

УДК 621.396

О.В. Тесленко, В.А. Ковальчук, С.В. Бровченко, А.І. Мовчан

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## СТАБІЛІЗАЦІЯ РІВНЯ ХИБНИХ ТРИВОГ ЗА РАХУНОК ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЗОНДУВАЛЬНОГО СИГНАЛУ РЛС

В статті розглянуто можливість застосування адаптивної системи зміни параметрів зондувального сигналу РЛС для стабілізації рівня хибних тривог в автоматичних пристроях виявлення в залежності від зміни заводої обстановки. В якості зондувальних сигналів в РЛС запропоновано використовувати сигнали з фазовою модуляцією кодами Баркера та М-последовностями різної тривалості. Надані рекомендації щодо використання пристрою адаптації параметрів зондувального сигналу у нових зразках засобів радіолокації.

**Ключові слова:** рівень хибної тривоги, активна шумова завада, рівень шумів, сигнали з фазовою модуляцією.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В РЛС перших поколінь функцію виявлення цілей виконувала людина оператор, що ухвалювала рішення про наявність або відсутність цілі по інтенсивності відмітки індикатора кругового огляду. Застосування автоматичного виявлення радіолокаційних сигналів та вторинної обробки в сучасних РЛС дало змогу виконувати процес виявлення цілі на фоні шуму та зав'язку траєкторії цілі автоматично.

В [1] наводиться порівняльна характеристика автоматичних двох альтернативних та трьох альтернативних пристроїв виявлення радіолокаційних сигналів різного типу. Якість роботи автоматичного пристрою виявлення визначається вірогідністю правильного виявлення та вірогідністю хибної тривоги [2].

Сигнал на виході приймальної системи РЛС являє собою випадковий процес. Для двох альтернативних пристроїв виявлення рішення про наявність сигналу цілі ухвалюється на основі статистичної теорії випробування гіпотез. За вибірками  $y_1, y_2, \dots, y_N$  прийнятого сигналу ухвалюється гіпотеза  $A_0$  (наявність тільки шуму) або гіпотеза  $A_1$  (наявність сигналу цілі й шуму). При цьому можливі два види помилок: хибна тривога – гіпотеза  $A_0$  дійсна, а ухвалюється гіпотеза  $A_1$ , і пропуск цілі – гіпотеза  $A_1$  дійсна, а ухвалюється гіпотеза  $A_0$ . Загальний підхід полягає в мінімізації ймовірності помилкових рішень. Оскільки в загальному випадку неможливо незалежно мінімізувати ймовірність пропуску й хибної тривоги, то застосовується критерій Неймана-Пірсона [2], за яким мінімізується ймовірність пропуску для заздалегідь обраної постійної ймовірності хибної тривоги. Відповідно до зазначеного критерію для кожного елементу розрішення обчислюється відношення правдоподібності:

$$I_N = \prod_{i=1}^N \frac{p_{сш}(y_i)}{p_{ш}(y_i)}, \quad (1)$$

де  $p_{сш}(y_i)$  – щільність імовірності суміші сигналу й шуму для  $i$ -тої вибірки, а  $p_{ш}(y_i)$  – щільність імовірності шуму для тієї ж вибірки.

З виразу (1) видно, що відношення правдоподібності залежить від кількості вибірок (кількості дискрет аналізу) та відношення сигнал-шум на вході пристрою виявлення.

Тобто при роботі автоматичних пристроїв виявлення постає важлива задача стабілізації ймовірності хибної тривоги на рівні заданої під час зміни відношення сигнал-шум на вході пристрою виявлення.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Задачі синтезу оптимальних пристроїв виявлення вирішуються в уявленні апіорі відомої заводої ситуації та при заданих енергетичних та статистичних характеристиках корисних сигналів. Отримані таким чином оптимальні алгоритми мають найкращі характеристики тільки для тих умов функціонування, що приймалися при їх синтезі. Зміна заводої обстановки або відхилення від прийнятих при синтезі характеристик сигналів призведе, як правило, до різкого погіршення ефективності алгоритмів або навіть до втрати їх працездатності [3]. В загальному випадку стійкість роботи пристроїв виявлення залежить від відношення сигнал-шум на їх вході та визначення статистичних параметрів шумового (заводої) сигналу.

На теперішній час існують адаптивні, непараметричні, адаптивно-непараметричні та робастні методи стійкого виявлення та стабілізації рівня хибної тривоги які в загальному вигляді можна розділити на додетекторні та після детекторні методи стабілізації рівня хибної тривоги.

Застосування в сучасних РЛС передавальних пристроїв на твердотільних активних елементах з цифровими збуджувачами сигналів, а також приймальних пристроїв зі змінними параметрами, дає змогу в якості адаптивного методу стабілізації рівня хибної тривоги застосовувати зміну параметрів (тривалості) зондувальних сигналів РЛС в залежності від заводої обстановки, що складається.

**Метою даної статті** є застосування адаптивного методу стабілізації рівня хибної тривоги пристрою виявлення РЛС за рахунок автоматичної зміни тривалості зондувального сигналу РЛС.

## Виклад основного матеріалу

В [2] наведені показники якості виявлення поодиноких імпульсів пачки відбитих від цілі сигналів при когерентному та некогерентному накопиченню сигналів. Показником якості пристрою виявлення вибраний коефіцієнт розрізнення. Так для ймовірності правильного виявлення  $D = 0,9$  та ймовірності хибної тривоги  $F = 10^{-6}$  для виявлення поодинокого сигналу без флюктуацій, необхідне відношення сигнал-шум на вході пристрою виявлення складає 13,2 дБ. В [4] показано, що для роботи пристрою виявлення з заданими параметрами необхідне відношення сигнал-шум на його вході не менше 12 дБ. При зменшенні відношення сигнал-шум спостерігається процес збільшення ймовірності хибної тривоги. Таким чином, для забезпечення стабільності ймовірності хибної тривоги необхідно забезпечити на вході пристрою виявлення відношення сигнал-шум не менше ніж 12 дБ при різній заводській обстановці.

Для підтримання рівня сигнал-шум на вході пристрою виявлення не менше заданого пропонується при збільшенні рівня шумового заводського сигналу на виході лінійної частини приймального пристрою збільшувати потужність зондувального сигналу РЛС. Збільшення потужності зондувального сигналу можна проводити за рахунок збільшення імпульсної потужності передавача, або за рахунок збільшення тривалості зондувального сигналу при незмінній піковій імпульсній потужності сигналу.

Доцільно в якості зондувального сигналу РЛС використовувати імпульсний сигнал з фазовою модуляцією кодами Баркера різної тривалості (3, 5, 7, 11 та 13 елементні коди Баркера) або М-последовностями. При цьому параметри точності та розрізняювальної здатності РЛС не будуть залежити від збільшення тривалості зондувального сигналу, а будуть визначатися тривалістю дискрети фазо-коду маніпульованого (ФКМ) сигналу. При застосуванні ФКМ зондувального сигналу різної тривалості немає необхідності в перебудові передавального та приймального пристрою РЛС. При збільшенні тривалості ФКМ сигналу збільшується тільки споживана потужність передавального пристрою РЛС. Приймальний пристрій повинен бути узгодженим з тривалістю дискрети ФКМ сигналу. Структурна схема РЛС з застосуванням ФКМ сигналу різної тривалості представлена на рис. 1.

Особливістю побудови РЛС є аналізатор рівня заводських шумів, який керує процесом формування ФКМ сигналу різної тривалості в збуджувачі та схемою декодування ФКМ сигналу в приймальному пристрої в залежності від рівня шумів на виході лінійної частини приймального пристрою.

Побудова аналізатору шума може бути основана на двох алгоритмах роботи. В першому випадку: знаючи динамічний діапазон виходу лінійної частини приймального пристрою визначається фіксований рівень порогу на 12 дБ менший максимальної амплітуди вихідного сигналу. При перевищенні шу-

мами рівня порогу відбувається формування сигналу управління для збільшення тривалості зондувального сигналу.

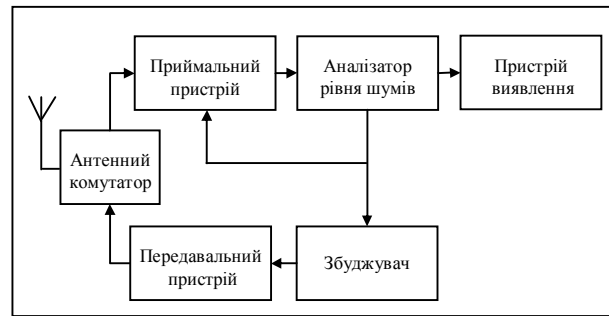


Рис. 1. Структурна схема РЛС

Найпростіше реалізується даний алгоритм роботи при цифровій обробці сигналу. При  $n$ -розрядному аналого-цифровому перетворенні (АЦП) сигналу на виході приймального пристрою рівень порогу відповідає  $n - 2$  розряду АЦП, (12 дБ відповідають двом старшим розрядам перетворювача). Структурну схему цифрового аналізатора рівня шуму представлено на рис. 2. Сигнали переповнення  $n - 2$  розряду АЦП поступають на пристрій критерійної обробки  $k/m$ , що виконаний за принципом ковзаючого за дальністю вікна на  $m$  регистрах зсуву. Розміри вікна вибираються з розсуду не допущення спрацювання схеми переключення за відбиттям від протяжних місцевих предметів та атмосферних утворень і складає 20 дискрет за дальністю. В якості критерію обробки вибирався критерій 18/20. Робота цифрового аналізатора шуму тактується імпульсами з частотою  $F_T = 1/\tau_d$ , де  $\tau_d$  – дискрета ФКМ зондувального сигналу, що відповідає елементу розрішення за дальністю.

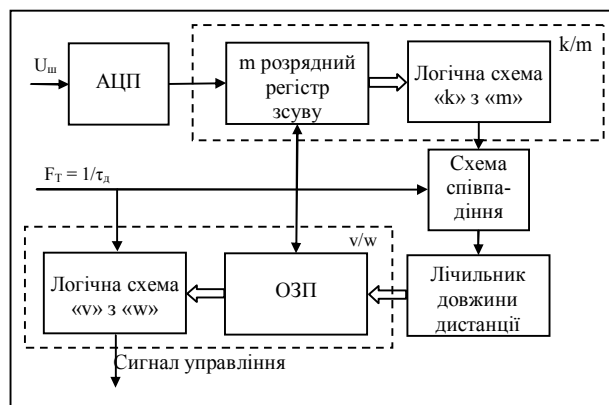


Рис. 2. Структурна схема цифрового аналізатора рівня шуму

При виконанні критерію  $k/m$  сигнал через схему співпадіння потрапляє на лічильник дистанції, що за тактовими імпульсами визначає тривалість дії завади від початку спрацювання критерійної схеми до кінця дистанції. При невиконанні умови критерію  $k/m$  для подальших елементів розрішення за дальністю інформація в лічильник дальності не потрапляє і він скидується в нульове положення. Та-

ким чином відбувається селекція відбитих шумових сигналів від протяжних місцевих предметів та атмосферних утворень.

За імпульсом кінця дистанції цифровий код довжини дистанції впливу завади записується в оперативний запам'ятовувачий пристрій (ОЗП). ОЗП та логічна схема  $v/w$  забезпечують критерійну обробку шумового сигналу за азимутом. Після критерійної обробки  $6/7$  при співпадінні довжини коду дистанції  $\pm 3$  дискрети дальності у сусідніх каналах азимуту приймається рішення для збільшення тривалості коду зондувального сигналу.

Другий алгоритм роботи аналізатора рівня шуму може бути оснований на перебільшенні шумового сигналу фіксованого рівня порогу. В аналізаторі застосовуються чотири рівня порогу, що відповідають розрахованому рівню прийнятого сигналу від цілі з заданою ефективною поверхнею розсіювання ( $\sigma = 1\text{ м}^2$ ) на максимальній дальності виявлення РЛС при опромінуванні її сигналами 5-ти, 7-ми, 11-ти та 13-ти елементними ФКМ зондувальними сигналами модульованими кодами Баркера. Для цілей з більшим значенням ЕПР параметри виявлення будуть забезпечуються автоматично. Структурна схема аналізатора представлена на рис. 3.

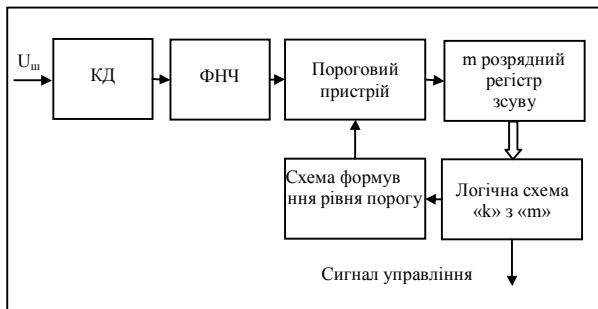


Рис. 3. Структурна схема аналізатора рівня шуму

Для виділення шумового сигналу використовується квадратурний детектор з фільтром, постійна накопичення якого наближається до періоду випромінювання зондувальних сигналів та забезпечує усереднення рівня шумів на одному азимутальному напрямку за дальністю. З виходу фільтра сигнал поступає на пороговий пристрій. При перебільшенні рівня порогу сигнал потрапляє на пристрій критерійної обробки  $k/m$ . Застосування критерійної обробки  $6/7$  відповідає усередненню прийнятого шумового сигналу за азимутом. З виходу схеми критерійної обробки сигнал управління поступає на схему формування зондувального сигналу для збільшення тривалості ФКМ сигналу та на пристрій формування порогу, для зміни рівня порогу енергетично більшого ФКМ зондувального сигналу.

Структурна схема формувача ФКМ сигналу зі змінною тривалістю представлена на рис. 4 та представляє собою схему пасивного формувача ФКМ сигналів на проміжній частоті [2] з керованими комутаторами фази ( $0/\pi$ ).

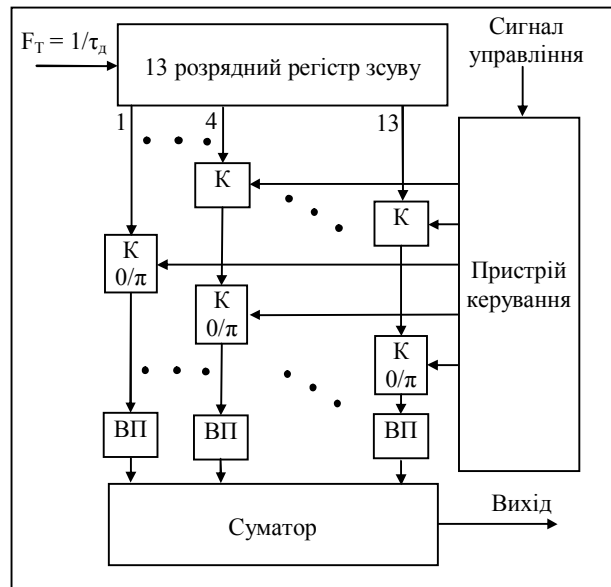


Рис. 4. Структурна схема формувача ФКМ сигналу

Для формування зондувального сигналу різної тривалості використовуються 13 розрядний регістр зсуву та електронні комутатори (К), що під'єднують 4 – 13 виходи регістрів зсуву до комутаторів фази. Мінімальна тривалість зондувального ФКМ сигналу дорівнює трьом дискретам. З виходу комутаторів фаз сигнали підсилюються в вагових підсилювачах та додаються в вихідному суматорі. В приймальному пристрої використовується аналогічний декодер ФКМ сигналу.

## Висновки

Застосування пристрою вимірювання рівня шуму в приймальному тракті РЛС дає можливість підтримувати відношення сигнал-шум на вході пристрою виявлення не менше заданого за рахунок автоматичної зміни тривалості ФКМ зондувального сигналу РЛС при впливі активної шумової завади, тим самим забезпечуючи стабілізацію рівня хибної тривоги пристрою виявлення РЛС.

## Список літератури

1. Radar automatic detection. Dillard G.M., Dillard R.A. *Microwave J.* 1985, 28, N6, 125-126, 128-130.
2. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
3. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
4. Левченко Л.С. Теоретические основы радиолокации. Расчет характеристик обнаружителей / Л.С. Левченко. – Х.: ВИРТА, 1984. – 228 с.

Надійшла до редколегії 11.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, доц. Р.Є. Пашенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**СТАБИЛИЗАЦИЯ УРОВНЯ ЛОЖНЫХ ТРЕВОГ  
ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА РЛС**

О.В. Тесленко, В.А. Ковальчук, С.В. Бровченко, А.И. Мовчан

*В статье рассмотрена возможность применения адаптивной системы изменения параметров зондирующего сигнала РЛС для стабилизации уровня ложных тревог в автоматических обнаружителях в зависимости от изменения помеховой обстановки. В качестве зондирующих сигналов в РЛС предложено использовать сигналы с фазовой модуляцией кодами Баркера и M-последовательностями разной длительности. Предоставленные рекомендации относительно использования устройства адаптации параметров зондирующего сигнала в новых образцах средств радиолокации.*

**Ключевые слова:** *уровень ложной тревоги, активная шумовая помеха, уровень шумов, сигналы с фазовой модуляцией.*

**STABILIZATION OF FALSE ALARM LEVEL AT THE EXPENSE OF CHANGE  
OF PROBING SIGNAL RADAR PARAMETERS**

O.V. Teslenko, V.A. Kovalchuk, S.V. Brovchenko, A.I. Movchan

*In article possibility of application of adaptive system of change of probing signal radar parameters for stabilization false alarms level in automatic detectors depending on change hindrance conditions is considered. As probing signals in radars it is offered to use signals with phase modulation by codes Barker and M-sequences of different duration. The given recommendations concerning use of the device of probing signal parameters adaptation in new radars.*

**Keywords:** *false alarm level, active noise hindrance, level of noise, signals with phase modulation.*