

М.Д. Рисаков<sup>1</sup>, О.П. Кулик<sup>1</sup>, І.В. Тітов<sup>1</sup>, С.М. Рот<sup>1</sup>, О.В. Білоус<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Чернігів

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОСАДКОВОГО РАДІОЛОКАТОРА СИСТЕМИ РСР-10МА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОСАДКИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ПРИ МІНІМУМІ ПОГОДИ І КАТЕГОРІЇ

У роботі проаналізовані особливості побудови і тактико-тактичні характеристики (ТТХ) посадкового радіолокатора системи РСР-10МА виробництва НВО "Аеротехніка" по відношенню до локаторів систем застарілого парку РСР-10МН1 та РСР-6М2. Визначені переваги і недоліки посадкового радіолокатора системи РСР-10МА, як засобу забезпечення посадки повітряних суден (ПвС) у складних метеорологічних умовах (СМУ). Обґрунтовуються можливість, доцільність та шляхи удосконалення посадкового радіолокатора для забезпечення посадки повітряних суден у складних метеорологічних умовах — при мінімумі погоди І категорії.

**Ключові слова:** посадковий радіолокатор, цифрова обробка сигналів, керівник зони посадки, повітряне судно, місцеві предмети, селекція рухомих цілей.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогодні в Україні радіолокаційні системи посадки (РСР) виробляє тільки НВО "Аеротехніка". Систему РСР-10МА прийнято на озброєння Повітряних Сил ще на початку 2011 року. У диспетчерському (ДРЛ) та посадковому (ПРЛ) радіолокаторах цієї системи здійснено перехід на сучасну елементну базу, а також реалізовано цифрову і програмну обробку та відображення координатної інформації.

На жаль, ПРЛ системи РСР-10МА за дальністю виводу ПвС до висоти прийняття рішення у СМУ не відповідає мінімуму погоди І категорії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] запропонована методика обґрунтування вимог до ПРЛ щодо точності вимірювання координат ПвС для забезпечення посадки при мінімумі погоди І категорії та отримані чисельні значення потрібної точності. У роботі [2] запропоновані принципи удосконалення приймача посадкового локатора радіолокаційної системи посадки РСР-10МН з метою впровадження апаратури цифрової обробки та відображення координатної інформації. У роботі [3–4] розглянуто спосіб адаптивної цифрової фільтрації прямокутного радіоімпульсу на проміжній частоті, який покращує умови його виявлення. Для цього доцільно використати короткий гладкий радіоімпульс [5–6]. З урахуванням того, що такі імпульси використовуються у ПРЛ, в цих доцільно реалізувати адаптивну цифрову обробку імпульсів віддзеркалення з метою надійного спостереження ПвС на заключному етапі посадки. Аналіз перспектив розвитку способів дій засобів повітряного нападу [7–8] показує необхідність забезпечення безпечної посадки [9] ПвС у СМУ

на будь-якому з визначених аеродромів, що обумовлює необхідність покращення характеристик точності систем посадки. У роботах [10–11] обґрунтовується необхідність удосконалення систем забезпечення керівництва повітряним рухом, до яких відносяться системи посадки ПвС. Робота [12] присвячена аналізу статистичних характеристик сигналів віддзеркалення і в ній запропоновані правила виявлення сигналів ПвС. Аналіз перелічених публікацій показує доцільність вирішення окремих завдань з удосконалення ПРЛ РСР-10МА у напрямку підвищення точності вимірювання координат ПвС та захищеності від пасивних завад.

**Метою статті** є обґрунтування можливих напрямків удосконалення посадкового радіолокатора системи РСР-10МА для забезпечення посадки ПвС при мінімумі погоди І категорії.

### Виклад основного матеріалу

Застарілі принципи побудови ПРЛ у складі РСР виробництва колишнього СРСР, відпрацювання призначеного ресурсу і наявність в Україні сучасного ПРЛ власного виробництва (у складі РСР-10МА) обумовлюють недоцільність корінного поліпшення характеристик ПРЛ застарілого парку РСР. Отже обґрунтуємо доцільність і можливі напрямки удосконалення ПРЛ-10МА.

На рис. 1 наведено фотознімок причепа РСР-10МА, на якому розміщено аналогове обладнання ПРЛ системи.

До особливостей побудови ПРЛ-10МА по відношенню до ПРЛ-10МН1 можна віднести:

– модульну компоновку пристроїв і функціональних вузлів апаратури локатора, зібраних на сучасній елементній базі;

– розташування функціональних вузлів приймача (ПРМ) та передавача (ПРД) у середині поворотного пристрою антен ПРЛ-10МА (рис. 1);

– реалізацію цифрової обробки, трансляції та відображення координатної і додаткової інформації, та використання цифрових датчиків кутових положень антен.



Рис. 1. Фотознімок причепа ПРЛ -10МА

Впровадження перелічених та інших новаторських рішень щодо побудови та компоновки апаратури локатора дозволило суттєво поліпшити його точність, енергетичні та інформативні характеристики. Для порівняльного аналізу у табл. 1 наведені окремі ТТХ ПРЛ систем РСП-10МН1 та РСП-10МА.

Таблиця 1  
Основні ТТХ ПРЛ-10МН1 та ПРЛ-10МА

Характеристики	Значення		
	РСП-10МН1	РСП-10МА	
1 Дальність виявлення, км	20	25	
2 Вивід ПвС до висоти зниження, м	150	–	
3 Середня квадратична похибка:			
	по дальності, м	≤ 150	≤ 100
	по куту місця, град	≤ 0,25	≤ 0,12
4 Роздільна здатність:			
	по дальності, м	≤ 700	≤ 250
	по куту місця, град	≤ 1	≤ 0,8
5 Робоча частота, ГГц	9,15÷9,55	9,43	
	Кількість частотних каналів	6 (2)	1
7 Відхилення частоти, МГц	±25	±30	
8 Імпульсна потужність ПРД, кВт	70	15	
9 Частота повторення зондувань, кГц, у режимах:			
	ПАС	2,4	2,0
	СРЦ	2,4/3	–
10 Тривалість зондувань, мкс	0,4±0,05	0,5±0,1	
11 Чутливість ПРМ, дБ/Вт	-121	-123	
12 Проміжна частота, МГц	30	60	
13 Смуга пропускання ПРМ, МГц	4,5± 0,5	5 ± 0,5	
14 Динамічний діапазон, дБ	60	80	

З аналізу наведених характеристик систем, особливостей побудови і розташування апаратури ПРЛ-10МА можна зробити наступні висновки:

1. Розміщення блоку приймача та передавача ПРЛ-10МА на антенному причепі дозволило суттєво скоротити довжину хвильового тракту і, як наслідок, суттєво скоротити загасання енергії сигналів зондування та віддзеркалень у такому тракті.

2. Використання сучасної елементної бази дозволило суттєво зменшити масові та габаритні показники локатора. Маса модуля приймача та передавача складає усього 18 кг.

3. Впровадження сучасної елементної бази, цифрової та програмної обробки сигналів віддзеркалення дозволило підвищити точність вимірювання кутових координат у 2 та 4 рази, а дальність у 1,5 рази, збільшити на 25% дальність виявлення ПвС при енергії сигналу зондування у ПРЛ-10МА у чотири рази меншій, ніж у ПРЛ-10МН1 (табл. 1).

Проаналізуємо особливості побудови ПРЛ-10МА і обґрунтуємо доцільні напрямки його удосконалення.

Структурна схема ПРЛ наведена на рис. 2. На схемі представлено склад: передавача (ПРД), антенно-хвильового тракту (АХТ) і автоматизованого робочого місця (АРМ). Інші функціональні вузли локатора представлені окремими блоками.

Як видно зі схеми, в локаторі використовується магнетронний передавач, що складається з модулятора (М) і магнетронного генератора (МГ). До складу прийомо-передавача також входить джерело постійної напруги (ДПН) з вихідною напругою 600 і 15 В. На ДПН від джерела живлення надходить напруга 48 В. ДПН безпосередньо забезпечує живленням модулятора, приймача і контролера.

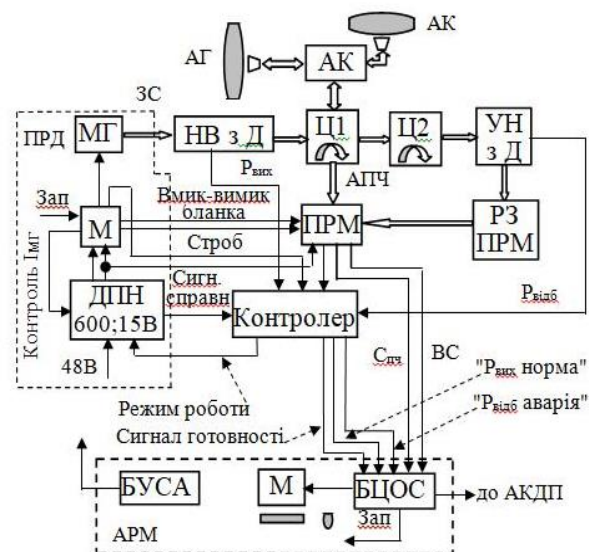


Рис. 2. Структурна схема ПРЛ-10МА

АХТ на схемі представлений двома антенами, антенним комутатором (АК), направленим відгалуджувачем (НВ) з детекторною секцією, двома циркуляторами (Ц) і узгодженим навантаженням (УН) з детектором. На приймальному виході УН встановлений розрядник захисту приймача (РЗ ПРМ).

До складу АРМ входять: блок цифрової обробки сигналів (БЦОС) та блок управління скануванням антен (БУСА) і монітором (М).

До особливостей передавача можна віднести те, що тут модулятор з приходом від БЦОС імпульсів запуску "Зап" формує імпульси модуляції магнетронного генератора тривалістю  $\approx 0,5$  мкс з амплітудою 7,5–7,8 кВ (при струмі 7,5 А) при ДПН усього лише на 600 В. Тобто тут не використовується високовольний випрямлювач, що також дозволило зменшити масові та габаритні показники передавача.

Можна припустити, що в модуляторі використовується накопичувач з повним розрядом накопичувача у вигляді формуючої лінії з імпульсним підвищуючим трансформатором. Така схема побудови модулятора не дозволяє забезпечити роботу передавача в активному режимі – тобто у режимі формування в кожному періоді пари імпульсів, яка служить сигналом запиту для літакового відповідача. З огляду на це у ПРЛ не реалізовано активний режим роботи.

Особливістю хвилеводного тракту по відношенню до ПРЛ-10МН1 є наявність у складі антенного перемикача не одного, а двох циркуляторів. Два циркулятори забезпечують більш надійну фідерну розв'язку передавача і приймача при коефіцієнті бігучої хвилі  $\geq 0,77$ . Детекторні секції у складі відгалуджувача і узгодженого навантаження є датчиками вихідної потужності  $P_{\text{вих}}$  магнетрона і відбитої потужності  $P_{\text{від}}$  в антенно-хвилеводному тракті відповідно.

Недоліком модулятора є те, що в ньому, крім імпульсу модуляції, для МГ додатково виробляються управляючі імпульси початку і кінця бланкування приймача – "Вмик. бланка" і "Вимик. бланка" та стробування – "Строб". Імпульс "Вмик. бланка" усуває перевантаження вхідних елементів приймача на час випромінювання імпульсу зондування, а імпульс "Вимик. бланка" формується після закінчення цього імпульсу і забезпечує проходження прийнятих сигналів на вхід приймача. Імпульс "Строб", що формується між імпульсами "Вмик. бланка" та "Вимик. бланка", задає час контролю працездатності фідерних трактів передачі та прийому і тому подається на контролер.

Контролер безпосередньо забезпечує такий контроль. Для цього на його входи подаються імпульс "Строб", імпульси з детекторних секцій направлено відгалуджувача  $P_{\text{вих}}$  і узгодженого навантаження  $P_{\text{відб}}$ . З приходом імпульсу "Строб" в контролері

вмикаються схеми перевірки у фідерному тракті відповідності нормі вихідної і відбитої потужностей сигналу зондування. Якщо імпульс  $P_{\text{вих}}$  перевищує заданий поріг, то з виходу знімається і передається на АРМ сигнал "Р<sub>вих</sub> норма". У разі, якщо імпульс  $P_{\text{відб}}$  перевищує заданий поріг, то з виходу контролера знімається сигнал "Р<sub>відб</sub> аварія", який свідчить про перевищення допустимої потужності сигналу передавача, що просочується через антенний перемикач і про необхідність проведення контролю його працездатності.

Окрім цього, у джерелі постійної напруги організований ланцюг зворотного зв'язку для контролю його вихідної напруги і струмів магнетрона – "Контроль  $I_{\text{МГ}}$ ". За наслідками контролю з виходу ДПН на контролер видається "Сигнал справності". При цьому контролер виробляє сигнал готовності, який видається на АРМ. Також у контролері формується сигнал управління "режимами роботи" за наявності імпульсу запуску на вході прийомо-передавача. Сигнал надходить на ДПН для перемикачання джерела з режиму стабілізації напруги в режим стабілізації струму магнетрона.

Таким чином, до переваг передавача та АХТ локатора і локатора у цілому можна віднести:

- розташування блоку приймача та передавача усередині поворотного пристрою кронштейну антен, що дозволило суттєво скоротити загасання енергії сигналів зондування та віддзеркалень у хвилеводному тракті;

- відсутність габаритного високовольного випрямляча;

- виконання контролю технічного стану та діагностики основних пристроїв блоку і відображення цієї інформації на АРМ у апаратній РСР та на АКДП.

До недоліків передавача локатора можна віднести:

- можливість роботи магнетронного передавача лише на одному частотному каналі та з низькою стабільністю (нестабільність досягає  $\pm 30$  МГц) із-за відсутності каналу АПЧ магнетрона;

- не забезпечення модулятором доцільної стабільності тривалості імпульсів зондування –  $\tau_i = 0,5 \pm 0,1$  мкс (нестабільність досягає 20%).

До сучасних технологій у складі супергетеродинного приймача з амплітудним каналом можна віднести:

- використання преселектора на діелектричних резонаторах та малешумливого ПВЧ, що підвищує чутливість приймача на 2 дБ/Вт;

- використання імпульсного АПЧ гетеродина, що забезпечує точність  $\leq 0,4$  МГц;

- реалізацію логарифмічного ППЧ, що розширює динамічний діапазон до 80 дБ.

У локаторі програмним способом шляхом віднімання з амплітуди сигналу середнього рівня пасивних завад реалізовано режим псевдо СРЦ. Такий режим не забезпечує якісної компенсації впливу віддзеркалень від місцевих предметів (МП) та метеорологічних утворень (МТУ), що заважають виявленню корисних сигналів.

Некомпенсовані віддзеркалення від МП (рис. 3) та МТУ на завершальному етапі посадки маскують мітку ПвС, що призводить до похибок у вимірюванні їх координат або робить зовсім неможливим здійснення таких вимірювань.

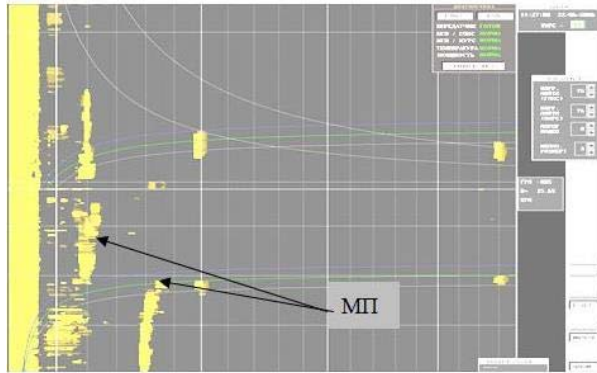


Рис. 3. Вигляд монітора ПРЛ-10МА у простих метеорологічних умовах

Тому завдання підвищення захищеності ПРЛ від пасивних завад, точності вимірювання координат ПвС і забезпечення його супроводження в СМУ з високою імовірністю до висоти прийняття рішення 60 м є актуальним.

Для вирішення такого завдання пропонується до складу приймача ввести фазовий канал та здійснювати одночасно цифрову обробку і відображення сигналів амплітудного і фазового каналів приймача. При цьому доцільно зберегти на індикаторах відмітки від характерних орієнтирів місцевості аеродрому, які для керівника зони посадки (КрЗП) є додатковою інформацією щодо керівництва посадкою ПвС. Для цього віддзеркалення від яскравих МП пропонується відображати у вигляді їх контурів. З цією метою необхідно удосконалити існуючий алгоритм програмної обробки сигналів амплітудного каналу.

Для обробки цифрових сигналів фазового каналу приймача необхідно у складі БЦОС реалізувати окремі алгоритми обробки цих сигналів і формування відміток ПвС для спільного відображення на моніторі з мітками ПвС амплітудного каналу приймача. Обґрунтуємо можливі напрямки такого удосконалення ПРЛ.

При удосконаленні ПРЛ доцільно зберегти існуючі передавач, антени та тракт хвилеводу. Тому обмежимося деталізацією пропозицій щодо удосконалення приймача та БЦОС локатора.

Структурна схема удосконаленого приймача ПРЛ-10МА наведена на рис. 4. На схемі склад удосконаленого приймача з лінійно-логіфімічною характеристикою коефіцієнту підсилення представлений існуючими і додатковими (зафарбованими сірим кольором) пристроями. Вхідним сигналом для приймача є сигнал на високій частоті  $C_{вч}$ , що надходить від циркулятора Ц2 через РЗ ПРМ (рис. 2). До складу існуючого приймача входять: преселектор (Пр); малошумливий підсилювач на високій частоті (ПВЧ); діодний комутатор (ДК); змішувач (Зм) з фазовим подавленням шумів дзеркального каналу; підсилювач на проміжній частоті (ППЧ); смуговий фільтр (СФ); дільники потужності (ДП); логарифмічний детектор (ЛД); відеопідсилювач (ВП) відеосигналів (ВС); формувач сигналу бланкування (ФСБ) приймача та формувач гетеродинного сигналу (ФГС).

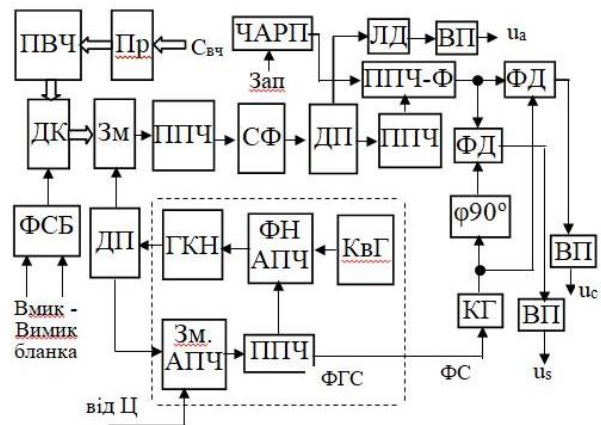


Рис. 4. Структурна схема удосконаленого приймача ПРЛ-10МА

До складу ФГС входить генератор керований напругою (ГКН), частота якого управляється напругою імпульсного каналу АПЧ. Канал АПЧ на схемі представлено змішувачем АПЧ (Зм. АПЧ), ППЧ, формувачем напруги АПЧ (ФН АПЧ) та кварцовим генератором (КВГ).

Додатковими пристроями приймача є пристрій фазового каналу: додатковий підсилювач на проміжній частоті (ППЧ-Ф), два фазових детектора (ФД) і два відеопідсилювачі (ВП) сигналів детекторів. Для формування опорного сигналу для ФД пропонується використовувати когерентний гетеродин (КГ) та пристрій фазового зсуву коливачів КГ на  $90^\circ$  – “ $\phi 90^\circ$ ”. При цьому для запам’ятовування випадкової початкової фази сигналів зондування поточним коливанням КГ нав’язується початкова фаза сигналів зондування, які надходять від циркулятора, перетворюються на проміжну частоту в Зм. АПЧ і підсилюються в ППЧ ФГС. Крім цього, з метою вирівнювання динамічного діапазону фазового та амплітуд-

ного каналів доцільно забезпечити регулювання коефіцієнта підсилення каскадів ППЧ-Ф схемою часового автоматичного регулювання підсилення (ЧАРП).

Після такого доопрацювання приймача з його виходу, крім ВС амплітудного каналу  $u_a$ , будуть зніматися ще два квадратурних сигнали –  $u_c (\cos)$  і  $u_s (\sin)$ . Таким чином, блок цифрової обробки повинен буде обробляти три сигнали  $u_a$ ,  $u_c$  та  $u_s$ .

Для досягнення необхідної точності вимірювання координат ПвС на заключному етапі посадки пропонується завдання СРЦ вирішувати шляхом доплерівської фільтрації віддзеркалень когерентним накопичувачем (КН) і оптимальної обробки прорідженої в КН пачки імпульсів віддзеркалень. Така пропозиція обумовлена тим, що доплерівська фільтрація віддзеркалень дозволяє підвищити відношення рівня сигналів не тільки до пасивної, але і до шумової завади. Проте, для досягнення необхідної точності вимірювання дальності ( $\leq 4,5$  м [1]) необхідно при цифровій обробці сигналів фазового каналу частоту часової дискретизації збільшити у кілька разів у порівнянні з сигналами амплітудного каналу. Це призведе до зростання вимог до швидкодії та обсягу оперативної пам'яті комп'ютера.

Для виключення підвищених вимог до швидкодії комп'ютера можна виходити з того, що високу точність вимірювання координат при СМУ необхідно забезпечити лише для одного ПвС, які по черзі виконують завершальний етап посадки. Виходячи з цих міркувань високоточний канал доцільно будувати лише для одного ПвС, яке відповідно до встановленої КрЗП черговості знаходиться на кінцевому етапі заходу на посадку. При цьому такий канал можна будувати за принципом каналу автосупроводження (АС) лише одного ПвС шляхом цифрової обробки віддзеркалень від цього ПвС в обмеженому за дальністю стробі АС. Відносно решти ПвС у зоні посадки задачу СРЦ можна вирішувати традиційним способом – шляхом черезперіодної компенсації (ЧПК) квадратурних сигналів фазового каналу при періодичності дискретизації в два рази меншій тривалості сигналів зондування.

Очевидно, що АС окремого ПвС складається із двох етапів – взяття (ввід) ПвС на АС та його АС до висоти прийняття рішення. Для вводу ПвС в АС необхідно сформулювати і розміщувати на інтервалі кожного періоду строби вводу. Після виділення цими стробами і обробки сигналів обраного ПвС формуються строби АС. Наведемо принципи формування і параметри цих стробів – тривалості  $\tau_{\text{вв}}$  і розміщення початку стробу  $t_{\text{вв}}$  вводу в АС та тривалості  $\tau_{\text{ас}}$  і розміщення початку  $t_{\text{ас}}$  стробів АС на інтервалах періодів повторення.

Задачу розміщення початку стробу вводу вирішує оператор за допомогою органів управління ФСУ (рис. 5) шляхом накладення стробу на координатну відмітку потрібного ПвС. Тривалість стробу  $\tau_{\text{вв}}$  повинна врахувати помилку оператора  $\sigma_{\text{Доп}}$  в суміщенні стробу  $\tau_{\text{вв}}$  з координатною відміткою ПвС та найбільшу дальність можливого переміщення  $\Delta D_m$  ПвС зі швидкістю  $V_n$  за період  $T_{\text{он}}$  оновлення інформації:

$$\Delta D_m = V_n \cdot T_{\text{он}}. \quad (1)$$

Для кожного типу ПвС відомі допустимі значення швидкостей посадки на відповідних віддаленнях ПвС від розрахункової точки посадки (РТП). Тому при розрахунку значення стробу  $\tau_{\text{вв}}$  вводу в АС доцільно взяти найбільш можливу дальність переміщення (1) і користуватися наступними умовами розрахунку:

$$\tau_{\text{вв}} \geq \frac{2(V_n T_{\text{он}} + \sigma_{\text{Доп}})}{c} + 2\tau_i, \quad (2)$$

де  $T_{\text{он}}$  – періодичність оновлення результатів вимірювань, що пов'язана зі швидкістю сканування антен;  $c$  – швидкість світла;  $\tau_i$  – тривалість імпульсів зондування.

Прийmemo, що на дальності  $D_{\text{вв}} = 10$  км вводу в АС ПвС може мати швидкість  $V_n \leq 140$  м/с, а помилка оператора  $\sigma_{\text{Доп}} \leq 100$  м. Для ПРЛ-10МА маємо:  $\tau_i \approx 0,5$  мкс,  $T_{\text{он}} = 1,2$  с. Тоді згідно виразу (2) отримуємо:  $\tau_{\text{вв}} \geq 2,79$  мкс. Прийmemo:  $\tau_{\text{вв}} = 3$  мкс.

Розрахунок тривалості  $\tau_{\text{ас}}$  і розміщення початку  $t_{\text{ас}}$  стробів АС на інтервалі кожного періоду пропонується здійснювати за виразами:

$$\tau_{\text{ас}} = \frac{2V_{\text{л}} T_{\text{он}}}{c} + 2\tau_i; \quad (3)$$

$$t_{\text{ас}} = t_{\text{л}} - \left( \frac{2V_{\text{л}} T_{\text{он}}}{c} + \tau_i \right),$$

де  $t_{\text{л}}$  – виміряна затримка імпульсу віддзеркалення ПвС у поточному періоді повторення;

$V_{\text{л}}$  – виміряна швидкість ПвС у поточному періоді оновлення інформації;

$t_{\text{ас}}$  – положення початку стробу АС для наступного періоду.

Вирази (3) свідчать, що в ідеалі для формування мінімально можливих значень тривалості стробів  $\tau_{\text{ас}}$  необхідно вимірювати поточну швидкість  $V_{\text{л}}$  ПвС і оперативно змінювати значення тривалості стробів  $\tau_{\text{ас}}$ . Вирішення цієї задачі неабґрунтовано ускладнить роботу формувача стробів. Дійсно, по мері наближення ПвС до РТП його швидкість  $V_{\text{л}}$  зменшується до оптимального значення. Тобто швидкість ПвС  $V_{\text{л}}$  по

відношенню до швидкості на початковому етапі заходження на посадку  $V_{п}$  задовольняє умові:  $V_{л} < V_{п}$ . Тому доцільно тривалість стробів  $\tau_{ас}$  заздалегідь розрахувати за першою формулою виразу (3) для дискретних значень швидкостей  $V_{л} = V_{дј}$ , які необхідно зберігати у чарунках пам'яті каналу АС.

Очевидно, що положення початків стробів  $t_{ас}$  АС у кожному періоді повторення необхідно розраховувати для кожного періоду оновлення за другим виразом у (3) для дискретних швидкостей  $V_{дј}$ , які відносно зміряних швидкостей ПвС  $V_{л}$  відповідають умовам [2]:

$$V_{д(j+1)} < V_{л} \leq V_{дј}$$

Уточнимо пропозиції щодо блок-схеми алгоритму роботи удосконаленого БЦОС. Як уже підкреслювалось, задачу СРЦ пропонується вирішувати двома цифровими каналами: каналом автосупроводження (КАС) лише одного ПвС (яке серед потоку ПвС, що заходять на посадку, є першим) і каналом ЧПК (КЧПК) – сигналів решти ПвС, що є в зоні посадки, з реалізацією окремих алгоритмів роботи для вимірювачів координат ВК-1 та ВК-2 (рис. 5). Вимірювач ВК-1 забезпечує відображення цифрових сигналів амплітудного каналу та каналу ЧПК приймача, а ВК-2 – відображення цифрових сигналів КАС.

Аналогові сигнали амплітудного  $u_a$  і фазового  $u_c, u_s$  каналів приймача (рис. 4) перетворюються в цифрові сигнали  $x_{вх}$  і  $x_s, x_c$  за допомогою аналогово-цифрових перетворювачів – АЦП-А (амплітудний сигнал) і двох АЦП-Ф (фазові сигнали).

Обробку цифрових сигналів амплітудного каналу приймача пропонується здійснювати двома каналами: каналом обробки сигналів амплітудного каналу (КОСАК) і каналом формування контурів пасивних завад (КФКПЗ).

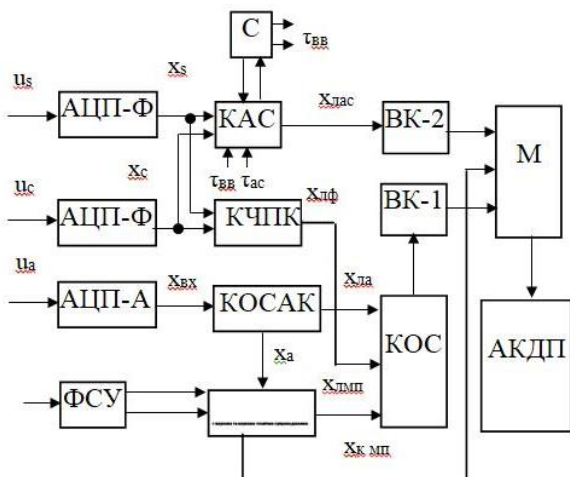


Рис. 5. Блок-схема алгоритму роботи удосконаленого БЦОС

При цьому КОСАК формує адаптивний до шумів та завад поріг обмеження і виділяє імпульси  $x_{ла}$ , що перевищили цей поріг. КФКПЗ на базі адаптивного порогу КОСАК формує карту МП і виділяє імпульси  $x_{лмп}$ , що перевищили поріг карти МП та імпульси контурів МП  $x_{кмп}$  з метою сумісного відображення цих імпульсів з мітками ПвС.

Обробку цифрових сигналів фазового каналу приймача пропонується здійснювати також двома каналами – КЧПК і КАС. Канал ЧПК виділяє імпульси  $x_{лф}$  усіх ПвС, що знаходяться в зоні дії ПРЛ, а КАС виділяє імпульси  $x_{лас}$  тільки окремого ПвС, який супроводжується каналом АС.

Виділені імпульси  $x_{лмп}, x_{ла}$  та  $x_{лф}$  у формі бінарних імпульсів об'єднуються каналом об'єднання сигналів (КОС) і надходять до вимірювача координат ВК-1. Згодом координатна інформація відображаються на моніторі.

Канал АС вирішує завдання доплерівської фільтрації сигналів окремого ПвС шляхом когерентного накопичення імпульсів протягом N періодів повторення ( $N = 8, 12$ ). Тому імпульси  $X_{лас}$ , що знімаються з КАС, являють собою проріджену в N разів пачку імпульсів, а амплітуда кожного імпульсу передається цифровим кодом. Оскільки імпульси  $X_{лас}$  ПвС у кожному періоді повторення можуть з'являтися лише в стробі АС і амплітуда кожного імпульсу передається цифровим кодом, то вимірювання координат такого ПвС пропонується виконувати окремим високоточним вимірювачем – ВК-2. Координатна інформація у формі лінійних відхилень від заданої траєкторії зниження у площинах курсу і глісади, та віддалення ПвС від РТП з ВК-2 передається на монітор і відображається у формі координатної мітки і формуляру АС. При цьому у формулярі АС відображується віддалення  $D_0$  ПвС від РТП та його лінійне відхилення від ЗЛП по курсу  $d_0$  і по висоті  $h_0$ . Для отримання таких координат за значеннями виміряних кутових координат  $\beta_{л}$  (курс) і  $\epsilon_c$  (кут місця) та віддалення ПвС до ПРЛ  $D_{л}$  доцільно користуватись наступним виразами:

$$\begin{aligned} D_0 &= (D_{л} \cos \beta_{л} \cdot \cos \epsilon_{л} - L_{прл}) / \cos \epsilon_{п}, \\ d_0 &= D_{л} \sin \beta_{л} - d_{прл}, \\ h_0 &= D_{л} \cos \beta_{л} (\sin \epsilon_{л} - \operatorname{tg} \epsilon_{п}) + h_a + L_{прл} \operatorname{tg} \epsilon_{п}, \end{aligned} \tag{4}$$

де  $\epsilon_{п}$  – заданий кут зниження;  $L_{прл}, d_{прл}$  – віддалення ПРЛ від РТП та від вісі ЗПС.

Перерахунок координат (4) здійснюється у ВК-2.

Необхідність подавлення сліпої швидкості у двох каналах СРЦ, що працюють за різними принципами та формування циклів за  $N$  періодів повторення (накопичення) обумовлюють необхідність удосконалення синхронізатора радіолокаційної станції. Впровадження у локаторі каналів СРЦ та удосконалення амплітудного каналу свідчать про необхідність передбачення в удосконаленому ПРЛ додаткових сигналів управління. Необхідність такого удосконалення ПРЛ підкреслюється наявністю на рис. 4 удосконалених блоків синхронізатора (С) та формувача сигналів управління (ФСУ).

## Висновки

У роботі проаналізовано особливості побудови і ТТХ посадкового радіолокатора системи РСР-10МА, наведені його переваги і недоліки, як засобу забезпечення посадки ПвС у СМУ. Обґрунтовано можливість, доцільність та запропоновані шляхи удосконалення ПРЛ для забезпечення посадки ПвС у СМУ – при мінімумі погоди I категорії. А саме:

– при удосконаленні ПРЛ-10МА доцільно передбачити можливість роботи локатора в режимах

ПАС, СРЦ, ПАС+СРЦ та ПАС+СРЦ+АС;

– для виключення прояви сліпої швидкості в двох каналах СРЦ можна на основі зміряної швидкості ПвС реалізувати дискретну зміну відповідних значень періодів повторення в режимі вобуляції циклів по 12 періодів;

– для досягнення високих точностей вимірювання кутових координат ПвС, що по черзі заходять на посадку, пропонується реалізовувати спеціальні алгоритми зчитування та обробки імпульсів накопичення доплерівських фільтрів когерентного накопичувача у складі каналу автосупроводження;

– для збереження на індикаторах звичних для оператора міток МП пропонується їх відображати у вигляді контурів міток МП;

– для виключення впливу похибок оператора щодо вимірювання координат ПвС по індикатору локатора необхідно забезпечити автоматичне вимірювання координат ПвС, їх перерахунок в лінійні відхилення від заданої траєкторії зниження у двох площинах і у віддалення ПвС від РТП, та представлення оператору інформації у формі формуляру координат біля мітки ПвС.

## Список літератури

1. Рисаков М.Д. Методика обґрунтування вимог до посадочного радіолокатора щодо точності вимірювання координат для забезпечення посадки літаків при мінімумах погоди I та II категорій / М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, І.Л. Костенко, В.Г. Карєв, О.П. Кулик, Ю.М. Добришкін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1(18). – С. 35-41.
2. Рисаков М.Д. Принципи побудови каналу автосупроводження літака у складі посадкового радіолокатора / М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, О.В. Симоненко, С.М. Рот, Д.М. Воронов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 3(24). – С. 102-107.
3. Гордієнко Д.Г. Особливості адаптивної цифрової фільтрації радіоімпульсу без внутрішньоімпульсної модуляції / Д.Г. Гордієнко, Ю.Г. Ільчишин, В.В. Тонкошкур, С.В. Яровий // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 2(50). – С. 62-66.
4. Bu-Chin Wang. Digital signal processing techniques and applications in radar image processing / Bu-Chin Wang. – John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2008. – 300 p.
5. Бейліс Л.В. Radar reconnaissance capabilities estimation of low-sized low-altitude aircrafts by means of radiotechnical troops surveillance radars / Л.В. Бейліс, В.Ф. Зюкін, С.В. Кукобко // Системи обробки інформації. – Харків: ХНУПС, 2017. – Вип. 1(147). – С. 6-8.
6. Skolnik M. Radar handbook: 3-rd Ed. / M. Skolnik. – McGraw-Hill Professional, 2008. – 1328 p.
7. The U.S. Army Operating Concept: Win in a Complex World (Defense) [Електронний ресурс] / U.S. Army Training and Doctrine Command – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.amazon.com/U-S-Army-Operating-Concept>.
8. Hoffman F.G. Conflict in the 21-st century: the rise of hybrid wars / F.G. Hoffman. – Arlington, Virginia: Potomac Institute for Policy Studies, 2007. – 72 p.
9. Алімпієв А.М. Аналіз та уточнення факторного простору для побудови кваліметричної моделі навчально-бойового літака / А.М. Алімпієв, В.П. Ярошенко, І.Б. Ковтонюк // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 2(50). – С. 7-9.
10. Онипченко П.Н. Управление воздушным движением и перспективные направления его совершенствования / П.Н. Онипченко, М.А. Павленко, А.И. Тимочко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 2(19). – С. 38-41.
11. AN/TRN-22 Precision Approach Radar (RAR) [Електронний ресурс] / Robert Sherman // Federation of American Scientists – 1999. Режим доступу до ресурсу: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip/an-tpn-22.htm>.
12. Карлов В.Д. Статистичні характеристики радіолокаційних сигналів, відбитих від місцевих предметів в умовах аномальної рефракції / В.Д. Карлов, Г.В. Певцов, Н.Н. Петрушенко, В.Л. Місайлов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – № 1(5). – С. 69-72.

## References

1. Rysakov, M.D., Titov, I.V., Kostenko, I.L., Karev, V.G., Kulik, O.P. and Dobryshkin, Iu.M. (2015), "Metodyka obgruntuвання vymog do posadochnogo radiolokatora shchodo tochnosti vymiryuvannya koordynat dlia zabezpechennia posadky li-takiv pry minimumax pogody I ta II kategorii" [Methods of grounding requirements of landing radar coordinate measuring ac-

curacy for aircraft landing at weather minimum first and second categories], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(18), pp. 35-41.

2. Rysakov, M.D., Titov, I.V., Simonenko, O.V., Rot, S.M. and Voronov, D.M. (2016), "Pryntsyipy pobudovy kanalu avto-sprovodzhennia litaka u skladi posadkovogo radiolokatoru" [Principles of constructing automatic tracking channel which is part of precision approach radar], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 3(24), pp. 102-107.

3. Gordienko, D.G., Ilchyshyn, Iu.G., Tonkoshkur, V.V. and Iarovy, S.V. (2017), "Osoblyvosti adaptivnoi tsyfrovoi filtratsii radioimpulsu bez vnutrishnoimpulsnoi moduliatsii" [The features of the adaptation digital filtering of radio-frequency pulse without intra-pulse modulation], *Systems of arms and military equipment*, No. 2(50), pp. 62-66.

4. Bu-Chin Wang (2008), *Digital signal processing techniques and applications in radar image processing*, John Wiley & Sons, 300 p.

5. Beylis, L.V., Zjukin, V.F. and Kukobko, S.V. (2017), Radar reconnaissance capabilities estimation of low-sized low-altitude aircrafts by means of radiotechnical troops surveillance radars, *Information Processing Systems*, No. 1(147), pp. 6-8.

6. Skolnik, M.I. (2008), *Radar handbook: 3-rd Edition*, McGraw-Hill Professional, 1328 p.

7. U.S. Army Training and Doctrine Command (2014), *The U.S. Army Operating Concept: Win in a Complex World (Defense)*, www.amazon.com/U-S-Army-Operating Concept.

8. Hoffman, F.G. (2007), *Conflict in the 21-st century: the rise of hybrid wars*, Potomac Institute for Policy Studies, Arlington, Virginia, 72 p.

9. Alimpiyev, A.M., Yeroshenko, V.P. and Kovtonyuk, I.B. (2017), "Analiz ta utochnennia faktornogo prostoru dlia pobudovy kvalimetrychnoyi modeli navchalno-boioovogo litaka" [Factor space analysis and improvement for qualimetric modeling of the training-combat aircraft ], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2(50), pp. 7-9.

10. Onipchenko, P.N., Pavlenko, M.A. and Timochko, A.I. (2015), "Upravlenie vozdushnym dvizheniem i perspektivnye napravleniia ego sovershenstvovaniia" [Air traffic control and perspective directions of its improvement], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(19), pp. 38-41.

11. Robert Sherman (1999), *AN/TRN-22 Precision Approach Radar (RAR)*, Federation of American Scientists, www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip/an-tpn-22.htm.

12. Karlov, V.D., Pievtsov, H.V., Petrushenko, N.N. and Misailov, V.L. (2011), "Statystychni kharakterystyky radiolokatsiinykh signaliv, vidbytykh vid mistsevykh predmetiv v umovakh anomalnoi refraktsiyi" [Statistical descriptions of radio-location signals, reflected from local objects in the conditions of anomalous refraction], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(5), pp. 69-72.

Надійшла до редколегії 17.05.2018

Схвалена до друку 19.06.2018

#### Відомості про авторів:

##### **Рисаков Микола Данилович**

кандидат технічних наук доцент  
старший науковий співробітник  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1579-7705>

##### **Кулик Олександр Петрович**

кандидат військових наук  
провідний науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-7299-4794>

##### **Тітов Ігор Володимирович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
провідний науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-0107-8881>

##### **Рот Світлана Миколаївна**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9230-9045>

#### Information about the authors:

##### **Mykola Risakov**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor,  
Senior Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1579-7705>

##### **Aleksandr Kulik**

Candidate of Military Sciences,  
Lead Researcher  
of Research Centre of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-7299-4794>

##### **Igor Titov**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research,  
Lead Researcher of Ivan Kozhedub  
Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0107-8881>

##### **Svetlana Rot**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9230-9045>



Білоус Олег Володимирович

магістр

начальник штабу – перший заступник командира батальйону Державного науково-випробувального центру Збройних Сил України, Чернігів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3103-732X>

Oleh Bilous

Master

The Chief of Staff – First Deputy Commander of the Battalion of the State Scientific Research Center of the Armed Forces of Ukraine, Chernihiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3103-732X>

### ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО РАДИОЛОКАТОРА СИСТЕМЫ РСР-10МА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПРИ МИНИМУМЕ ПОГОДЫ I КАТЕГОРИИ

Н.Д. Рысаков, А.П. Кулик, И.В. Титов, С.Н. Рот, О.В. Билоус

*В статье проанализированы особенности построения и ТТХ посадочного радиолокатора системы РСР-10МА производства НПО “Аэротехника” по отношению к локаторам систем устаревшего парка РСР-10МН1 и РСР-6М2. На основе сравнительного анализа РСР выделены достоинства и недостатки посадочного радиолокатора системы РСР-10МА как средства обеспечения посадки воздушных судов на аэродром в сложных метеорологических условиях. Обосновывается возможность, целесообразность и предложены возможные пути модернизации посадочного радиолокатора для обеспечения посадки в сложных погодных условиях при минимуме погоды I категории.*

**Ключевые слова:** посадочный радиолокатор, цифровая обработка сигналов, руководитель зоны посадки, воздушное судно, местные предметы, селекция движущихся целей.

### GROUND OF EXPEDIENCE OF IMPROVEMENT LANDING RADIO-LOCATOR OF SYSTEM RSL-10MA FOR PROVIDING OF LANDING OF AIR COURTS ON NORMS I CATEGORIES OF METEOMINIMUM

M. Rysakov, O. Kulik, I. Titov, S. Rot, O. Bilous

*Features are in-process analyzed to the construction and TTD of landing radio-locator of the system of out-of-date park RLS -10MA productions of NPO of “Aerotechnika” in relation to radars of the systems RLS -10MH1 and RLS -6M2. On the basis of comparative analysis of the RLS dignities and failings are selected landing the radio-locator of the system RLS -10MA as backer-ups landing of air courts on the air field in difficult weather terms. Possibility is grounded, expedience and the possible ways of modernization of landing radio-locator are offered for providing of landing of air courts in difficult meteorological conditions on the I category norms. Two-channel principle of processing the digital signals of the amplitude and phase channels of the receiver is proposed in the article. The necessity of using two coordinate meters - a high-precision for an aircraft, taken for autosupport and a conventional digital meter for the other vessels is justified.*

*With the improvement of PRL-10MA, it is advisable to provide for the possibility of locator operation in a passive mode in the far zone and in the mode of selecting moving targets in the near-field of the locator. The mode of auto-tracking must be included in difficult weather conditions or at the request of the operator. The paper substantiates the possibility of eliminating the manifestation of blind speed in two channels of selection of moving targets by measuring the speed of the lethal apparatus and discreplying the corresponding values of the repetition periods in the wobbling mode of Doppler filter cycles over 12 periods.*

*To achieve high accuracy, measurements of the angular coordinates of lethal vehicles, which in turn come to landing, it is proposed to implement special algorithms for reading and processing accumulation pulses in the Doppler filters of the adaptive coherent drive, which is part of the auto-tracking channel. In addition, to store on the indicators familiar to the operator marks local subjects are invited to display them in the form of contours of labels of these items.*

*The paper justifies the need to automatically measure the coordinates of aircraft according to the radar indicator, to recalculate them into linear deviations from the specified reduction path in two planes and to remove the aircraft from the landing point and present this information to the operator in the form of a coordinate form near the aircraft mark.*

**Keywords:** landing radio-locator, digital treatment of signals, leader of landing area, air ship, local objects, selection of moving-targets.