

УДК 621.37

М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, О.П. Кулик

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## АЛГОРИТМ ВІДНОВЛЕННЯ ОДНОЗНАЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ ЦІЛЕЙ В РЛС З КОГЕРЕНТНИМ НАКОПИЧЕННЯМ СИГНАЛІВ ТА ВИСОКОЮ ЧАСТОТОЮ ПОВТОРЕННЯ ІМПУЛЬСІВ ЗАПУСКУ

В інтересах підвищення відношення сигнал/завада на виході когерентного накопичувача відбитих імпульсів і розширення зони подавлення "сліпих швидкостей" при СРЦ у РЛС можна використовувати високу частоту повторення імпульсів запуску, частота якої не задовольняє умові однозначності виміру дальності. Однак при цьому в наземних РЛС через наявність протяжних відбиттів від місцевих предметів (МП), а також шумових викидів на виході компенсатора (карти) МП (КМП) можуть з'являтися незкомпенсовані залишки відбиттів від МП не тільки на реальних, але й на помилкових дальностях. У статті [3] запропонований алгоритм компенсації залишків відбиттів від МП на реальних й помилкових дальностях за умови, що завдання відновлення однозначності виміру дальності цілей вирішені. Алгоритм рішення цього завдання в РЛС, у яких одночасно вирішуються завдання когерентного накопичувача відбитих імпульсів, може істотно відрізнятися від класичного рішення [1]. У даній статті пропонується можливий варіант алгоритму роботи цифрового обчислювача, що відновлює однозначність вимірювання дальностей цілей.

**Ключові слова:** когерентне накопичування, сліпі швидкості, частота повторення, хибна дальність, місцеві предмети, однозначність вимірювання дальності.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У сучасних РЛС із метою підвищення відношення сигнал/завада на виході тракту обробки відбитих імпульсів часто здійснюється когерентне накопичення (КН) цих імпульсів у доплерівських фільтрах [1, 2] протягом декількох періодів повторення фіксованої тривалості –  $nT_{\text{пн}}$ . При цьому завдання подавлення "сліпих швидкостей" при СРЦ вирішується традиційно, шляхом використання кількох значень  $T_{\text{пн}}: nT_{\text{пн}1}, nT_{\text{пн}2}, \dots, nT_{\text{пн}j}, nT_{\text{пн}l}, nT_{\text{пн}2} \dots$ . В інтересах подальшого підвищення відношення сигнал/завада і розширення зони придушення сліпих швидкостей можна використати високу частоту повторення (ВЧП)  $T_{\text{пн}}$ , значення якої не задовольняє умові однозначності виміру дальності.

Однак, при цьому через наявність протяжних відбиттів від МП, а також шумових викидів на виході КМП можуть з'являтися некомпенсовані залишки відбиттів від МП не тільки на реальних, але й на помилкових дальностях  $D_{\text{пн}}$ :

$$\begin{aligned} CT_{\text{пн}}/2 < D_{\text{пн}} < C(T_{\text{пн}1} + T_{\text{пн}2})/2, \\ \vdots \\ (C(T_{\text{пн}1} + T_{\text{пн}2} + T_{\text{пн}j})/2) < D_{\text{пн}} < C(T_{\text{пн}1} + T_{\text{пн}2} + T_{\text{пн}j+1})/2. \end{aligned} \quad (1)$$

У статті [3] запропонований алгоритм компенсації таких залишків за умови відновлення однозначності виміру дальності цілей  $D_{\text{цн}}$  на "великих" дальностях:

$$D_{\text{цн}} > CT_{\text{пн}}/2; D_{\text{цн}2} > CT_{\text{пн}}; D_{\text{цн}3} > 3CT_{\text{пн}}/2 \dots$$

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Широкое застосування режим ВЧП із КН відбитих імпульсів у доплерівських фільтрах знаходить у бортових імпульсно-доплерівських РЛС. Помітимо, що в бортових РЛС вирішується завдання одночасного забезпечення однозначності виміру не тільки дальності, але й швидкості цілі. Можливі методи рішення цього завдання і їхня порівняльна характеристика описані в [1].

**Формулювання цілей статті.** У наземній РЛС звичайно досить вирішити одне завдання – відновлення істинних дальностей цілей. У даній статті й пропонується можливий варіант алгоритму роботи цифрового обчислювача, що відновлює однозначність виміру дальностей цілей у РЛС із ВЧП і КН.

### Виклад основного матеріалу

Очевидно, що відбиті імпульси від цілей на дальностях  $D_{\text{цн}} > CT_{\text{пн}}/2$  будуть накопичуватися на помилкових дальностях  $D_{\text{пн}}$ . При цьому, якщо дальності цілей  $D_{\text{цн}}$  пов'язані з періодами  $T_{\text{пн}}$  нерівностями

$$D_{\text{цн}} > m(CT_{\text{пн}}/2), m = 1, 2, 3, \dots,$$

то вони будуть накопичуватись на дальностях:

$$D_{\text{пн}} = D_{\text{рц}} - m(CT_{\text{пн}}/2), \quad (2)$$

де  $D_{\text{рц}}$  – реальна дальність до цілі.

З виразу (2) випливає можливий принцип відновлення однозначності виміру дальності цілей. Однак при цьому необхідно враховувати, що:

– кожній віддаленій цілі (1) властиве "своє" значення  $m$ ;

– після  $n$  періодів накопичення змінюється значення  $T_{\text{пн}}: i=1, 2, 3, \dots$ ;

– накопичені імпульси зчитуються з  $n$  доплерівських фільтрів протягом  $n$  періодів накопичення.

Тому з накопичувача можна зчитувати накоплені імпульси (їх ЦК) лише з періодичністю  $nT_{\text{пн}}$ .

Алгоритм відновлення однозначності виміру дальності віддалених цілей розглянемо на конкретному прикладі. Нехай у РЛС застосовується 4 значення періоду повторення  $i=1,2,3,4$  за умови

$$T_{n1} > T_{n2} > T_{n3} > T_{n4}, \quad (3)$$

й число періодів накопичення  $n = 8$ , а максимальна дальність дії РЛС  $D_{max}$  зв'язана з періодами повторення умовою:

$$3CT_{n4} / 2 < D_{max} < 4CT_{n4}. \quad (4)$$

Тоді для забезпечення відображення на екрані індикатора віддалених цілей на реальних дальностях доцільно аналізувати накопичені імпульси на інтервалі:

$$\Delta t = n(T_{n1} + T_{n2} + T_{n3} + T_{n4}),$$

а період  $T_0$  розміщення відновлених за дальностями імпульсів за умови (3) вибирати таким:

$$T_0 = T_{n1} + T_{n2} + T_{n3} + T_{n4}. \quad (5)$$

У зв'язку з тим, що кожна віддалена ціль буде накопичуватися для кожного  $T_{ni}$  на "своїх" помилкових дальностях (1), а послідовність періодів міняється за принципом  $nT_{n1}, nT_{n2}, nT_{n3}, nT_{n4}, nT_{n1} \dots$  то можна запропонувати наступний принцип побудови алгоритму відновлення "однозначності" дальності:

1. "Перестановку" з помилкових на реальні дальності накопичених імпульсів здійснювати після їхнього зчитування з доплерівських фільтрів протягом  $n$  періодів фіксованої тривалості й логічного підсумовування їх у накопичувачі (Н). Таку перестановку можна здійснювати шляхом відповідної затримки й логічного множення прямих і затриманих імпульсів.

2. Оскільки всі накопичені імпульси цілей у доплерівських фільтрах будуть "переписуватися" у накопичувач Н з періодичністю  $nT_m$ , то при реалізації алгоритму відновлення "однозначності" доцільно в якості цифрові лінії затримки (ЦЛЗ) використати відповідні пристрої запам'ятовування (ПЗ), що дозволяють запам'ятовувати (затримувати) імпульси на різні періоди  $T_{n1}, T_{n2}, T_{n3}, T_{n4}$  при будь-якому значенні поточного  $T_m$ .

Структурна схема алгоритму роботи компенсатора помилкових дальностей цілей (КПДЦ) що пропонується, наведена на рис. 1, а. На схемі прийняті наступні позначки й скорочення:  $\Sigma$  – схеми логічного підсумовування цифрових кодів (ЦК); ЦЛЗ<sub>i</sub> – цифрові лінії затримки (на зазначене число періодів); І – схема логічного множення ЦК.

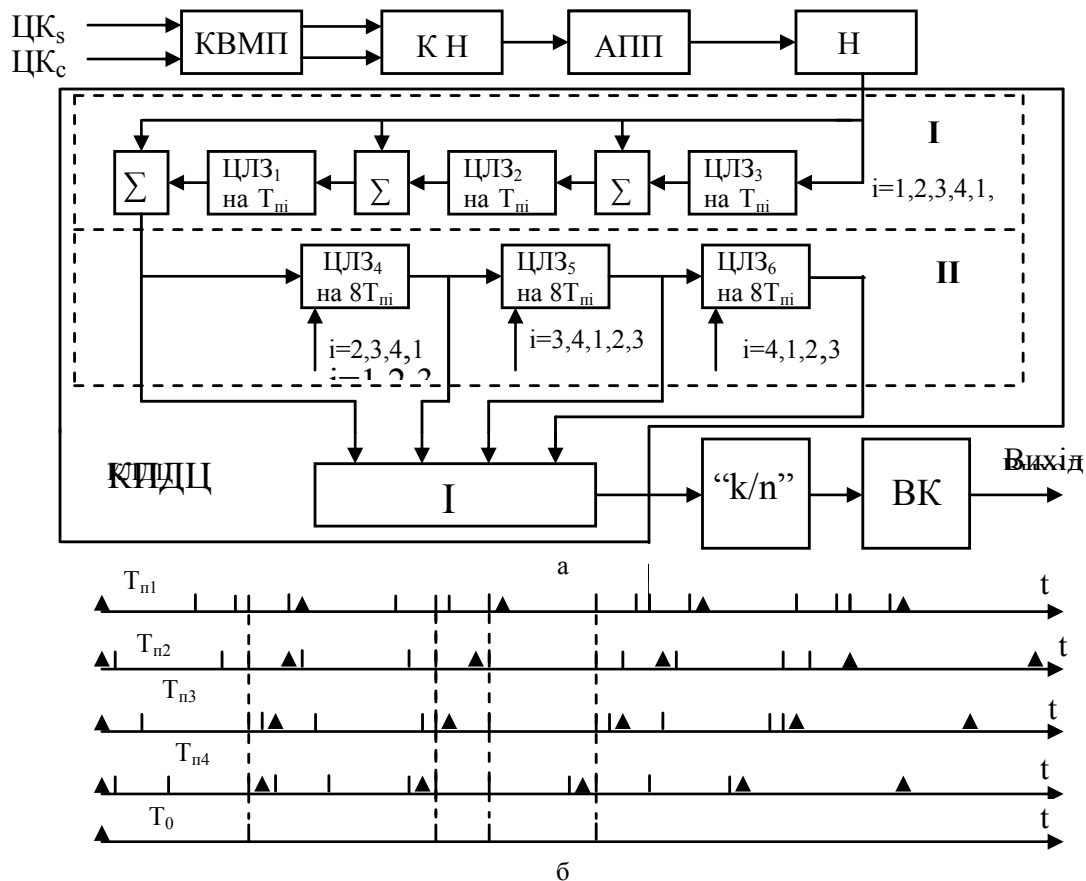


Рис. 1. Структурна схема алгоритму відновлення реальних дальностей

Крім перерахованих елементів КПДЦ на рис. 1, а наведені вхідні й вихідні пристрої апаратури цифрової обробки [2, 3]: КВМП – компенсатор відбиттів від місцевих предметів на помилкових дальностях [3]; КН – когерентний накопичувач (набір

доплерівських фільтрів) [2]; АПП – адаптивний пороговий пристрій; Н – накопичувач імпульсів, зчитаних з доплерівських фільтрів, що були порашовані і перевищили адаптивний пороговий пристрій (АПП)); "k/n" – пристрій критерійної обробки; ВК – вимірю-

вач координат, з виходу якого координатна інформація надходить на апаратуру відображення.

При виборі алгоритму роботи КПДЦ передбачається, що імпульси з доплерівських фільтрів, що були пораховані, логічно підсумовуються протягом 8 періодів (прийняли  $n=8$ ) у відповідних дискретах (чарунках) пам'яті накопичувача, а зчитуються з  $N$  у першому періоді чергового циклу  $8T_{pi}$ . Ця умова на рис. 1 має позначку: " $j=1,2,..8,1$ ". З умови (4) і виразу (2) виходить, що в алгоритмі необхідно передбачити затримку імпульсів, що зчитуються з  $N$  на  $T_{pi}, 2T_{pi}, 3T_{pi}$ . Це завдання вирішується цифровими лініями затримки ЦЛЗ<sub>1</sub>, ЦЛЗ<sub>2</sub>, ЦЛЗ<sub>3</sub> і набором логічних суматорів  $\Sigma$ . В результаті цього названа група елементів, що позначена на схемі символом "Г", забезпечує пропуск на послідовність ліній ЦЛЗ<sub>4</sub>, ЦЛЗ<sub>5</sub>, ЦЛЗ<sub>6</sub> прямих, а так само затриманих на 1, 2 і 3  $T_{pi}$  імпульсів.

Лінії ЦЛЗ<sub>4</sub>, ЦЛЗ<sub>5</sub>, ЦЛЗ<sub>6</sub> утворюють другу групу елементів "П". Ці лінії забезпечують затримку вхідних імпульсів на "свої" інтервали часу у  $8T_{pi}$ . На схемі послідовність зміни значень  $T_{pi}$  кожної ЦЛЗ позначена послідовністю зміни значень індексів "i" під значком (прямокутником) ЦЛЗ. Таким чином, I група елементів КПДЦ забезпечує передачу на II групу прямих і затриманих на 1, 2 і 3  $T_{pi}$  імпульсів.

Це послідовність імпульсів, що повторюється 4 рази підряд затримується II-ю групою ЦЛЗ. В результаті того, що час затримки кожної із цих ліній у циклах  $8T_{pi}$  змінюється за "законами зміни періодів у циклах", тобто шляхом логічного множення схемою I прямих і відповідно затриманих імпульсів, можливо вирішити завдання розміщення віддалених цілей на істинних дальностях.

Рис. 1, б спрощено ілюструє принцип роботи КПДЦ. Тут представлена послідовність прямих і затриманих імпульсів I групою ЦЛЗ до  $3T_{pi}$  (4-х цілей), які надходять на II групу ЦЛЗ, для 4-х значень  $T_{pi} = 450, 420, 390$  і  $360$  дискретів дальності.

#### АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОДНОЗНАЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ЦЕЛЕЙ В РЛС С КОГЕРЕНТНЫМ НАКОПЛЕНИЕМ СИГНАЛОВ И ВЫСОКОЙ ЧАСТОТОЙ ПОВТОРЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ЗАПУСКА

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, А.П. Кулик

*В интересах повышения отношения сигнал/помеха на выходе когерентного накопителя отраженных импульсов и расширения зоны подавления "слепых скоростей" при СДЦ в РЛС можно использовать высокую частоту повторения, значения которых не удовлетворяют условию однозначности измерения дальности. Однако при этом в наземных РЛС из-за наличия протяженных отражений от местных предметов (МП), а также шумовых выбросов на выходе компенсатора (карты) МП (КМП) могут появляться нескомпенсированные остатки отражений от МП не только на реальных, но и на ложных дальностях. В данной статье предлагается возможный вариант алгоритма работы цифрового вычислителя, восстанавливающего однозначность измерения дальностей целей.*

**Ключевые слова:** когерентное накопление, слепые скорости, частота повторения, ложная дальность.

#### ALGORITHM OF UNAMBIGUITY MEASUREMENT RESTORATION OF THE PURPOSES RANGE IN RADAR STATIONS WITH COHERENT ACCUMULATION OF SIGNALS AND HIGH FREQUENCY OF IMPULSES START REPETITION

N.D. Rysakov, I.V. Titov, A.P. Kulik

*In interests of increase of the relation a signal/hindrance on an exit of the coherent store of the reflected impulses and expansions of a zone of suppression of "blind speeds" at in radar stations it is possible to use high frequency of the repetition which values do not satisfy to a condition of unambiguity of measurement of range. However thus in land radar stations because of presence the big reflexions from local subjects (LS), and also noise emissions on an exit of the jack (card) of LS (CLS) can appear not compensated rests of reflexions from LS not only on real, but also on false ranges. In given article the possible variant of algorithm of work of the digital calculator restoring unambiguity of measurement distance of the purposes is offered.*

**Keywords:** coherent accumulation, blind speeds, frequency of reiteration, false distance, local objects.

В прикладі, що ілюструє, інтервали періодів позначені "стрілками", а імпульси цілей вертикальними відрізками. При цьому розглядаються цілі на дальностях, що відповідають 110, 250, 290 і 370 дискретам дальності. Тому дані цілі накопичуються в дискретах 110, 100, 140,70 (епюра 1) при  $T_{pi}=450$ ; 110, 110,10 і 90 (епюра 2) при  $T_{pi2}=420$ ; 110, 120, 30 і 110 (епюри 3) при  $T_{pi3}=390$ ; 110, 10, 50, 10 (епюри 4) при  $T_{pi4}=360$ .

З ілюстрацій видно, що в результаті сполучення II групою ЦЛЗ і схемою I прямих (епюра 1, верхня) і затриманих до 3-х  $T_{pi}$  (епюри 2, 3, 4) імпульсів вдається розмістити імпульси цілей на істинних дальностях (епюра 5).

### Висновки

Таким чином, в статті запропонований варіант алгоритму роботи цифрового обчислювача щодо відновлення однозначності вимірювання дальностей цілей, який може бути використаний при розробці нових РЛС з ВЧП та КН.

### Список літератури

1. Дудник П.И. *Авиационные радиолокационные устройства* / П.И. Дудник, Ю. Чересов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1986. – 533 с.
2. Гриб Д.А. *Озброєння та військова техніка РТВ. Побудова РЛС 19Г6: навч. посібн. Частина I* / Д.А. Гриб, В.П. Голованов, В.Й. Климченко та інші. – Х.: ХУПС, 2007. – 300 с.
3. Рысаков Н.Д. *Алгоритм компенсации отражений от ложных местных предметов в РЛС с когерентным накоплением сигналов и высокой частотой повторения импульсов запуска* / Н.Д. Рысаков, Д.Н. Воронов, А.П. Кулик // *Системы управления, навигации та зв'язку*. – К: ЦНДІ НГУ, 2009. – Вып. 2(10). – С. 63-65.

Надійшла до редколегії 29.10.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. П.Ю. Костенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

