

УДК.621.396.61

М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, І.Л. Костенко, В.А. Дорошук, В.Г. Карєв

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ПРИНЦИПИ НАСТРОЮВАННЯ СИНХРОНІЗАТОРУ УДОСКОНАЛЕНОГО ПОСАДКОВОГО РАДІОЛОКАТОРУ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОПЛЕРІВСЬКОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ВІДДЗЕРКАЛЕНЬ КАНАЛОМ АВТОСУПРОВОДЖЕННЯ ЛІТАКА

У роботі обґрунтовується можливість недопущення на заключному етапі посадки накопичень імпульсів літаків у нульовому та сусідніх фільтрах когерентного накопичувача, з метою виключення можливості прояву сліпої швидкості при селекції рухомих цілей. Для одночасного подавлення сліпої швидкості селекції рухомих цілей в каналі черезперіодної компенсації, необхідно виконувати вобуляцію періодів зондування. Пропонується виконувати вобуляцію шляхом зміни відповідних значень періодів зондування за результатами вимірювання швидкості окремого літака, безпосередньо виконуючого посадку.

Ключові слова: посадковий радіолокатор, канал автосупроводження, когерентний накопичувач, селекція рухомих цілей.

Вступ

Постановка проблеми. На заключному етапі посадки літака радіальна складова його швидкості V_r приблизно дорівнює повітряній швидкості V_d та її значення можна вимірювати. У цьому випадку можна виключити прояву сліпої швидкості при селекції рухомих цілей (СРЦ) шляхом періодичного вимірювання за допомогою посадкового радіолокатора (ПРЛ) швидкості літака та по результатам вимірювань вибирати необхідне значення періоду зондування. Для рішення цього завдання у складі удосконаленого ПРЛ необхідно мати вимірювач швидкості літака і реалізувати відповідний алгоритм роботи синхронізатора локатору.

Аналіз публікацій. У роботі [1] запропоновано і обґрунтовано склад ПРЛ для автоматизованої посадки літаків в складних метеоумовах, а у статті [2] викладені можливі принципи побудови такого локатору. У роботі [3] запропоновано алгоритм роботи дванадцятифільтрового когерентного накопичення (КН) в якості оптимального пристрою СРЦ. Наявність у складі ПРЛ [1] двох каналів СРЦ обумовлюють необхідність реалізувати спеціальні алгоритми синхронізації цих каналів.

Мета статті. Запропонувати для удосконаленого ПРЛ алгоритми синхронізації каналів автосупроводження літака та через періодної компенсації віддзеркалень фазового каналу приймача з метою недопущення прояви у цих каналах сліпої швидкості СРЦ.

Викладення основного матеріалу

До особливостей побудови КН у складі каналу автосупроводження (КАС) удосконаленого ПРЛ можна віднести простий принцип рішення задачі подавлення сліпої швидкості при СРЦ. Ця особливість пов'язана з тим, що радіальна складова швид-

кості літака на заключному етапі посадки по величині близька до реальної швидкості та її поточне значення з певною точністю можна вимірювати. Тому відповідним підбором періоду повторення можна виключити прояву сліпої швидкості, за рахунок виключення накопичень імпульсів літака в нульовому доплерівському фільтрі. Для обґрунтування такої можливості розглянемо графіки амплітудно-фазових характеристик (АФХ) доплерівських фільтрів (ДФ) КН із 12 ДФ (КН-12). Графіки АФХ фільтрів КН-12 з ваговим накопиченням віддзеркалень [3] ілюструються на рис. 1.

Крім цього десь додатково ілюструються основні пелюстки АФХ 0 K_0 та 11 K_{11} фільтрів при одиничних вагових коефіцієнтів накопичення.

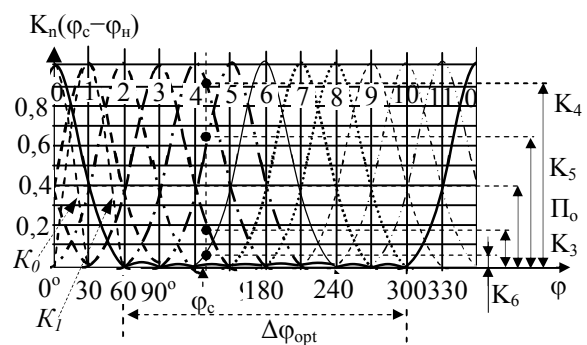


Рис. 1. Графіки АФХ ДФ КН при $N = 12$

Результати комп'ютерного розрахунку залежності значень АФХ $K_n(\Delta\varphi)$ від відхилення $\Delta\varphi$ доплерівського набігу фази сигналу φ_c відносно фази настройки φ_n фільтрів приведено у табл. 1. Відхилення доплерівського набігу фази сигналу розраховується за виразом:

$$\Delta\varphi = \varphi_c - \varphi_n. \quad (1)$$

Як видно з рис. 1, розширення основної пелюстки АФХ кожного фільтру КН з ваговим накопиченням в два рази, відносно КН при одиничних ва-

гових коефіцієнтах, істотно збільшило рівень взаємного перекриття АФХ сусідніх фільтрів. При цьому АФХ кожного фільтру перетинається з графіками двох сусідніх фільтрів справа і зліва, а рівень перетинання сусідніх фільтрів збільшився з 0,63 до 0,78. Проте зменшення на 24 дБ середнього рівня бічних пелюсток в порівнянні з рівнем бічних пелюсток АФХ при $k_f=1$, свідчить про перевагу КН зі згладжуванням бічних пелюсток АФХ. При цьому для ПРЛ цю перевагу КН в порівнянні з оглядовими локаторами можна ефективніше використовувати для послаблення впливу віддзеркалень від МП та метеохмар.

Таблиця 1
Дискретні значення АФХ фільтрів КН-12

$\Delta\varphi$	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
K_n	1	0,96	0,89	0,78	0,66	0,53	0,4
$\Delta\varphi$		35°	40°	45°	50°	55°	60°
K_n		0,28	0,19	0,1	0,06	0,02	0

На рис. 1 ілюструється приклад відносного рівня $K_n(\varphi_c)$ накопичення імпульсів літака з доплерівським набігом фаз $\varphi_c \approx 130^\circ$ у чотирьох фільтрах. Відносні рівні накопичення імпульсів літака у четвертому $K_4(\varphi_c)$ і п'ятому $K_5(\varphi_n)$ фільтрах (таблиця 2) складають значення 0,89 і 0,66. Крім цього накопичення імпульсів цього літака відбувається і у третьому та шостому фільтрах з рівнями $K_3 \approx 0,19$ і $K_6 \approx 0,06$. По значенням АФХ, що наведені у табл. 2, можна переконалися у тому, що при будь-якому значенні доплерівського набігу фаз φ_c , сума рівнів накопичення у чотирьох (трьох при $\varphi_c = \varphi_n$) фільтрах має значення 1,8. Однак менші рівні накопичення можуть бути сумірними із середнім рівнем накопичених шумів та пасивних завад. Тому при зчитуванні імпульсів накопичення доцільно пропускати лише імпульси, що перевищили відносний поріг P_0 обмеження:

$$P_0 \geq K_n(30^\circ) = 0.4. \quad (2)$$

При цьому після зчитування і обмеження накопичених імпульсів доцільно зберегти рівень накопичення імпульсів, що перевищили поріг обмеження (2).

Обґрунтуємо можливість в КН ПРЛ суттєвого ослабити вплив віддзеркалень від місцевих предметів (МП) на накопичення імпульсів літаків по відношенню до КН оглядових РЛС.

Оскільки в оглядових РЛС необхідно забезпечити накопичення імпульсів літаків з будь-якою радіальною швидкістю V_r , виникає необхідність вирішувати задачу подавлення в КН віддзеркалень від МП, що накопичилися у нульовому та сусідніх з ним фільтрах. У нашому випадку мова йде про 1-й і 11-й фільтри. При цьому якісно вирішити таку задачу не вдається.

Середній рівень накопичень МП в сусідніх з нульовим фільтрах сягає приблизно 0,4 (– 8 дБ) амплітуд накопичених імпульсів МП в нульовому фільтрі. В інших фільтрах середній рівень накопичень віддзеркалень від МП складає величину мінус 53 дБ і завдання подавлення цих накопичень можна вирішувати шляхом віднімання від амплітуди накопичених імпульсів в таких фільтрах значення 1/512 (–54 дБ) амплітуди накопичених імпульсів в нульовому фільтрі.

У ПРЛ виключення впливу, що заважає, віддзеркалень від МП, що накопичилися в 0-му, 1-му і 11-му фільтрах, можна шляхом недопущення накопичення імпульсів літаків у цих фільтрах. Для цього можна по результатам вимірювання швидкості літака дискретно змінювати значення періоду повторення T_n зондуєчих імпульсів, таким чином, щоб доплерівській набіг фаз φ_c приймав значення, яке не допускає накопичень імпульсів літаків у цих фільтрах. Обґрунтуємо можливість і принципи такого дискретного підбору періоду T_n для КН-12.

Літак, що здійснює посадку на аеродром, повинен дотримуватись певного маршруту і режиму польоту. При цьому після виходу на задану лінію посадки (ЗЛП) для кожного типу літака, по мірі наближення до розрахункової точки посадки (РТП) на злітно-посадковій смугі (ЗПС), повинна витримуватися з достатньою точністю певна швидкість. Тому з певною точністю можна вимірювати повітряну швидкість V_n літака на будь-якому його віддаленні від РТП. Виходячи з типового розміщення РСР на аеродромі, значення радіальної швидкості V_r приблизно дорівнює повітряній швидкості V_n . Дійсно, найбільша відмінність V_r від V_n має місце в РТП. При довжині ЗПС 2,5 км в РТП матимемо $V_r \approx 0,99V_n$.

Таким чином можна вважати, що в зоні автосупроводження (АС) для відповідних літаків заздалегідь відомі межі ΔV зміни швидкості V_n – від початкової швидкості V_n (на дальності введення літака в АС ≤ 10 км) до кінцевої V_k (на висоті прийняття рішення).

З аналізу швидкостей літаків в зоні посадки виходить, що по межах зміни швидкостей на віддаленнях від РТП ≤ 10 км, їх можна об'єднати в дві групи:

$$\Delta V_1 = V_n \rightarrow V_k = 450 \rightarrow 280 \text{ км/год};$$

$$\Delta V_2 = 350 \rightarrow 180 \text{ км/год}.$$

Очевидно, що на аеродромі може виникнути необхідність забезпечення посадки літака з будь-якими межами зміни посадочних швидкостей.

Тому проаналізуємо можливість і запропонуємо принцип дискретного підбору періодів зондування (настройки КН) для меж зміни посадочних швидкостей літаків різних типів ($\Delta V = 450 \rightarrow 180$ км/год), тобто для меж:

$$\Delta V = 125 \rightarrow 50 \text{ м/с}. \quad (3)$$

Для уточнення принципу настройки КН на межі зміни швидкості (3), необхідно перейти від АФХ до амплітудно-швидкісних характеристик (АШХ) доплеровських фільтрів. Для цього представимо значення набігу фаз φ_c сигналу виразом:

$$\varphi_c = 4\pi \cdot V_r / \lambda T_n, \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі сигналу, $V_r \approx V_d$.

Як видно з ілюстрацій $\Delta\varphi_{opt}$ на рис. 1, для виключення істотних накопичень віддзеркалень від пасивних завод значення набігу фаз φ_c повинно лежати в межах:

$$(0,333 + 2i)\pi \leq \varphi_c \leq (1,667 + 2i)\pi; \quad (5)$$

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Для виконання умови (5) при відомій V_r , потрібно підбирати значення T_n з дотриманням однозначності вимірювання дальності:

$$T_n \geq 2D_{max} / C, \quad (6)$$

де C – швидкість світла;

D_{max} – максимальна дальність дії ПРЛ в режимі СРЦ (20 км).

Відповідно до умови (6) та виразів (4) і (5) маємо:

$$(0,083 + 0,5i)\lambda \leq V_r \cdot T_n \leq (0,417 + 0,5i)\lambda. \quad (7)$$

Відповідний підбір значення T_n для виконання умов (6) і (7) при відомому поточному значенні V_r і складає суть адаптивного підбору періодів зондування для КН. Наявність у складі ПРЛ [1] каналу СРЦ у вигляді ЧПК, обумовлюють необхідність одночасного здійснювання вобуляції періодів повторення з метою подавлення сліпих швидкостей СРЦ в цьому каналі.

Таким чином, виникає потреба забезпечити формування синхронізатором послідовності циклів по 12 періодів повторення ($12T_{n1j}, 12T_{n2j}, 12T_{n1j}, \dots$). При цьому значення періодів $T_{n1j} \neq T_{n2j}$ повинні задовольняти умовам (6) і (7).

Крім цього, для передавача локатора необхідно зберегти оптимальне значення середньої потужності $P_{сopt}$ випромінювання, яка пов'язана з імпульсною потужністю P_i , тривалістю τ_i та періодом T_n виразом:

$$P_{сopt} \approx P_i \frac{\tau_i}{T_n}. \quad (8)$$

Тому при зміні T_n одночасно доцільно було б змінювати і тривалість τ_i імпульсів зондування (за принципом $T_n/\tau_i \geq n_{opt}$). Однак з тривалістю імпульсів узгоджується смуга пропускання приймача і тому змінювати τ_i недоцільно. У нашому випадку для приблизного збереження середньої потужності (8) передавача в умовах формування синхронізатором імпульсів запуску в режимі вобуляції періодів повторення T_{n1}, T_{n2} , доцільно виконати, наприклад, умову:

$$0,8T_n = 300\mu s \leq \frac{T_{n1} + T_{n2}}{2} \leq 1,4T_n = 525\mu s, \quad (9)$$

де $T_n = 375\mu s$ – середній період повторення ПРЛ системи РСР-10МН.

На основі аналізу умов (6), (7) і (9) можна запропонувати наступний алгоритм вибору і розрахунку періодів зондування, або іншими словами алгоритм дискретного настроювання КН. При цьому обрані значення періодів (7) будуть залежати від довжини хвилі частотного каналу. Тому для кожного каналу $\lambda = \lambda_n$ потрібно виконати окремий розрахунок значень періодів зондування.

Як впливає з умови (7), перше ($j=1$) і подальші ($j=2, 3, \dots$) два значення T_{n1j}, T_{n2j} періоду T_n можна вибирати за принципом:

$$T_{n1j}, T_{n2j} \leq (0,417 + 0,5i) \frac{\lambda}{V_{nj}}, \quad (10)$$

де i – два цілих числа для T_{n1j} і T_{n2j} , що задовольняють умовам (7) та (9).

В умовах формування циклів періодів у режимі вобуляції $12T_{n1j}, 12T_{n2j}, 12T_{n1j}, \dots$ дискретні значення періодів T_{n1j}, T_{n2j} розраховуються і підбираються відповідно до виразів (10) і додаткових умов (9). Уточнимо послідовність такого підбору.

За перше можливе значення початкової швидкості V_{n1} береться початкова швидкість $V_{n1}=125$ м/с заданого інтервалу (3). Як впливає з (7), розміри ділянок швидкостей, що задовольняють умові (5), для кожного значення періоду T_{nj} (T_{n1j}, T_{n2j}), обчислюються за формулами:

$$\Delta V_j = V_{nj} - V_{kj}; \quad (11)$$

$$\Delta V_j \approx \frac{0,334\lambda_n}{T_{nj}}. \quad (12)$$

Таким чином, для оптимізації роботи КН при виході швидкості літака за межі певної ділянки швидкостей ΔV_j (11), можна дискретно змінювати значення періодів T_{n1j}, T_{n2j} .

З умов (9) і (10) видно, що кожному вибраному значенню періоду T_{n1j} і T_{n2j} відповідають певні ділянки (12) швидкостей $\Delta V_{1j} \neq \Delta V_{2j}$. При цьому зміну значень двох періодів T_{n1j} і T_{n2j} можна здійснювати дискретно при виході швидкості літака за межі відповідної ділянки ΔV_{1j} або ΔV_{2j} . Однак такий принцип щодо необхідного числа зміни періодів T_{n1j} і T_{n2j} для можливих меж (3) швидкостей є недоцільним.

З метою зменшення числа змін періодів T_{n1j} і T_{n2j} для меж (3) доцільно розміри ділянок (11) обчислювати по формулі (12) для більшого серед T_{n1j}, T_{n2j} періоду. У цьому випадку у виразі (12) при умові $T_{n1j} > T_{n2j}$ під значенням T_{nj} розуміється:

$$T_{nj} = T_{n1j} > T_{n2j}. \quad (13)$$

Таким чином у складі ПРЛ потрібен вимірювач швидкості літака $V_d \approx V_r$, який за результатами ви-

мірювань швидкості V_n при її виході за межі ділянок ΔV_j (12) швидкостей видає команду синхронізатору на дискретну зміну двох періодів в циклах $12T_{п1j}$, $12T_{п2j}$. При цьому значення ділянок ΔV_j (12) швидкостей та відповідних їм двох періодів (10), можна заздалегідь розрахувати і зберігати у чарунках пам'яті синхронізатору.

Для розрахунку значень перших періодів $T_{п11}, T_{п21}$ і ділянки ΔV_1 за початкове значення швидкості $V_{п1}$ приймаються початкове значення заданого інтервалу ΔV швидкостей (3), яке дорівнює 125 м/с.

При розрахунку і розміщенні ділянок ΔV_j на інтервалі (3) потрібно врахувати, що поточна швидкість вимірюється цифровим вимірювачем лише приблизно.

Тобто виміряну (передбачувану) швидкість $V_{зм}$ можна представити у вигляді:

$$V_{зм} \approx V_r \pm \sigma_v, \quad (14)$$

де σ_v – точність вимірювання V_r .

Точність σ_v можна врахувати шляхом перекриття ділянок ΔV_j та ΔV_{j+1} швидкостей на $2\sigma_v$. Тому пропонується вибирати початкове значення $V_{пj}$ подальших ($j \geq 2$) ділянок (11) за принципом:

$$V_{пj} \geq V_{к(j-1)} + 2\sigma_v, \quad (15)$$

де $V_{к(j-1)}$ – кінцеве значення швидкості попередньої ділянки $\Delta V_{(j-1)}$.

Тоді за умовами (10) і (9) знаходяться значення двох періодів $T_{п21} \neq T_{п11}$, а кінцеве значення швидкості $V_{к1}$ першої ділянки ΔV_1 знаходяться по формулам (12) і (11).

Подальші значення ділянок ΔV_j та періодів $T_{п1j}$, $T_{п2j}$, а також значень контрольних швидкостей V_{dj} знаходяться з умов (10), (12), перевіряється відповідно до умови (9) з урахуванням точності σ_v , та обчислюються так:

$$V_{dj} = V_{kj} + \sigma_v \quad (16)$$

Виконаємо такий розрахунок по запропонованій методиці для таких даних:

$$\sigma_v = 3 \text{ м/с}, \lambda_1 = 3,141 \text{ см}, \lambda_2 = 3,168 \text{ см}, \lambda_3 = 3,195 \text{ см},$$

$$\lambda_4 = 3,222 \text{ см}, \lambda_5 = 3,25 \text{ см}, \lambda_6 = 3,279 \text{ см},$$

$$\Delta V = 125 \rightarrow 50 \text{ м/с}.$$

В результаті виконання були отримані значення періодів $T_{п1j}$, $T_{п2j}$, ділянок ΔV_j та швидкостей V_{dj} , що наведені у табл. 2.

Таким чином принцип дискретної зміни синхронізатором значень пари періодів повторення в циклах $12T_{п1j}$, $12T_{п2j}$ на користь оптимальної роботи накопичувача і недопущення прояви сліпих швидкостей в каналі ЧПК полягає у наступному.

Значення ділянок ΔV_j , швидкостей V_{dj} та відповідних пар періодів $T_{п1j}$, $T_{п2j}$ (для кожного частотного каналу), що розраховані, зберігаються у чарунках пам'яті спеціального пристрою синхронізатору – пристрою вибору періодів повторення (ПВПП).

Таблиця 2

Значення параметрів настройки КН

λ_i , см	$T_{пi}$, $\mu\text{с}/j$	1	2	3	4	5
3,141	$T_{п1j}$	481	404	494	593	450
	$T_{п2j}$	356	261	320	384	204
3,168	$T_{п1j}$	485	408	498	598	453
	$T_{п2j}$	359	264	322	387	206
3,195	$T_{п1j}$	489	411	503	603	457
	$T_{п2j}$	362	266	325	390	208
3,222	$T_{п1j}$	494	415	507	608	461
	$T_{п2j}$	365	268	328	393	209
3,25	$T_{п1j}$	498	418	511	614	465
	$T_{п2j}$	368	270	331	397	211
3,279	$T_{п1j}$	502	422	516	619	469
	$T_{п2j}$	371	273	334	400	213
$\lambda_1, \dots, \lambda_6$	ΔV_j , м/с	125-104	110-84	90-69	75-58	64-41
$\lambda_1, \dots, \lambda_6$	V_{dj} , м/с	107	87	72	61	

Синхронізатор до вводу в АС наступного літака, формує послідовності імпульсів запуску в режимі звичайної вобуляції періодів $T_{п1}=330 \mu\text{с}$, $T_{п2}=420 \mu\text{с}$ і послідовності тактових імпульсів.

Для вводу літака в АС вимірюється його швидкість і за цим значенням обирається потрібна пара циклів періодів $12T_{п1j}$, $12T_{п2j}$. Такий вибір здійснюється шляхом виявлення відрізка ΔV_j , котрому належить швидкість $V_{зм}$. Надалі шляхом періодичного вимірювання швидкості літака і порівняння її з контрольною швидкістю V_{dj} (табл. 2) вибраного відрізка, виявляється час збігу цих швидкостей (час виконання умови):

$$V_{зм} \leq V_{dj}. \quad (17)$$

При виконанні умови (17) здійснюється перехід до формування наступної пари циклів періодів. Періодичність вимірювання швидкості пов'язана з періодичністю сканування антен ПРЛ.

Таким чином, у складі КАС потрібно мати вимірювач швидкості (ВШ) і забезпечити відповідні його функціональні зв'язки з синхронізатором.

На рис. 2, а приведена структурна схема вимірювача дальності (ВД) і ВШ швидкості літака. Окрім цього на схемі приведені пристрої попередньої обробки виявлених імпульсів літака, якій береться на АС.

При вводі літака в АС використовуються імпульси x_d віддзеркалень, що виділені оператором стробом вводу $\tau_{вв}$ та виявлені каналом ЧПК або амплітудним каналом ПРЛ. Після вводу літака в АС використовуються вихідні імпульси $x_{лас}$ каналу АС.

Оскільки імпульси $x_{лас}$ являють собою багаторозрядний код амплітуди сигналу, то його доцільно перетворити в одиничні імпульси $x_{1ас}$. Це завдання вирішує формувач бінарних імпульсів (ФБІ). Далі імпульси $x_{1ас}$ обробляються пристроєм критерійної

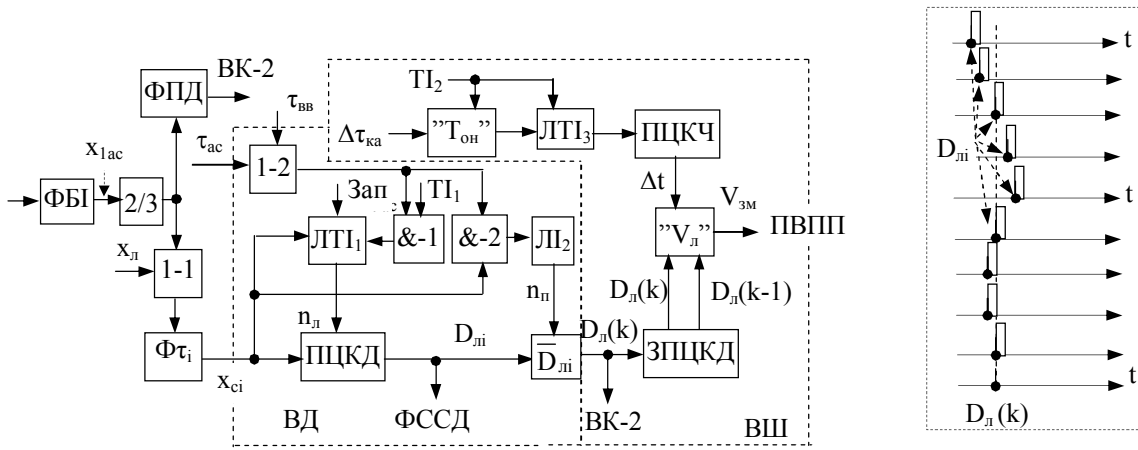


Рис. 2. Структурна схема ВД і ВШ та часова діаграма розташування скорочених імпульсів

обробки “2/3” і використовуються формувачем потенціалу дозволу (ФПД) для визначення вимірювачу ВК-2 часу для розрахунку кутової координати шляхом обробки сигналів $x_{лас}$ каналу АС. Для досягнення достатньої точності вимірювання дальності літака, входні імпульси x_l (в стробі $\tau_{вв}$) або $x_{лас}$ (в стробі $\tau_{ас}$ після обробки в “2/3”) об’єднуються елементом 1-1 та перетворюються формувачем імпульсів $\Phi\tau_i$ в скорочені імпульси x_{ci} до тривалості малого дискрета $\tau_{д1}$ і подаються до ВД. ВД вимірює поточну дальність $D_{лi}$ літака і знаходить усереднене $\bar{D}_{лi}$ для пачки імпульсів значення дальності літака. ВД на схемі представлений лічильником (ЛТІ₁) тактових імпульсів Π_1 з дискретністю $\tau_{д1}$, лічильником (ЛТІ₂) скорочених імпульсів x_{ci} , перетворювачем ЦК лічильника в дальність $D_{лi}$ (ПЦКД), блоком усереднювання $\bar{D}_{лi}$ і логічними елементами 1-2, &-1, &-2.

Лічильник ЛТІ₁ в кожному періоді повторення переводиться у нульовий стан імпульсами “зап”, а з надходженням через 1-2 стробів $\tau_{вв}$ вводу або $\tau_{ас}$ АС підраховує Π_1 , що поступають через &-1. В період приходу імпульсу x_{ci} підрахунок Π_1 цим імпульсом у ЛТІ₁ зупиняється. Число n_l підрахунку імпульсів Π_1 з приходом імпульсу x_{ci} в ПЦКД перетворюється в цифровий код дальності $D_{лi}$ і запам’ятовується. Алгоритм вимірювання дальності $D_{лi}$ можна описати очевидним виразом:

$$D_{лi} = 0,5 C n_l \tau_{д1}. \quad (18)$$

Виміряна дальність $D_{лi}$ використовується формувачем стробу $\tau_{ас}$ супроводження по дальності (ФССД) і поступає до блоку усереднювання $\bar{D}_{лi}$. Обгрунтуємо роль цього блоку у складі ВД.

Точність вимірювання дальності (18) залежатиме від значення дискрета $\tau_{д1}$ та відносного рівня шумів накопичення в КН. Дійсно, не дивлячись на те, що в КН відносний рівень шумів накопичень знижується в $\sqrt{K_\Sigma} \approx 2,53$ разів (K_Σ – коефіцієнт накопичення [3]), фронт накопиченого і оброблено-

го імпульсу літака в суміші з накопиченими шумами може зміщуватися щодо дійсної дальності як з випередженням так і з відставанням на декілька (1, 2, ...) дискретів.

Таким чином часове положення укорочених імпульсів x_{ci} пачки щодо положення дійсної дальності може відрізнитися на декілька дискретів $\tau_{д1}$. Варіант такого розташування імпульсів x_{ci} для пачки з 9 імпульсів ілюструється на рис. 2, б. Тому для підвищення точності вимірювання дальності і швидкості у ВД вирішується друге завдання – усереднення виміряних для кожного імпульсу пачки дальностей $D_{лi}$. Алгоритм такого усереднення можна описати виразом:

$$D_{л}(k) = \frac{1}{n_l} \sum_{i=1}^{n_l} D_{лi}, \quad (19)$$

де n_l – число імпульсів x_{ci} пачки, підрахованих лічильником ЛТІ₂.

Результати усереднення (19) поступають до ВШ і до вимірювача координат ВК-2 у якості координати дальності літака.

ВШ на схемі представлений формувачем періодичності вимірювання швидкості “Т_{он}”, лічильником (ЛТІ₃) тактових імпульсів Π_2 , перетворювачем цифрового коду числа (ПЦКЧ) підрахованих імпульсів Π_2 в часовий інтервал Δt , запам’ятовуючим пристроєм цифрового коду усередненої дальності (ЗПЦКУД) і безпосередньо вимірювачем “V_л” швидкості.

Алгоритм розрахунку швидкості літака описується виразом:

$$V_{зм} = (D_{л}(k-1) - D_{л}(k))/\Delta t, \quad (20)$$

де $D_{л}(k)$, $D_{л}(k-1)$ – поточне і попереднє значення дальностей, що виміряні з інтервалом Δt .

Періодичність $T_{он}$ оновлення інформації в кожній площині зони посадки задає механічний комутатор антен, з якого при включенні сканування антен знімається дворівнева (± 1) напруга $\Delta\tau_{ка}$, комутована

через $\approx 0,6$ с. При цьому, періодичність $T_{ка}$ послідовної комутації каналів курсу і глісади ($T_{ка} \approx 0,6$ с) залежить від значення напруги, що живить двигуни сканування антен.

При зміні цієї напруги через будь-які дестабілюючі чинники періодичність комутації в незначних межах змінюватиметься. Тому для вимірювання швидкості $V_{л}$ літака необхідно з достатньою точністю знати інтервал часу між двома вимірюваннями Δt . Це завдання вирішується елементами "Т_{он}", ЛПІ₃ і ПЦКЧ шляхом підрахунку тактів ПІ₂ на інтервалі $\Delta t \approx 1,2$ с.

ЗПЦКУД вирішує задачу запам'ятовування двох усереднених дальностей поточного $D_{л}(k)$ і попереднього $D_{л}(k-1)$ вимірювання. При цьому вимірювач " $V_{л}$ " згідно виразу (20) розраховує швидкість $V_{зм}$ і передає в ПВПП для порівняння вимірної швидкості з контрольними швидкостями (16) (швидкостями $V_{лi}$ дискретної зміни пари періодів повторення (табл. 2)).

Таким чином координата дальності літака вимірюється у ВД і передається до ВК-2. З метою досягнення високої точності вимірювання кутових координат вимірювачем ВК-2 доцільно реалізувати спеціальні оптимальні алгоритми вимірювання. На виході каналу автосупроводження отримуємо проріджену у 12 разів пачку імпульсів.

Тому звичайна обробка такої пачки імпульсів може привести до суттєвої помилки кутової координати літака.

Доцільно цю помилку зменшити шляхом пошуку "центру тяжіння" прорідженої пачки. Пропозиції щодо побудови такого вимірювача автори планують викласти у окремій статті.

Висновки

У роботі обґрунтована можливість та запропонована методика настроювання синхронізатора удосконаленого посадкового радіолокатора, з метою забезпечення оптимальної доплерівської фільтрації сигналів літаків когерентним накопичувачем із 12 фільтрів.

Для цього до складу пропонується ввести високоточні вимірювачі дальностей і швидкостей. Пропонуються схеми побудови таких вимірювачів.

Список літератури

1. Особенности построения радиолокационного посадочного комплекса для автоматизированного управления посадкой самолета / Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, В.В. Куценко, А.П. Кулик // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. - № 2 (6). - С. 115-120.

2. Рысаков Н.Д. Алгоритм расчета оптимальных значений весовых коэффициентов для когерентного накопления отражений / Н.Д. Рысаков, В.В. Куценко // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. – К., 2015. - Т. 58, № 5. - С. 58-64.

3. Особенности алгоритма работы дванадцятифильтрового когерентного накопичувача у складі посадкового радіолокатора / М.Д. Рысаков, І.В. Титов, І.Л. Костенко, О.П. Кулик, С.М. Рот // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2016. - Вип. 2 (47). - С. 82-87.

4. РСР-10МН. Радиолокационная система посадки. Техническое описание. ЕИП.001.013ТО1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://voennizdat.ru/index/0-537>.

Надійшла до редколегії 22.03.2016

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

ПРИНЦИПЫ НАСТРОЙКИ СИНХРОНИЗАТОРА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПОСАДОЧНОГО РАДИОЛОКАТОРА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ОТРАЖЕНИЙ КАНАЛОМ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ САМОЛЕТА

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, И.Л. Костенко, В.А. Дорошук, В.Г. Карев

В работе обосновывается возможность недопущения на заключительном этапе посадки накопленных импульсов самолетов в нулевом и соседних фильтрах когерентного накопителя, с целью исключения возможности проявления слепой скорости селекции движущихся целей. Для одновременного подавления слепой скорости селекции движущихся целей в канале череспериодной компенсации необходимо выполнять wobbling периодов зондирования. Предлагается выполнять wobbling путем изменения соответствующих значений периодов зондирования по результатам измерения скорости отдельного самолета, непосредственно осуществляющего посадку.

Ключевые слова: посадочный радиолокатор, канал автосопровождения, когерентный накопитель, селекция движущихся целей.

PRINCIPLES OF TUNING OF SYNCHRONIZER OF THE IMPROVED LANDING RADAR FOR OPTIMUM DOPPLER FILTRATION OF REFLECTIONS BY CHANNEL OF AUTOACCOMPANIMENT OF AIRPLANE

N.D. Rysakov, I.V. Titov, I.L. Kostenko, V.A. Doroschuk, V.G. Karev

Possibility of non-admission is in-process grounded on the final stage of landing of accumulations of impulses of airplanes in zero and nearby filters of coherent store, with the purpose of exception of possibility of display of blind speed of selection of moving-targets. For simultaneous podavleniya of blind speed of selection of moving-targets in the channel of cheresperiodnoy indemnification it is necessary to execute the wobbling of sounding periods. It is suggested to execute a wobbling by the change of the proper values of periods sounding on results measuring of separate plane's, directly carrying out landing speed.

Keywords: landing radar, channel of autoaccompaniment, coherent store, selection of moving-targets.