

## **СПОСІБ ПОСЛІДОВНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИЯВЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ ПРИ АПРІОРНІЙ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЇХ ТРИВАЛОСТІ**

**Г.В. Пєвцов<sup>1</sup>, А.Я. Яцуценко<sup>1</sup>, Д.В. Карлов<sup>1</sup>, М.Ф. Пічугін<sup>1</sup>,  
Ю.В. Трофименко<sup>1</sup>, М.В. Борцова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

<sup>2</sup>*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського „ХАІ”*

*На основі оцінювання дисперсії випадкової величини на інтервалах аналізу різної тривалості визначаються енергетичні відношення правдоподібності і за максимумом енергетичного відношення правдоподібності приймаються рішення про виявлення радіосигналів та визначаються їх тривалості*

## **A METHOD OF SUCCESSIVE RADIO-SIGNALS ENERGY DETECTION UNDER CONDITION OF PRIOR UNCERTAINTY OF THEIR DURATION**

**G.V. Pevtsov<sup>1</sup>, A.Ya. Yatsutsenko<sup>1</sup>, D.V. Karlov<sup>1</sup>, M.F. Pitchugin<sup>1</sup>,  
Yu.V. Trofimenko<sup>1</sup>, M.V. Bortsova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Ivan Kozhedub Kharkiv Aircraft Forces University*

<sup>2</sup>*National Aerospace University named after N. Zhukovsky 'KhAI'*

*By estimating random value dispersion for the analysis intervals of various durations there are determined energy likelihood ratios. On the maximum of the energy likelihood ratio there is made a decision about radio-signals detection and their durations are defined.*

Недоліком відомого способу енергетичного виявлення радіосигналів [1-3] є те, що він не забезпечує оптимальне виявлення при невідомій тривалості радіосигналу.

Основною задачею досліджень є створення способу оптимального за часом і енергетичними втратами виявлення радіосигналів невідомої тривалості та оцінювання їх тривалості, який дозволить гарантовано виявляти радіосигнали заданої енергетики.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що використовуються послідовно інтервали аналізу різної тривалості і здійснюється перевірка величини енергетичного відношення правдоподібності, де сумарна енергія радіосигналу і внутрішнього шуму до усередненої енергії шуму перевищує порогови виявлення для різних інтервалів аналізу і за кількістю перевищень визначається їх тривалість (рис.1).

Сутність запропонованого способу послідовного енергетичного виявлення радіосигналів при апріорній невизначеності їх тривалості полягає в перевірці статистичних гіпотез за критерієм мінімуму середнього ризику при використанні енергетичного відношення правдоподібності, яке ґрунтується на законі збереження енергії і байєсівському підході максимального використання

апріорних даних та полягає у визначенні відношення плинних оцінок енергії суміші радіосигналу і шуму на інтервалі аналізу, рівному тривалості сигналу, до значень усереднених за декілька попередніх інтервалів аналізу енергії шуму протягом періоду слідування радіосигналів і порівнянні енергетичного відношення правдоподібності в кожному інтервалі аналізу з порогом прийняття рішення, що визначається за критерієм Неймана-Пірсона та прийняття рішення про початок часу квазіоптимального виявлення при наявності перевищення порогу виявлення в одному або двох інтервалах аналізу підряд шляхом зрушення часу початку другого інтервалу аналізу на час, пропорційний відношенню енергії радіосигналу першого інтервалу аналізу до суми енергій радіосигналу першого та другого інтервалів аналізу і корегування його при перевірці оптимальності виявлення при будь-якому варіанті перевищення порогу за максимумом енергетичного відношення правдоподібності в діапазоні часу, еквівалентному діапазону можливих флуктуацій усередненого рівня енергії внутрішніх шумів. Прийняття рішення про виявлення радіосигналу здійснюється після порівняння значення  $\Lambda(y)$  енергетичного відношення правдоподібності в кожному інтервалі аналізу для довільного закону розподілу випадкових величин з порогом прийняття рішення  $L_0$ :

$$\Lambda(y) = \frac{W_{\tilde{n}\phi}^{0-\tau_1}}{W_{\phi}^{0-\tau_{1-2}}} > L_0, \quad (1)$$

де  $W_{\tilde{n}\phi}^{0-\tau} = \sum_{i=0}^n \{y_i - \bar{y}\}^2 \Delta t_i$  - оцінка дисперсії нероздільної суми амплітуд

сигналу+шуму радіосигналу на інтервалі рівному тривалості радіосигналу, що еквівалентна оцінці її енергії;

$$\bar{W}_{\phi}^{0-\tau} = \frac{1}{M} \left[ \sum_{i=0}^n \{n_i - \bar{n}\}^2 \Delta t_{i1} + \sum_{j=0}^n \{n_j - \bar{n}\}^2 \Delta t_{j2} + \dots \right] - \text{оцінка усередненого}$$

значення дисперсії амплітуд вхідної реалізації шуму на  $M$  інтервалах рівних тривалості радіосигналу, яка еквівалентна оцінці їх усередненої енергії.

При відсутності апріорної інформації про тривалість радіосигналу енергетичне виявлення радіосигналів полягає у розбиванні часу спостереження радіосигналів  $T$  на інтервали часу рівні тривалості інтервалу аналізу  $\tau_0$  і послідовно кратні тривалості сигналу  $N\tau_0$  (або за іншим законом зміни тривалості інтервалу аналізу) та оцінюванні дисперсії суміші сигналу і шуму на кожному з них. Отримані значення дисперсій становлять джерело для визначення послідовності енергетичних відношень правдоподібності. Енергетичні відношення правдоподібності перших інтервалів аналізу визначаються як відношення оцінки дисперсії плинного інтервалу аналізу до усередненої енергії шуму за попередні періоди слідування зондуючих сигналів, а наступні – як відношення плинної енергії до усередненої енергії  $(i-2)$  інтервалу аналізу. При цьому спосіб енергетичного виявлення дозволяє прийняти рішення про квазіоптимальний прийом за енергетикою на основі аналізу пропорції енергій сигналу в двох інтервалах аналізу, зрушити інтервал

аналізу на час пропорційний відношенню енергії сигналу першого інтервалу аналізу до суми енергій першого та другого інтервалів аналізу.

Положення сигналу квазіоптимальне в енергетичному відношенні сигнал+шум/шум визначається виразом початку цього інтервалу аналізу

$$t_{\delta} = t_k - \frac{(W_1 - \bar{W}_{\sigma})}{W} \tau_0, \quad (2)$$

де  $W = (W_1 - \bar{W}_{\sigma}) + (W_2 - \bar{W}_{\sigma})$  - енергія сигналу при оптимальному енергетичному виявленні;

$W_i$  - значення сумарної енергії в  $i$ -тому інтервалі статистичного оцінювання;

$\bar{W}_{\sigma}$  - усереднене значення енергії шуму;

$(W_1 - \bar{W}_{\sigma})$ ,  $(W_2 - \bar{W}_{\sigma})$  - енергії сигналу у першому і другому інтервалах аналізу, що перекривають інтервал положення радіосигналу;

$t_k$  - положення центру двох сусідніх інтервалів аналізу, що перевищили поріг виявлення.

Заключне прийняття рішення про оптимальне енергетичне виявлення здійснюється шляхом пошуку максимального значення енергетичного відношення правдоподібності при послідовній зміні інтервалу аналізу на крок в діапазоні  $\pm \Delta t$  пропорційному діапазону можливих флуктуацій усереднених енергій внутрішнього шуму приймача:

$$t_{\delta} = (t_k - \frac{(W_1 - \bar{W}_{\sigma})}{W} \tau_0) \pm \Delta t. \quad (3)$$

Тривалість радіосигналу оцінюється добутком тривалості інтервалу аналізу  $\tau_0$  на суму кількості інтервалів аналізу  $m$ , де здійснене перевищення порогу прийняття рішення, плюс відношення енергетичних відношень правдоподібності першого і останнього інтервалів аналізу до усередненого значення відношення правдоподібності за всі інтервали аналізу

$$\tau = \tau_0 \left( m + \frac{(W_1 - \bar{W}_{\sigma})}{W} + \frac{(W_{m+1} - \bar{W}_{\sigma})}{W} \pm \Delta W / W \right). \quad (4)$$

Енергетична чутливість приймача визначається тривалістю інтервалу статистичного аналізу. Якість гарантованого виявлення визначається кривими виявлення для заданого значення відношення енергії радіосигналу до усередненої енергії шуму.

На рис. 1 приведений спосіб послідовного енергетичного виявлення радіосигналів при апріорній невизначеності їх тривалості.

На рис.2 приведена залежність умовної ймовірності правильного виявлення сумарної енергії детермінованого радіосигналу і гаусівського шуму від відношення енергії радіосигналу до енергії шуму для різних тривалостей радіосигналів  $\tau = n / f_d$  при фіксованій ймовірності хибних тривог  $F = 10^{-6}$ ,  $f_d$  - частота дискретизації вхідної реалізації в АЦП,  $n$  - кількість вибірок за тривалість радіосигналу. На рис.3 подана залежність порогу прийняття рішення про виявлення радіосигналу від його тривалості для моделі  $\chi^2$ - розподілу.

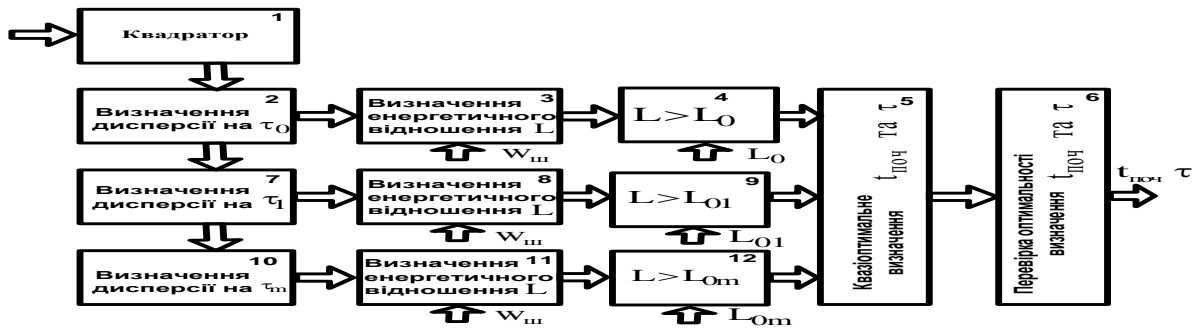


Рис. 1 Спосіб послідовного енергетичного виявлення радіосигналів при апріорній невизначеності їх тривалості

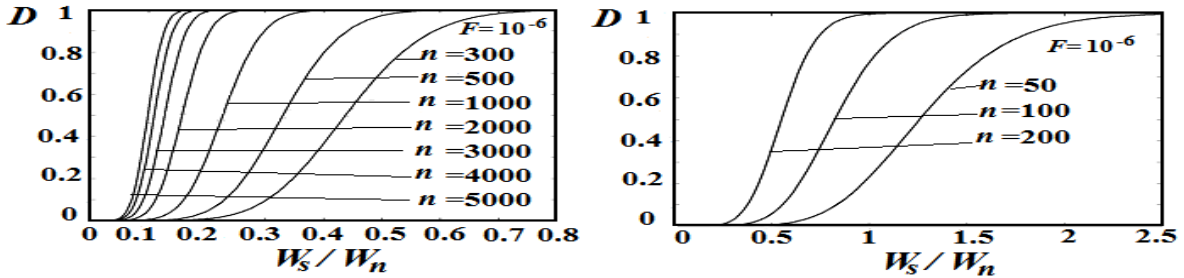


Рис.2 Залежність умовної ймовірності правильного виявлення сумарної енергії детермінованого радіосигналу і гаусівського шуму від відношення енергії радіосигналу до енергії шуму

На рис.4 приведена ілюстрація способу послідовного виявлення радіосигналу при інтервалах аналізу різної тривалості.

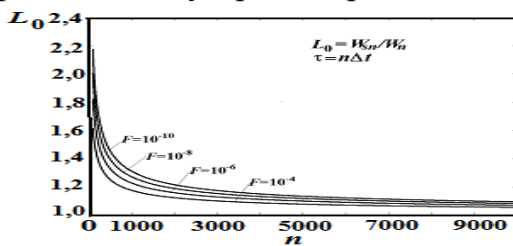


Рис.3 Залежність порогу прийняття рішення про виявлення радіосигналу від його тривалості

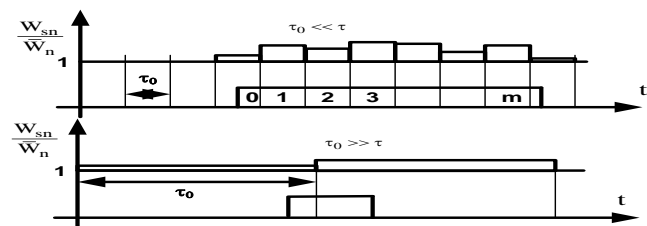


Рис.4 Ілюстрація виявлення тривалого радіосигналу при інтервалах аналізу тривалості  $\tau \ll \tau_0$  і  $\tau_0 \ll \tau$

## Висновок

На основі оцінювання дисперсії випадкової величини на інтервалах аналізу різної тривалості визначаються енергетичні відношення правдоподібності, які порівнюються з порогоми виявлення, що розраховуються на основі критерію Неймана-Пірсона для різної тривалості радіосигналів, і за максимумом енергетичного відношення правдоподібності приймається рішення про виявлення радіосигналів та визначення їх тривалості.

## Література

1. Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, Ю.В. Трофименко *Метод енергетичного виявлення радіосигналів // Системи управління, навігації та зв'язку*. - К.: -2010.-№4(16).-с.72-76.
2. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., Трофименко Ю.В. *Теоретичні основи новітніх технологій побудови радіолокаційних систем // Наука і оборона. Науково-теоретичний та науково-практичний журнал*. №2.- 2014.- с.45-53
3. Патент на корисну модель 57216. Україна, МПК G01S 7/02. *Процес енергетичного виявлення радіосигналів Г.В.Певцов, А.Я.Яцуценко, та ін.*; - №201012202; заявл. 15.10.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. №3.