

УДК 621.396.965.87

І.Л. Колодчак<sup>1</sup>, А.Й. Семенюк<sup>2</sup>, О.Є. Чудяк<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Товариство з обмеженою відповідальністю «Маркет-Матс», Львів

<sup>2</sup> ПП «Науково-виробниче приватне підприємство «Спаринг-Віст Центр», Львів

<sup>3</sup> ДП «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут», Львів

## ПІДВИЩЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛІ В ПРОЦЕСІ СКАНУВАННЯ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ЗІ СКЛАДНИМ РЕЛЬЄФОМ РАДІОЛОКАТОРОМ АКТИВНОЇ ГСН ПРИ АПРІОРНІЙ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПО ДАЛЬНОСТІ ТА ПЕЛЕНГУ

*Запропоновано адаптивний алгоритм підвищення ймовірності виявлення цілі в процесі сканування підстильної поверхні зі складним рельєфом радіолокатором активної головки самонаведення з гостронаправленою діаграмою спрямованості антени при апріорній невизначеності по дальності і пеленгу, наведені логічна блок-схема такого алгоритму та аналітичні співвідношення між параметрами сканування для типових радіолокаторів активної головки самонаведення міліметрового діапазону хвиль.*

**Ключові слова:** головка самонаведення, радіолокатор, виявлення, пеленг, підстильна поверхня.

### Постановка проблеми

Для забезпечення нормальної роботи радіолокатора активної головки самонаведення (ГСН) необхідна апріорна інформація про потенційну ціль (початкові дальність та кути пеленгу), а також кінематичні параметри руху ракети (координати та швидкості її центра мас і кути просторової орієнтації – крен, тангаж та рискання). Така інформація поступає в ГСН, як правило, з оглядово-прицільного локатора та автономної бортової інерційно-навігаційної системи відповідно. Оскільки початкова дальність та кути пеленгу цілі можуть бути приблизними, то перед захопленням цілі на автоматичний супровід виникає класична задача її пошуку в області простору, розміри якого визначаються апріорною невизначеністю по дальності та кутових координатах (пеленгу). Як показує практика, особливо в умовах складного рельєфу підстильної поверхні та при використанні гостронаправленої діаграми спрямованості антени, така задача є далеко нетривіальною і потребує відповідного обчислювального ресурсу та часу [1, 2].

### Мета статті

Обґрунтування та синтез варіанта структури адаптивного алгоритму сканування підстильної поверхні з складним профілем рельєфу.

### Виклад основного матеріалу

Область пошуку цілі, як правило, обмежується величиною строга дальності ( $\Delta R$ ) та шириною

просторового тілесного кута, який характеризується розмірами ( $\Delta\beta$ ) по азимуту і ( $\Delta\varepsilon$ ) по елевації відповідно. Враховуючи поступальний характер переміщення центра мас ракети ( $\Pi$ ) в бік цілі з вектором швидкості ( $\mathbf{V}$ ) (рис. 1, 2), режим сканування вищезазначеного об'єму простору доцільно організувати наступним чином:

- сканування по куту елевації здійснювати, використовуючи поступальний рух ракети;

- сканування по куту азимута здійснювати шляхом зворотно-поступального переміщення антени симетрично відносно початкового (опорного) значення азимута ( $\beta_0$ ) в межах заданого сектора ( $\Delta\beta$ );

- сканування по дальності здійснювати, використовуючи послідовне в часі розповсюдження в межах строга дальності ( $\Delta R$ ) фрагмента електромагнітної хвилі, викликаної зондуємим радіоімпульсом.

З метою отримання максимальної кількості інформації про потенційну ціль та її фон, перед початком сканування необхідно узгодити ефективну (як правило, за рівнем мінус 3 db) ширину діаграми спрямованості антени у вертикальній площині ( $\theta_{ac}$ ) з шириною строга дальності, врахувавши при цьому існуючий аналітичний зв'язок між відповідними параметрами, а саме:

$$\Delta R = f(R_0, \varepsilon_0, \theta_{ac}), \quad (1)$$

де  $\Delta R$ ,  $\theta_{ac}$  – ширина строга дальності та діаграми спрямованості антени у вертикальній площині відповідно;

$R_0$ ,  $\varepsilon_0$  – початкові (апріорні) значення дальності та кута елевації відповідно.

Зауважимо, що для типових застосувань ГСН, які розглядаються в даній статті, діапазон зміни кута елевації  $5^\circ < \varepsilon_0$ ,  $\varepsilon(t) < 15^\circ$ , а ширина діаграми спрямованості антени в обох площинах

$$\theta_{ae} \approx \theta_{ab} \approx 1,5^\circ \div 2,5^\circ.$$

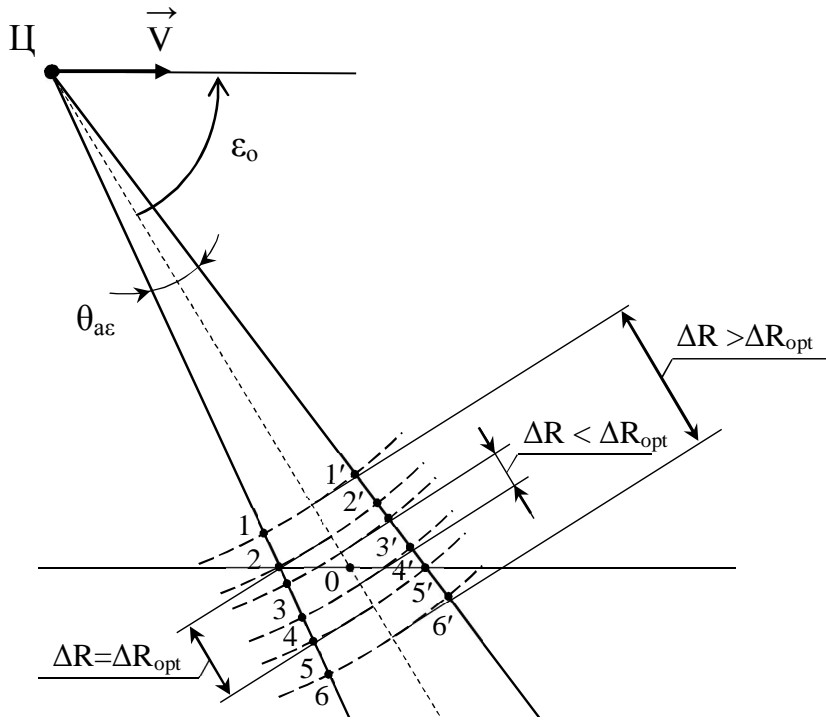


Рис. 1. Можливі співвідношення між шириною строга дальності та шириною діаграми спрямованості антени в площині кута елевації

1. Якщо  $\Delta R = \Delta R_{opt}$ , то радіолокатором ГСН обробляються всі відбиті протягом часу  $t$  ( $0 < t < \Delta R_{opt}/c$ ) від підстильної поверхні зондуючі радіосигнали, які знаходяться в межах тілесного кута діаграми спрямованості антени, що приблизно дорівнює  $(\theta_{ae} \times \theta_{ab})$  (зона 22'55", рис. 1), і отримують при цьому необхідне підсилення, а потенційна кількість інформації, що поступає в ГСН для обробки, максимально можлива. Легко показати, що в цьому випадку справедлива наступна залежність:

$$\Delta R = \Delta R_{opt} \approx \frac{\theta_{ae} \cdot R_0}{\operatorname{tg}\left(\varepsilon_0 - \frac{\theta_{ae}}{2}\right) + \frac{\theta_{ae}}{2}}, \quad M = \frac{\Delta R}{\delta R}, \quad (2)$$

де  $M$ ,  $\delta R$  – кількість та розмір елементів дальності відповідно.

Слід зауважити, що формула (2), а також формула для обчислення великої півосі еліпса (рис. 1), отримані при умові, що кут  $\theta_{ae}$  малий ( $\approx 1,5^\circ \div 2,5^\circ$ ),

На рис. 1 наведено три якісно різних випадки, що характеризують можливі співвідношення в площині кута елевації між шириною діаграми спрямованості антени у вертикальній площині та шириною строга дальності залежно від апріорних значень параметрів, що входять у формулу (1).

Поверхня, що утворюється в результаті уявного перетину діаграми антени (при умові, що  $\theta_{ae} \approx \theta_{ab}$ ) з підстильною поверхнею, нагадує еліпс з наступними півосями: великою – (в), причому

$$b \approx \frac{\theta_{ae} \cdot R_0}{\sin\left(\varepsilon_0 - \frac{\theta_{ae}}{2}\right) + \frac{\theta_{ae}}{2} \cdot \cos\left(\varepsilon_0 - \frac{\theta_{ae}}{2}\right)},$$

та малою – (а), причому

$$a = \theta_{ab} \cdot R_0,$$

$\theta_{ae}, \varepsilon_0$  – величини, виражені в радіанах.

а значить, його бісектриса практично збігається з відповідною медіаною.

2. Якщо  $\Delta R > \Delta R_{opt}$ , має місце режим неоптимальної обробки прийнятих радіосигналів, оскільки радіосигнали, зафіксовані ГСН в моменти часу, що відповідають зонам 11'22" та 55'66", не є відбитими від підстильної поверхні і фактично несуть інформацію про власний шум приймального тракту радіолокатора, що призводить до різкого збільшення кількості елементів дальності ( $M$ ) і, як наслідок, непродуктивного використання часу процесора цифрової обробки сигналів зі всіма можливими негативними наслідками. В цьому випадку доцільно прийняти  $\Delta R = \Delta R_{opt}$ , а невизначеність по дальності вибирати за рахунок поступального переміщення ракети в напрямку до цілі.

3. Якщо  $\Delta R < \Delta R_{opt}$ , то має місце режим, який еквівалентний звуженню діаграми спрямованості антени у вертикальній площині, оскільки сигнали відбиті від підстильної поверхні (зони 22'33" та 44'55"), не обробляються і фактично не впливають на

результати виявлення цілі. З цього приводу суттєво знижується рівень завад з відповідної частини підстильної поверхні, внаслідок чого зростає співвідношення сигнал/завада і, як наслідок, покращуються параметри виявлення цілі та хибних тривог. Навантаження на процесор цифрової обробки сигналів знижується, оскільки зменшується число  $M$ , тобто розмірність функції невизначеності по дальності. Такий режим, як правило, використовується при автоматичному супроводі цілей, або ж коли апіорна невизначеність у цілевказівках по дальності мінімальна.

У процесі сканування підстильної поверхні (рис. 2), якщо радіус кореляції кривизни поверхні значно менший лінійних розмірів уявної поверхні перетину діаграми антени та поверхні сканування (параметри перетину визначаються аналітичними

залежностями, наведеними на рис. 1), то можуть виникати ситуації, при яких обробка відбитих радіосигналів є неоптимальною для виявлення цілі, тобто строб дальності не охоплює всієї підстильної поверхні.

Такі випадки мають місце при фіксованому положенні строба дальності, якщо:

а) в процесі сканування різко змінився (вверх або вниз) профіль рельєфу підстильної поверхні;

б) в апіорних цілевказівках по куту елевачії наявна похибка, яка за величиною співвимірна з шириною діаграми спрямованості антени у вертикальній площині;

в) має місце похибка відпрацювання цілевказівок по куту елевачії приблизно такої ж величини (див. п. б).

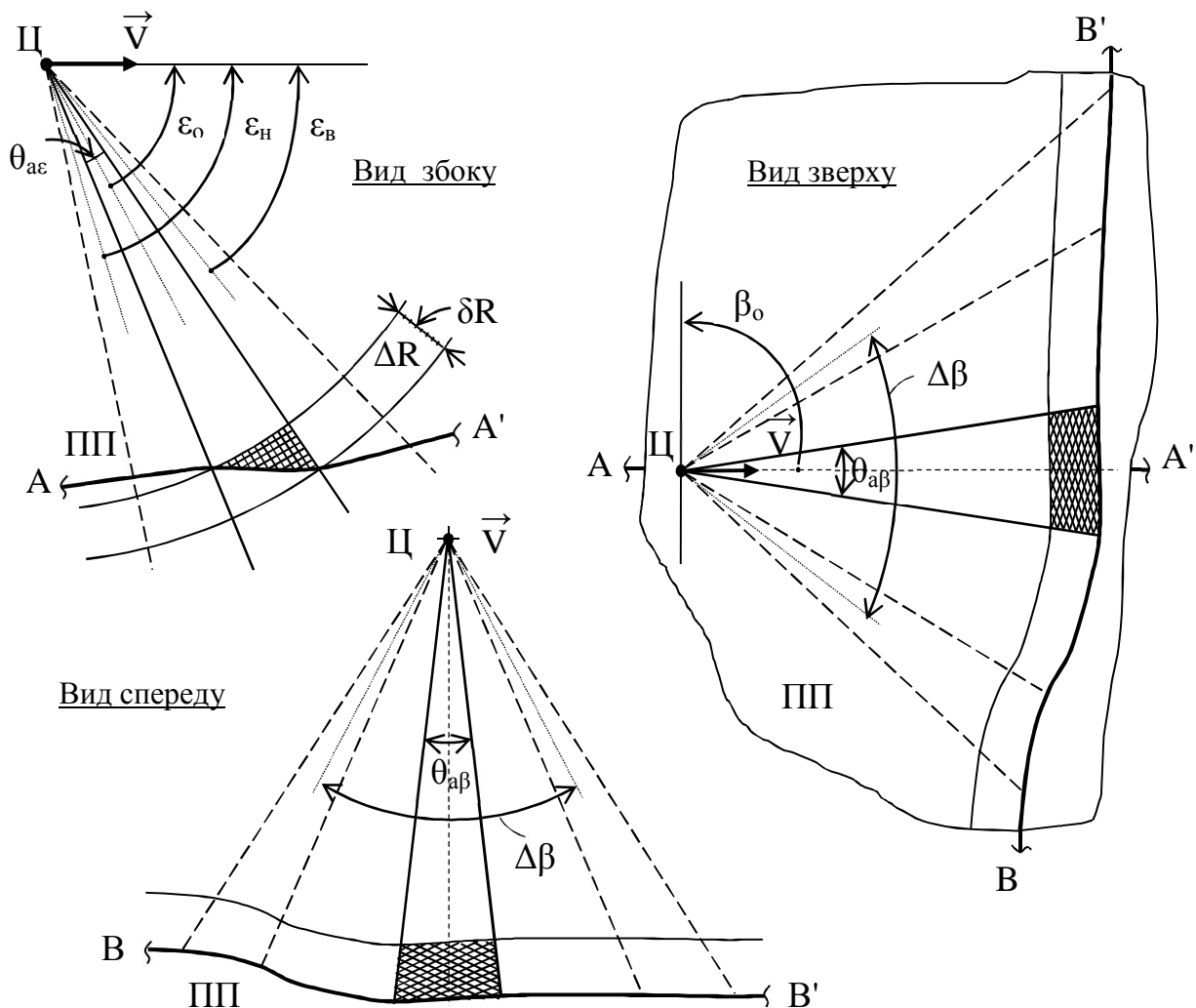


Рис. 2. Особливості процесу сканування підстильної поверхні зі складним рельєфом:

$\epsilon_0, \beta_0, \Delta\beta, R_0, \Delta R$  – апіорні цілевказівки; ПП – підстильна поверхня зі складним профілем рельєфу;  $\delta R$  – елемент дальності;  $\Delta R$  – строб дальності (невизначеність по дальності);  $\epsilon_0, \beta_0$  – початкові кут елевачії та кут азимуту;  $\Delta\beta$  – невизначеність по азимуту (по пеленгу);  $\epsilon_n, \epsilon_b$  – значення кутів елевачії, при яких для даного строба дальності  $\Delta R$  зондування підстильної поверхні відсутнє;  $\theta_{ae}, \theta_{ab}$  – ширина діаграми антени по  $\epsilon$  та  $\beta$  відповідно.  $AA', BB'$  – профіль рельєфу підстильної поверхні в перпендикулярних січеннях

Для мінімізації можливого негативного впливу вищезазначених ситуацій на результати виявлення доцільно реалізувати постійний моніторинг та аналіз рівня прийнятого радіосигналу в кожному елементі дальності. Як показують теоретичні та експериментальні дослідження, дисперсія рівня відбитого радіосигналу від підстильної поверхні набагато більша (в рази) від дисперсії рівня власного шуму радіотракту локатора. Такий кількісний показник може бути покладений в основу адаптивного алгоритму сканування, який повинен постійно оцінювати середньостатистичну кількість та розподіл елементів дальності (по одночасно охопленому об'ємі), в яких дисперсія відбитого радіосигналу співвимірна з дисперсією власного шуму радіотракту. Наявність такої інформації дозволяє шляхом переміщення у відповідну сторону строба дальності (якщо початкова дальність не зада-

на) або шляхом зміни просторової орієнтації антени суттєво збільшити питому вагу радіосигналів, відбитих від підстильної поверхні та, можливо, від цілі.

Варіант структури адаптивного алгоритму сканування підстильної поверхні зі складним профілем рельєфу наведений (рис. 3).

Розшифрування логічних операторів:

1. А – подія, яка означає:

а) якщо  $A=0$ , то хоча б в одній  $j$ -ій зоні, що знаходиться в межах строба дальності ( $\Delta R$ ), середнє значення  $\sigma_{cp}^2(j)$  співвимірне з ( $\sigma_{ш}^2$ ), тобто практично є дисперсією шуму приймального тракту радіолокатора;

б) якщо  $A=1$ , то усереднена дисперсія ( $\sigma_j^2$ ) [ $j=1, \dots, M$ ] прийнятого радіосигналу у всіх елементах дальності ( $\delta R$ ) значно перевищує допустиму, тобто прийнятий сигнал відбитий від підстильної поверхні.

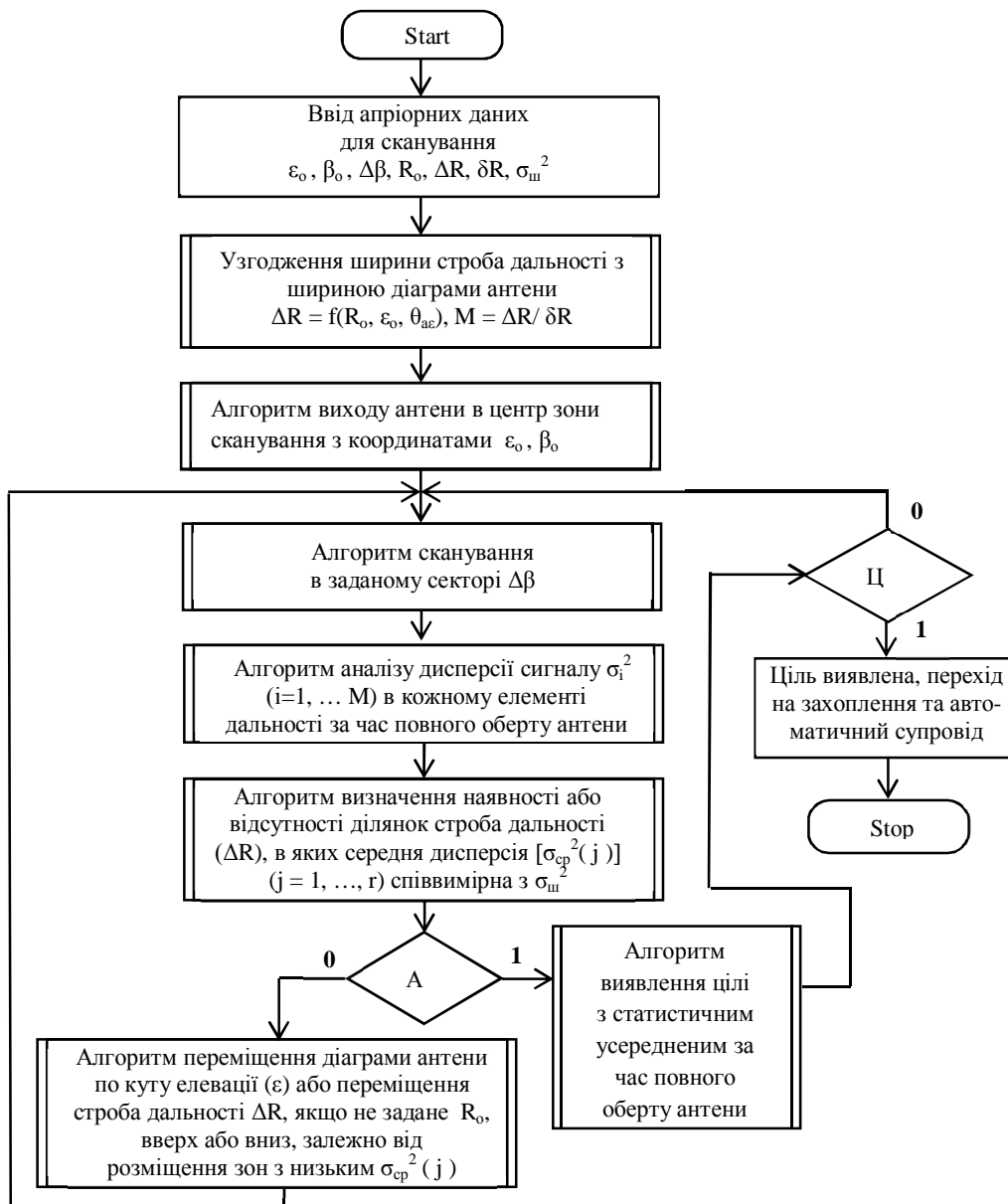


Рис. 3. Алгоритм адаптивного сканування підстильної поверхні зі складним рельєфом

2. Ц – подія, яка означає:

а) якщо  $C=0$ , то ціль не виявлена;

б) якщо  $C=1$ , то ціль виявлена і сканування припиняється з метою переходу до її автоматичного супроводу.

Зауважимо також, що реалізація адаптивного алгоритму дозволяє достовірніше встановити значення порогу, який на початку процесу виявлення вираховується, як правило, як середнє значення за всіма компонентами матриці функції невизначеності, тобто за елементами дальності та елементами частоти Доплера. Нагадаємо, що в нашому випадку компоненти матриці функції невизначеності являють собою спектральні коефіцієнти прямих перетворень Фур'є від одноіменних значень взаємкореляційних функцій опорних зондуючих імпульсів та відбитих послідовно в часі протягом строга дальності від підстильної поверхні радіоімпульсів, адитивно змішаних з власним шумом приймального тракту радіолокатора. Очевидно, що наявність великої кількості елементів дальності, в яких відсутні сигнали, відбиті від підстильної поверхні, може призводити до суттєвого спотворення величини порогу і, як наслідок, до погіршення параметрів виявлення (зокрема ймовірностей хибної тривоги та правильного виявлення).

## Висновки

1. Результати математичного моделювання та експериментальних досліджень дають підстави сподіватися, що використання вищеописаної

адаптивної процедури дозволить створити і програмно реалізувати більш ефективний алгоритм виявлення цілі на фоні завад від підстильної поверхні в умовах складних рельєфних профілів.

2. Статистична обробка рівнів, прийнятих з ефіру, в межах строга дальності, радіоімпульсів, яка здійснюється в процесі сканування з метою оцінки їх дисперсії в кожному елементі дальності, призводить до деякого збільшення навантаження на спеціалізований процесор цифрової обробки радіосигналів, однак це може бути оправданим, якщо вимоги щодо максимально можливої достовірності виявлення цілі на фоні завад від підстильної поверхні є домінуючим критерієм у цільовій функції системи в цілому.

## Список літератури

1. І.Л. Колодчак, А.Й. Семенюк, О.Є. Чудяк. Деякі особливості реалізації алгоритму виявлення цілі в некогерентних імпульсних радарх ГСН міліметрового діапазону. Науково-технічний семінар, НТЦ АСВ, м. Львів, 2012р.

2. В.П. Антонюк, Є.І. Клепфер, І.Л. Колодчак, М.С. Мартинів, А.Й. Семенюк. Принципи технічної реалізації адаптивної активно-пасивної ГСН 3-мм діапазону хвиль для наведення засобів ураження по наземних цілях. Сборник научных трудов – МРФ'2011, Харьков, 2011 р. – 1 т. – ч.2 – С. 186–189.

**Рецензент:** д.т.н., с.н.с. А.М. Зубков, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

### Повышение вероятности обнаружения цели в процессе сканирования подстилающей поверхности со сложным рельефом радиолокатором активной ГСН при априорной неопределенности по дальности и пеленгу

И.Л. Колодчак, А.Й. Семенюк, А.Е. Чудяк

*Предложен адаптивный алгоритм повышения вероятности обнаружения цели в процессе сканирования подстилающей поверхности со сложным рельефом радиолокатором активной головки самонаведения с остронаправленной диаграммой направленности антенны при априорной неопределенности по дальности и пеленгу, приведены логическая блок-схема такого алгоритма и аналитические соотношения между параметрами сканирования для типичных радиолокаторов активной головки самонаведения миллиметрового диапазона волн.*

**Ключевые слова:** головка самонаведения, радиолокатор, обнаружение, пеленг, подстилающая поверхность.

### Increase of probability of detection of the purpose during scanning a spreading surface with a difficult relief a radar active seeker at aprioristic uncertainty on range and a direction finding

I. Kolodchak, A. Semeniuk, O. Chudyak

*The adaptive algorithm of increase of probability of detection of the purpose during scanning a spreading surface with a difficult relief a radar of an active head of homing with narrow the diagram of an orientation of the aerial is offered at aprioristic uncertainty on range and direction finding, the logic block diagram of such algorithm and analytical parities between parameters of scanning for typical radars of an active seeker of a millimetric wave band.*

**Keywords:** seeker, radar, detection, direction finding, spreading surface.