

Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 621.391

DOI: 10.30748/nitps.2019.35.18

А.А. Гризо, О.О. Альчаков, І.М. Лашкул, В.А. Полтавець

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОЧАСТОТНОГО ЗОНДУЮЧОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗАВАДОЗАХИСТУ МОДЕРНІЗОВАНИХ РЛС П-18МА ТА П-18 МАЛАХІТ

Стаття присвячена проблемі захисту модернізованих РЛС типу П-18МА та П-18 Малахит від імпульсних завад. Проведено аналіз структури зондуючих сигналів, показано, що для огляду зони виявлення використовується складовий сигнал. Для перегляду великих відстаней використовується тривалий у часі, складний радіоімпульс з внутрішньоімпульсною модуляцією, який потенційно забезпечує високу якість селекції імпульсних завад. Близька зона переглядається простим радіоімпульсом, який має набагато гірші можливості щодо усунення дії імпульсних завад. Для підвищення якості завадозахисту у ближній зоні пропонується використовувати багаточастотний зондуючий сигнал, запропоновано варіант пристрою селекції імпульсних завад, оцінено його ефективність та визначена оптимальна кількість частотних підканалів. Для проведення розрахунків використовувалися методи математичної статистики, результати розрахунків оцінювалися методом порівняльного аналізу. Отримано залежності вірогідності селекції імпульсних завад від кількості частотних підканалів для різної інтенсивності впливів. Показано, що вірогідність правильного розрізнення збільшується зі зростанням числа частотних підканалів. При невисокій інтенсивності впливів якість розрізнення знижується. Цей ефект пояснюється маскуванням власними шумами. Зі збільшенням інтенсивності впливів, якість розрізнення зростає, але не значно. Це трактовано зниженням впливу маскуючих шумів. Подальше зростання інтенсивності суттєвого впливу не робить, тому що вплив шумів дуже малий. Достатньо якісна селекція імпульсних завад забезпечується вже при застосуванні двох - трьох частотних підканалів.

Ключові слова: імпульсна завада, завадозахист, багаточастотний сигнал.

Вступ

В останні роки прийняті на озброєння та широко використовуються у радіотехнічних військах Повітряних Сил Збройних Сил України ціла низка новітніх РЛС, які були розроблені шляхом “глибокої” модернізації РЛС П-18, а саме РЛС П-18МА, П-18МУ, П-18 Малахит [1–2].

Вищезазначені РЛС володіють значно кращими технічними характеристиками та показали свою ефективність, насамперед, при виявленні малорозмірних цілей типу безпілотних літальних апаратів і навіть окремих ракет систем залпового вогню на певних ділянках траєкторії, що обумовлює їх залучення для висвітлення повітряної обстановки над зоною ООС.

В Україні модернізація одночасно виконувалася двома підприємствами: корпорація Аеротехніка (РЛС П-18МА) [2] і холдингова компанія Укрспецтехніка (РЛС П-18МУ, П-18 Малахит) [1].

Модернізація виконувалася за однаковими принципами та з використанням схожої елементної

бази, що дозволило реалізувати сучасні технічні рішення та підвищити тактико-технічні характеристики РЛС. Поліпшення технічних характеристик досягається за рахунок використання новітньої елементної бази у приймачі та передавачі. Зокрема, передавальний пристрій у цих РЛС здатний формувати високостабільний зондуючий сигнал, що потенційно дозволяє реалізувати більш якісну систему селекції рухомих цілей.

Формування такого високостабільного зондуючого сигналу стало можливим завдяки відмові від використання лампового та переходу до “твердотільного” передавача, виконаного на високочастотних транзисторах. Їх використання в якості підсилювальних елементів накладає певні обмеження на пікову потужність зондуючого сигналу, що призводить до необхідності значного збільшення тривалості для забезпечення потрібної енергії (дальності виявлення) та як наслідок, використання внутрішньоімпульсної модуляції для збереження точності виміру дальності.

Постановка проблеми. Використання таких тривалих за часом сигналів приводить до появи так званої “мертвої зони”, тобто ділянки дальності, що не проглядається, бо приймальний тракт закритий на час випромінювання.

З метою усунення цієї проблеми використовується складовий сигнал: у дальній зоні для перегляду простору використовується внутрішньоімпульсно модульований сигнал великої тривалості, а у ближній – короткий імпульсний сигнал невеликої пікової потужності. Результати виявлення запам'ятовуються та потім “зшиваються” до єдиної розгортки дальності, яка і обробляється у подальшому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В РЛС П-18МА для перегляду дальньої зони використовуються фазоманіпульовані (ФМ) сигнали, а у РЛС П-18МУ, Малахит – лінійночастотномодульовані (ЛЧМ) сигнали, що мають тривалість десятки і сотні мікросекунд.

В РЛС П-18МА використовується складовий зондувальний сигнал, що складається з трьох або чотирьох зондувальних сигналів, які випромінюються по черзі (рис. 1) [2]:

- звичайного імпульсного радіосигналу, “гладкого” імпульсу (Г), тривалістю 6 мкс;
- 13-елементного фазоманіпульованого сигналу, сформованого за кодом Баркера, тривалістю 78 мкс (ФМ-13);
- 28-позиційного ФМ сигналу оптимальної структури з тривалістю 168 мкс (на рис. 1 не показаний);
- 42-позиційного ФМ сигналу оптимальної структури з тривалістю 252 мкс (ФМ-42).

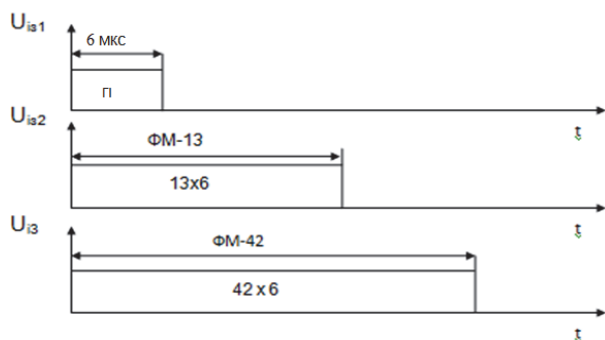


Рис. 1. Види зондувальних сигналів у РЛС П-18МА

Необхідність такої структури сигналу пояснюється наступним. При використанні ФМ сигналу значної тривалості виникає “мертва зона”, рівна тривалості сигналу. Наприклад, при використанні тільки сигналу ФМ-13 “Мертва зона” складала б близько 40–50 км, що неприйнятно. Тому для її перекриття використовуються сигнали меншої тривалості. Зондувальний імпульс ФМ-13 закриває зону, яка відповідає часу випромінювання ФМ-42, а гладкий імпульс перекриває зону формування ФМ-13.

Частота запуску може задаватися програмно в широких межах залежно від конкретного цільового призначення РЛС і необхідною у зв'язку з цим зони огляду по дальності.

Така побудова зондувального сигналу і можливість оперативного управління частотою і структурою сигналу від процесора дозволяють управляти зосередженням енергії в ближній, середній або дальній зоні, формуючи не всі чотири види сигналу по черзі, а тільки 1–3 -х видів.

Можливо також використання 169-позиційного фазоманіпульованого зондувального сигналу загальної тривалості 1014 мкс (на рис. 1 не показаний).

В РЛС П-18МУ формування сигналу відбувається за схожим принципом: використовується гладкий радіоімпульс, який у технічному опису названо амплітудномодульованим імпульсом (АМ) та ЛЧМ сигнал, структура сигналу наведено на рис. 2 [1].

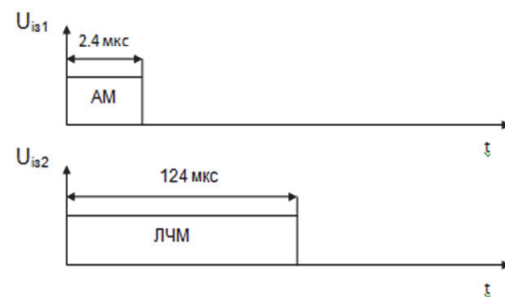


Рис. 2. Види зондувальних сигналів у РЛС П-18МУ, Малахит

З урахуванням часу, потрібного на обробку ЛЧМ сигналу, зона, що переглядається з використанням АМ, складає приблизно 20 км.

Зазначимо, що РЛС РТВ практично завжди ведуть розвідку повітряного противника у складній завадовій обстановці. Її складність обумовлена одночасним впливом пасивних завад на великих відстанях до 40–50 км [3–4] та інтенсивних активних (як навмисного, так і не навмисного характеру) імпульсних завад [6].

На рис. 3 наведено фото ІКО РЛС П-18 Малахит. Зона до 20 км переглядається простим радіоімпульсом, далі використовується ЛЧМ сигнал. Бачимо, що кількість імпульсних завад у зоні до 20 км значно більша.

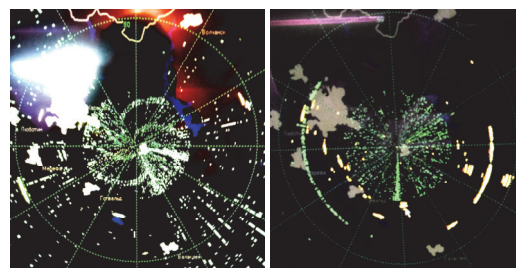


Рис. 3. Фото ІКО РЛС П-18 Малахит. Вплив імпульсних завад у ближній зоні. Масштаб 50 км

Досвід застосування підрозділів РТВ під час ООС (АТО) свідчить, що саме на такій дальності виявляються більша частка маловисотних повітряних об'єктів, зокрема безпілотні літальні апарати, тактика застосування яких передбачає використання висот до 100 метрів [7–9].

У розглянутих РЛС саме ця зона переглядається простим імпульсним сигналом.

Такий простий сигнал, на відміну від складно модульованих, потенційно забезпечує значно меншу завадозахищеність. В той же час відомі так звані багаточастотні сигнали, які мають ряд переваг [10–11].

Протягом розвитку РЛС РТВ застосовувалася велика кількість різних видів модуляції зондувальних імпульсів, у тому числі й багаточастотний зондуючий сигнал.

Багаточастотний імпульсний сигнал з розносом частот, що забезпечують незалежність флуктуацій луна-сигналів у суміжних частотних підканалах (РЛК 5Н87, 64Ж6, П-40). Сюди ж варто віднести РЛС із зондувальним сигналом типу “частотна сходинка” з більшим кроком зміни частоти (РЛС 19Ж6, 35Д6, 36Д6), а також РЛС із багаточастотним передавальним пристроєм (РЛС П-37) [12–13].

За рахунок великого розносу частот забезпечується незалежність флуктуацій окремих імпульсів і всієї пачки прийнятих коливань у частотних підканалах, як у випадку цілі, так і пасивної завади. Крім того, з великою ймовірністю можна вважати, що імпульсна завада у фіксуемий момент часу буде діяти тільки в одному із частотних підканалів.

Потенційно такий сигнал дозволяє здійснювати ефективну компенсацію комбінованих завад (пасивна та хаотична імпульсна), тому що є додаткові можливості по виявленню імпульсних завад на етапі когерентної компенсації пасивних завад.

Таким чином, існує потенційна можливість покращити завадозахист РЛС зі складеним зондуючим сигналом за рахунок використання багаточастотного сигналу для перегляду ближньої зони простого радіоімпульсу, який використовується зараз.

Метою статті є розробка пропозицій щодо застосування багаточастотного зондувального сигналу в модернізованих РЛС, які використовують складений зондуючий сигнал, для покращення їх завадозахищеності у зоні використання простого імпульсного сигналу.

Основна частина

Оцінимо досяжне розрізнення імпульсної завади й корисного багаточастотного сигналу на прикладі використання двухчастотного зондувального сигналу.

Будемо вважати когерентну обробку по компенсації пасивних завад кожному частотному підканалі виконаною, припустимо, що імпульсна завада

“вважає” поточний відлік U_1 вхідної вибірки тільки в одному (k -му) частотному підканалі, а корисний сигнал присутній у всіх частотних підканалах. Сигнал і завада гауссові, потужні імпульсні завади відселектовані на попередніх етапах обробки, інтенсивності імпульсних завад (σ_{i3}^2) і сигналу (σ_c^2) в k -му частотному підканалі однакові: $\sigma_{c,k}^2 = \sigma_{i3}^2$, інтенсивність сигналу у всіх частотних підканалах, також однакова: $\sigma_{c,k}^2 = \sigma_c^2$. Інтенсивність залишків пасивних завад і власних шумів у частотних підканалах вважаємо однаковою й рівною $\sigma_{u1}^2 = 1$.

Оптимальний пристрій розрізнення (селекції) корисного імпульсного сигналу та імпульсної завади, відповідно до загального правила, має формувати рішення на основі аналізу відношення правдоподібності або його монотонної функції. У загальному випадку може обчислюватися кілька відношень правдоподібності, що відповідають різним конкуруючим гіпотезам (для різних етапів аналізу). Будемо вважати, що процедура виявлення імпульсного впливу на тлі власних шумів і пасивних перешкод виконана раніше, і рішення про наявність в прийнятому коливанні імпульсного впливу в інших частотних підканалах також прийнято. Зауважимо, що такі рішення припускають селекцію імпульсних перешкод за рахунок відповідного вибору рівня порога в пороговому пристрої. Цей рівень повинен бути таким, щоб виключити спрацьовування пристрою по корисному сигналу.

У режимі багаточастотного зондування рівень порога можна знизити, тому що з'являються додаткові можливості по селекції імпульсної завади й корисного сигналу. Це й забезпечує кращу якість виділення імпульсної завади, а також “попереднього” виявлення факту дії корисного сигналу.

Таким чином, у багаточастотному режимі варто організувати додаткову обробку для прийняття наступного рішення: чи є (при зниженому порозі виявлення) виявлений відлік U_1 сумішшю пасивної завади, шуму, імпульсної завади, або тих же компонентів і корисного сигналу.

Сформулюємо наступні гіпотези:

H0: На виході всіх частотних підканалів спостерігається адитивна суміш залишків завад і корисного імпульсного сигналу.

H1: На виході всіх каналів спостерігаються та ж суміш завад, а в одному з них до них адитивно додається коливання імпульсної завади.

Запишемо спільну щільність розподілу коливань на виході амплітудних детекторів (щільність розподілу огибаючої) для випадку двох частотних підканалів.

Щільність, що відповідає гіпотезі H0, має вигляд:

$$W_{ш,с}(U1,U2) = \frac{U1}{\sigma_{ш}^2 + \sigma_c^2} \cdot \exp\left(-\frac{U1^2}{2 \cdot (\sigma_{ш}^2 + \sigma_c^2)}\right) \times \frac{U2}{\sigma_{ш}^2 + \sigma_c^2} \cdot \exp\left(-\frac{U2^2}{2 \cdot (\sigma_{ш}^2 + \sigma_c^2)}\right) \quad (1)$$

де $U1, U2$ – відліки огинаючої першого й другого підканалів відповідно.

Для гіпотези $H1$ одержимо:

$$W_{ш,із}(U1,U2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{U1}{\sigma_{ш}^2 + \sigma_{із}^2} \cdot \exp\left(-\frac{U1^2}{2 \cdot (\sigma_{ш}^2 + \sigma_{із}^2)}\right) \cdot \frac{U2}{\sigma_{ш}^2} \cdot \exp\left(-\frac{U2^2}{2 \cdot \sigma_{ш}^2}\right) + \frac{1}{2} \cdot \frac{U1}{\sigma_{ш}^2} \cdot \exp\left(-\frac{U1^2}{2 \cdot \sigma_{ш}^2}\right) \cdot \frac{U2}{\sigma_{ш}^2 + \sigma_{із}^2} \cdot \exp\left(-\frac{U2^2}{2 \cdot (\sigma_{ш}^2 + \sigma_{із}^2)}\right) \quad (2)$$

Перший доданок у наведеному вираженні відповідає випадку дії імпульсної завади в першому підканалі й відсутності в другому, другий – відсутності в першому й наявності в другому.

Логарифм відношення правдоподібності має вигляд:

$$\ln(l) = \ln\left(\frac{W_{ш,с}(U1,U2)}{W_{ш,із}(U1,U2)}\right) \quad (3)$$

На рис. 4, а представлена залежність логарифма відношення правдоподібності ($\ln(l)$) від амплітуди відліків у першому й другому підканалах при відношенні сигнал/шум $q_c^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_{ш}^2} = \frac{\sigma_{із}^2}{\sigma_{ш}^2} = 10$ дБ, ця ж залежність зображена на рис. 4, б у вигляді ліній рівного рівня.

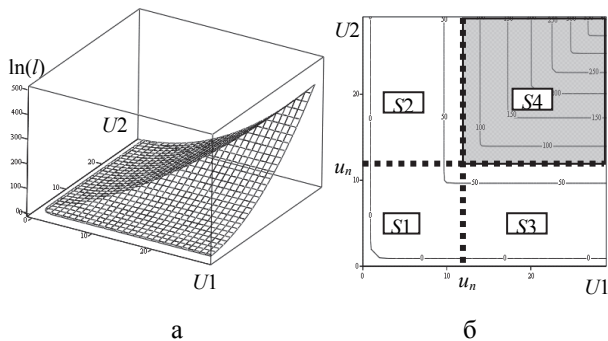


Рис. 4. Залежність логарифму відношення правдоподібності від рівня відліків для випадку двох частотних підканалів

З аналізу рис. 4 припустимо, що всю площину, обмежену лініями $U1=0, U2=0$, можна розбити на

чотири області прийняття рішень. Область $S1$ відповідає наявності в підканалах тільки коливань власних шумів; $S4$ – у прийнятій реалізації втримується корисний ехо-сигнал; $S2$ і $S3$ – наявність імпульсної завади в одному з підканалів (першому або другому відповідно) і тільки шумів в іншому.

Схема виділення імпульсних завад при багато-частотному сигналі може будуватись наступним чином. Відгуки $u_{\Sigma 1}$ пристроїв виявлення імпульсної завади у кожному частотному підканалі надходять на свої порогові пристрої ПП1 і ПП2 (рис. 5). Бінарні сигнали з виходів цих пристроїв надходять на загальний формувач бланка імпульсної завади, який формує імпульс бланка на основі спільного аналізу сигналів на виходах граничних пристроїв кожного з підканалів.

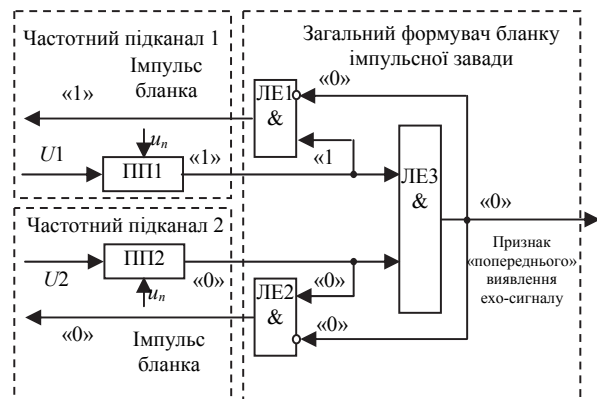


Рис. 5. Варіант пристрою формувача бланка імпульсної завади

При впливі власних шумів в обох частотних підканалах на прямі входи логічних елементів ЛЕ1, ЛЕ2, ЛЕ3 (двовходова схеми “Г”) надходить логічний нуль (“0”). Такий же рівень, сформований на виході ЛЕ3, надійде на вихід схеми формувача бланка імпульсної завади й на інверсні входи ЛЕ1 і ЛЕ2. Імпульс бланка не формується.

При наявності корисного ехо-сигналу в частотних підканалах на виходах ПП1 і ПП2 формується рівень логічної одиниці (“1”), що далі також надходить на прямі входи ЛЕ1, ЛЕ2, ЛЕ3. З виходу ЛЕ3 рівень “1” надходить на інверсні входи ЛЕ1, ЛЕ2, тому, як і в розглянутому вище випадку імпульс бланка сформований не буде. У той же час сформована логічна одиниці відповідає прийняттю гіпотези про наявність у прийнятій реалізації корисного ехо-сигналу. Ця важлива інформація (ознака “попереднього” виявлення ехо-сигналу) може використовуватись в наступних алгоритмах обробки.

Випадок наявності, наприклад, у першому частотному підканалі імпульсної завади, а в другому власних шумів проілюстрований станами логічних елементів на рис. 5: логічний елемент ЛЕ1 (прямий вхід – “1”, інверсний – “0”) сформує імпульс бланка,

що забезпечує заміщення відліку ураженого імпульсною завадою, екстрапольованим відліком у відповідному частотному підканалі.

Випадок спільної дії ехо-сигналу й імпульсної завади малоімовірний, але навіть у цьому випадку буде прийнято рішення про наявність корисного сигналу в прийнятому коливанні.

При більшому числі частотних підканалів при формуванні бланка можливе застосування більш "м'якої" логіки типу "k із n", що дозволяє виключити втрати корисного сигналу при його проваллі (внаслідок флуктуації) в одному з підканалів.

Для подальшого аналізу даних процесів при їх неповному апріорному описі зручно використовувати інформаційні критерії, зокрема, показник розрізненості [14–15].

В якості такого показника, що дозволяє набутти граничного значення вірогідності помилкових рішень (F , $1-D$) можна скористатися показником розрізненості s (відстанню Бхатгачарія), що розраховується на основі введеного коефіцієнта зв'язності (η):

$$s = -\ln(\eta), \quad (4)$$

де

$$\eta = \int_{-\infty}^{\infty} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} [W_{zc}(U) \cdot W_z(U)]^{1/2} dU; \quad (5)$$

$W_{zc}(U)$ – умовна багатовимірна щільність розподілу випадкових значень вхідної дії U за умови наявності у вхідному сигналі адитивної суміші завади і сигналу (шуму, завади і сигналу – ш, з, с);

$W_z(U)$ – умовна багатовимірна щільність розподілу випадкових значень вхідної дії U за умови наявності у вхідному сигналі тільки завади.

Повна вірогідність помилкових рішень $P_{ном} = 0.5 \cdot (F + (1-D))$ матиме (у разі рівноймовірної появи в просторовому елементі дозволу РЛС завади або суміші сигнал + завада) наступні межі, виражені через показник розрізненості s [14]:

$$0.25 \cdot \exp(-2 \cdot s) \leq P_{ном} \leq 0.5 \cdot \exp(-s). \quad (6)$$

Оцінимо ефективність селекції імпульсної завади при використанні багаточастотного сигналу. Як показник якості приймемо вірогідність правильного розрізнення гіпотез $P_{np} = 1 - P_{ном}$. У якості оцінки вірогідності помилкового рішення $P_{ном}$ будемо використовувати її верхню межу (6). Прийняті моделі вхідних впливів дозволяють скористатися формою запису (4), з урахуванням (1–2) для двох частотних підканалів отримаємо:

$$s(q_{c,2}) = \ln \left(\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \sqrt{W_{u,c}(U_1, U_2) \cdot W_{u,z}(U_1, U_2)} dU_1 dU_2 \right). \quad (7)$$

Для більшої кількості частотних підканалів необхідно записати щільності вірогідності, відповідні конкуруючим гіпотезам, при цьому кратність інтеграла у виразі (5) буде визначатися числом частотних підканалів. Записати (7) в замкнутій формі важко, проте результат можна отримати, скориставшись методами численного інтегрування.

На рис. 6 наведена залежність вірогідності правильного розрізнення гіпотез від числа частотних підканалів. Криві відповідають відношенню сигнал/шум = 5, 13, 20 дБ.

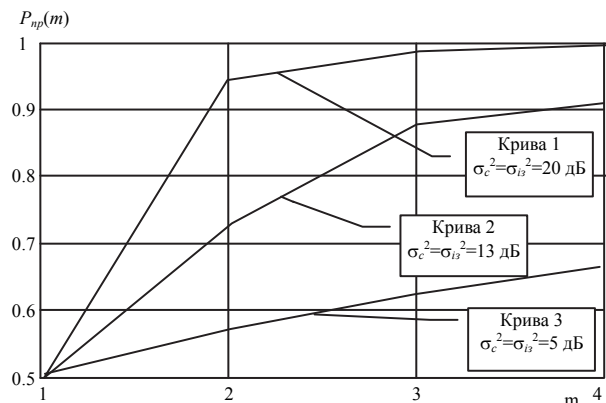


Рис. 6. Залежність вірогідності правильного розрізнення від числа частотних підканалів

З аналізу результатів можна сформулювати наступні висновки. Вірогідність правильного розрізнення збільшується з ростом числа частотних підканалів. При невисокій інтенсивності впливів (крива 3) якість розрізнення знижується, крива зміщується вниз. Це пояснюється ефектом маскування власними шумами. Зі збільшенням інтенсивності впливів крива зміщується нагору, якість розрізнення зростає, але не значно (крива 2). Це пояснюється зниженням впливу маскуючих шумів. Подальше зростання інтенсивності ($\sigma_c^2 = \sigma_z^2 > 20$ дБ) суттєвого впливу не робить, тому що вплив шумів дуже малий.

Достатньо якісна селекція ($P_{np} > 0.94 \dots 0.9$) забезпечується вже при числі частотних підканалів $m=2 \dots 3$ (криві 1, 2).

Висновки

1. Синтезовано варіант пристрою селекції імпульсних завад при використанні багаточастотного зондуючого сигналу який проводить селекцію на підставі додаткового частотного аналізу сигналів та завад, оцінена залежність потенційної якості селекції від кількості частотних підканалів.

2. Вірогідність правильного розрізнення збільшується з ростом числа частотних підканалів. Достатньо якісна селекція ($P_{np} > 0.94 \dots 0.9$) забезпечується вже при числі частотних підканалів $m=2 \dots 3$ (криві 1, 2).

3. Зазначимо, що отримані результати відповідно дають найгіршому випадку, коли інтенсивність імпульсної завади дорівнює інтенсивності сигналу, тобто амплітудні розбіжності вже ураховані під час проведення традиційних процедур захисту від імпульсних завад у кожному з частотних підканалів окремо.

Список літератури

1. Офіційний сайт UST.COM.UA. РЛС “МАЛАХИТ” Компанія АТ “ХК” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ust.com.ua/uk/item/rls-malaxit-2/>.
2. Офіційний сайт AEROTECHNICA.UA. Наземная подвижная радиолокационная станция П-18МА/П-180У. Научно-производственное предприятие “Аэротехника-МЛТ” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.aerotechnica.ua/index.php?id=products&prod=2&prodid=2>.
3. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2(27). – С. 19-25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>.
4. Кучеренко Ю.Ф. Деякі особливості сучасних локальних війн / Ю.Ф. Кучеренко, О.М. Гузько // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2008. – № 2(17). – С. 20-23.
5. Карлов А.Д. Можливості радіолокаційних станцій радіотехнічних військ з виявлення безпілотних літальних апаратів оперативного-тактичного рівня / А.Д. Карлов, Г.В. Худов // XIII наукова конференція курсантів та студентів ХНУПС ім. І.Кожедува, 24–25 травня 2017. – Харків: ХНУПС, 2017. – С. 94-95.
6. Дослідження умов електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів повітряної рухомої й радіолокаційної служб та засобів транкінгового зв'язку у смузі частот 136...174 МГц / С.А. Макаров, І.В. Московченко, В.О. Лебедєв, О.А. Павліченко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 4(29). – С. 48-53. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.29.06>.
7. Lavrov A. Russian UAVs in Syria [Електронний ресурс] / A. Lavrov // Moscow Defense Brief. – 2017. – № 2(58). – Режим доступу: <http://mdb.cast.ru/mdb/2-2017/item3/article4/>.
8. Яцук К.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в локальных конфликтах и войнах [Електронний ресурс] / К.В. Яцук, М.С. Стафеев, С.В. Казаринов // Молодой ученый. – 2016. – № 25. – С. 107-111. – Режим доступу: <https://moluch.ru/archive/129/35666/>.
9. Чекунов Е. Применение БЛА ВС США в военных конфликтах / Е. Чекунов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 7. – С. 41-50.
10. Математична модель спотворення сигналу в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням при впливі навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, М.В. Борознюк, І.Ю. Рубцов // Системи обробки інформації. – 2016. – № 3(140). – С. 181-186.
11. Гризо А.А. Потенциальные возможности обнаружения активных импульсных помех на фоне нестационарных по мощности пассивных помех / А.А. Гризо, С.В. Шаповалов // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный науч.-техн. сб. – Х.: ХГТУРЭ. – 2002. – № 129. – С. 84-89.
12. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов, Д.А. Гриб та ін.; за заг. ред. А.М. Алімпієва. – Х., 2015. – 732 с.
13. Аналіз тактико-технічних характеристик основних радіолокаційних станцій радіотехнічних військ збройних сил Російської Федерації / Г.В. Худов, Д.Г. Гордієнко, В.М. Ковбаса, М.А. Матвійчук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 3(20). – С. 92-95.
14. Коржик В.И. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений / В.И. Коржик, Л.М. Финк, К.Н. Щелкунов. – Москва: Радио и связь, 1981. – 356 с.
15. Зюкин В.Ф. Расчет информационного расстояния между моделями радиолокационных сигналов / В.Ф.Зюкин, А.А. Гризо // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – № 1(50). – С. 70-75.

References

1. The official site of UST.COM.UA (2019), “RLS “Malachite” of Kompaniya AT “HK” Ukrspetstehnika” [Radar “Malachite” Company AT “HK” Ukrspetstehnika], available at: www.ust.com.ua/uk/item/rls-malaxit-2/ (accessed 8 January 2019).
2. The official site of AEROTECHNICA.UA (2019), “Nazemnaya podvizhnaya radiolokatsionnaya stantsiya P-18MA/P-180U” [Surface movable of P-18MA/P-180U radars], available at: www.aerotechnica.ua/index.php?id=products&prod=2&prodid=2 (accessed 8 January 2019).
3. Alimpiyev, A.M. and Pievtsov, H.V. (2017), “Osoblyvosti hibrydnoi viiny RF proty Ukrainy. Dosvid, shcho otrymanyi Povitrianyu Sylamy Zbroinykh Syl Ukrainy” [The features of the hybrid war of the Russian Federation against Ukraine. Experience received by the Armed Forces of the Armed Forces of Ukraine], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(27), pp. 19-25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>.
4. Kucherenko, Yu.F. and Huzko, O.M. (2008), “Deiaki osoblyvosti suchasnykh lokalnykh viin” [Some features of modern local wars], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, № 2(17), pp. 20-23.
5. Karlov, A. and Khydov, G. (2017), “Mozhlyvosti radiolokatsiynih stantsiy radiotekhnichnih viysk z viyavlennya bezpilotnih litalnih aparativ operativno-taktichnogo rivnya” [Possibilities of the radiolocation stations of radiotechnical troops are

from the exposure of pilotless aircrafts of operatively-tactical level], *Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University XIII scientific conference of cadets and students*, pp. 94-95.

6. Makarov, S.A., Moskovchenko, I.V., Liebidiev, V.O. and Pavlichenko, O.A. (2017), "Doslidzhennia umov elektromahnitnoi sumisnosti radioelektronnykh zasobiv povitrianoi rukhomoi y radiolokatsiinoi sluzhb ta zasobiv trankinhovoho zvi-azku u smuzi chastot 136...174 MHz" [Investigation of the conditions of electromagnetic compatibility of radioelectronic means of air mobile and radar services and trunking communication facilities in the frequency band 136 ... 174 MHz], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 4(29), pp. 48-53. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.29.06>.

7. Lavrov, A. (2017), Russian UAVs in Syria, *Moscow Defense Brief*, No. 2(58), available at: www.mdb.cast.ru/mdb/2-2017/item3/article4/ (accessed 8 January 2019).

8. Jacuk, K.V., Stafeev, M.S. and Kazarinov, S.V. (2016), "Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v lokal'nykh konfliktakh i vojnah" [The use of unmanned aerial vehicles in local conflicts and wars], *Young Scientist*, No. 25, pp. 107-111, available at: www.moluch.ru/archive/129/35666/ (accessed 8 January 2019).

9. Chekunov, E. (2010), "Primenenie BLA VS SShA v voennykh konfliktakh" [Application of UAVs to US Armed Forces in Military Conflicts], *Foreign military review*, No. 7, pp. 41-50.

10. Shyshatskiy, A.V., Liutov, V.V., Borozniuk, M.V. and Rubtsov, I.Yu. (2016), "Matematychna model spotvorennia syhnalu v systemakh radiozviazku z ortogonalnym chastotnym mulypleksuvanniam pry vplyvi navmysnykh zavad" [Mathematical model of signal distortion in radio communication systems with orthogonal frequency multiplexing when exposed intentional interference], *Information Processing Systems*, No. 3(140), pp. 181-186.

11. Hrizo, A.A. and Shapovalov, S.V. (2002), "Potentsialnyie vozmozhnosti obnaruzheniya aktivnykh impulsnykh pomeh na fone nestatsionarnykh po moschnosti passivnykh pomeh" [Potential possibilities of finding out active impulsive hindrances on a background non-stationary on power passive hindrances], *Radio engineering*, No. 129, pp. 84-89.

12. Alimpiev, A.M. (2015), "Dovidnik uchasnika ATO: ozbroennya i viyskova tehnika zbroynih sil Rosiyskoyi Federatsiyi" [Reference book of participant ATO: armament and military technique of the Armed Forces of Russian Federation], 732 p.

13. Khudov, H.V., Hordiienko, D.H., Kovbasa, V.M. and Matviichuk, M.A. (2015), "Analiz taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk osnovnykh radiolokatsiinykh stantsii radiotekhnichnykh viisk zbroinykh syl Rosiiskoi Federatsii" [The analysis of tactical technical characteristics of the basic radar stations of radio engineering armies of armed forces of the Russian Federation], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 3(20), pp. 92-95.

14. Korzhik V.I., Fink L.M. and Schelkunov, K.N. (1981), "Raschet pomehoustoychivosti sistem peredachi diskretnykh soobscheniy" [Calculation of antijammingness of the systems of passing of discrete messages], *Radio and connection*, Moscow, 356 p.

15. Ziukin, V.F. and Gryzo, A.A. (2006), "Metod rascheta informatsionnogo rasstoianiia mezhdumodeliami radiolokatsionnykh signalov" [Calculation of information distance between models of radar signals], *Information Processing Systems*, No. 1(50), pp. 70-74.

Надійшла до редколегії 19.02.2019

Схвалена до друку 12.03.2019

Відомості про авторів:

Гризо Андрій Аркадійович

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2483-5953>

Альчаков Олег Олександрович

курсант Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1150-5939>

Лашкул Ігор Миколайович

курсант Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4905-9225>

Полтавець Володимир Анатолійович

курсант Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0829-5451>

Information about the authors:

Andrej Hryzo

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2483-5953>

Oleg Alchakov

Cadet of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1150-5939>

Igor Lashkul

Cadet of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4905-9225>

Volodimir Poltavec

Cadet of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0829-5451>

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МНОГОЧАСТОТНОГО ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОМЕХОЗАЩИТЫ
МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ РЛС П-18МА и П-18 МАЛАХИТ**

А.А. Грызо, О.А. Альчаков, И.Н. Лашкул, В.А. Полтавец

Статья посвящена проблеме защиты модернизированных РЛС типа П-18МА и П-18 Малахит от импульсных помех. Проведен анализ структуры зондирующих сигналов, показано, что для просмотра зоны обнаружения используется составной сигнал. Для просмотра дальних расстояний используется длительный во времени, сложный радиоимпульс с внутримпульсной модуляцией, который потенциально обеспечивает высокое качество селекции импульсных помех. Ближняя зона просматривается простым радиоимпульсом, который имеет намного худшие возможности относительно устранения действия импульсных помех. Для повышения качества помехозащиты в ближней зоне предложено использовать многочастотный зондирующий сигнал, предложен вариант устройства селекции импульсных помех, оценена его эффективность и определено оптимальное количество частотных подканалов. Для проведения расчетов использовались методы математической статистики, результаты расчетов оценивались методом сравнительного анализа. Получены зависимости вероятности селекции импульсных помех от количества частотных подканалов для разной интенсивности воздействий. Показано, что вероятность правильного различения растет с ростом числа частотных подканалов. При невысокой интенсивности воздействий качество различения снижается. Это объясняется эффектом маскировки собственными шумами. С ростом интенсивности воздействий, качество различения растет, но не настолько значительно. Это объясняется снижением влияния маскирующих шумов. Дальнейший рост интенсивности существенного влияния не делает, потому что влияние шумов очень мало. Достаточно качественная селекция импульсных помех обеспечивается уже при применении двух - трех частотных подканалов.

Ключевые слова: импульсная помеха, помехозащита, многочастотный сигнал.

**SUGGESTIONS ON THE USE OF MULTIFREQUENCY SIGNAL
FOR UPGRADING OF JAMMER PROTECTION MODERNIZED
P-18MA AND P-18 MALAKHIT RADAR**

A. Hryzo, O. Alchakov, I. Lashkul, V. Poltavec

The article is devoted to the problem protection of modernized radar type P-18MA and P-18 Malakhit from pulse noise. These radars have considerably better technical characteristics and demonstrated their effectiveness, first of all, with the detection of small-scale targets such as unmanned aerial vehicles and even individual rocket systems of rocket fire in certain areas of the trajectory, which causes their involvement to illuminate the airspace over the zone of air pollution. An analysis structure of probing signal was performed, indicating that the component is used to view the detection zone. To view long distances, a long time is used, a complex radio impulse with intra-pulse modulation that potentially provides high quality pulse noise selection. The near zone is viewed by a simple radio pulse which has much worse potential for eliminating impulse noise. The experience use of radiotechnics units during the ATOs indicates that it is in this zone a large proportion of low-volume airspace are found, in particular, unmanned aerial vehicles, the tactics of which involve the use of heights of up to 100 meters. To improve the quality of noise protection in the near zone, it is suggested to use a multi-frequency probing signal, a variant of the pulse noise selection device is proposed, its efficiency is estimated and the optimal number of frequency subchannels is determined. Methods of mathematical statistics were used to make calculations, the results of calculations were estimated using the method of comparative analysis. The dependence of the probability of pulse noise selection on the number of frequency subchannels for different intensity of influences is obtained. It is shown that the probability of correct separation grows with the growth of the number frequency subchannels. In the low intensity effects of the quality distinction is reduced. This is due to the effect of masking their own noises. With increasing intensity of influence, the quality of differentiation increases, but not so much. This is due to a decrease in the effect of masking noise. Further increase in the intensity of significant influence does not, because the effect of noise is very small. Sufficiently qualitative selection of impulse interferences is provided already at application of two - three frequency subchannels.

Keywords: impulse noise, noise protection, multi-frequency signal.