудовано графік залежності ймовірності виявлення сигналу від ймовірності хибної тривоги і відношення сигналу до шуму при різних обсягах вибірки.

**Ключові слова:** гаусівські випадкові процеси; негаусівські марковські випадкові процеси; система Matlab; графічний інтерфейс користувача GUIDE; статистична обробка сигналів; генерація сигналів; програмний код.

## 1. ВСТУП

Розвиток сучасних систем спостереження, таких як радіолокація, сейсмічне зондування, радіоастрономія, гідроакустика, зв'язок, керування високоточною зброєю, характеризується підвищеними вимогами до якості обробки інформації, що безпосередньо пов'язано з якістю побудови систем виявлення сигналів.

**Постановка проблеми.** Проблеми, які виникають при удосконаленні систем даного класу, пов'язані не тільки з технологічним оновленням, але і значною мірою із створенням досконалих методів обробки сигналів, які являють собою випадкові процеси. Велике розмаїття електромагнітних процесів приводить до появи на вході радіоприймача випадкових змін напруги, що утворює радіошум. Корисний сигнал, який приймається на фоні подібної завади, піддається різним спотворенням. Для успішної протидії радіозавадам використовуються спеціальні алгоритми обробки суміші корисного сигналу і шумових процесів, розробка яких можлива тільки за наявності їх математичних моделей. Оскільки суміш сигналу і завад на вході приймального пристрою є випадковим процесом, то математичним апаратом дослідження є метод статистичного імітаційного моделювання з використанням матричної системи комп'ютерної математики Matlab.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням, пов'язаним із методами обробки сигналів, присвячено ряд досліджень. У роботі [1] сконцентровано основні напрями, методи та алгоритми обробки сигналів, які базуються на класичних методах теорії перевірки статистичних гіпотез і в загальному випадку не передбачають обмежень на використання виду функції розподілу випадкових величин.

Дослідження [2] розглядає теорію оптимального статистичного оброблення сигналів, охоплюючи такі питання, як виявлення сигналів у разі дії гаусівських завад, завад з негаусівськими розподілами ймовірностей.

Загалом у зазначених дослідженнях не розроблена модель, яка б за допомогою імітаційного моделювання генерувала сигнал довільної природи і проводила його статистичну обробку та візуалізацію.

Система Matlab спеціально створена для проведення саме таких обчислень: математичний апарат, що використовується в ній, гранично наближений до сучасного математичного апарату інженера й спирається на роботу з матрицями, векторами і комплексними числами; графічне подання функціональних залежностей тут організовано у зручній для сприйняття формі; міститься вбудований графічний редактор користувача GUIDE [3]–[4].

Ця стаття присвячена мотиваційному аспекту вивчення методів статистичної обробки сигналів з використанням нових інформаційних технологій.

**Метою статті** є створення в середовищі програмування Matlab програмного коду для наочного зображення методів статистичної обробки сигналів на фоні завад різної природи.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Під сигналом у загальному випадку розуміють фізичний процес, який здійснює перенесення інформації в часі і просторі. Сигнали описуються математичними моделями, які відображають їх загальні властивості.

Розглянемо задачу побудови оцінок параметрів радіосигналу в суміші з шумом і алгоритм виявлення такого детермінованого сигналу. Сигнал на вході приймача часто можна представити у вигляді відомої функції часу  $S(t)$ , а спостерігачу сигнал приходить лише в суміші із завадою

$$X(t) = S(t) + \eta(t). \quad (1)$$

Спотворення сигналу внаслідок додавання завади непередбачуване, тому сигнал  $X(t)$  на виході є випадковим процесом. Математично його можна описати, задаючи ймовірність наявності сигналу в певному інтервалі часу, тобто задаючи густину ймовірностей  $W(X/\alpha)$ . Ця густина вважається умовною, оскільки її параметри визначаються при умові  $\alpha$  наявності сигналу. Облік ймовірнісного механізму взаємодії сигналу і шуму, тобто вимірювання компонент вектора параметрів  $\bar{\alpha}$ , приводить до задачі оцінки параметрів розподілу густини  $W(X/\alpha)$  по вибіркових даних  $X(t)$  і виявлення сигналів. Оцінка  $\bar{\alpha}$  може бути визначена як деяка функція вибіркових даних  $X(t)$

$$\bar{\alpha} = f(X). \quad (2)$$

Оцінка параметрів радіотехнічного сигналу у випадку дії завад. Запишемо математичну модель суміші радіотехнічного сигналу  $s(t)$  і завади  $n(t)$ :

$$X(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \phi) + n(t). \quad (3)$$

Параметри сигналу:  $U(t)$  – обвідна;  $\omega_0$  – частота;  $\phi$  – фаза. Завада – це гаусів білий шум з математичним сподіванням  $M(n) = 0$  і дисперсією  $D(n) = \sigma^2$ .

Оцінка обвідної сигналу. Припустимо, що фаза рівномірно розподілена на інтервалі  $[0, \dots, 2\pi]$ , а частота – на інтервалі  $[\omega_0, \dots, \infty]$ . Нижнє значення частоти  $\omega_0$  оберемо таким, щоб на інтервалі спостереження  $T = t_{i+1} - t_i$  вміщувалась множина періодів, тобто

$$\omega_0 \geq \frac{2\pi}{T}.$$

За цих умов густину розподілу ймовірності гармонічного сигналу з випадковою фазою можна зобразити функцією

$$f(x) = \frac{1}{\pi U \sqrt{1 - \left(\frac{x}{U}\right)^2}}, \quad |x| < U.$$

Для сигналу (3) густина розподілу суміші може бути апроксимована полігаусовим розподілом [1]

$$f(x) = 0,5 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \left( e^{-\frac{(x-U)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x+U)^2}{2\sigma^2}} \right), \quad |x| < U.$$

Скориставшись методом максимуму функції правдоподібності, отримаємо оцінку  $U(t)$  за вибіркою  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  [1]:

$$U(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|. \quad (4)$$

Оцінка частоти радіосигналу. Будь-який періодичний сигнал можна розвинути в ряд Фур'є за гармонічними функціями

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\varpi_0 t) + b_k \sin(k\varpi_0 t)),$$

$$\text{де } a_k = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos(k\varpi_0 t) dt, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \sin(k\varpi_0 t) dt, \quad k = 0, 1, \dots, n.$$

Якщо сигнал  $S(t)$  – це гармонічні коливання з частотою  $\omega_p$ , кратною першій гармоніці  $\omega_p = p\omega_0$

$$S(t) = U \cos(\varpi_p t + \phi), \quad (5)$$

то, розвиваючи його в ряд Фур'є, отримуємо тільки коефіцієнти  $a_p$  і  $b_p$ , оскільки всі інші рівні нулю

$$a_p = \frac{2}{T} \int_0^T U \cos(\varpi_p t + \phi) \cos \varpi_p t dt = \frac{2U}{T} \int_0^T \frac{1}{2} \cos \phi dt = U \cos \phi; \quad (6)$$

$$b_p = \frac{2}{T} \int_0^T U \cos(\varpi_p t + \phi) \sin \varpi_p t dt = \frac{2U}{T} \int_0^T \frac{1}{2} \sin \phi dt = U \sin \phi. \quad (7)$$

Амплітуду  $p$ -ої гармоніки обчислимо за формулою

$$A_p = \sqrt{a_p^2 + b_p^2} = \sqrt{U^2 (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi)} = U, \quad (8)$$

а фазу – за формулою

$$\phi_p = \operatorname{arctg} \frac{b_p}{a_p}. \quad (9)$$

Алгоритм вимірювання частоти сигналу полягає у визначенні  $p$ -ї гармоніки. З цією метою знаходимо номер того члена ряду, який є максимальним, тобто

$$\omega_p = \operatorname{arg} \max(A(\omega_k)), \quad \omega_k \in (\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n). \quad (10)$$

Після цього фазу гармонічного сигналу обчислимо за формулою (9).

Виявлення сигналів. Виявлення сигналів під час дії завад є однією з фундаментальних задач при обробці сигналів. Суміш сигналу і завад на вході приймального пристрою є випадковим процесом, а в разі відсутності сигналу – процес з певними статистичними характеристиками (розподілом ймовірностей, середнім значенням, дисперсією).

Нехай проводиться експеримент над випадковим процесом  $X(t)$  і сформовано вибірку об'єму  $n$

$$x_1, x_2, \dots, x_n. \quad (11)$$

Постановка задачі виявлення сигналу полягає в тому, що стосовно реалізації вибірки (11) виступають дві гіпотези: гіпотеза  $H_0$  – реалізація вибірки містить тільки заваду; альтернативна гіпотеза  $H_1$  – реалізація вибірки містить заваду і сигнал. До проведення експерименту (отримання вибірки) потрібно запропонувати алгоритм (правило), згідно з яким буде зроблено вибір між гіпотезами  $H_0$  і  $H_1$ .

Нехай це правило є функцією значень вибірки (11)

$$\gamma(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 0, & \text{сигналу немає } (H_0) \\ 1, & \text{сигнал є } (H_1). \end{cases} \quad (12)$$

Функція (12) є функцією випадкових аргументів, тобто є випадковою величиною, яка має власний розподіл ймовірностей. А це означає, що під час прийняття рішень про вибір гіпотез можливі два види помилок.

Помилка I роду: нульова гіпотеза  $H_0$  вірна, але її відхилено. Імовірність такої помилки позначимо через  $f$  – ймовірність хибної тривоги.

Помилка II роду: визнання альтернативної гіпотези  $H_1$  невірною, хоча насправді вона правильна. Імовірність такої помилки позначимо через  $\beta$  – ймовірність пропускання сигналу.

Імовірність правильного виявлення сигналу

$$P = f = 1 - \beta. \quad (13)$$

Задача виявлення сигналу в суміші із завадою зводиться до формування двох вибірок. Одна вибірка (завадова) належить розподілу  $\eta(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , а друга (сигнальна) – розподілу  $X = S + \eta = X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Якщо в результаті експерименту після отримання обох вибірок можна прийняти гіпотезу  $H_0$ , то приймається рішення, що друга вибірка не містить сигналу, якщо ж можна прийняти гіпотезу  $H_1$ , то приймається рішення, що друга вибірка містить сигнал.

### 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Оптимальний алгоритм виявлення детермінованого радіотехнічного сигналу на фоні завади

Якщо сигнал відсутній, то розподіл шуму (вибірки  $\eta = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ) описується в основному гаусовою щільністю розподілу ймовірностей

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n | H_0) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{2\sigma^2}}, \quad \sigma \in (0, \dots, \infty). \quad (14)$$

За наявності сигналу щільність розподілу ймовірностей суміші має вигляд

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n | H_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - S_i)^2}{2\sigma^2}}, \quad \sigma \in (0, \dots, \infty). \quad (15)$$

Складемо відношення правдоподібності

$$l(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\ln f(x_1, x_2, \dots, x_n | H_1)}{\ln f(x_1, x_2, \dots, x_n | H_0)} = \frac{\ln \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - S_i)^2}{2\sigma^2}} \right)}{\ln \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{2\sigma^2}} \right)} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - S_i)^2}. \quad (16)$$

Відношення (16) порівнюється з порогом прийняття рішень  $B$ , де  $B$  – сигнальний параметр (співвідношення сигнал/шум за потужністю)

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2}. \quad (17)$$

Для аналізу ефективності правила (12) треба визначити щільність розподілу статистики критерію (16) при гіпотезі  $H_0$  і обчислити значення порога прийняття рішення за формулою (17), яке забезпечить заданий рівень ймовірності хибної тривоги.

Далі необхідно визначити щільність розподілу статистики критерію (16) при гіпотезі  $H_1$  і згідно з визначеним для цього критерію порогом прийняття рішення обчислити ймовірність виявлення сигналу.

Для щільності розподілу ймовірностей при альтернативних гіпотезах не завжди можна знайти строгі аналітичні вирази, тому для аналізу ефективності виявлення сигналу скористаємось методом статистичного моделювання.

### 3.2. Можливості статистичного моделювання в Matlab

Метод статистичного моделювання полягає в генерації на ЕОМ випадкових чисел, щільність розподілу яких збігається із щільністю розподілу ймовірностей суміші сигналу і завади.

Розглянемо декілька найбільш поширених стандартних законів розподілу для неперервних випадкових величин:

рівномірний, функція щільності якого така:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a < x \leq b \\ 0, & x \notin (a, b] \end{cases}$$

де  $a, b$  – параметри розподілу, а саме - граничні точки інтервалу існування випадкової величини;

експоненціальний (показниковий), що має таку функцію щільності розподілу:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0, \end{cases}$$

де  $\lambda$  - параметр розподілу;

нормальний, найбільш поширений серед величин, що характеризують технологічні процеси хімічної промисловості. Функція щільності розподілу ймовірностей цього закону має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

де  $\mu, \sigma$  - параметри розподілу, а саме математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення випадкової величини  $X$ .

Matlab дозволяє генерувати випадкові величини, які підпорядковуються основним стандартним законам розподілу:

$\text{rand}(m,n)$  – повертає матрицю чисел розмірності  $m \times n$ , розподілених за рівномірним законом;

$\text{exprnd}(\lambda, m, n)$  – повертає матрицю чисел розмірності  $m \times n$ , розподілених за експоненціальним законом;

$\text{randn}(m,n)$  – повертає матрицю чисел розмірності  $m \times n$ , розподілених за нормальним законом з нульовим математичним сподіванням  $\mu = 0$  і середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 1$ . Для генерації чисел, розподілених за нормальним законом, що відрізняється від стандартного, потрібно застосовувати формулу

$$\text{randn()} * d + m,$$

де  $d$  - величина стандартного відхилення,  $m$  - математичне сподівання.

Стає зрозумілою математична сутність радіосигналу в сукупності із завадою, яка розподілена, наприклад, за експоненціальним законом  $S = \cos wt + \text{exprnd}(0.1, 10, 1)$  (рис. 1).

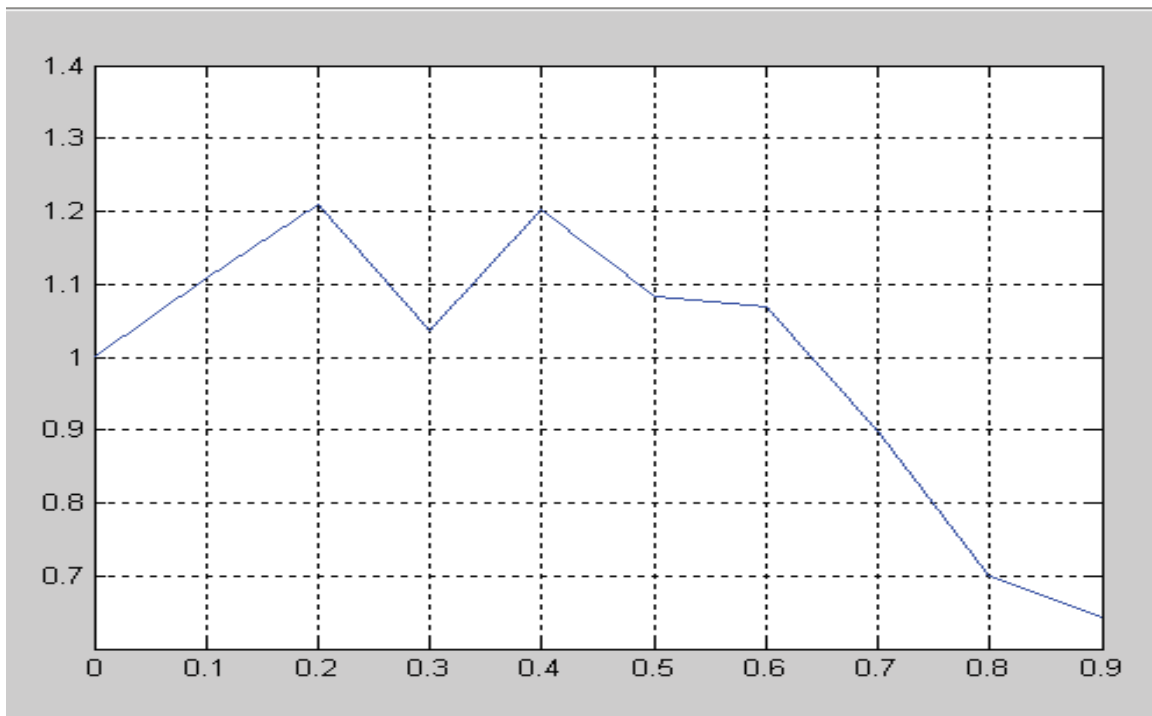


Рис. 1. Радіосигнал з експоненціальною завадою

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1. Побудова програмного додатка

На підставі отриманих теоретичних результатів з метою алгоритмічно-програмної реалізації статистичного дослідження сигналів із завадами і наочного їх представлення розроблено програмне забезпечення у вигляді стандартного додатка для операційної системи Windows з графічним інтерфейсом користувача в системі моделювання Matlab. Графічний інтерфейс додатка створений за допомогою спеціального середовища візуального програмування GUIDE[3].

У програмній моделі спочатку генерується вхідний радіосигнал із завадами різної природи [4] (рис. 2).

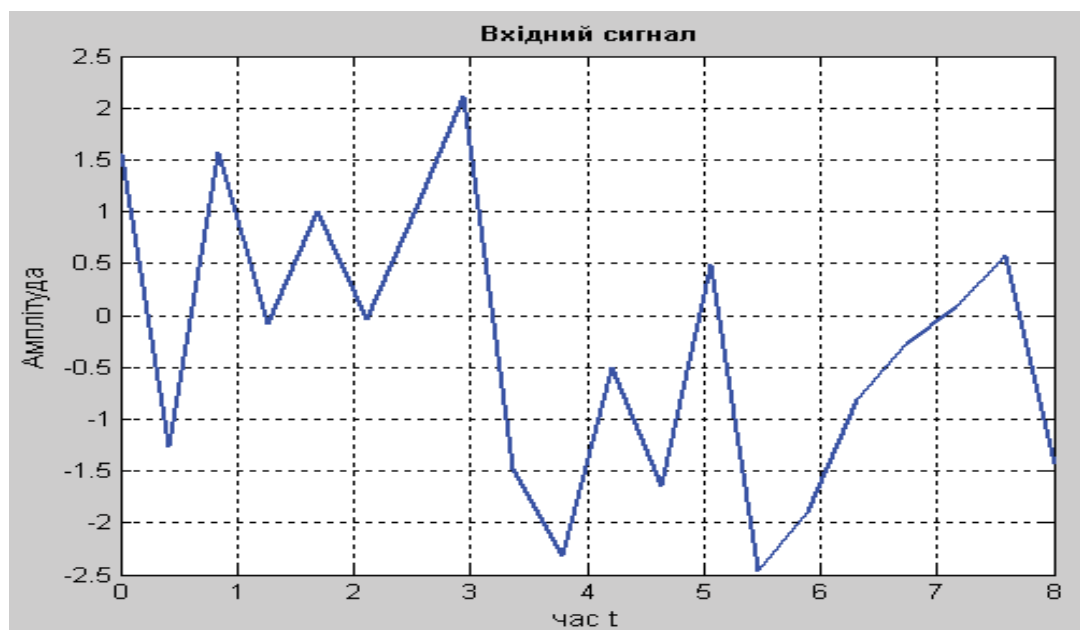


Рис. 2. Радіосигнал у разі дії завад

Згідно із (4)–(9) проводиться оцінка амплітуди і частоти цього сигналу. Сигнал за знайденими параметрами зображено на рис. 3

Програмна модель дозволяє візуально вибрати закон розподілу, якому підпорядкований вхідний сигнал. З цією метою, розглядаючи сигнал як випадкову величину, побудувавши гістограму частот і наклавши на неї функції найбільш часто поширених розподілів, можна визначити вид розподілу (рис. 4–6).

Вибравши закон розподілу, проведемо аналіз ефективності виявлення сигналу на фоні завад. Багаторазове повторення процедури генерації випадкової вибірки дозволяє оцінити ймовірність правильного виявлення сигналу при відомій ймовірності хибної тривоги  $f$ .

Як приклад наведемо вид інтерфейсного вікна для статистичного дослідження сигналів на фоні завад.



Рис. 3. Радіосигнал з оціненими параметрами

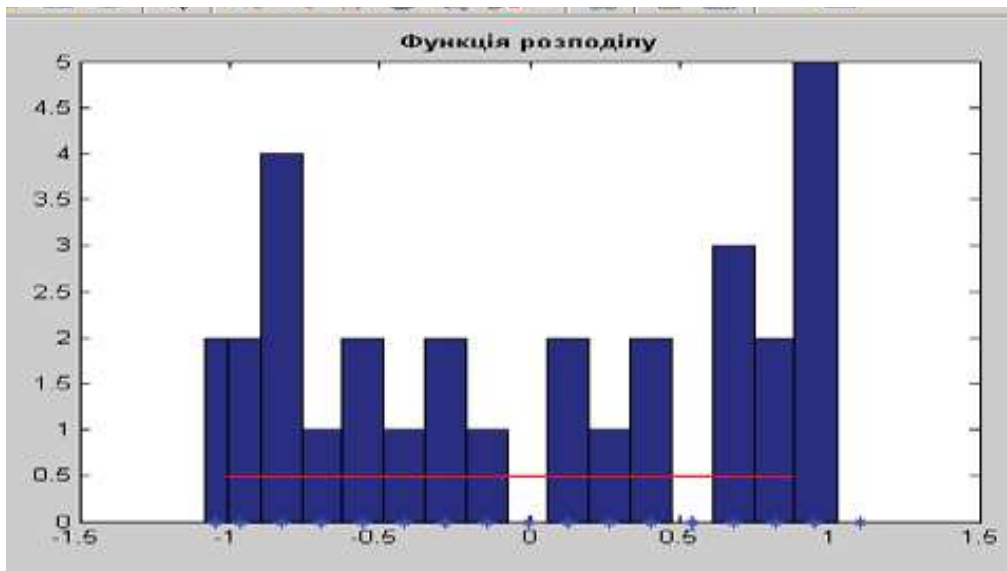


Рис. 4. Рівномірний закон розподілу

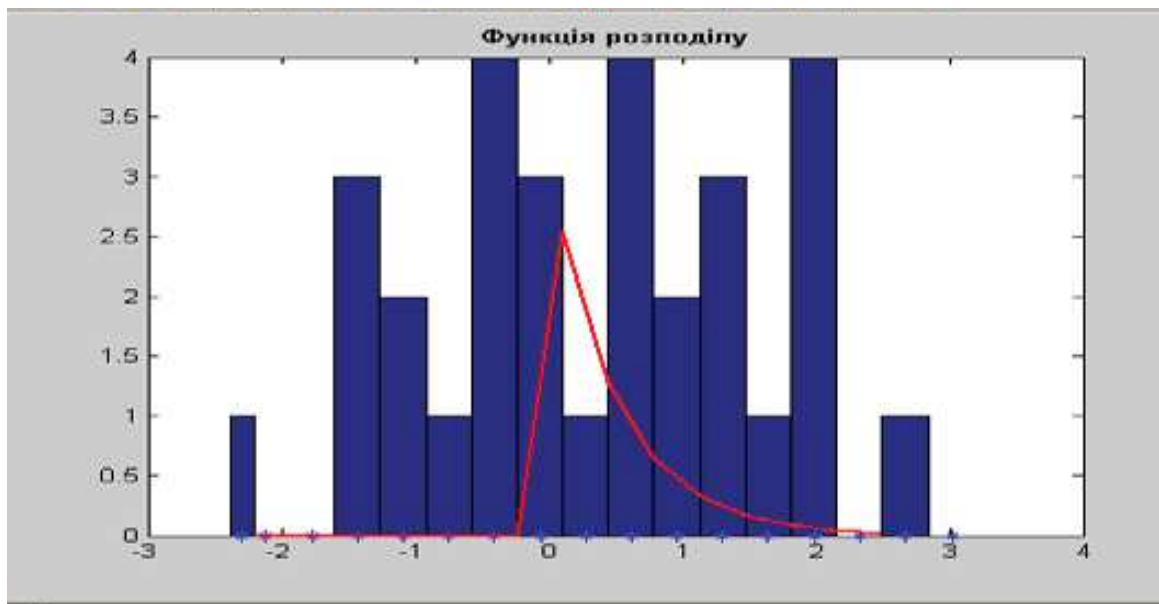


Рис. 5. Експоненціальний закон розподілу

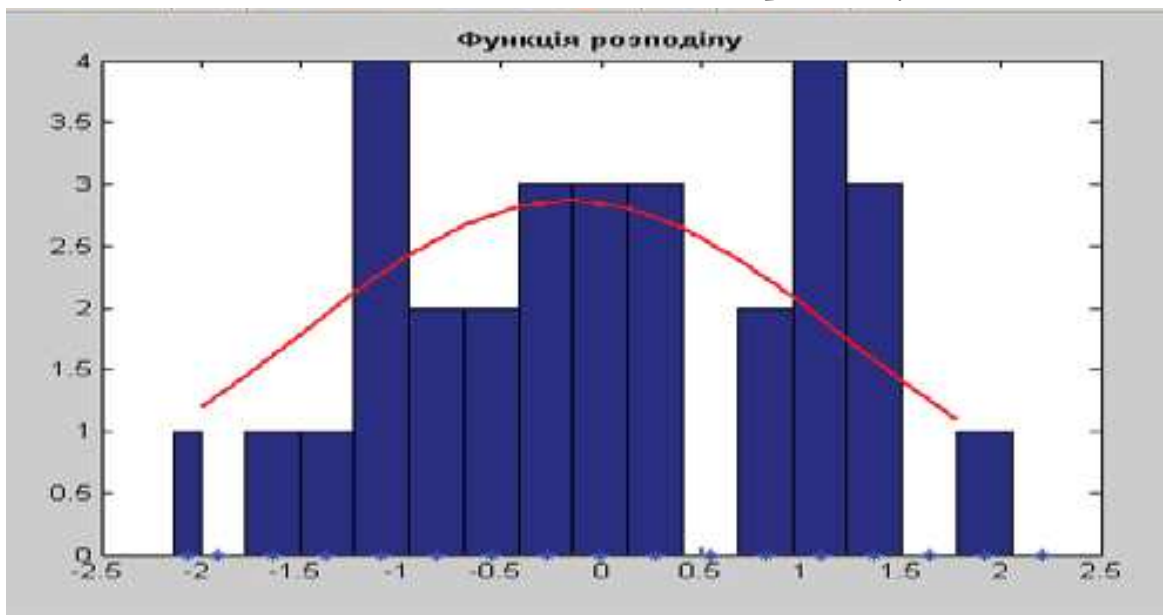


Рис. 6. Нормальний закон розподілу

На верхній лівій панелі виконується введення вхідних даних і генерується радіосигнал із завадою. Нижня ліва панель служить для запису інформації про параметри сигналу і його графічне зображення з цими параметрами. У правій верхній панелі можна за допомогою перемикача вибрати закон розподілу. Права нижня панель містить гра-

фік залежності ймовірності виявлення сигналу від ймовірності хибної тривоги і відношення сигнал/шум при різних обсягах вибірки (рис. 7).

#### 4.2. Програмний код

Програмний код реалізується script-файлом і function-файлом. У script-файлі обробляється вхідна інформація, проводиться оцінка невідомих параметрів, будуються графіки. Фрагмент коду представлено на рис. 8.

За допомогою процедури-функції *Vybirka* проводиться статистична обробка даних для побудови гістограми і функції розподілу, фрагмент коду показано на рис. 9.

#### 4.3. Аналіз результатів моделювання

Ефективність алгоритму виявлення сигналу з шумом визначається ймовірністю хибної тривоги  $f = P\{\gamma = 1 | H_0\}$  і ймовірністю правильного виявлення сигналу  $P = 1 - f = P\{\gamma = 1 | H_1\}$ .

Із графіка залежності ймовірності виявлення сигналу  $P$  і співвідношення  $b = \frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}$  робимо висновок, що ймовірність виявлення сигналу

залежить від ймовірності хибної тривоги  $f = P\{\gamma = 1 | H_0\}$  і об'єму вибірки. Характеристики виявлення сигналу, які отримані методом статистичного моделювання за різних об'ємів вибірки, показано на рис. 10.

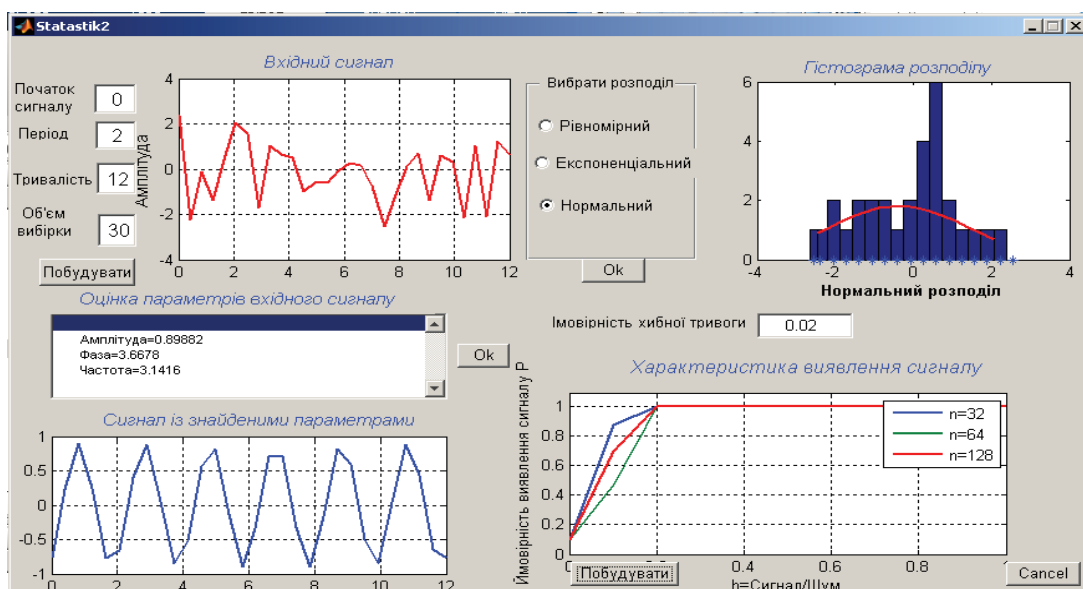


Рис. 7. Головне вікно модуля статистичного моделювання сигналів на фоні завад

```

238 S0(i)=1*cos(i*2*pi*t(i)./tau+f0);
239 end
240 % Суміш сигналів на вході
241 Shum=randn(1,n);
242 X0=S0+Shum;
243
244 % Оцінка обвідної сигналу
245 Um=0;
246 for i=1:n
247     Um=Um+abs(X0(i));
248 end
249 Um=Um/n;
250 strUm=['Амплітуда=' num2str(Um)];
251 set(handles.listbox1,'String',{strUm,' ',' '});
252
253 % Оцінка фази радіосигналу в суміші
254 Sc=0; Sz=0;
255 for i=1:n
256     Sc=Sc+(X0(i)-Um*cos(2*pi*t(i)./tau+ff))*sin(2*pi*t(i)./tau+ff);
257     Sz=Sz+(X0(i)*cos(2*pi*t(i)./tau+ff)-Um*cos(2*pi*t(i)./tau+ff));
258 end
259 ff1=ff-Sc/Sz;
260 while abs(ff1-ff)>0.001
261     ff=ff1;
262     for i=1:n
263         Sc=Sc+(X0(i)-Um*cos(2*pi*t(i)./tau+ff))*sin(2*pi*t(i)./tau+ff);
264         Sz=Sz+(X0(i)*cos(2*pi*t(i)./tau+ff)-Um*cos(2*pi*t(i)./tau+ff));
265     end
266     ff1=ff-Sc/Sz;
267 end

```

Рис. 8. Script-файл програмного коду

```

1 function [M,D,Xz,Ix,egg] = Vybirka( X,s,a )
2 %UNTITLED2 Summary of this function goes here
3 % Detailed explanation goes here
4 Xma=X(1); Xmi=X(1);
5 for i=1:length(X)
6     if X(i)>Xma
7         Xma=X(i);
8     end
9     if X(i)<Xmi
10        Xmi=X(i);
11    end
12 end
13 delta=(Xma-Xmi)/s;
14 for i=1:s+2
15     Ix(i)=Xmi+(2*i-3)*delta/2;
16 end
17 Ix(s+2)=Ix(s+2)+0.01; Ix(1)=Xmi-0.01;
18 M1=0;
19 for i=1:s
20     H(i)=0;
21     for j=1:length(X)
22         if X(j)>=Ix(i) && X(j)<Ix(i+1)
23             H(i)=H(i)+1;
24         end
25     end
26     Xz(i)=(Ix(i)+Ix(i+1))/2;
27     M1=M1+Xz(i)*H(i);
28 end
29 M=M1/s;
30 D=0;
31 for i=1:s

```

Рис. 9. Процедура-функція Vybirka

## 5. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отже, у статті удосконалено науково-методичний апарат статистичної обробки сигналів.

1. У системі Matlab побудовано програмний код, що ґрунтується на графічному інтерфейсі користувача GUIDE, який дозволяє генерувати довільні радіосигнали на фоні завад.

2. Проведена оцінка параметрів радіосигналу у випадку дії завад.

3. На основі статистичного моделювання також проведено аналіз залежності ймовірності виявлення детермінованого сигналу від співвідношення сигнал/шум.

Перспективою подальших досліджень є поєднання нових інформаційних технологій з методами теорії ймовірностей і теорії випадкових процесів.

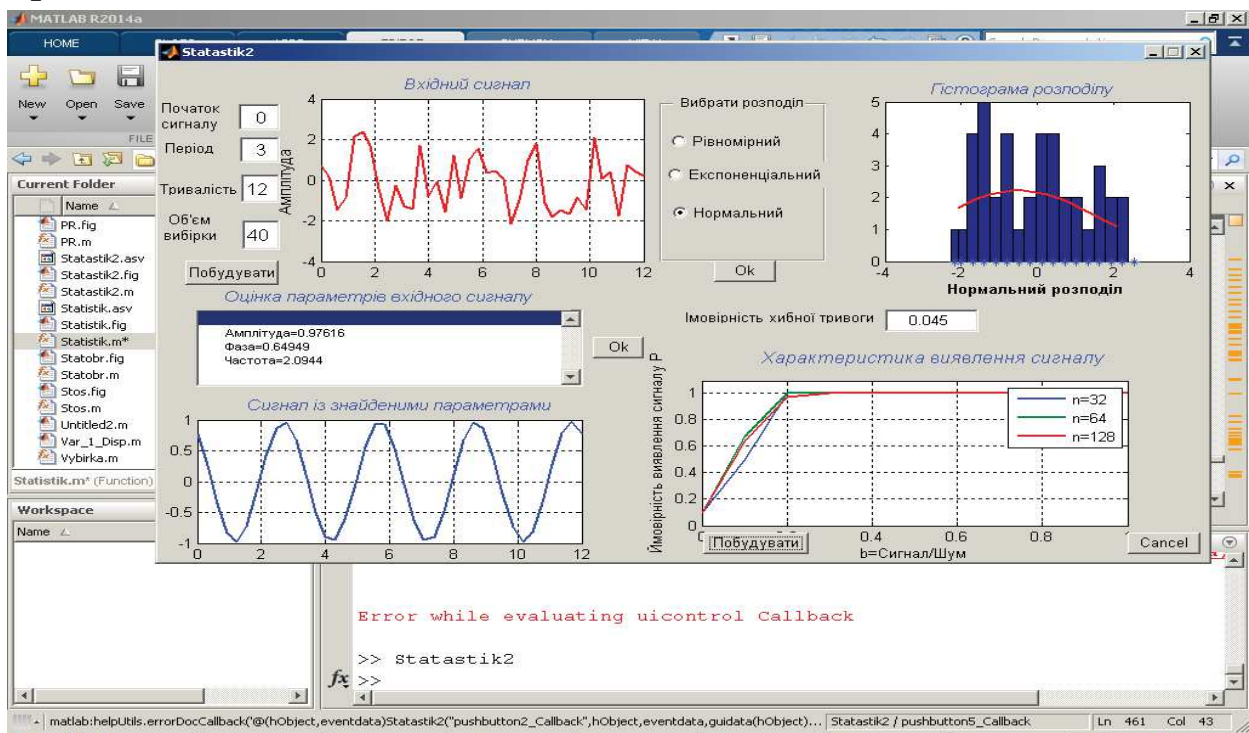


Рис. 10. Характеристики виявлення сигналу

### Список використаних джерел

1. Вохник О. М., Зотов А. М., Короленко П. В., Рыжикова Ю. В. Моделирование и обработка стохастических сигналов и структур : учебное пособие. Москва : Университетская книга, 2013. 125 с.

2. Прокопенко І. Г. Статистична обробка сигналів : навч. посіб. Київ : НАУ, 2011. 220 с.
3. Бадриев И. Б., Бандеров В. В., Задворнов О. А. Разработка графического пользовательского интерфейса в среде MATLAB : учеб. пособ. Казань : КГУ, 2010. 113 с.
4. Трасковецька Л., Вальчук О.; Гащук І. Можливості Matlab у дослідженні спектрального перетворення Фур'є. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. Серія : військові та технічні науки* : наукове видання / [гол. ред. Б. М. Олексієнко]. Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2019. №1 (79). С. 287–291.

### References

1. Vokhnik O. M., Zotov A. M., Korolenko P. V., Ry`zhikova Yu. V. (2013) *Modelirovanie i obrabotka stokhasticheskikh signalov i struktur* [Modeling and processing of stochastic signals and structures] Ucheb. posob. M. : Universitetskaya kniga, 2013. P. 125. [in Russian].
2. Prokopenko I. G. (2011) *Statistichna obrobka signali`v* [Statistical signal processing] navch. posi`b. Kiyiv : NAU, 2011. P. 220. [in Ukrainian].
3. Badriev I. B., Banderov V. V., Zadvornov O. A. (2010) *Razrabotka graficheskogo pol'zovatel'skogo interfeysa v srede MATLAB* [Development of a graphical user interface in the MATLAB environment] ucheb. posob benefit Kazan : KSU, 2010. P. 113. [in Russian].
4. Liliya Traskovecz`ka, Ol`ga Val`chuk; Irina Gashhuk. *Mozhливosti Matlab u doslidzhenni spektral`nogo peretvorenniya Fur`ye* [Matlab's capabilities in the study of spectral Fourier transform] Zbirnyk naukovykh prats` Natsional`noyi akademiyi Derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrayiny im. B. Khmel`nyts`koho [Collection of scientific works of the National Academy of Border Service of Ukraine B. Khmelnytsky] Seriya: viys`kovi ta tekhnichni nauky: naukove vydannya [Series: military and technical sciences: scientific edition] / [editor in chief by B. M. Olek-siyenko] Khmelnytskyi: Edit. NABSU, 2019. № 1 (79). P. 287–291. [in Ukrainian].

### **Traskovetska Liliya, Rudik Oleksandr. Computer methods of statistical signal processing**

The work is devoted to an important topic of information systems theory - the theory and practice of signal detection in interference. In any environment on signal propagation there are obstacles, distorting the structure of the signals and, accordingly, the information they carry. A common property of signals is

their random nature, therefore, the mathematical description of signals uses the apparatus of probability theory. A signal is a carrier of information that is not present at the point of reception until it is accepted. Because object information is encoded in one or more signal parameters - amplitude, frequency, phase, delay time, then at least one of these parameters is unknown to the observer. In addition, the presence of interference and noise, which are random processes, as well as the random parameters of the signal propagation channel, necessitate the application of methods of probability theory and theory of random processes and methods of mathematical statistics in conducting signal processing studies. For mathematical description of signals and interference is used certain models of random processes – Gaussian random processes, non-Gaussian random processes with complex distribution, non-Gaussian Markov random processes. Simulate a random process with a given multidimensional probability distribution density. In work the methodological principles of signal processing under a priori uncertainty when the probability distribution density is unknown are substantiated. The basis of statistical processing of information parameters of signals is based on finding the following information features: average values of intervals, statistical distribution of sample, variance of amplitudes. Using computer simulation in Matlab, using adaptive algorithms generation of mixtures of radio interference of various kinds was carried out. In the process of processing these algorithms also determined statistical estimates of the parameters of the mixture of signal and interference. The calculated signal parameters are used to determine whether the hypothesis that the unknown characteristic has the same value as the result of its evaluation is consistent with the experimental data. To visualize the research, Matlab code was created using a special GUIDE visual programming environment, which allows you to: generate random signals with different types of interference spectrum, display them, build histograms, and select distribution laws that best describe the random process. In addition, the program calculates the probability of detecting a signal and plotting the probability of detecting a signal from the probability of false alarm and the ratio of signal to noise at different sample sizes.

**Key words:** Gaussian random processes; non-Gaussian Markov random processes; Matlab system; graphical user interface GUIDE GUI; statistical signal processing; signal generation; program code.