

С.А. Макаров, О.О. Сокол, В.Я. Поворознюк, В.П. Яндола

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОСАДКОВОГО РАДІОЛОКАТОРУ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ШЛЯХОМ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СПЕКТРУ ЗОНДУВАЛЬНОГО СИГНАЛУ, ВІДБИТОГО ВІД ПОВІТРЯНОГО СУДНА НА ЕТАПІ ПОСАДКИ

*У статті проводиться дослідження одного зі способів вимірювання параметрів спектру зондувального сигналу посадкового радіолокатора радіолокаційної системи посадки літаків, відбитого від повітряного судна, що виконує посадку та рухається у напрямку радіолокатора. Обґрунтовується розширення функціональних завдань, які покладаються на посадкові радіолокатори радіолокаційних систем посадки літаків, а саме визначення швидкості повітряного судна на етапі посадки, що безпосередньо впливає на забезпечення належного рівня безпеки польотів. Визначається дискретність вимірювання доплерівського зміщення частоти зондувального сигналу, відбитого від повітряного судна, що знаходиться на етапі посадки. Розробляються пропозиції щодо реалізації пристрою вимірювання доплерівського зміщення частоти, як наслідок, визначення швидкості повітряного судна на етапі посадки.*

**Ключові слова:** *спектр доплерівського сигналу, повітряне судно, посадковий радіолокатор, посадка, радіальна швидкість, радіолокаційна система посадки.*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Основною метою дослідження є визначення параметрів спектру відбитого сигналу від повітряного судна, що дозволяють вимірювати доплерівське зміщення частоти зондувального сигналу посадкового радіолокатора, відбитого від повітряного судна на етапі посадки, тобто визначати радіальну або посадкову швидкість повітряного судна у посадковому радіолокаторі, що безпосередньо впливає на забезпечення належного рівня безпеки польотів. Повітряне судно при виконанні посадки рухається у напрямку радіолокаційної системи посадки, до складу якої належить посадковий радіолокатор, тому істинна швидкість повітряного судна дорівнює радіальній швидкості, що визначається посадковим радіолокатором.

Задача із дослідження параметрів спектру зондувального сигналу посадкового радіолокатора, відбитого від повітряного судна на етапі посадки, є актуальною і дозволить вирішити проблему відсутності у керівника зони посадки групи керівництва польотами об'єктивної інформації про посадкову швидкість повітряного судна, особливо після виконання бойових завдань з пошкодженнями та відмовами авіоніки літаків бригад тактичної авіації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз методів дослідження спектру сигналів та вимірювання його параметрів показав, що застосовуються два методи вимірювання характеристик спектру сигналів: метод фільтрації та метод обчислення перетворення Фур'є. Метод фільтрації реалізується такими способами: аналізом спек-

тру набором смугових фільтрів (паралельний аналіз); аналізом спектру за допомогою фільтру, що перенастроюється, або зміною частоти гетеродину (послідовний аналіз); аналізом за допомогою дисперсійних ліній затримки [1]. Метод обчислення перетворення Фур'є (ПФ) відноситься до методів цифрової обробки сигналів та реалізує виконання дискретного перетворення Фур'є за алгоритмом швидкого ПФ (алгоритм Кулі-Тьюкі), який дозволяє виключити надмірність обчислень та суттєво підвищити їх швидкодню [2].

Проводився аналіз параметрів спектру доплерівського сигналу, відбитого від протяжного об'єкту (залізничного вагону), що рухається відносно місця встановлення вимірювальної системи. Аналіз свідчить про вплив на ширину спектру доплерівського сигналу прискорення руху об'єкту [3]. Розширення спектру доплерівського сигналу зменшує точність вимірювання швидкості руху залізничного вагону.

Відомо застосування ефекту Доплера в радіолокаторах спостереження літаків [4] для вимірювання доплерівського зміщення частоти сигналу, відбитого від рухомого повітряного судна, що здійснюється методами аналізу спектру прийнятого сигналу та забезпечує визначення радіальної складової швидкості руху повітряного судна.

Використання посадкових радіолокаторів в аеропортах і на аеродромах та вимоги до їх технічних характеристик регламентовані вимогами Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) [5–6]. Радіолокатори, що здійснюють визначення відстані та азимуту і не забезпечують вимірювання висоти або кута місця, відносять до радіолокаційних систем

неточного заходу на посадку, наприклад, диспетчерські радіолокатори ДРЛ-7, Екран-85 тощо [7–8].

Процедура управління посадкою повітряних суден керівником зони посадки за інформацією посадкового радіолокатора полягає в наданні льотчику команд по засобах радіозв'язку щодо виправлення курсу або висоти при виконанні посадки [9].

До посадкових радіолокаторів точного заходу на посадку відносяться ПРЛ-6М2 зі складу радіолокаційної системи посадки РСР-6М2, ПРЛ-10МН зі складу РСР-10МН, ПРЛ-10МА зі складу модернізованої радіолокаційної системи посадки РСР-10МА [10], PAR-2090 і PAR-80 (рис. 1), AN/FPN-63(V) і AN/GPN-22 (рис. 2) та AN/TPN-22 [11] (рис. 3), тощо.

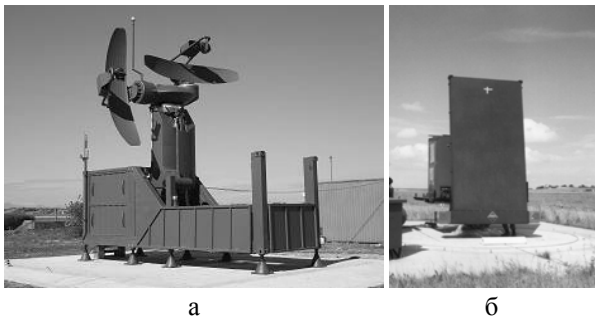


Рис. 1. Зовнішній вигляд посадкових радіолокаторів: а – PAR-2090; б – PAR-80

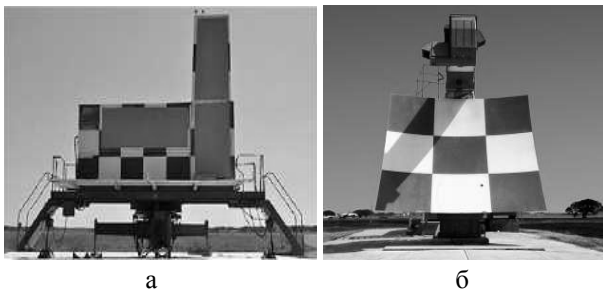


Рис. 2. Зовнішній вигляд посадкових радіолокаторів а – AN/FPN-63(V); б – AN/GPN-22



Рис. 3. Застосування посадкового радіолокатора AN/TPN-22 в Іраку в 2009 році

Посадковий радіолокатор PAR-80 використовується на військових аеродромах Федеративної Республіки Німеччина, PAR-2090 застосовується на військових аеродромах Італії. Посадкові радіолокатори AN/FPN-63(V) та AN/TPN-22 використовують Військово-морські сили Сполучених Штатів Америки, AN/GPN-22 застосовують Повітряні сили США. Радіолокаційні системи посадки РСР-6М2, РСР-10МН та РСР-10МА, що мають у своєму складі посадковий радіолокатор, знаходяться на озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України. Зазначені посадкові радіолокатори визначають відстань до повітряних суден, відхилення від лінії курсу в горизонтальній площині та від лінії глісади в вертикальній площині, але не дозволяють вимірювати швидкість повітряного судна на етапі посадки, що впливає на рівень безпеки польотів [12].

Тому актуальним є дослідження параметрів спектру зондувального сигналу посадкового радіолокатора, відбитого від повітряного судна на етапі посадки, для вимірювання доплерівського зміщення частоти зондувального сигналу посадкового радіолокатора, тобто визначення посадкової швидкості повітряного судна у посадковому радіолокаторі.

### Виклад основного матеріалу

Методи досліджень – методи системного аналізу, цифрової обробки сигналів, спектрального аналізу та дослідження операцій при аналізі параметрів спектру зондувального сигналу посадкового радіолокатора, відбитого від повітряного судна на етапі посадки.

Відомо, що при вимірюванні параметрів руху повітряного судна радіотехнічними методами швидкість руху визначається доплерівським зміщенням частоти зондувального сигналу [3] за виразом 1:

$$F_d = \pm f_0 \frac{2V_r}{c} \cdot \cos \phi = \pm \frac{2V_r}{\lambda} \cdot \cos \phi, \quad (1)$$

де  $f_0$  – частота хвиль зондувального сигналу;

$V_r$  – радіальна швидкість руху повітряного судна;

$c$  – швидкість світла;

$\lambda$  – довжина хвилі зондувального сигналу;

$\phi$  – кут між напрямком вісі головної пелюстки

діаграми спрямованості антени посадкового радіолокатора та напрямком руху повітряного судна.

Для випадку виконання посадки повітряне судно рухається у напрямку посадкового радіолокатора, тому  $\phi = 0^\circ$  внаслідок чого  $\cos \phi = 1$  та частота прийнятого сигналу буде більше на величину доплерівського зміщення частоти зондувального сигналу, що визначається виразом (1) та залежить від радіальної швидкості повітряного судна (на етапі посадки дорівнює шляховій (просторовій) або посад-

ковій швидкості) та довжини хвилі зондувального сигналу посадкового радіолокатору.

Статистичною характеристикою зондувального сигналу, відбитого від повітряного судна, є спектр доплерівського сигналу, який впливає на точність вимірювання швидкості руху повітряного судна. Потужність доплерівського спектру оцінюється за виразом 2:

$$P_{дi} = \frac{P_{сep} \cdot G^2 \cdot \sigma_{ц} \cdot \lambda^2 \cdot \eta^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot R^4}, \quad (2)$$

де  $P_{сep}$  – середня випромінювальна потужність;

$G$  – коефіцієнт спрямованої дії антени;

$\sigma_{ц}$  – ефективна площа поверхні розсіювання цілі (повітряного судна);

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії антени;

$R$  – відстань від посадкового радіолокатору до повітряного судна, що здійснює посадку.

Визначимо амплітудний спектр прийнятого сигналу. Енергетичний спектр прийнятого сигналу визначається виразом 3:

$$S(j\omega) = \int_{-T/2}^{T/2} S(t) e^{-j2\pi \cdot (f_0 + \frac{2V_r}{\lambda})t} dt, \quad (3)$$

де  $S(t)$  – амплітуда прийнятого сигналу;

$T$  – час спостереження (в посадкових радіолокаторах період повторення зондувальних сигналів).

Амплітудний спектр зондувального сигналу, відбитого від повітряного судна [4] на етапі посадки, має зазвичай спектр відбиттів на частоті зондувального сигналу, що обумовлено відбиттям від нерухомих або малорухомих місцевих предметів, та спектр відбиттів на частоті більшій за частоту зондувального сигналу на доплерівське зміщення  $F_d$  (рис. 4), яке залежить від посадкової швидкості та довжини хвилі зондувального сигналу посадкового радіолокатору.

Тому визначення частоти Доплера (доплерівського зміщення  $F_d$ ) є завданням одновимірної лінійної оптимізації (пошуку максимуму), яка може бути розв'язана методами перебору, дихотомії (ділення відрізка навпіл), золотого перетину тощо. Але в умовах обмеження за часом на проведення обробки сигналів та для пошуку максимуму функції когерентного накопичення весь діапазон можливих значень зсуву фаз  $\Delta\phi$  (від  $0^\circ$  або  $0$  рад до  $360^\circ$  або  $2\pi$ ) розбивають на  $N$  інтервалів й для кожного інтервалу (фільтру) застосовують свій множник повертання. Така математична операція або метод цифрової обробки сигналів називається дискретним перетворенням Фур'є відповідно виразу 4:

$$A(n) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \cdot e^{-j(\phi_k - \frac{2\pi \cdot k \cdot n}{N})}, \quad (4)$$

де  $n=0, 1, \dots, N-1$  – номер фільтру;

$N$  – кількість фільтрів або імпульсів зондування;

$A_k \cdot e^{-j\phi_k}$  – комплексна амплітуда  $k$ -го відліку.

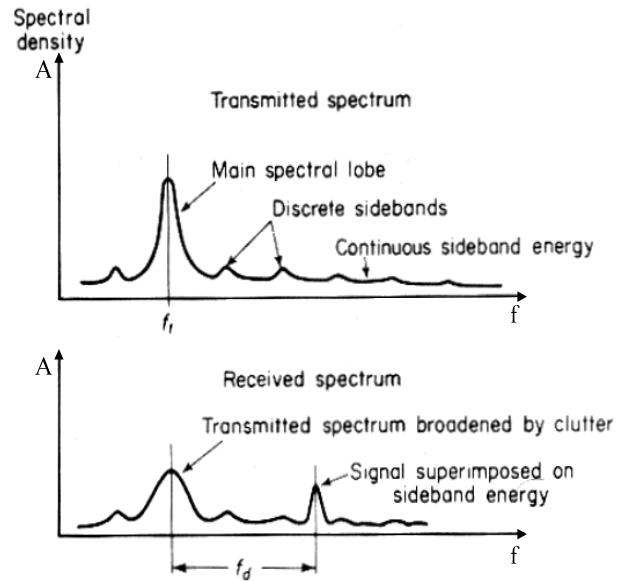


Рис. 4. Амплітудний спектр зондувального та прийнятого сигналу з відбиттям від повітряного судна

Центральній частоті  $n$ -го фільтру  $f_n$  відповідає зсув фаз  $\Delta\phi = 2 \cdot \pi \cdot n/N$ .

Прийняті сигнали, відбиті від рухомих повітряних суден, зі зсувом фаз  $\Delta\phi$ , кратним  $2 \cdot \pi/N$  (наприклад, для  $N=16$  це  $0^\circ; 22,5^\circ; 45^\circ; 67,5^\circ; 90^\circ; 112,5^\circ; 135^\circ; 167,5^\circ; 180^\circ; 202,5^\circ; 225^\circ$  або мінус  $135^\circ; 247,5^\circ$  або мінус  $112,5^\circ; 270^\circ$  або мінус  $90^\circ; 292,5^\circ$  або мінус  $67,5^\circ; 315^\circ$  або мінус  $45^\circ; 337,5^\circ$  або мінус  $22,5^\circ$ ), накопичуються з коефіцієнтом когерентного накопичення  $N$ .

Якщо  $\Delta\phi_{ц} = 90^\circ$ , то сигнал накопичуватиметься лише у фільтрі за номером 4:

$$n = \frac{\Delta\phi_{ц}}{360^\circ} = \frac{90^\circ}{360^\circ} = 4.$$

Якщо  $\Delta\phi_{ц} = 247,5^\circ$ , то – у фільтрі за номером 11:

$$n = \frac{\Delta\phi_{ц}}{360^\circ} = \frac{247,5^\circ}{360^\circ} = 11.$$

Таким чином, визначення частоти Доплера у радіолокаційних системах здійснюється методами спектрального аналізу, а саме дискретним перетворенням Фур'є (метод цифрового спектрального аналізу) за алгоритмами швидкого перетворення Фур'є, що дозволяє виключити надмірність обчислень та суттєво підвищити швидкодію. Дискретне перетворення Фур'є являє собою математичний аналог реалізації гребінки смугових фільтрів (рис. 5) з однаковими характеристиками (рівною шириною смуги пропускання, крутизною амплітудно-частотної ха-

рактики й рівними рівнями бічних пелюсток, коефіцієнтами передавання тощо).

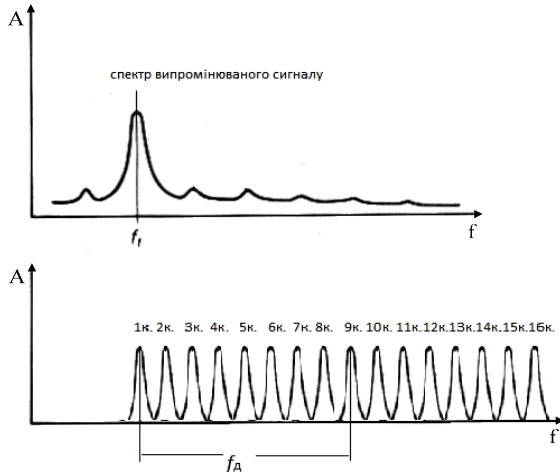


Рис. 5. Пояснення математичної функції дискретного перетворення Фур'є у частотній області

Визначимо дискретність вимірювання доплерівського зміщення частоти зондувального сигналу посадкового радіолокатора на основі аналізу параметрів спектру сигналу, відбитого від повітряного судна, що знаходиться на етапі посадки. Посадкова швидкість для різних повітряних суден становить від 220 км/год (61,11 м/с) до 300 км/год (83,33 м/с), але треба врахувати, що посадковий радіолокатор повинен вимірювати швидкості у 1,5 рази більші за посадкову. Тому дискретність вимірювання швидкості обираємо 28,8 км/год (8 м/с), що дозволить визначити швидкість повітряних суден на етапі посадки до 432 км/год (120 м/с) при  $N=16$ .

Дискретність вимірювання доплерівського зміщення частоти зондувального сигналу посадкового радіолокатора за виразом (1) складає 533,33 Гц. Вона залежить прямо пропорційно від дискретності визначення швидкості повітряних суден. При  $N=16$  максимальне значення доплерівського зміщення частоти зондувального сигналу посадкового радіолокатора становить 8 000 Гц = 8 кГц.

Треба зазначити, що до складу сучасних посадкових радіолокаторів входять пристрої або алгоритми боротьби з пасивними завадами, які мають назву системи селекції рухомих цілей. У модернізованій радіолокаційній системі посадки РСП-10МА боротьба з пасивними завадами здійснюється у блоці цифрової обробки сигналів посадкового радіолокатора ПРЛ-10МА. При реалізації системи селекції рухомих цілей на основі дискретного перетворення Фур'є за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є вимірювання посадкової швидкості повітряних су-

ден полягає у проведенні математичної операції екстрактора модуля за виразом 5 та порівняння результату зі значенням порогу (прийняття рішення про наявність повітряного судна з радіальною швидкістю, яка відповідає номеру фільтру n):

$$Z(n) = \sqrt{\text{Re}^2(A(n)) + \text{Im}^2(A(n))}, \quad (5)$$

де  $\text{Re}(A(n))$  – дійсна частина амплітуди спектральної складової на виході n-го фільтру (на частоті  $f_n$ );

$\text{Im}(A(n))$  – уявна частина амплітуди спектральної складової на виході n-го фільтру.

Таким чином, розширення функціональних можливостей посадкового радіолокатора щодо визначення швидкості повітряного судна на етапі посадки у сучасних радіолокаційних системах посадки полягає в зміні алгоритмів обчислення у блоці цифрової обробки сигналів посадкового радіолокатора та удосконаленні інформаційної моделі автоматизованого робочого місця керівника зони посадки щодо відображення посадкової швидкості. Інформація про посадкову швидкість повітряних суден, що вимірюється посадковим радіолокатором, дозволить керівнику зони посадки приймати адекватні рішення щодо управління посадкою літаків, особливо для випадку посадки повітряних суден після виконання бойових завдань з пошкодженнями та відмовами авіоніки, тобто підвищити рівень безпеки польотів.

## Висновки

Спектр відбитого сигналу від повітряного судна на етапі посадки містить спектральні складові на частоті більшій за частоту зондувального сигналу на доплерівське зміщення. Метод цифрового спектрального аналізу, а саме дискретне перетворення Фур'є дозволяє вимірювати доплерівське зміщення частоти зондувального сигналу, відбитого від повітряного судна на етапі посадки, тобто визначити посадкову швидкість повітряного судна, що забезпечить підвищення рівня безпеки польотів.

Дискретність вимірювання швидкості доцільно мати 28,8 км/год (8 м/с), що дозволить визначити швидкість повітряних суден на етапі посадки до 432 км/год (120 м/с).

Впровадження процедури (алгоритму) визначення посадкової швидкості повітряного судна у посадкових радіолокаторах полягає в зміні алгоритмів обчислення у блоці цифрової обробки сигналів та удосконаленні інформаційної моделі автоматизованого робочого місця керівника зони посадки щодо відображення посадкової швидкості.

## Список літератури

1. Измерения в электронике: справочн. / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоиздат, 1987.

2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002.
3. Артюшенко В.М. Анализ параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от протяженного объекта / В.М. Артюшенко, В.И. Воловач // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – № 9. – С. 62-66.
4. Graham Brooker Sensors and signals. – Sydney, Australia: Australian Centre for Field Robotics, 2007.
5. ICAO: Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems, Second Edition – 2002, Chapter 7 Surveillance Systems, [https://www.icao.int/publications/Documents/9750\\_2ed\\_en.pdf](https://www.icao.int/publications/Documents/9750_2ed_en.pdf).
6. ICAO: Annex 10 – Aeronautical Communications, Volume I, Chapter 3, Item 3.2.3: The precision approach radar element (PAR), 2006, page 3-25, <https://www.theairlinepilots.com/forumarchive/quickref/icao/annex10.1.pdf>.
7. ICAO: Annex 6 – Operation of Aircraft, Part I, Chapter 1, Definitions, 2010, page 1-1, [http://www.verifavia.com/bases/ressource\\_pdf/299/icao-annex-6-part-i.pdf](http://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/299/icao-annex-6-part-i.pdf).
8. ICAO: Non-precision instrument approach, November 2012, AC No: 008A-CDFa, page 3, [https://icao.int/APAC/Meetings/2013\\_APRAST3/6%20-%20CFIT%20CASA%20AC%20008A%20CDFa%20Final.pdf](https://icao.int/APAC/Meetings/2013_APRAST3/6%20-%20CFIT%20CASA%20AC%20008A%20CDFa%20Final.pdf).
9. U.S. Department of transportation, Air Traffic Organization Policy: Air Traffic Control, Section 12. PAR Approaches, 2015. – Terminal page: 5-2-1. <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/ATC.pdf>.
10. Аспекти удосконалення системи радіотехнічного забезпечення польотів авіації Повітряних Сил Збройних Сил України / В.М. Славихін, О.В. Висоцький, С.А. Макаров, В.О. Лебедєв // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4. – С. 33-37.
11. MCWP 3-25.8: Department of the Navy, Marine Air Traffic Control Detachment Handbook. – Washington, DC 20380-1775, 2004. – Page 2-3. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/usmc/mcwp/3-25-8/mcwp3-25-8\\_2004.pdf](https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/usmc/mcwp/3-25-8/mcwp3-25-8_2004.pdf).
12. Precision approach radar. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.radartutorial.eu/02.basics/rp30.en.html>.

## References

1. Kuznetsov, V.A., Dolgov, V.A. and Konevskikh, V.M. (1987), “*Izmereniya v elektronike: Spravochnik*” [Measurements in electronics: Reference book], Energoizdat, Moscow, 512 p.
2. Sergiyenko, A.B. (2002), “*Tsifrovaya obrabotka signalov*” [Digital signal processing], Peter, St. Petersburg, 606 p.
3. Artyushenko, V.M. and Volovach, V.I. (2012), “Analiz parametrov spektra doplerovskogo signala, otrazhennogo ot protyazhennogo ob'yekta” [Analysis of spectrum parameters of the Doppler signal reflected from an extended object], *News of higher educational institutions. Instrument making*, No. 9, pp. 62-66.
4. Dr Brooker, Graham (2007), “Sensors and signals”, Australian Centre for Field Robotics, Sydney, Australia.
5. ICAO (2002), “*Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems*”, Second Edition, Chapter 7 “Surveillance Systems”, [https://www.icao.int/publications/Documents/9750\\_2ed\\_en.pdf](https://www.icao.int/publications/Documents/9750_2ed_en.pdf).
6. ICAO (2006), Annex 10 “*Aeronautical Communications*”, Vol. I, Chapter 3, Item 3.2.3 “The precision approach radar element (PAR)”, p. 3-25, <https://www.theairlinepilots.com/forumarchive/quickref/icao/annex10.1.pdf>.
7. ICAO (2010), Annex 6 “*Operation of Aircraft*”, Part I, Chapter 1 “Definitions”, p. 1-1, [http://www.verifavia.com/bases/ressource\\_pdf/299/icao-annex-6-part-i.pdf](http://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/299/icao-annex-6-part-i.pdf).
8. ICAO (2012), “*Non-precision instrument approach*”, AC No: 008A-CDFa, p. 3, [https://icao.int/APAC/Meetings/2013\\_APRAST3/6%20-%20CFIT%20CASA%20AC%20008A%20CDFa%20Final.pdf](https://icao.int/APAC/Meetings/2013_APRAST3/6%20-%20CFIT%20CASA%20AC%20008A%20CDFa%20Final.pdf).
9. U.S. Department of transportation (2015), “*Air Traffic Organization Policy: Air Traffic Control*”, Section 12 „PAR Approaches”, p. 5-12-1, <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/ATC.pdf>.
10. lavikhin, V.M., Visotskiy, O.V., Makarov, S.A. and Lebeyev, V.O. (2017) “Aspekty udoskonalennya systemy radio-tekhnichnoho zabezpechennya pol'otiv aviatsiyi Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny” [Aspects of improvement of the system of radio-technical support for aviation flights of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 4, pp. 33-37.
11. Department of the Navy (2004), “*Marine Air Traffic Control Detachment Handbook*”, DC 20380-1775, Washington, p. 2-3, [https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/usmc/mcwp/3-25-8/mcwp3-25-8\\_2004.pdf](https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/usmc/mcwp/3-25-8/mcwp3-25-8_2004.pdf).
12. “Precision approach radar”, <http://www.radartutorial.eu/02.basics/rp30.en.html>.

Надійшла до редколегії 4.05.2018

Схвалена до друку 19.06.2018

### Відомості про авторів:

**Макаров Сергій Анатолійович**  
кандидат технічних наук доцент  
начальник кафедри Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4708-5449>

### Information about the authors:

**Sergij Makarov**  
Candidate of Technical Sciences Assistant Professor  
Head of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4708-5449>

**Сокол Олег Олександрович**

старший викладач  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1164-0401>

**Oleg Sokol**

Senior Instructor of Department  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1164-0401>

**Поворознюк Владислава Ярославівна**

курсант  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9173-0452>

**Vladislava Povoroznyuk**

cadet  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9173-0452>

**Яндола Віктор Петрович**

курсант  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3522-7670>

**Viktor Yandola**

cadet  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3522-7670>

**РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОСАДОЧНОГО РАДИОЛОКАТОРА  
ОТНОСИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРА  
ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ЭТАПЕ ПОСАДКИ**

С.А. Макаров, О.А. Сокол, В.Я. Поворознюк, В.П. Яндола

*В статье проводится исследование одного из способов измерения параметров спектра зондирующего сигнала посадочного радиолокатора, отраженного от воздушного судна, выполняющего посадку и движущегося в направлении посадочного радиолокатора. Обосновывается расширение функциональных задач, возложенных на посадочные радиолокаторы радиолокационных систем посадки самолётов, а именно определение скорости воздушного судна на этапе посадки, что непосредственно влияет на обеспечение надлежащего уровня безопасности полётов. Определяется дискретность измерения доплеровского смещения частоты зондирующего сигнала, отраженного от воздушного судна, находящегося на этапе посадки. Разрабатываются предложения по реализации устройства измерения доплеровского смещения частоты, как следствие, определения скорости воздушного судна на этапе посадки.*

**Ключевые слова:** спектр доплеровского сигнала, воздушное судно, посадочный радиолокатор, посадка, радиальная скорость, радиолокационная система посадки.

**EXPANSION OF THE FUNCTIONAL POSSIBILITIES OF THE PLANNING RADAR  
TO THE DETERMINATION OF THE SPEED BY MEASURING THE PARAMETERS OF THE SPECTRUM  
OF THE PROBING SIGNAL REFLECTED FROM THE AIRCRAFT AT THE STAGE OF THE LANDING**

S. Makarov, O. Sokol, V. Povoroznyuk, V. Yandola

*The measuring methods of spectrum parameters of the probing signal of precision approach radar of the aircraft radar landing system is investigated in the paper. The signal is returned from the landing aircraft moving in the radar direction. The extension of functional tasks related with precision approach radar of aviation radar systems significantly influences on support of save aviation adequate level. The aircraft speed determination on the heading inbound is one of the tasks. It is proposed to determine the aircraft speed using a method based on measuring the Doppler frequency shift of probing signal with using digital spectral analysis of sended signal namely the discrete Fourier transformation according to Fast Fourier Transform algorithm. The discrecity of measurement of the Doppler frequency shift of probing signal reflected from the aircraft is determined. The suggestions related with implementation of Doppler frequency measurement unit is developed. This device defines the aircraft flight speed in the landing process. The activities needed for implementation the described function in the existing modern radar landing systems of aircraft are proposes. The extension of precision approach radar function for obtaining information about aircraft landing speed will allow for flight management team to make adequate decisions on the management of aircraft landing, especially in the event of their landing after the completion of combat missions with the received damage and avionics failures.*

**Keywords:** Doppler signal spectrum, aircraft, landing radar, landing, radial velocity, radar landing system.