

УДК 621.391.83

# ТРЕНАЖЕРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗА ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛЬОВИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА УМОВ ПРОСТОРОВИХ ШУМІВ

**Simulator Software of Process Modeling of Radar Solution  
Under Action of Adaptive Detection of Target Objects  
in Conditions of Spacious Noise**

**Г. Баранов**, доктор технічних наук, професор кафедри інформаційних систем і технологій, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: olenakomisarenko@ukr.net

**Р. Габрук**, кандидат технічних наук, докторант, Національний університет «Одеська Морська Академія», e-mail: grostyslav@yahoo.com

**І. Горішна**, директор ТОВ «Оверсіз Лоджистік», м. Одеса, e-mail: troiccaya@gmail.com

**G. Baranov**, Doctor of Technical Sciences, professor of Department, National Transport University, Kiev, e-mail: olenakomisarenko@ukr.net

**R. Gabruk**, Candidate of Technical Sciences, doctoral student, National University «Odessa Maritime Academy», e-mail: grostyslav@yahoo.com

**I. Gorishna**, director Overseas Logistic LLC, Odessa, e-mail: troiccaya@gmail.com

*Розглянуто методи оптимізації просторо-во-часового опрацювання сигналів для повного або ж часткового подавлення небажаних бічних пелюстків завад. Здійснено удосконалення методики роботи пари «сигнал-фільтр» з використанням ітераційної процедури для максимізації відношення сигнал/шум та проведено імітаційну перевірку розробленої методики. З метою тренування операторів згідно з програмами навчання запропоновано алгебраїчні вирази. Математичні моделі реалізовано у середовищі програмування Matlab.*

*In this paper are considered methods for optimizing spatio-temporal signal processing for the complete or partial suppression of unwanted side lobes of interference. The method of operation of the signal-filter pair was perfected using an iterative procedure to maximize the signal-to-noise ratio. Simulated verification of the developed technique was carried out. In order to train operators according to training programs, algebraic expressions are proposed. Mathematical models are implemented in Matlab programming environment.*

**Ключові слова:** просторо-часове опрацювання, оптимізація, тренажерна процедура, відношення сигнал/шум.  
**Keywords:** space-time processing, optimization, training procedure, signal-to-noise ratio.

Одним із напрямів підвищення якості функціонування радіотехнічних систем є вдосконалення наявних технологій опрацювання радіосигналів та впровадження нових методів, пов'язаних з урахуванням атмосферного впливу. На сучасному етапі розвитку радіолокаційного приладобудування одним із напрямів є створення перспективних радарів. Бортова радіолокаційна станція (РЛС) є однією з найважливіших елементів радіоелектронного обладнання сучасного літального апарата та авіаційного тренажера; на екрані електронно-променевої трубки РЛС забезпечують візуальну інформацію, яка імітує динаміку цільових об'єктів.

На сьогодні авіаційно-космічні рухомі об'єкти неможливі без радарів. Наявність на борту літального апарата радіотехнічних засобів, що забезпечують панорамний огляд місцевості незалежно від оптичної видимості, докорінно покращує умови, наприклад, літаководіння і повноту досягнення цільових результатів за різної навігаційної обстановки, набагато підвищують навички людини-операторів, точність і надійність професійних дій за умов, наближених до натурних.

Коли в бортових РЛС здійснюється прийом відбитого радіолокаційного сигналу від земної поверхні або від усіх об'єктів, що містяться нижче літака, тоді погіршується



Г. Баранов



Р. Габрук



І. Горішна

визначення та ідентифікація цільових об'єктів на підстилаючій поверхні. Радіолокаційні станції виявляють і опрацьовують ехо-сигнали. Одним із першочергових завдань є необхідність поліпшення якісних характеристик сучасних систем первинного опрацювання радіолокаційної інформації, підвищення їх завадостійкості під час радіолокаційного зондування за умов перешкод. Це визначає необхідність розроблення нових і вдосконалення відомих засобів отримання та подання інформації стосовно навколишньої обстановки, алгоритмів багатоканального прийому за умов виявлення ехо-сигналів на тлі шумів і пасивних перешкод. Комплексне забезпечення авіаційно-космічних тренажерів (АКТ) для тренування членів екіпажів формує спеціалізовану систему управління технологічними процесами навчання та реалізації за постійно зростаючих вимог до якості виявлення сигналу і часу опрацювання за режимів реального часу.

У силу інформаційного характеру вирішуваних завдань сучасні РЛС, у рамках сформованого інформаційного простору, забезпечують створення в реальному масштабі часу динамічної інформаційної моделі повітряної обстановки, здатної забезпечити підвищення результативності виконання польотного завдання оператором.

Засоби радіолокації (радіолокаційні станції та комплекси) є первинними джерелами радіолокаційної інформації (РЛІ). Вони здійснюють радіолокаційний огляд простору, збір і первинне опрацювання інформації стосовно об'єктів локації. РЛС є радіотехнічними пристроями, призначеними для виявлення, визначення просторових координат і параметрів руху, а також розпізнавання (класифікації) і визначення цільових об'єктів за допомогою випромінювання радіохвиль, реєстрації та аналізу параметрів їх відображень від відповідних об'єктів.

У класичних роботах Ф.М. Вудворда, Д. Міддлтона, В.І. Бунімовича, Л.А. Вайнштейна, В.Д. Зубакова, Г.П. Тартаковського, Я.Д. Ширмана, С.Є. Фальковича та інших розроблено теоретичні основи виявлення сигналів на фоні перешкод. Показано, зокрема, що принципова можливість вирішення цього завдання базується на використанні відмінностей (часових, частотних та інших) сигналів, що несуть корисну радіолокаційну інформацію, та перешкод.

*Мета статті* — максимізація відношення сигнал/шум шляхом застосування методу ітерацій для підвищення продуктивності роботи оператора АКТ комплексу з РЛС за виявлення цільових об'єктів на підстилаючій поверхні за умов просторових шумів згідно із завданням на сеанс навчання.

## ВИКЛАД МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОВНИМ ОБҐРУНТУВАННЯМ ОТРИМАНИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

В основі майже всіх методів виявлення та ідентифікації цільових об'єктів є застосування складних зондувальних сигналів з оптимізованими кореляційними властивостями. Знання необхідні для покращення контрастності радіолокаційних зображень. Завдання можуть бути вирішені шляхом визначення фазочастотних властивостей поверхні цільового об'єкта. Зафіксовані умови необхідні для проведення аналізу фазових та амплітудних спотворень зондувального сигналу на різних частотах [1]. Тому застосування адаптивної фільтрації у поєднанні з методом опрацювання радіолокаційних сигналів дає можливість з достатньою точністю встановлювати фазочастотні характеристики зондувальних радіолокаційних сигналів, безпосередньо для кожного періоду зондування. Отримуємо радіолокаційну інформацію стосовно цільового об'єкта на основі адаптивного фільтра в кожному періоді зондування. Процедура зводиться до адаптації фільтра в момент прийому ехо-сигналу. Подальший аналіз отриманої помилки (відхилення ехо- і зондувального сигналів) представляє перехідну характеристику адаптивного фільтра після його адаптації. Для кожного цільового об'єкта в одному періоді зондування повинен формуватися свій окремий алгоритм адаптивної фільтрації. Форми отриманого сигналу, структура та алгоритм роботи радіолокаційної станції повинні бути також адаптивними в межах допустимої кількості цільових об'єктів, що одночасно спостерігаються у робочій зоні.

З точки зору підвищення роздільної здатності та точності (тобто інформативності радіолокаційного сигналу) необхідно розширювати смугу частот зондувального сигналу, що, наприклад, досягається зменшенням тривалості зондувальних імпульсів або застосуванням спеціальних складних сигналів [2].

Роль функції невизначеності зводиться до того, що за нею можна порівняти різні види і форми сигналів з точки зору точності й роздільної здатності за дальністю і швидкістю. За функцією невизначеності легко встановити, в яких частинах площини цілі вирішуються краще і в яких – гірше, за яких значень дальності і швидкості можна розраховувати на більш точне вимірювання параметрів [3, 4]. Отже, хоча точність і роздільна здатність залежать від багатьох факторів, а також від методу опрацювання сигналів, функцію невизначеності можна розглядати як деяку узагальнену характеристику, пов'язану тільки з формою сигналу, яка інтегровано відображає ці найважливіші параметри радіолокаційної системи [5].

Завдання оптимального виявлення точкової цілі на фоні суміші перешкод і шумів, зводиться у загальному випадку до такого вибору сигналу  $S(t)$  і філь-

тра  $W(t)$ , які доставляють максимум відношення сигнал / (перешкода + шум) [6]. Визначення сигналу і фільтра, що доставляють максимум відношення сиг-

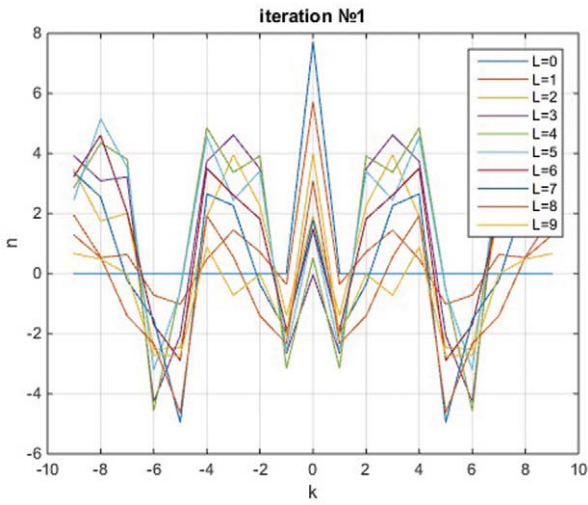


Рис. 1.1. Форма ВФН сигналу за ітерації № 1  
Fig. 1.1. Form VFN signal for iteration No. 1

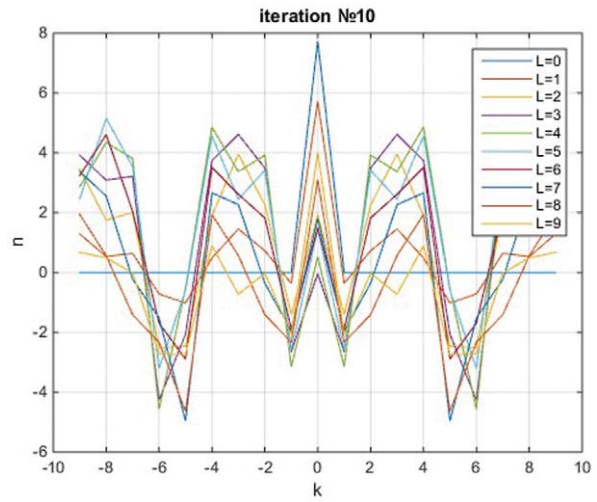


Рис. 1.2. Форма ВФН сигналу за ітерації № 10  
Fig. 1.2. Form VFN signal for iteration No. 10

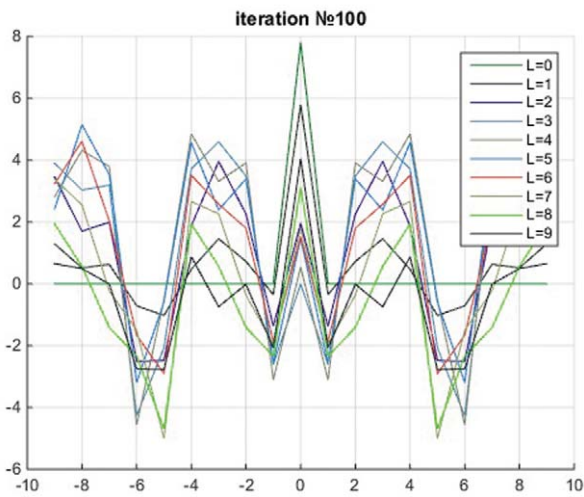


Рис. 1.3. Форма ВФН сигналу за ітерації № 100  
Fig. 1.3. Form VFN signal for iteration No. 100

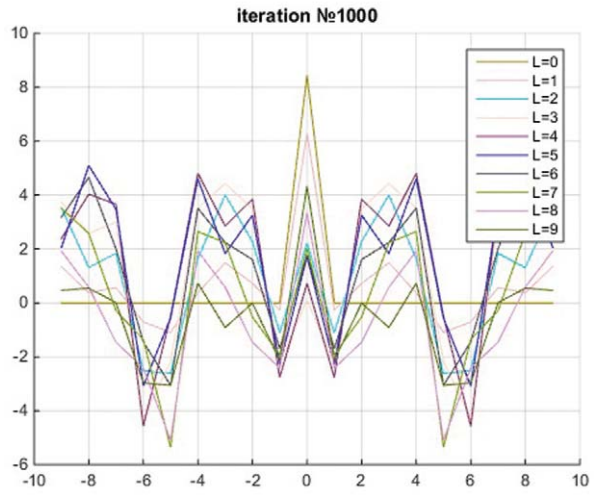


Рис. 1.4. Форма ВФН сигналу за ітерації № 1000  
Fig. 1.4. Form VFN signal for iteration No. 1000

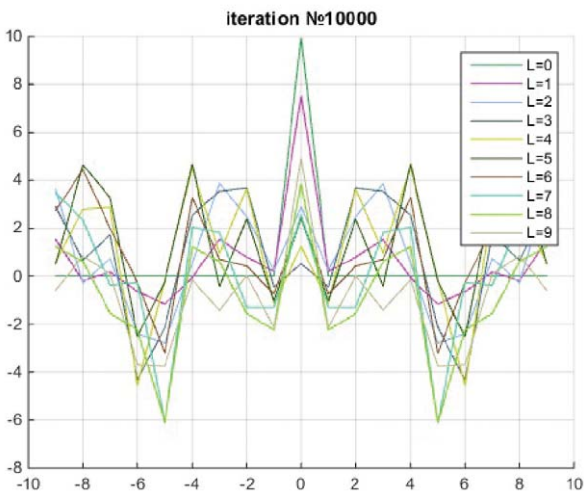


Рис. 1.5. Форма ВФН сигналу за ітерації № 10000  
Fig. 1.5. Form VFN signal for iteration No. 10000

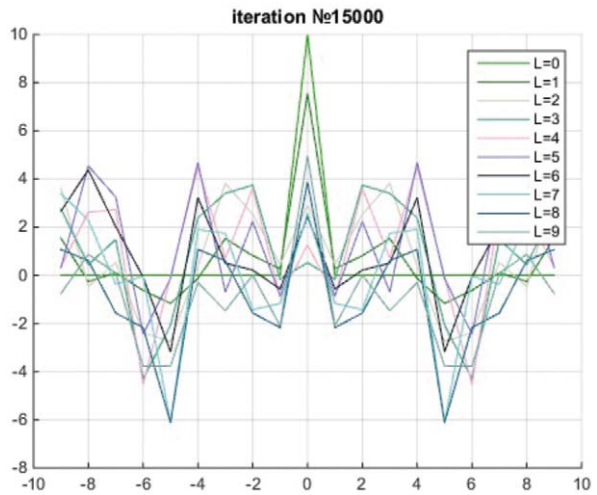


Рис. 1.6. Форма ВФН сигналу за ітерації № 15000  
Fig. 1.6. Form VFN signal for iteration No. 15000

Результати технології отримання оптимального фільтра і сигналу зі структурою  $N = 10$  складових для  $s = [1; 1; 1; 1; -1; -1; 1; 1; 1; -1]$  для використання методу ітерацій

Results of the technology for obtaining the optimal filter and signal with structure  $N = 10$  components for  $s = [1; 1; 1; 1; -1; -1; 1; 1; 1; -1]$  to use the iteration method

№ ітерації	Значення оптимального фільтра	Значення оптимального сигналу	Втрати у співвідношенні $S_{NR}$
Ітерація №1	[2.1943; 0.4389; 0.0878; 0.7900; -0.6145; -1.6676; 0.4389; 0.0878; 0.7900; -0.6145]	[1.0002; 1.0000; 0.9999; 1.0000; -1.0000; -1.0001; 1.0000; 0.9999; 1.0000; -1.0000]	0.5967
Ітерація №10	[2.1938; 0.4395; 0.0883; 0.7907; -0.6150; -1.6669; 0.4395; 0.0883; 0.7907; -0.6150]	[1.0018; 0.9996; 0.9991; 1.0000; -0.9998; -1.0012; 0.9996; 0.9991; 1.0000; -0.9998]	0.5980
Ітерація №100	[2.1890; 0.4451; 0.0930; 0.7973; -0.6201; -1.6596; 0.4451; 0.0930; 0.7973; -0.6201]	[1.0181; 0.9957; 0.9912; 1.0002; -0.9980; -1.0114; 0.9957; 0.9912; 1.0002; -0.9980]	0.6101
Ітерація №1000	[2.1431; 0.4944; 0.1388; 0.8500; -0.6620; -1.5995; 0.4944; 0.1388; 0.8500; -0.6620]	[1.1593; 0.9598; 0.9182; 1.0013; -0.9799; -1.0963; 0.9598; 0.9182; 1.0013; -0.9799]	0.7126
Ітерація №10000	[1.8697; 0.6954; 0.4119; 0.9789; -0.8035; -1.4108; 0.6954; 0.4119; 0.9789; -0.8035]	[1.6835; 0.7814; 0.5702; 0.9927; -0.8681; -1.3477; 0.7814; 0.5702; 0.9927; -0.8681]	0.9888
Ітерація №15000	[1.8166; 0.7225; 0.4595; 0.9854; -0.8233; -1.3914; 0.7225; 0.4595; 0.9854; -0.8233]	[1.7456; 0.7548; 0.5198; 0.9898; -0.8482; -1.3690; 0.7548; 0.5198; 0.9898; -0.8482]	0.9984
Ітерація №20000	[1.7950; 0.7327; 0.4782; 0.9872; -0.8310; -1.3844; 0.7327; 0.4782; 0.9872; -0.8310]	[1.7685; 0.7447; 0.5007; 0.9887; -0.8404; -1.3763; 0.7447; 0.5007; 0.9887; -0.8404]	0.9998

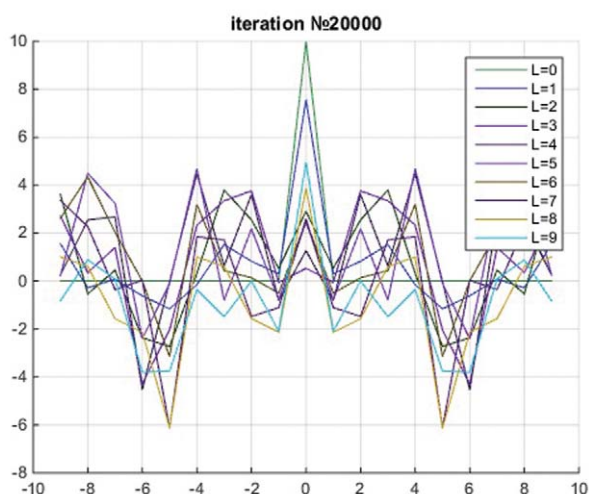


Рис. 1.7. Форма ВФН сигналу за ітерації № 20000  
Fig. 1.7. Form VFN signal for iteration No. 20000

нал / (перешкода + шум), пов'язано з розв'язанням варіаційної задачі, яка призводить до системи інтегральних рівнянь. Для розв'язання рівнянь пропонується використовувати ітераційні методи.

Ітераційна процедура оптимізації сигналу і фільтра для визначення максимального відношення сигнал / (перешкода + шум) за різних їх розмірностей полягає у почерговому розв'язанні інтегральних рівнянь для фільтра і сигналу за фіксованої норми сигналу і фільтра [7]. На першому етапі методу для заданого початкового вектора сигналу розв'язується рівняння, що визначає імпульсний відгук фільтра. На другому етапі для отриманого у такий спосіб

фільтра розв'язується рівняння, що визначає сигнал, і так далі. Отже ітераційний метод складається з 2 етапів. Завжди кожне значення отриманого фільтра або сигналу проходить процес нормування на кожному ітераційному циклі [8].

У таблиці наведено розрахунки оптимального фільтра для сигналу  $N = 7$  для  $s = [1; -1; -1; -1; -1; -1; -1]$  із використанням ітераційного методу. За кожної ітерації спочатку отримуємо значення оптимального фільтра для даного сигналу за  $l = 0 \dots 6$ , а потім — значення оптимального сигналу для прийнятого імпульсного відклику, і обчислюємо втрати у відношенні сигнал/шум.

На рис. 1.1–1.7 зображено графіки перерізів ВФН для сигналу, який було задано у виді дискретної послідовності такого виду:  $s = [1; 1; 1; 1; -1; -1; 1; 1; 1; -1]$  для періодичного випадку.

### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОЇ РОБОТИ У ЗАЗНАЧЕНОМУ НАПРЯМІ

1. Запропоновано технологію процесів підготовки завдань на тренування роботи операторів РЛС.
2. АКТ з ергатичною системою управління забезпечує навчання за різних умов впливу на бортову РЛС факторів навколишнього середовища.
3. Розрахунки виконано для періодичного випадку сигналів типу  $N = 3, 8, 9$ , коли отримано подібні результати, а також для аперіодичного випадку.
4. Використання сигналів для різних  $N$  ( $N1, N2, \dots, Np$ ) нових сигналів може бути побудовано за

допомогою методу, який ґрунтується на елементарному множенні сигналів із взаємно простими періодами.

Подальше практичне використання запропонованого ітераційного методу моделювання дозволить вирішити для РЛС завдання оптимального виявлен-

ня цільових об'єктів на фоні підстилючої поверхні за умов перешкод. Наприклад, це дозволить поліпшити експлуатаційні характеристики у вертолітних комплексах з метою подання інформації для підвищення продуктивності роботи оператора за умов змін впливу факторів навколишнього середовища.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Слока В.К. Питання обробки радіолокаційних сигналів. Москва: Радянське радіо (Sloka V. Questions of processing of radar signals. Moscow: Soviet Radio), — 1970. — 256 с/р.
2. Варакін Л.Є. Формування та оброблення складних сигналів в радіолокаційних і радіозв'язних системах. Москва: ВЗЕИС (Varakin L. Shaping and processing of complex signals in radar and radio communication systems. Moscow: VZEIS), — 1967. — 308 с/р.
3. Фалькович С.Є. та Хомяков Е.П. Статистична теорія вимірювальних радіосистем. Москва: Радіо та зв'язок (Falkovich S.E. and Khomyakov E.P. The Statistical Theory of Measuring Radio Systems. Moscow: Radio and communication), — 1981. — 287 с/р.
4. Кук Ч. та Бернфельд М. Радіолокаційні сигнали. Введення в теорію та застосування. Москва: Радянське радіо (Cook C. and Bernfield M. Radar signals. Introduction to theory and application. Moscow: Soviet Radio), — 1971. — 568 с/р.
5. Іпатов В.П. Широкополосні системи та кодовий розподіл сигналів. Принципи та положення. Москва: Техносфера (Ipatov V.P. Broadband Systems and Code Distribution of Signals. Principles and Regulations. Moscow: Technosphere), — 2007. — 488 с/р.
6. Габрук Р.А. та Горішна І.Я. Розроблення ітераційного методу для оптимізації пари «сигнал-фільтр». Метрологія та прилади. (Gabruk R.A. and Gorishna I.Y. Development of an iterative method for optimizing the «signal-filter» pair. Metrology and Instruments), — 2016 — № 6 (62), — С/Р. 39—43.
7. Koshevyu V.M. and Gorishna I.Y. The Joint Wave formand Filter Design for Marine Radar Tasks. Trans Nav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2016, Vol. 12, No. 3, pp. 169—172.
8. Горішна І.Я. Дослідження способів оброблення сигналів за неузгодженої фільтрації. Стандартизація, сертифікація, якість. (Gorishna I.Y. Investigation of methods of processing signals for non-matched filtration. Standardization, certification, quality.), — 2015. — № 3 (94). — С/Р. 60—62. ■

Отримано / received: 30.07.2018.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Д.П. Пашковим (Україна).

Prof. D.P. Pashkov, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.