

УДК 621.396.98

М. П. ЧОРНОБОРДОВ

Запорізький національний технічний університет, Україна

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЕНСАТОРА ІМПУЛЬСНИХ ЗАВАД

Експериментально досліджено ефективність пристрою компенсації імпульсних завад на базі РЛС 35Д6 в умовах впливу на неї пасивних й несинхронних імпульсних завад. Застосування різних вагових функцій під час обчислення дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) призводитиме до зміни як ймовірності вірного виявлення як цілей, так й імпульсних завад. Отримано підтвердження доцільності застосування оптимізованого вагового вікна ДПФ замість штатного в РЛС 35Д6. Практично досягнуто збільшення коефіцієнта проведення траси до 4%, а збільшення ймовірності хибних тривог не перевищує 8%.

**Ключові слова:** імпульсна завада, ДПФ, вагове вікно, ймовірність вірного виявлення й хибних тривог

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для забезпечення захищеності від впливу як природних, так й штучно створених пасивних завад, у радіолокаційній станції (РЛС) 35Д6 селекція рухомих цілей здійснюється за допомоги пристрою стабілізації рівня хибних тривог за радіальною швидкістю руху об'єктів на основі цифрових фільтрів, втілених методом дискретного перетворення Фур'є (ДПФ).

Захищеність наявних РЛС від імпульсних завад забезпечується, переважно, пристроями амплітудного обмеження й бланкування. Однак, методи пригнічення однієї з завадових складових оброблюваної радіолокаційної інформації найчастіше збільшують дію іншої складової. Це знижує ефективність наступного статистичного аналізу за виявлення цілей. Тому питання виявлення цілей в умовах впливу комбінованих завад є актуальним [1, 2].

В [3] описано цифровий пристрій компенсації імпульсних завад, у якому процедури виявлення й обчислення параметрів несинхронних імпульсних завад здійснюються за допомоги ДПФ.

У [4] з метою мінімізації втрат у швидкісній характеристиці (ШХ) РЛС 35Д6 було виконано оптимізацію вагових функцій для ДПФ. Отримано, що шляхом заміни штатних вагових функцій на оптимальні, можливе зменшення кількості втрат швидкісної характеристики станції.

Застосування різних вагових функцій під час обчислення ДПФ призводитиме до зміни як ймовірності вірного виявлення як цілей, так й імпульсних завад.

**Метою статті** є дослідження ефективності застосування оптимізованих вікон в РЛС 35Д6 в умовах впливу комбінованих (пасивних й несинхронних) імпульсних завад.

### 1. Опис умов проведення експерименту

Експериментальна оцінка ефективності цифрового пристрою компенсації імпульсних завад для випадку простого сигналу зондування за роботи у справжньому сигнально-завадовому оточенні проводилася на базі РЛС 35Д6. Структурну схему системи первинної обробки 35Д6 наведено на рис. 1.

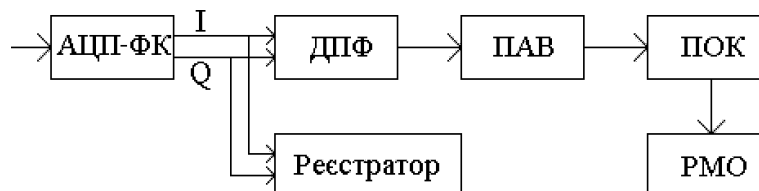


Рис. 1. Структурна схема штатної системи первинної обробки РЛС 35Д6 з підключеною апаратурою реєстрації: АЦП-ФК - аналогово-цифровий перетворювач і формувач квадратурних складових; ДПФ – пристрій обчислення ДПФ; ПАВ - пристрій автоматичного виявлення; ПОК - пристрій оцінювання координат; РМО - робоче місце оператора

З виходу формувача квадратурних складових під час штатної роботи станції проводився запис (реєстрація) сигнально-завадового оточення. Для цього, оцифрований штатними засобами вихідний сигнал приймача за усіх вимкнених вбудованих систем захисту від активних завад 35Д6 (ШОУ-БАРУ й НАП) з входу пристрою обчислення швидкого перетворення Фур'є локатора паралельно записувався на накопичувач на жорсткому магнітному диску апаратури реєстрації у вигляді цифрових квадратурних складових радіолокаційного сигналу. Далі ці дані оброблялися за допомоги розробленої в НПК "Іскра" комп'ютерної моделі системи первинної обробки РЛС 35Д6.

## 2. Експериментальні дослідження

На рис. 2 наведено в плинні 30 обертів антени частину траси польоту літака, що рухається на тлі купчасто-дощових хмар за впливу на РЛС 35Д6 імпульсних завад від невідомого джерела. Штатні системи захисту від активних завад РЛС 35Д6 – вимкнені. За обчислення ДПФ використовується штатне вагове вікно РЛС 35Д6.

Дужками на рис. 2 показано позначки, сформовані системою первинної обробки з відгуків від цілі або зумовлені впливом імпульсних й неімпульсних завад. Не зафарбованою дужкою показані виявлення, отримані в однойменному елементі розділення за дальністю для декількох частотних пачок підряд, для яких був виконаний критерій виявлення  $K$  з  $M$  [5]. Такі позначки виводяться на екран оператора робочого місця 35Д6 (очікується, що це - позначка від цілі).

Під час проведення експерименту застосовувалися наступні штатні для РЛС параметри:  $K=2$ , а  $M=4$ .

Дужками чорного кольору на рис. 2 показані виявлення, для яких не було виконано критерій  $K$  з  $M$  (тобто,  $K=1$ ). Такі позначки не виводяться на екран оператора, але дають можливість оцінити кількість наявних імпульсних й неімпульсних завад – потенційне джерело погіршення імовірнісних характеристик виявлення.

Для дослідження ефективності застосування оптимальних вікон в РЛС 35Д6 в умовах впливу несинхронних імпульсних завад, зареєстровані радіолокаційні дані оброблювалися за допомоги комп'ютерної моделі компенсатора, після чого скомпенсовані дані пропускалися через комп'ютерну модель системи первинної обробки РЛС 35Д6 – інформація подавалася на вхід пристрою ДПФ (див. рис. 1). За обчислення ДПФ використовувалося оптимізоване вагове вікно для РЛС 35Д6 [4].

На рис. 3 наведено скомпенсовану за імпульс-

ними завадами трасу польоту літака. Порівнюючи рис. 2 й 3, можна побачити, що внаслідок проведеної компенсації імпульсних завад коефіцієнт траси (відношення кількість позначок, що утворюють трасу, до кількості обертів) збільшився з 40% до 94%.



Рис. 2. Траса польоту літака в умовах дії імпульсних й пасивних завад. Штатне вагове вікно

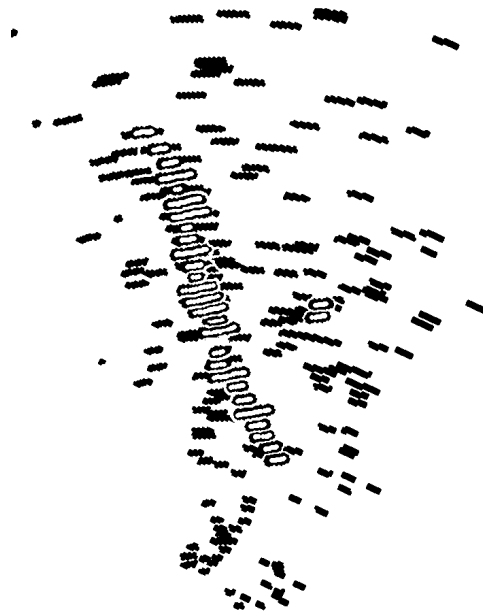


Рис. 3. Скомпенсована за імпульсними завадами траса польоту літака. Штатне вікно ДПФ

На скомпенсованій трасі відсутні дві позначки від цілі: перша – на початку, друга – в середині тра-

си. Аналіз обробленої радіолокаційної інформації показав, що відсутність цих двох позначок на трасі не пов'язана з роботою пристрою компенсації.

Істотне зменшення чорних дужок (див. рис. 3 порівняно до рис. 2) дають можливість оцінити кількість усунутих імпульсних завад. Наявність решти чорних дужок обумовлена несприятливими метеороумовами. Праворуч від траси, на рис. 3 присутні дві позначки – це хибні виявлення від дискретних завад, які не потрапили до встановленої оператором РЛС 35Д6 зони режекції.

Далі було повторено експеримент, але за обчислення ДПФ використовувалося оптимізоване вагове вікно для РЛС 35Д6 [4].

На рис. 4 наведено скомпенсовану за імпульсними завадами трасу польоту літака. Порівнюючи рисунки 3 й 4, можна побачити, що внаслідок заміни штатного вагового вікна РЛС 35Д6 на оптимізоване, коефіцієнт траси збільшився до 98%: в середині траси з'явилась позначка від цілі.

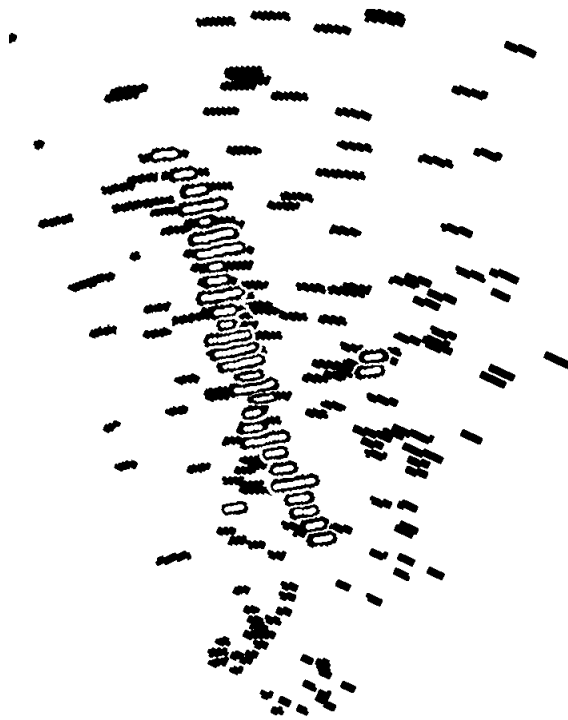


Рис. 4. Скомпенсована за імпульсними завадами траса польоту літака. Оптимізоване вагове вікно для ДПФ

Застосування оптимізованого в [4] вікна дещо змінило співвідношення амплітуд відбитих імпульсів зондування від цілі й пасивних завад. Внаслідок чого на відповідному оберті стало можливим виявлення цілі.

Застосування оптимізованого в [4] вікна приз-

вело й до збільшення ймовірності хибних тривог на 8%. З мал. 4 можна побачити, що, порівняно до випадку мал. 3, відбулась певна зміна місця розташування й кількості чорних дужок (потенційне джерело погіршення ймовірності хибних тривог). Як наслідок, ліворуч від траси, на рис. 4 з'явилась відмітка, відсутня на рис. 3.

На рис. 5 наведено ймовірність правильного виявлення цілі  $P$ , що рухається на тлі протяжної за дальністю пасивної завади за одночасного впливу  $M_{i.з.}$  імпульсних завад у кожному елементі розділення за дальністю. Виявлення корисного сигналу здійснювалося на виході пристрою стабілізації рівня хибних тривог [6]. Залежність побудована для ймовірності хибних тривог  $10^{-6}$  й відношення пасивна завада/шум 20 дБ.

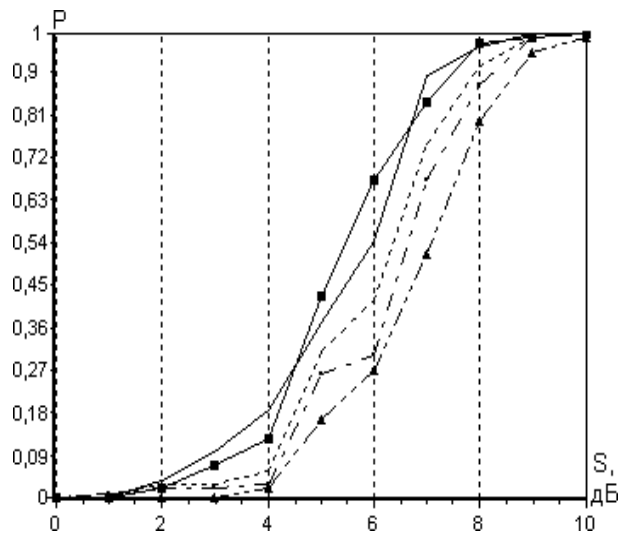


Рис. 5. Ймовірність правильного виявлення цілі в умовах одночасного впливу імпульсних й пасивних завад:  
— компенсатор вимкнено,  $M_{i.з.}=0$ ;  
компенсатор увімкнено:  
■  $M_{i.з.}=0$ , --  $M_{i.з.}=1$ , -·-  $M_{i.з.}=2$ , ▲  $M_{i.з.}=3$

Наведені на рис. 5 характеристики дозволяють зробити висновок про те, що під час відсутності імпульсних завад увімкнення пристрою компенсації неістотно змінює ймовірнісні характеристики виявлення корисного сигналу.

В умовах впливу імпульсних завад, криві ймовірності правильного виявлення відрізняються одна від одної не більш, ніж  $\pm 0,5$  дБ: для забезпечення сталої ймовірності  $P$  за збільшення на одиниця кількості імпульсних завад в одному елементі розділення за дальністю, необхідне збільшення відношення сигнал/шум на 0,5 дБ.

Таким чином, отримані результати свідчать про високу ефективність роботи цифрового пристрою компенсації імпульсних завад в умовах впливу кіль-

кох імпульсних завад в одному елементі розділення за дальністю.

### Висновки

Отримано експериментальне підтвердження доцільності застосування оптимізованого у [4] вагового вікна для ДПФ замість штатного в РЛС 35Д6 за її роботи в умовах впливу несинхронних імпульсних завад.

1. Практично досягнуто збільшення коефіцієнта траси на 4%.

2. Збільшення ймовірності хибних тривог не перевищує 8%.

### Література

1. Behar, V. Adaptive CA CFAR Processor for Radar Target Detection in Pulse Jamming [Text] / V. Behar, Chr. Kabakchiev, L. Doukowska // Journal of VLSI Signal Processing. – 2000. – Vol. 26. – P. 383 - 396.

2. Doukowska, L. Moving Target Hough Detector in Pulse Jamming [Text] / L. Doukowska // Cybernetics and Information Technologies. – Sofia, 2007. – Vol. 7,

№ 1. – P. 67-76.

3. Чернобородова, Н. П. Цифровая система компенсации несинхронных импульсных помех [Текст] / Н. П. Чернобородова, М. П. Чернобородов // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2004. – № 2. – С. 49-54.

4. Поліпшення швидкісної характеристики РЛС 35Д6 [Текст] / Н. П. Чернобородова, М. П. Чернобородов, А. С. Сіренко, Т. І. Бугрова // Системи озброєння та військова техніка. – Х. : ХВПС, 2012. – Вип. 1. – С. 80-83.

5. Бакулев, П. А. Методы и устройства селекции движущихся целей [Текст] / П. А. Бакулев, В. М. Стёпин. – М. : Радио и связь, 1986. – 288 с.

6. Пат. 56651 А Україна: МКІІ<sup>3</sup> G 01 S 7/36, H 04 B 15/00. Пристрій для визначення середнього рівня шуму за його відліками [Текст] / Чернобородова Н. П., Чернобородов М. П. (Україна); заявник та патентовласник Казенне конструкторське бюро "Искра". - № 2002086587; заявл.07.08.2002; опубл. 15.05.2003, Бюл. № 5. – 4 с.: іл.

Надійшла до редакції 6.03.2015, розглянута на редколегії 20.03.2015

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЕНСАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

**М. П. Чернобородов**

Экспериментально исследована эффективность устройства компенсации импульсных помех на базе РЛС 35Д6 в условиях влияния на нее пассивных и несинхронных импульсных помех. Применение разных весовых функций во время вычисления дискретного преобразования Фурье (ДПФ) будет приводить к изменению как вероятности правильного обнаружения как целей, так и импульсных помех. Получены подтверждения целесообразности применения оптимизированного весового окна ДПФ вместо штатного в РЛС 35Д6. Практически достигнуто увеличение коэффициента проводки трассы до 4%, а увеличение вероятности ложных тревог не превышает 8%.

**Ключевые слова:** импульсная помеха, ДПФ, весовое окно, вероятность ложных тревог

## EXPERIMENTAL RESEARCH PULSE JAMMING COMPENSATOR EFFECTIVENESS

**M. P. Chornoborodov**

Is investigated experimentally the pulse jamming compensator effectiveness based on radar 35D6 under the influence of its passive and non-synchronous pulse jamming. The use of different weighting functions during the computation of the discrete Fourier transform (DFT) will lead to correct detection probability variation of both targets and pulse jamming. Is received appropriateness confirmation of the optimized the weighting window instead of the standard for DFT in radar 35D6. Almost achieved an increase in the trace coefficient up to 4% and a decrease in the false alarm probability up to 8%.

**Key words:** pulse jamming, DFT, the weighting window, the correct detection and false alarms probability

**Чорнобородов Михайло Петрович** – канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки й телекомунікацій, Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна, e-mail: chornobm@zntu.edu.ua.