

УДК 621.396.969.181.24

А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, З.З. Закіров, Л.В. Польшина

Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ РАДІАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ЦІЛІ ПРИ ОБРОБЦІ ВИЯВЛЕНОЇ ПАЧКИ НАДШИРОКОСМУГОВОГО СИГНАЛУ

Отримано співвідношення для розрахунку середньоквадратичного відхилення помилки виміру радіальної швидкості, яка вимірюється при обробці виявленої пачки надширокосмугових сигналів. Запропоновано використовувати в якості показника, який характеризує помилки вимірювання радіальної швидкості цілі величину усередненого коефіцієнту межперіодної кореляції дальнісних портретів виявленої пачки надширокосмугових сигналів.

**Ключові слова:** оглядові РЛС, надширокосмугові сигнали, межперіодна кореляція, дальнісні портрети, радіальна швидкість цілі.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** В [1-2] запропонований метод виміру радіальної швидкості при обробці однієї пачки надширокосмугових (НШС) сигналів, відбитих від цілі, які забезпечують розрізнення елементів цілі по дальності й одержання дальнісних портретів (ДП). Показано, що використання в оглядових РЛС НШС сигналів, при відношеннях сигнал-шум більших 13-15дБ, приводить до значного зниження флуктуаційних помилок оцінок дальності й азимута для всіх типів цілей. Приклад пачки вузькосмугового і НШП сигналів відбитих від тактичного винищувача F-15, що летить під ракурсом 130°, представлені на рис. 1, де D – зсув по дальності, T – час із дискретністю рівною періоду повторення зондувальних імпульсів.

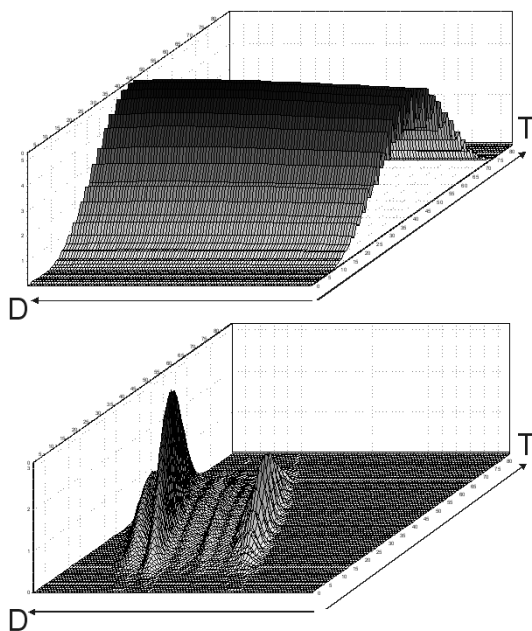


Рис. 1. Приклад пачки НШП і вузькосмугового сигналів відбитих від тактичного винищувача F-15

Інформація про величину радіальної швидкості дозволяє розширити вектор вимірюваних параметрів, урахувати отримані оцінки радіальної швидкості в алгоритмі екстраполяції дальності, а також в алгоритмі ототожнення відміток і траєкторій. Метод одержання оцінки радіальної швидкості цілі реалізується шляхом аналізу закону, залежності часової затримки коефіцієнтів взаємної коваріації ДП у виявленій пачці НШС сигналів щодо центрального ДП який відповідає середині діаграми спрямованості. В [3-4] результатами моделювання показано, що врахування оцінок радіальної швидкості цілі отриманої при обробці НШС сигналів дозволяє значно зменшити динамічну помилку екстраполяції дальності, викликану інтенсивним маневром цілі.

Однак значення вимірюваної радіальної швидкості є випадковою величиною, яка залежить від багатьох факторів: ракурсу цілі, відношення сигнал-шум, а також типу цілі. При зниженні відношення сигнал-шум менш 13-17дБ при певних ракурсах і для деяких типів цілей вимір радіальної швидкості стає неможливим. Виникає необхідність в інформації про можливість застосування значення радіальної швидкості, отриманої запропонованим методом. Кількісним показником ступеню розсіювання випадкової величини є її середньоквадратичне відхилення (СКВ). Тому для оцінки радіальної швидкості цілі при обробці виявленої пачки НШС сигналу необхідно отримувати значення її СКВ при кожному вимірюванні. СКВ помилки вимірювання радіальної швидкості залежить від відношення сигнал-шум. Вимір поточного значення сигнал-шум викликає значні труднощі. Непрямим показником поточного значення сигнал-шум може виступати поточне значення коефіцієнту взаємної кореляції сусідніх ДП, розрахунок якого не визиває складнощі. Відповідно до значення цього коефіцієнту можна судити про ступінь довіри до отриманих значень радіальної швидкості.

### Основна частина

При відношенні сигнал-шум менш 13-17 дБ, залежно від ракурсу й типу цілі, дисперсія оцінки радіальної швидкості значно зростає. На рис.2 представлена, отримана в результаті моделювання, залежність СКВ помилок виміру радіальної швидкості від відношення сигнал-шум і типу цілі.

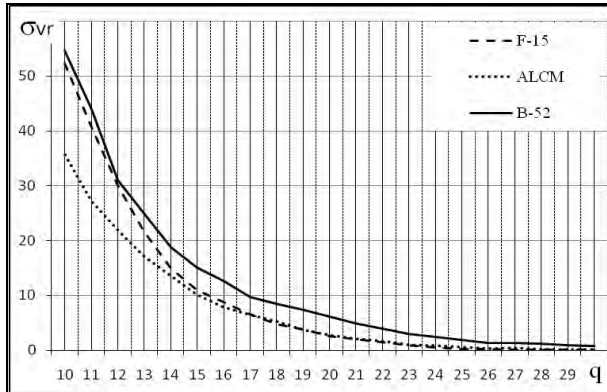


Рис. 2 Залежність СКВ помилок виміру радіальної швидкості від відношення сигнал-шум і типу цілі.

Як показано в [1, 2] помилки виміру істотно залежать від відношення сигнал - шум, ракурсу й типу цілі, що ускладнює оцінку дисперсії радіальної швидкості. Залежність СКВ помилок виміру радіальної швидкості від ракурсу моделі літака

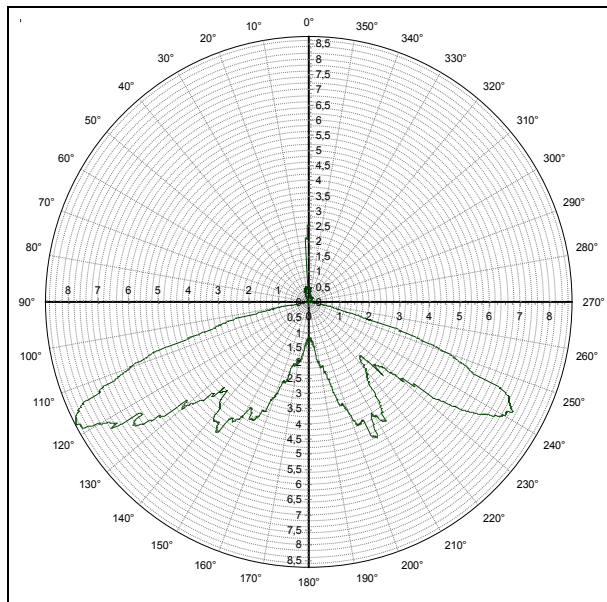


Рис. 3 Залежність СКВ помилок виміру радіальної швидкості від ракурсу моделі літака B-52 при відношенні сигнал-шум 25дБ.

Пачку ДП можна представити набором комплексних дискрет  $\dot{A}_{mn}$ , де  $m = \overline{1, M}$ ,  $M$  - число ДП

у пачці,  $n = \overline{1, N}$ ,  $N$  - кількість дискрет по дальності у вікні, що розглядається. Тоді ДП затриманий на період повторення імпульсів  $T_p - |\dot{A}_{(m+1)n}|$ . Приклад суміжних ДП виявленої пачці тактичного винищувача F-15 наведено на рис. 4.

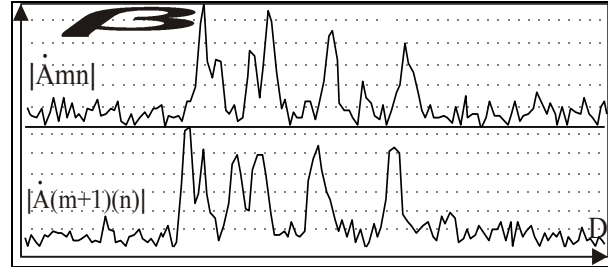


Рис. 4. Приклад суміжних ДП виявленої пачці тактичного винищувача F-15

Оцінку показника межперіодної кореляції ДП виявленої пачки НШС сигналів  $\tilde{r}$  можна одержувати при обробці кожної виявленої пачки НШС сигналу ковзним «вікном» по азимуту, розмір якого дорівнює числу ДП у пачці:

$$\tilde{r} = \frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^{M-1} G_m \cdot r_m, \quad (1)$$

де

$$r_m = \frac{(K_{1m} - K_{4m} \cdot K_{5m} / N)}{\left[ (K_{2m} - K_{4m} / N)^2 \cdot (K_{3m} - K_{5m} / N)^2 \right]^{1/2}}, \quad (2)$$

$$\hat{E}_{1m} = \max_i \sum_{i=-L/2}^{+L/2} \sum_{n=1}^N |\dot{A}_{mn}| \cdot |\dot{A}_{(m+1)(n+i)}|; \quad (3)$$

$$\hat{E}_{2m} = \max_i \sum_{i=-L/2}^{+L/2} \sum_{n=1}^N |\dot{A}_{mn}| \cdot |\dot{A}_{m(n+i)}|; \quad (4)$$

$$\hat{E}_{3m} = \max_i \sum_{i=-L/2}^{+L/2} \sum_{n=1}^N |\dot{A}_{(m+1)n}| \cdot |\dot{A}_{(m+1)(n+i)}|; \quad (5)$$

$$\hat{E}_{4m} = \max_i \sum_{i=-L/2}^{+L/2} \sum_{n=1}^N |\dot{A}_{m(n+i)}|; \quad (6)$$

$$\hat{E}_{5m} = \max_i \sum_{i=-L/2}^{L/2} \sum_{n=1}^N |\dot{A}_{(m+1)(n+i)}|; \quad (7)$$

$L$  - максимальне число дискрет, на яке зміщується прийнятий сигнал щодо опорного, внаслідок руху цілі,  $G_m$  - нормувальні коефіцієнти, що відповідають формі діаграми спрямованості антени.

На рис. 5 представлена, отримана в результаті моделювання залежність  $\tilde{r}$  від ракурсу важкого бомбардувальника B-52 при відношенні сигнал-шум 25дБ. Помітно, що значення ракурсу цілі, при якому  $\sigma_{vr}$  досягає максимального значення, відповідає мінімальним значенням оцінок показника межперіодної кореляції ДП у виявленої пачці.

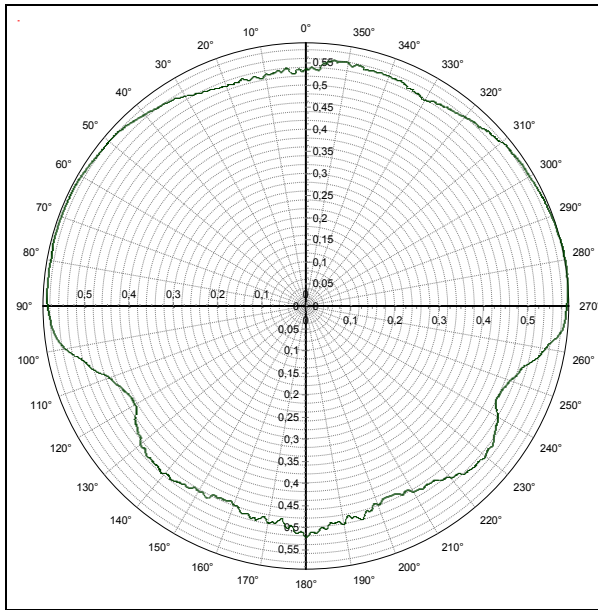


Рис.5 Залежність  $\tilde{r}$  від ракурсу B-52 при відношенні сигнал-шум 25дБ

Методом математичного моделювання з використанням програмного пакета по моделюванню електродинаміки вторинного випромінювання BSS (Back Scattering Simulation) [5] отримані оцінки радіальної швидкості й оцінки показника межперіодної кореляції залежно від ракурсу, відношення сигнал-шум, і типів цілей різної довжини (стратегічного бомбардувальника B-52, тактичного винищувача F-15 і крилатої ракети ALCM).

На рис. 6 наведена, отримана в результаті моделювання залежність усередненого по ракурсах показника межперіодної кореляції від відношення сигнал шум і типу цілі.

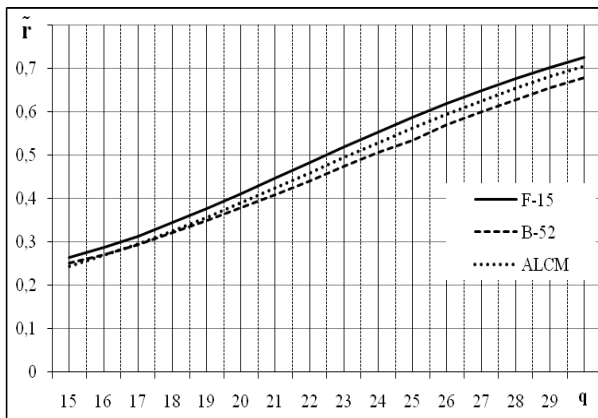


Рис. 6 Залежність усередненого по ракурсах показника межперіодної кореляції від відношення сигнал шум і типу цілі

Зіставляючи відповідні результати й проводячи ранжирування по  $\tilde{r}$ , отримані залежності для трьох типів цілей  $\tilde{\sigma}_{VT}$  від показника межперіодної кореляції, методом найменших квадратів отримані рів-

няння, що апроксимують залежності сукупності  $\tilde{\sigma}_{VT}$  всіх типів цілей від коефіцієнта межперіодної кореляції  $\tilde{r}$  квадратичною функцією:

$$\tilde{\sigma}_{VT}(F-15) = 79.239\tilde{r}^2 - 97.945\tilde{r} + 30.02; \quad (8)$$

$$\tilde{\sigma}_{VT}(B-52) = 96.32\tilde{r}^2 - 118.377\tilde{r} + 37.35; \quad (9)$$

$$\tilde{\sigma}_{VT}(ALCM) = 68.38\tilde{r}^2 - 83.187\tilde{r} + 25.293. \quad (10)$$

На рис. 7 представлена, отримана в результаті моделювання, залежність  $\tilde{\sigma}_{VT}$  від оцінки показника межперіодної кореляції для трьох типів цілей і її апроксимуюча функція.

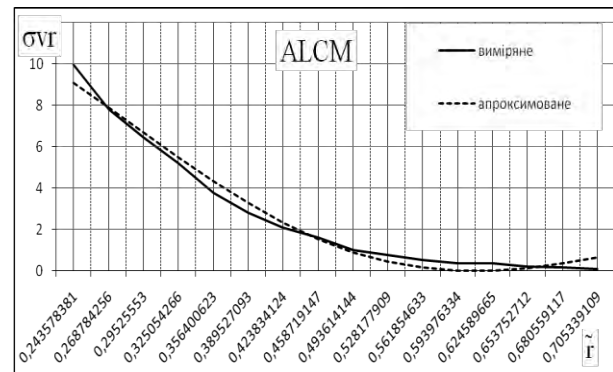
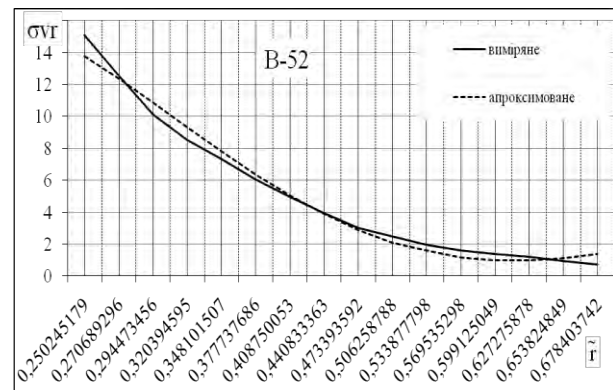
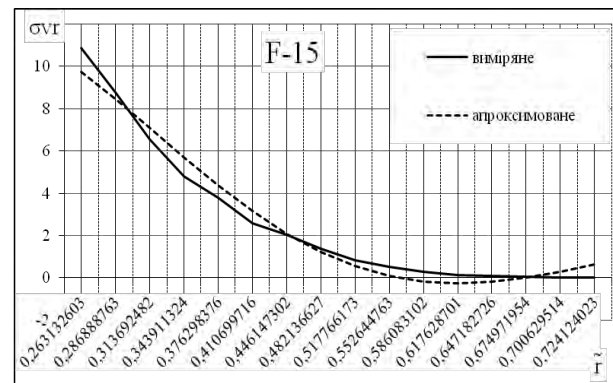


Рис. 7. Залежності  $\tilde{\sigma}_{VT}$  від показника межперіодної кореляції й типу цілі

Зіставляючи результати вимірів по трьох типах цілей одержуємо узагальнену залежність  $\tilde{\sigma}_{VT}$  від  $\tilde{r}$  і її апроксимуючу функцію, представлену на рис. 8.

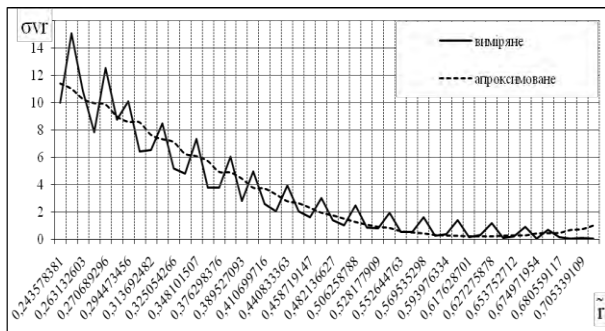


Рис.8 Залежність  $\tilde{\sigma}_{vr}$  від показника межперіодної кореляції усереднена по типах цілей.

Рівняння, отримане методом найменших квадратів, має вигляд:

$$\tilde{\sigma}_{vr} = 77,733\tilde{\gamma}^2 - 96,844\tilde{\gamma} + 30,359 \quad (11)$$

### Висновки

1. Запропоновано алгоритм одержання оцінки узагальненого показника межперіодної кореляції ДП виявленої пачки НШС сигналів, що характеризує помилки виміру радіальної швидкості залежно від відношення сигнал-шум, ракурсу й типу цілі.

2. Отримано співвідношення для оцінки СКВ помилки виміру радіальної швидкості при обробці виявленої пачки НШС сигналу по обмірюваній величині показника межперіодної кореляції.

3. Оцінка СКВ помилки виміру радіальної швидкості дозволяє врахувати можливості застосування оцінки радіальної швидкості в алгоритмах вторинної обробки радіолокаційної інформації для удосконалення якості супроводу та ототожнення траєкторій цілей, що інтенсивно маневрують.

### Список літератури

1. Ковтунов А.Л. Методи виявлення ширококосмугових сигналів та виміру радіальної швидкості цілі в оглядових

РЛС / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко С.П. // Збірник наукових праць ХУПС. – Х. ХУПС, 2012. – Вип. 4(33). – С. 78-81.

2. Ковтунов А.Л. Методи вимірювання координат повітряних цілей в оглядових РЛС з використанням надиширокосмугових радіолокаційних сигналів / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко / Системи обробки інформації. – Х. ХУПС, 2012. – Вип. 7 (105). – С. 91-94.

3. Ковтунов А.Л. Методи вторичної обробки РЛІ в обзорных РЛС использующих полярную систему координат с применением СШП сигналов / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, З.З. Закиров, М.П. Батурицкий // Збірник наукових праць ХУПС. – Х. ХУПС, 2013 – Вип. 1(34). – С. 45-46.

4. Ковтунов А.Л. Методи вторичної обробки радіолокаційної інформації в обзорных РЛС использующих прямоугульную систему координат с применением СШП сигналов / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, З.З. Закиров, М.П. Батурицкий // Системи обробки інформації. – Х. ХУПС, 2013 – Вип. 1(108). – С. 70-74.

5. Radar Target Backscattering Simulation Software and User's Manual / Gorshkov S.A., Leshchenko S.P., Orlenko V.M., Sedyshev S.Yu., Shirman Y.D. – Boston-London: Artech House, 2002. - 71 p.

6. Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection and Tracking / Shirman Ya.D. (ed.), Gorshkov S.A., Leshchenko S.P., Orlenko V.M., Sedyshev S.Yu., Sukharevsky O.I. – Norwood, MA: Artech House, 2002.

7. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: КВиЦ, 2000. – 428 с.

8. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. / Кузьмин С.З. - М.: Радио и связь, 1986. – 351 с.

9. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации Сопровождение целей: Пер. с англ. / А. Фарина, Студер Ф. М., 1993. - С.16-19.

Надійшла до редколегії 22.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.І. Сухаревський, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ЦЕЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОБНАРУЖЕННОЙ ПАЧКИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

А.Л. Ковтунов С.П. Лещенко, З.З. Закиров, Л.В. Польшина

Получены соотношения для расчета среднеквадратичного отклонения ошибки измерения радиальной скорости, которая измеряется при обработке обнаруженной пачки сверхширокополосных сигналов. Предложено использовать в качестве показателя, который характеризует ошибки измерения радиальной скорости цели величину усредненного коэффициента межпериодной корреляции дальностных портретов обнаруженной пачки сверхширокополосных сигналов.

**Ключевые слова:** обзорные РЛС, сверхширокополосные сигналы, межпериодная корреляция, дальностные портреты, радиальная скорость цели.

### ESTIMATION METHODS OF RADIAL TARGET VELOCITY UNDER PROCESSING OF THE DETECTED ULTRA-WIDEBAND SIGNAL PACK

A.L. Kovtunov, S.P. Leshchenko, Z.Z. Zakirov, L.V. Polshina

The ratio for calculating the standard deviation of radial velocity measurement error that is measured under processing of the detected UWB signals pack. The use of the average coefficient value of interperiodical correlation of range portraits of detected ultra-wideband signals packs as an index that characterizes the measurement errors of radial target velocity is proposed.

**Keywords:** surveillance radars, UWB signals, interperiodical correlation, range portraits, radial target velocity.