

УДК 621.396.967

О.А. Малишев, В.В. Сидоров, І.М. Невмержицький

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕДУРИ НАСТРОЮВАННЯ СИСТЕМИ ПЕЛЕНГУВАННЯ ПОСТАНОВНИКІВ АКТИВНИХ ЗАВАД В РЛС "СТАРОВОГО ПАРКУ"

Системи пеленгування постановників активних завад (ПАЗ) в РЛС "старого парку" типу 5Н84А реалізують амплітудний одноканальний метод пеленгування з багатоканальним прийомом за бічними пелюстками діаграми спрямованості основної антени РЛС. Якість пеленгування в таких системах залежить від ступеня ідентичності характеристик приймальних каналів, настроювання яких здійснюється обслугою станції на сьогодні лише вручну. В статті запропоновано використання автоматизованого вимірювального комплексу для автоматизації процедури настроювання системи пеленгування ПАЗ.

**Ключові слова:** радіолокаційна станція, пеленгування постановників активних завад, вимірювання параметрів сигналів, мікроконтролер.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз стану й розвитку збройних сил багатьох країн показує все зростаючу роль засобів радіоелектронної боротьби у військових конфліктах. При цьому велика увага приділяється радіоелектронному подавленню засобів радіолокації. При постановці шумових завад середньої та великої інтенсивності бойові розрахунки РЛС, внаслідок виникаючих засвітів на екранах індикаторів кругового огляду, стають нездатними виявляти повітряні цілі на їхньому фоні [1].

У випадку неефективності таких заходів, як включення автокомпенсатора, перехід на запасні частоти, оператор РЛС може видати лише пеленг на ПАЗ, що надалі дозволить визначити його просторові (площинні) координати на командних пунктах радіотехнічних частин (підрозділів) шляхом рішення, наприклад, триангуляційної задачі. При цьому до інформації про пеленг на ПАЗ висувається ряд вимог, серед яких важливе місце займають вимоги до вірогідності та точності. Одним зі шляхів задоволення зазначеним вимогам є використання багатоканальної системи пеленгування. Така система дозволяє усунути хибні пеленги; але в той же час зазначений спосіб побудови пеленгатора вимагає високого ступеня ідентичності характеристик приймальних каналів [1].

Зокрема, в РЛС типу 5Н84А (які належать до станцій «старого парку») є п'ять таких каналів [2]. З огляду на елементну базу станції (в основному це електровакуумні лампи, в окремих випадках – напівпровідникові прилади), можна відзначити, що настроювання приймальних каналів пеленгаційного пристрою є досить трудомісткою й рутинною роботою.

Беручи до уваги численність РЛС типу 5Н84А в військах, доцільно поставити питання про автоматизацію, а, отже, і про спрощення процедури настроювання системи пеленгування в станціях зазначеного типу, що дозволить підвищити якість вирі-

шення триангуляційної задачі при визначенні координат ПАЗ.

**Аналіз літератури.** Першоджерелом щодо настроювання системи пеленгування ПАЗ РЛС 5Н84А є технічна документація на станцію [3]. На початку 80-х років минулого століття в [4] була дещо впорядкована послідовність виконання операцій, яка викладена в [3]. Відомі спроби модернізувати в цілому систему пеленгування РЛС 5Н84А (приклади наведені в [5, 6]), але практичного втілення вони не знайшли. Тому на сьогодні в військах при технічному обслуговуванні системи пеленгування РЛС як і раніше користуються зазначеними вище джерелами [3, 4].

**Метою статті** є розкриття питання щодо автоматизації процедури настроювання системи пеленгування ПАЗ в РЛС "старого парку" типу 5Н84А з використанням автоматизованого вимірювального комплексу (АВК), що дозволить суттєво спростити операції по регулюванню параметрів системи й підвищити якість пеленгування ПАЗ.

### Основна частина

Для розкриття принципів настроювання системи пеленгування ПАЗ РЛС 5Н84А доцільно розглянути порядок її роботи за структурною схемою, наведеною на рис. 1.

Шумові сигнали, прийняті антенами А0...А4, підсилюються у відповідних підсилювачах високої частоти (ПВЧ), після чого в змішувачах Зм (за допомогою гетеродинної напруги) їхній спектр переноситься на проміжну частоту. Далі протягом так званого «Строба П» (на ділянці дистанції від 400 км до 450 км) вони надходять на логарифмічні підсилювачі проміжної частоти (ЛППЧ). В цих підсилювачах логарифмічна амплітудна характеристика (АХ) формується за допомогою шести послідовно з'єднаних ідентичних каскадів, кожний з яких містить підсилювач-обмежувач та детектор [2].

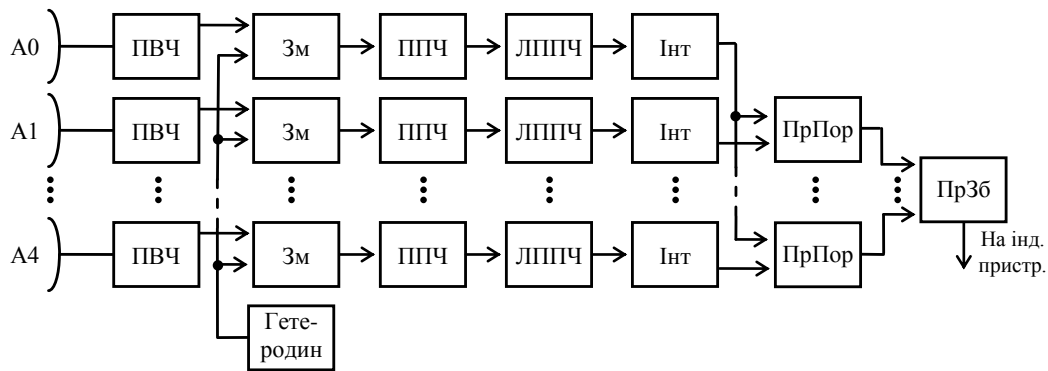


Рис. 1. Структурна схема системи пеленгування ПАЗ РЛС

Всі підсилювачі-обмежувачі повинні мати однакові значення коефіцієнтів підсилення  $k$  та рівнів обмеження  $U_0$ . Продетектовані сигнали з виходів усіх шести каскадів складаються в суматорі. При такій побудові ЛППЧ його АХ (для  $n$  каскадів) описується співвідношенням

$$U_{\text{вих}} = \begin{cases} k^n U_{\text{вх}}, & U_{\text{вх}} \leq \frac{U_0}{k^n}; \\ U_0 \left( 1 + \log_k \frac{k^n U_{\text{вх}}}{U_0} \right), & U_{\text{вх}} > \frac{U_0}{k^n}. \end{cases}$$

Результуючі сигнали з виходів ЛППЧ далі поступають на відповідні інтегратори Інт, де здійснюється усереднення рівня завад у кожному каналі. Після інтегрування сигнали основного каналу порівнюються за допомогою пристроїв порівняння ПрПор із сигналами кожного з допоміжних каналів. Якщо сигнал основного каналу перевищує сигнал допоміжного каналу, то на виході відповідного пристрою порівняння формується напруга у вигляді логічної «1».

Результати порівняння надходять на пристрій збігу ПрЗб. Якщо рівень завад в основному каналі вище рівня завад у кожному з допоміжних каналів, то на виході пристрою збігу формується так званий потенційний сигнал пеленга СигнП, з якого надалі в індикаторному пристрої формується мітка пеленга [2 – 4].

Ідентичності каналів системи пеленгування ПАЗ в РЛС домагаються шляхом установки необхідних коефіцієнтів підсилення окремих каскадів у кожному каналі. Процес налаштування складається з чотирьох етапів [3, 4] і може бути представлений у вигляді алгоритму (рис. 2).

Коротко зміст кожної операції можна описати наступним чином.

1. При перевірці ідентичності АХ ЛППЧ на їх вхід подаються сигнали у вигляді радіоімпульсів різної амплітуди. Вихідні сигнали ЛППЧ порівнюються і при необхідності здійснюється вирівнювання їх АХ. При цьому коректуються початкова й кінцева ділянки характеристики (рис. 3).

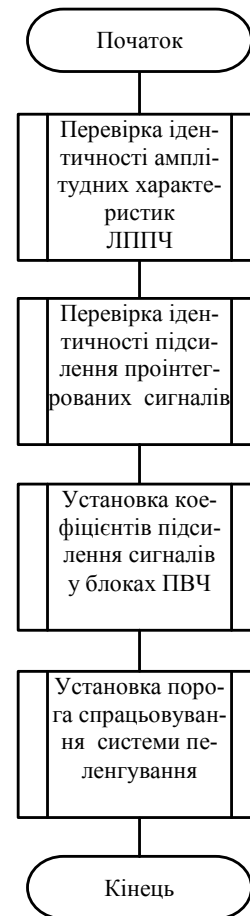


Рис. 2. Алгоритм налаштування системи пеленгування ПАЗ РЛС 5Н84А

2. При перевірці ідентичності підсилення проінтегрованих сигналів (на виходах інтеграторів Інт) вимірюється амплітуда спочатку власних шумів приймальних каналів, а потім (після подачі на вхід ЛППЧ послідовності радіоімпульсів) – амплітуда відеоімпульсів. Виміряні значення порівнюються із заданими, і далі (при необхідності) налаштовуються пристрої порівняння ПрПор шляхом регулювання підсилювачів, що входять до їхнього складу (на рис. 1 не показані).

3. При установці коефіцієнтів підсилення сигналів в блоках ПВЧ на їх вхід подаються радіоімпульси різної амплітуди, значення яких підбираються з урахуванням коефіцієнтів підсилення антен А0...А4.

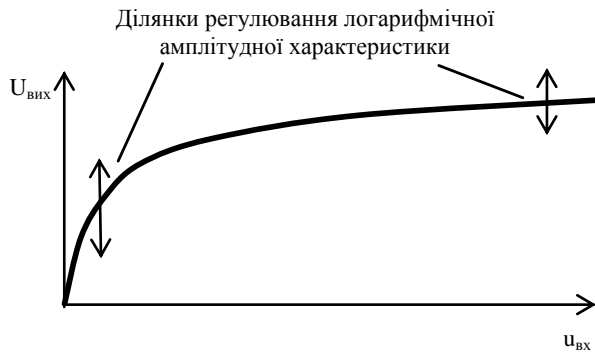


Рис. 3. До пояснення порядку коректування амплітудної характеристики ЛППЧ

Регулювання блоків здійснюється по вихідним сигналам ЛППЧ.

4. При установці порога спрацьовування системи пеленгування ПАЗ до основного каналу спочатку вводяться коливання нормованої величини, а потім за їх допомогою виставляється необхідний коефіцієнт підсилення блока ПВЧ.

Зазначені операції здійснюються за допомогою генератора сигналів типу Г4-107, який забезпечує формування сигналів на високій та на першій проміжній частоті приймального пристрою РЛС 5Н84А, а також осцилографа типу С1-65.

У цілому на перевірку й налаштування системи пеленгування витрачається тридцять хвилин, що складає чималу частину часу, передбаченого для проведення технічного обслуговування станції в цілому [4].

Запропонована в статті автоматизація процесів перевірки технічного стану й налаштування системи пеленгування РЛС "старого парку" типу 5Н84А передбачає використання автоматизованого вимірювального комплексу.

АВК складається з блока управління (БУ) та набору комутаторів. На БУ (який є основою АВК) покладається виконання таких функцій.

1. Генерування безперервного гармонічного коливання  $u_{\text{гарм}}$  з параметрами:  $f_0 = 160 \dots 200$  МГц,  $U = 1 \cdot 10^{-6} \dots 1$  В.

2. Формування сигналів  $u_{\text{р11}}$  та  $u_{\text{р12}}$  у вигляді послідовності радіоімпульсів з параметрами:

– сигнал  $u_{\text{р11}}$ :  $f_0 = 160 \dots 200$  МГц,  $U = 1 \cdot 10^{-6} \dots 1$  В,  $F_{\text{п}} = 1$  кГц,  $\tau_i = 0,5$  мс;

– сигнал  $u_{\text{р12}}$ :  $f_0 = 25,9$  МГц,  $U = 1 \cdot 10^{-6} \dots 1$  В,  $F_{\text{п}} = 1$  кГц,  $\tau_i = 0,5$  мс.

3. Вимірювання амплітуди вхідних відеоімпульсів.

4. Визначення параметрів (полярності та амплітуди) вхідної постійної напруги.

5. Визначення потужності вхідних (продетектованих) шумових коливань.

6. Порівняння виміряних параметрів із еталонними значеннями.

7. Відображення на екрані дисплея:

– значень виміряних параметрів;

– ступеня відхилення параметрів вхідних сигналів від еталонних значень;

– результатів порівняння параметрів вхідних сигналів та еталонних значень у вигляді "НОРМА" або "НЕ НОРМА".

Для забезпечення виконання зазначених операцій БУ пропонується реалізувати на базі мікроконтролера (МК), параметри якого вибираються з таких міркувань.

1. Швидкодія визначається, виходячи з ширини спектра вхідних сигналів  $\Delta f_{\text{вх}}$ . Найбільше значення  $\Delta f_{\text{вх}}$  мають відеоімпульси тривалістю 0,5 мс. Виходячи з цього вимоги до тактової частоти МК  $F_{\text{т}}$  є невисокими, і значення  $F_{\text{т}}$  може обмежуватись одиницями мегагерц.

2. Розрядність  $n$  має складати

$$n \geq \frac{\Delta D_{\text{ЛППЧ}}}{b},$$

де  $\Delta D_{\text{ЛППЧ}}$  – динамічний діапазон ЛППЧ;

$b$  – розрахунковий коефіцієнт (визначає частку динамічного діапазону, яка при квантуванні сигналу по рівню забезпечується одним розрядом АЦП).

При  $\Delta D_{\text{ЛППЧ}} = 60$  дБ [2] та  $b = 6$  [1] кількість розрядів МК має бути не менш десяти.

3. Вимоги до обсягу оперативного запам'ятовуючого пристрою при наведених вище параметрах вхідних сигналів і порядку їх обробки не є жорсткими, що дозволяє обмежитися одиницями кілобайт.

Серед відомих МК зазначені параметри має, наприклад, мікроконтролер типу АТmega64.

Основні характеристики такого МК наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики МК типу АТmega64

Характеристика (параметр)	Значення
Тактова частота МК	4...16 МГц
Кількість каналів МК	8
Кількість АЦП в МК	1
Кількість розрядів АЦП	10
Час виконання одного перетворення в АЦП	65...260 мкс
Розмір оперативного запам'ятовуючого пристрою	4 кБ

Окрім мікроконтролера до складу БУ мають також входити опорні генератори (для формування сигналів  $u_{\text{гарм}}$ ,  $u_{\text{р11}}$  та  $u_{\text{р12}}$ ), буферні підсилювачі (для узгодження роботи МК та комутаторів), а також алфавітно-цифрового рідинно-кристалічного дисплея (інформація на якому відображається в 2 рядки, по 16 символів в кожному).

Опорні генератори можуть бути виконані на базі сучасних синтезаторів частот (в яких передбачена зміна робочої частоти), або у вигляді звичайних транзисторних генераторів з кварцовою стабілізацією.

Буферні підсилювачі можливо виконати на ос-

нові диференціальних підсилювачів з відповідними частотними характеристиками.

В якості алфавітно-цифрового рідинно-кристалічного дисплея може бути вибраний прилад, наприклад, типу WD-C1602, BC1602 або SC1602.

Комутатори, що входять до складу АВК, являють собою фактично реле трьох видів.

1. Реле, що здатні здійснювати комутацію сигналів  $u_{\text{гарм}}$  та  $u_{\text{рі1}}$ .
2. Реле, що здатні здійснювати комутацію сигналів  $u_{\text{рі2}}$ .
3. Реле, що здатні здійснювати комутацію НЧ-сигналів.

Усі реле мають 2 сигнальні входи та 1 вихід. Управління станом реле здійснюється з БУ.

Порядок підключення АВК до апаратури пеленгування ПАЗ РЛС 5Н84А наведений на рис. 4. Порядок проходження сигналів в схемі наступний.

На комутатори Ком1 надходять сигнали або з антен А0...А4 (шумові коливання), або з БУ (сигнали  $u_{\text{гарм}}$ ,  $u_{\text{рі1}}$ ). З виходу комутаторів ці сигнали поступають на блоки ПВЧ відповідних каналів.

На комутатори Ком2 надходять сигнали або з ЛППЧ відповідних каналів, або з БУ (сигнали  $u_{\text{рі2}}$ ). З

виходу комутаторів ці сигнали поступають на вхід ЛППЧ.

На комутатори Ком3 надходять сигнали або з виходів відповідних ЛППЧ (послідовність відеоімпульсів), або з інтеграторів Інт (постійна напруга, продетектовані шумові коливання). З виходу комутаторів сигнали поступають на БУ для вимірювання їх параметрів та відображення результатів на дисплеї блока.

Розглянуті вище можливості АВК дозволяють запропонувати наступну методику перевірки технічного стану та настроювання системи пеленгування ПАЗ РЛС 5Н84А.

Перш за все слід зазначити, що кожна операція алгоритму (рис. 2) передбачає подачу на апаратуру станції сигналів з БУ та вимірювання відповідних параметрів сигналів з виходів ЛППЧ або інтеграторів Інт (рис. 4). Після кожного вимірювання на екрані дисплея БУ відображаються його результати, і при необхідності (у випадку відхилення параметрів сигналів від еталонних значень більше припустимої величини і відображення повідомлення "НЕ НОРМА") оператором РЛС здійснюється регулювання відповідних елементів апаратури.

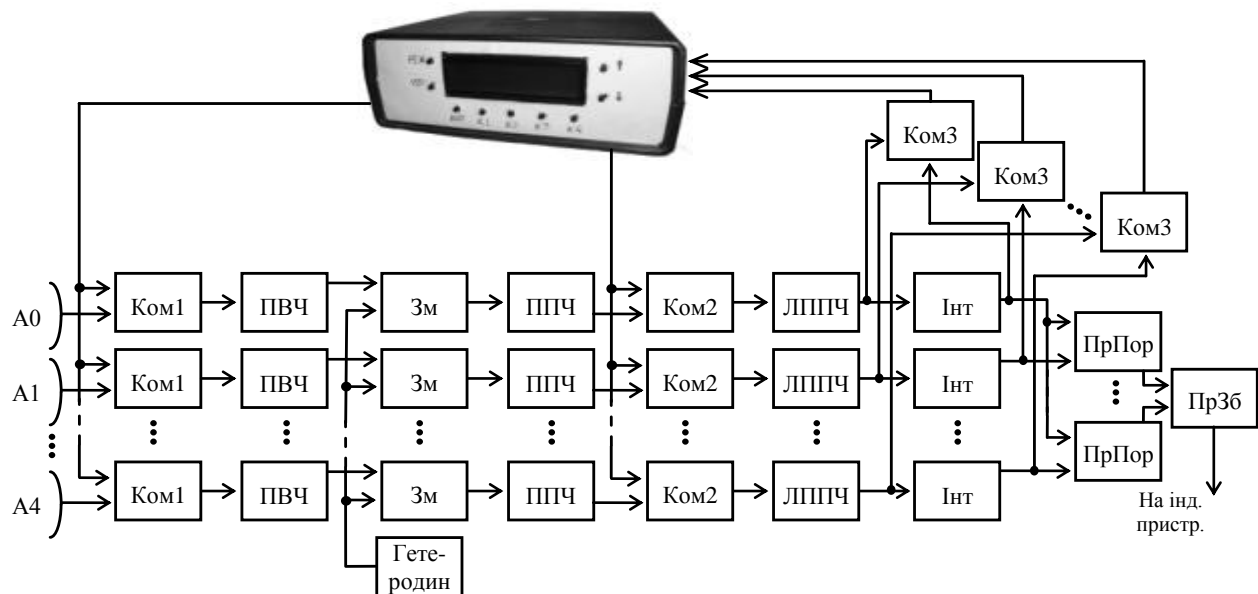


Рис. 4. Схема підключення АВК до системи пеленгування ПАЗ РЛС 5Н84А

Порядок виконання кожної операції настроювання системи пеленгування ПАЗ (рис. 2) за допомогою АВК наступний.

Для перевірки ідентичності амплітудних характеристик ЛППЧ на їх входи (через комутатори Ком2) з БУ по чергово подається сигнал  $u_{\text{рі2}}$ . При цьому комутатори Ком3 забезпечують підключення вихідних сигналів ЛППЧ (у вигляді відеоімпульсів) до БУ, де здійснюється вимірювання їх амплітуди.

Перевірка ідентичності підсилення проінтегрованих сигналів здійснюється в два етапи.

На першому етапі на апаратуру РЛС з БУ не подаються ніякі сигнали (для цього комутатори

Ком1 та Ком2 переводяться до відповідного стану), і на виході інтеграторів Інт будуть лише власні шуми приймальних каналів, які за допомогою комутаторів Ком3 по чергово подаються до БУ для вимірювання їх потужності.

На другому етапі до апаратури з БУ (через комутатори Ком2) подається сигнал  $u_{\text{рі2}}$ . Вихідні сигнали з інтеграторів Інт надходять до БУ (через комутатори Ком3) у вигляді відеоімпульсів, де вимірюється їх амплітуда.

Для встановлення коефіцієнтів підсилення сигналів в блоках ПВЧ на їх вхід (через комутатори Ком1) по чергово подаються сигнали  $u_{\text{рі1}}$ . БУ здійс-

носє вимірювання параметрів вихідних сигналів ЛППЧ, які мають вигляд відеоімпульсів (при цьому комутатор КомЗ підключає БУ до виходів ЛППЧ).

При встановленні порога спрацьовування системи пеленгування комутатори мають залишатись в тому стані, як і в попередньому випадку. З БУ подається спочатку сигнал  $u_{\text{ріл}}$  (по якому виставляється необхідний рівень сигналів на вході ПВЧ), а потім – сигнал  $u_{\text{гарм}}$ , за допомогою якого оцінюється наявність (чи відсутність) позначки пеленгу на ІКО.

По закінченню виконання всіх операцій на екрані дисплея БУ відображається повідомлення "ТЕСТ КОНЕЦ").

В цілому наведена методика дозволяє зменшити час на перевірку технічного стану та настроювання системи пеленгування ПАЗ РЛС 5Н84А. Зокрема для вибраного типу МК (АТmega64) та за умов відсутності відхилень параметрів апаратури пеленгування від еталонних значень перші три етапи перевірки (рис. 2) можуть здійснюватись за час, менший однієї хвилини.

Тривалість четвертого етапу перевірки (рис. 2), який має проводитись обов'язково з участю людини, складає як правило, не більше двох хвилин. Отже сумарний час на перевірку та настроювання системи пеленгування ПАЗ РЛС 5Н84А зменшиться фактично на порядок.

## Висновки

Таким чином, запропонована в статті автоматизація процедури настроювання системи пеленгування ПАЗ в РЛС "старого парку" типу 5Н84А за допомогою АВК дозволяє, по-перше, суттєво зменшити час на проведення технічного обслуговування системи; по-друге, забезпечити кращу точність її настроювання, що в свою чергу підвищить якість вирішення триангуляційної задачі при визначенні координат ПАЗ.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ПЕЛЕНГАЦИИ ПОСТАНОВЩИКОВ АКТИВНЫХ ПОМЕХ В РЛС "СТАРОГО ПАРКА"

А.А. Малишев, В.В. Сидоров, И.М. Невмержицкий

*Системы пеленгации постановщиков активных помех (ПАП) в РЛС "старого парка" типа 5Н84А реализуют амплитудный одноканальный метод пеленгации с многоканальным приемом по боковым лепесткам диаграммы направленности основной антенны РЛС. Качество пеленгации в таких системах зависит от степени идентичности характеристик приемных каналов, настройка которых осуществляется расчетом станции на сегодня лишь вручную. В статье предлагается использование автоматизированного измерительного комплекса для автоматизации процедуры настройки системы пеленгации ПАП.*

**Ключевые слова:** радиолокационная станция, пеленгация постановщиков активных помех, измерение параметров сигналов, микроконтроллер.

## AUTOMATION OF PROCEDURE BY ADJUSTMENT SYSTEMS OF DIRECTION FINDING OF DIRECTORS BY ACTIVE HINDRANCES IN RADAR "OLD PARK"

A.A. Malyshev, V.V. Sidorov, I.M. Nevmergitsky

*Systems of direction finding of directors by active hindrances in radar "old park" type 5Н84А realized a peak single-channel method of direction finding with multichannel reception on lateral petals of the diagram of an orientation of basic aerial RLS. Quality of direction finding in such systems depends on degree of identity of characteristics of the reception channels which adjustment is carried out operators stations for today only manually. In article use of the automated measuring complex for automation of procedure of adjustment of system by direction finding by active hindrances is offered.*

**Keywords:** a radar station, direction finding of directors by active hindrances, measurement of parameters by signals, the microcontroller.

Наступним кроком використання АВК в РЛС типу 5Н84А може бути його спряження з ПЕОМ. Це, з одного боку, дозволить підвищити якість виконання описаних вище операцій, а, з іншого боку, розширити можливості АВК. Зокрема, буде доцільним його використання для перевірки технічних параметрів інших систем та пристроїв станції, наприклад, приймального пристрою, системи АПЧ, автокомпенсатора шумових завад, хронізатора та ін. При цьому в якості програмного забезпечення роботи АВК можуть бути використані пакет моделювання *Simulink* з системи *MATLAB*, пакет прикладних програм *LabView* або програмний продукт власного розробки.

## Список літератури

1. *Основи побудови радіолокаційного озброєння радіотехнічних військ: підр. / За ред. В.В. Литвинова. – Х.: ВИРТА, 1986. – 348 с.*
2. *Озброєння та військова техніка РТВ. РЛС 5Н84А: навч. посіб. / В.І. Климченко, О.А. Малишев, О.В. Тесленко та ін.: за ред. В.І. Климченка. – Х.: ХУПС, 2009. – 72 с.*
3. *Комплект технічної документації на РЛС 5Н84А.*
4. *Керівництво радіотехнічним військам протиповітряної оборони. Технічне обслуговування Радіолокаційної станції 5Н84А. – М.: Воєнздат, 1982. – 136 с.*
5. *Бовкун О.М. Розробка алгоритмів вимірювання кутових координат постановників активних завад РЛС / О.М. Бовкун, І.С. Добринін // Мат-ли третьої наукової конференції ХУПС ім. І. Кожедуба. – Х.: 2007. – С. 114.*
6. *Бовкун О.М., Добринін І.С., Метод підвищення точності пеленгування постановників активних перешкод радіолокаційними станціями / О.М. Бовкун, І.С. Добринін, В.І. Писаревський та ін. // Мат-ли другої наукової конференції ХУПС ім. І. Кожедуба. – Х.: 2006. – С. 43.*

Надійшла до редколегії 4.11.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент Р.Е. Пашенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.