

О. Л. Кузнєцов¹, А. М. Артеменко², В. М. Петрушенко³, А. Д. Карлов¹

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

² Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ, Україна

³ В/ч А2183, Первомайськ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОЇ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ЦІЛІ КОГЕРЕНТНО- ІМПУЛЬСНИМИ РЛС ЗА МЕЖАМИ ДАЛЬНОСТІ ПРЯМОЇ ВИДИМОСТІ

Анотація. У статті оцінюються можливі значення складових середньоквадратичної помилки вимірювання радіальної швидкості цілі, які виникають внаслідок флуктуацій фази радіосигналу за межами дальності прямої видимості РЛС. Обґрунтована доцільність використання когерентної пачки радіоімпульсів для забезпечення необхідної дальності виявлення із заданими показниками якості. Розгляд проводиться для моделі сигналу з випадковою амплітудою та початковою фазою. Вважається, що фазові флуктуації розподілені за нормальним законом з нульовим середнім, а їхня кореляція убуває зі збільшенням інтервалу між радіоімпульсами пачки за знакозмінним законом. Результати вказують на те, що внаслідок фазових флуктуацій радіоімпульсів прийнятої пачки, середньоквадратична помилка вимірювання радіальної швидкості цілі здатна перевершувати значення, які визначаються тактичними вимогами до когерентно-імпульсних РЛС. Проведений чисельний аналіз дозволяє визначати ступінь погіршення якості часо-частотної обробки пачки радіоімпульсів в когерентно-імпульсних РЛС та оцінювати ступінь зниження ефективності подальшої вторинної обробки радіолокаційної інформації.

Ключові слова: дальність прямої видимості, радіолокаційне спостереження, радіальна швидкість, когерентно-імпульсна РЛС, пачка радіоімпульсів, фазові флуктуації.

Вступ

Постановка проблеми. Забезпечення необхідної дальності радіолокаційного спостереження малопомітних, малорозмірних та маневруючих цілей пов'язано з отриманням якомога більшого відношення сигнал-шум на виході пристрою узгодженої обробки прийнятого сигналу.

При радіолокаційному спостереженні таких цілей, використання особливостей поширення радіохвиль у тропосферному радіохвильоводі дозволяє суттєво збільшити дальність дії РЛС.

Здатність сучасних аеродинамічних цілей в ході виконання завдань за призначенням до здійснення раптових маневрів обумовлює необхідність оцінювання їх радіальної швидкості з максимально високою точністю. Для рішення цієї задачі в когерентно-імпульсних РЛС в якості зондувального сигналу використовується когерентна пачка радіоімпульсів.

Реальні умови поширення та відбиття даного радіолокаційного сигналу за межами дальності прямої видимості суттєво обмежують його часову когерентність та якість часо-частотної обробки.

Такими умовами можна вважати: вплив атмосферних неоднорідностей, доплерівський шум цілі та відбиття радіохвиль від земної поверхні зі складним рельєфом місцевості або схвильованої поверхні моря. Данні умови призводять до виникнення флуктуацій фаз радіоімпульсів прийнятої пачки, які знижують точність вимірювання її частоти і як слід радіальної швидкості цілі.

Вказане свідчить про необхідність оцінювання впливу даних факторів на якість вимірювання коор-

динат та параметрів руху цілей, здатних до раптового маневру за радіальною швидкістю, зокрема бойових вертольотів.

Організація противертольотної боротьби найбільш ефективна у разі знищення вертольотів на якомога більших дальностях до об'єктів. При цьому найбільш ефективними засобами знищення вертольотів є винищувальна авіація, застосування якої вимагає певного часу її наведення. Для ефективного рішення цієї задачі необхідно мати інформацію про швидкість польоту цілі. Враховуючи, що для сучасних вертольотів швидкість польоту складає 240...320 км/год, дальність їх виявлення повинна перевершувати 100 км.

До сучасних когерентно-імпульсних РЛС висуваються достатньо суворі вимоги щодо забезпечення заданих точнісних характеристик. Так, в РЛС, які здійснюють траєкторну обробку радіолокаційної інформації, помилка вимірювання радіальної швидкості цілі не повинна перевершувати 1 м/с.

Таким чином, необхідно проаналізувати значення складових помилки вимірювання радіальної швидкості цілі та оцінити ступінь внеску окремих факторів у зниження якості часо-частотної обробки пачки радіоімпульсів у когерентно-імпульсних РЛС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вдосконалення та розвиток сучасних аеродинамічних об'єктів радіолокаційного спостереження обумовлюють підвищення вимог до засобів їх виявлення та супроводження.

В сучасних когерентно-імпульсних РЛС реалізовані алгоритми цифрового когерентного накопичення прийнятого пачкового радіосигналу. Тому,

має практичну користь оцінювання можливих помилок вимірювання радіальної швидкості цілі в залежності від статистичних характеристик фазових флукуцій радіоімпульсів прийнятої пачки.

Радіолокаційному спостереженню цілей та вимірюванню їх координат й параметрів руху в складних умовах присвячена значна кількість робіт.

Флукуції фази, що виникають внаслідок впливу атмосферних неоднорідностей та особливості застосування радіотехнічних систем в цих умовах описані в роботах [1-5]. Окрім цього, фазові викривлення прийнятого сигналу, які обумовлені складною формою цілі та її здатністю до виконання раптового маневру, викликають блукання її радіолокаційного центру та, як слід, появу швидкісних шумів цілі [1, 6, 7, 8]. У випадку багатотрасового поширення радіолокаційного сигналу при радіолокаційному спостереженні цілей, що рухаються під малими кутами місця, також з'являються його додаткові фазові викривлення, що розглядаються у роботах [4, 6, 7, 9, 10].

Аналіз особливостей локації вертольотів на малих і гранично малих висотах показав, що використання радіолокаційних станцій розвідки в умовах пересіченої місцевості є малоефективним. Разом з цим у радіолокаційній практиці за рахунок тропосферного радіохвильоводу спостерігалось явище розповсюдження радіохвиль над морською поверхнею на дальності, яка перевищує дальність прямої видимості (ПВ).

З урахуванням методики, викладеної у [11], результати, які наведені в роботі [12, 13], вказують на те, що дальність виявлення вертольоту за межами дальності прямої видимості в умовах його локації над морем може бути збільшена в 7...10 разів. Однак, при цьому суттєвий вплив здійснюють флукуції фази прийнятого радіосигналу.

Проблеми вимірювання дальності та радіальної швидкості цілей в даних умовах розглядалися в роботах [14, 15]. Однак наведені результати були отримані для випадку використання в РЛС поодинокого радіосигналу. Забезпечення необхідної дальності виявлення та точності вимірювання радіальної швидкості цілі пов'язано з використанням в якості зондувального сигналу РЛС когерентної пачки радіоімпульсів.

У [16-22] наведена методика розрахунку помилки вимірювання частоти пачки, що виникає внаслідок впливу фазових флукуцій її радіоімпульсів.

Припущення щодо статистичних характеристик відбитих сигналів підтверджені результатами експериментального дослідження, які висвітлені в [23].

Тому, актуальною задачею є пошук шляхів оцінювання ступеня погіршення точності вимірювання радіальної швидкості складних маневруючих цілей за межами прямої видимості РЛС та аналіз впливу цього погіршення на їхню подальшу трасову обробку.

Метою статті є розрахунок складових помилок вимірювання радіальної швидкості цілі та аналіз їхнього внеску в результуючу помилку для типових параметрів когерентно-імпульсних РЛС.

Основний матеріал

Забезпечення стійкості радіолокаційного спостереження складних маневруючих цілей безпосередньо пов'язане з максимізацією відношення сигнал-шум, яке визначає необхідну дальності дії РЛС, якість радіолокаційного виявлення та точність вимірювання їхніх координат. Це досягається когерентним накопиченням пачки прийнятих радіоімпульсів.

Для моделі сигналу з випадковими амплітудою і початковою фазою умовна ймовірність правильного виявлення описується виразом [24]

$$D = F^{-\left(1+q^2/2\right)} \quad (1)$$

і залежить тільки умовної ймовірності хибної тривоги F та від відношення сигнал-шум за потужністю q^2 (параметра виявлення).

Таким чином, для підвищення умовної ймовірності правильного виявлення необхідно збільшувати відношення сигнал-шум, що може бути забезпечено використанням когерентної пачки з якомога більшою кількістю радіоімпульсів.

Вважається, що прийнята реалізація є сумою відбитого від цілі корисного радіосигналу та внутрішнього шуму приймального пристрою

$$y(t, \Omega) = x(t, \Omega) + n(t), \quad (2)$$

де $y(t, \Omega)$ - реалізація прийнятого коливання; $x(t, \Omega)$ - реалізація корисного сигналу; $n(t)$ - реалізація внутрішнього гаусівського шуму; Ω - циклічна частота Доплера прийнятого радіосигналу.

Як корисний сигнал розглядається пачка, яка має n радіоімпульсів з випадковою амплітудою та початковою фазою. До фаз радіоімпульсів пачки додаються флукуційні складові φ_i ($i = 1, 2, \dots, n$), які обумовлені наведеними вище умовами його поширення та відбиття

$$\dot{X}(t, \Omega) = b \sum_{i=1}^n \dot{X}_i(t, \Omega) \exp[j(\beta + \varphi_i)], \quad (3)$$

де $\dot{X}_i(t, \Omega)$ - комплексна амплітуда i -го радіоімпульсу; b - випадкова амплітуда радіосигналу, яка розподілена за законом Релея; β - випадкова початкова фаза радіосигналу, яка розподілена за рівномірним законом; φ_i - флукуційна складова початкової фази i -го радіоімпульсу; i - номер радіоімпульсу, який відлічується від початку пачки; n - число радіоімпульсів в пачці.

На рис. 1 надані графіки залежності умовної ймовірності правильного виявлення (1) від кількості радіоімпульсів, що накопичуються когерентно, в процесі обробки прийнятого сигналу.

Результати отримані при $q^2 = 100$ для випадків: $F = 10^{-4}$ (крива 1), $F = 10^{-6}$ (крива 2), $F = 10^{-8}$ (крива 3), $F = 10^{-10}$ (крива 4).

Дані значення характеризують якість радіолокаційного виявлення РЛС різного призначення, як оглядових РЛС, так й РЛС супроводження.

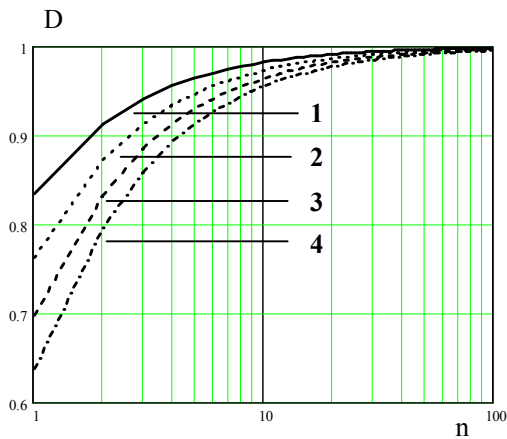


Рис. 1. Залежність умовної ймовірності правильного виявлення від кількості радіоімпульсів

Отримані залежності свідчать про те, що когерентне накопичення радіоімпульсів прийнятої пачки здатне значно підвищити якість радіолокаційного виявлення. При цьому, найбільший ефект спостерігається при переході від обробки одного радіоімпульсу до когерентної обробки 10 радіоімпульсів. Підвищення умовної ймовірності правильного виявлення D в залежності від умовної ймовірності хибної тривоги $F = 10^{-4} \dots 10^{-10}$ складає 15...30 відсотків. Перехід від когерентного накопичення 10 радіоімпульсів до когерентного накопичення 100 радіоімпульсів викликає збільшення D лише на 1,6...4 відсотка.

Вказане свідчить про те, що при рішенні задачі якісного радіолокаційного спостереження необхідно забезпечити синфазне складання 10..30 прийнятих радіоімпульсів.

Внаслідок наявності ефекту тропосферного радіохвилеводу можливо виявлення цілей на дальностях, які значно перевищують дальність ПВ. Це підтверджуються результатами експерименту, наведеними у [12]. При його проведенні, у якості радіолокаційного вимірювача було використано розташовану на узбережжі Азовського моря когерентно-імпульсну РЛС 35Д6Д.

Дальність ПВ об'єктів $D_{пв}$, яка вимірюється у кілометрах, визначається як:

$$D_{пв} = \sqrt{2a_e} (\sqrt{h_{РЛС}} + \sqrt{h_A}), \quad (4)$$

де $a_e = \frac{a_3}{1 + a_3 g_N \cdot 10^{-6}}$ - еквівалентний радіус Землі/

З аналізу рівняння (4) випливає, що єдиною неконтрольованою змінною є вертикальний градієнт індексу заломлення повітря g_N . В даному випадку значення g_N склало -0,19 Н од./м, що майже у п'ять разів відрізняється від нормального значення

Однак, на дальності більш ніж дальність ПВ було зареєстровано факт зростання помилок виміру координат повітряних цілей за рахунок впливу корельованих флуктуацій фази радіолокаційного сигналу.

Відповідно до результатів експерименту, в умовах аномальної рефракції при поширенні елект-

ромагнітних хвиль над морем амплітуда та початкова фаза радіолокаційних сигналів розподілені за нормальним законом. При цьому, нормована кореляційна функція фази відбитого сигналу має осцилюючий характер.

Для пачки радіоімпульсів з прямокутною обвідною та парною кількістю радіоімпульсів, дисперсія помилки вимірювання параметра Ω за наявності лише внутрішніх шумів приймального пристрою оцінюється згідно виразу [16]

$$\frac{1}{\sigma_{\Omega_{ш}}^2} = \frac{q^2(4m^2 - 1)}{12} T^2 \quad (5)$$

та має вид

$$\sigma_{\Omega_{ш}}^2 = \frac{12}{q^2(4m^2 - 1)T^2}, \quad (6)$$

де T - період слідування радіоімпульсів пачки; m - число пар радіоімпульсів, симетричних відносно центру пачки.

Наявність флуктуацій фази радіосигналу викликає розширення піка тіла невизначеності за часочастотними параметрами та його відхилення від центру, що призводить до погіршення точності вимірювання радіальної швидкості цілі.

Якщо, фазові флуктуації радіоімпульсів прийнятої пачки описуються осцилюючою кореляційною функцією, то дисперсія помилки вимірювання параметра Ω за наявності лише фазових флуктуацій оцінюється згідно виразу, отриманого в роботі [16]

$$\sigma_{\Omega_{фл}}^2 = \frac{18\sigma_{\phi}^2}{m^2(4m^2 - 1)^2 T^2} \times \left[\sum_{j=1}^m (2j-1)^2 (1 - \exp(-\frac{T}{\tau}(2j-1)) \cos((2j-1)\gamma T)) + 2 \times \sum_{l=1}^{m-j} \exp(-\frac{T}{\tau}l) \sum_{j=1}^{m-1} (2j-1)(2j+2l-1) \times (\cos(j\gamma T) - \exp(-\frac{T}{\tau}(2j-1)) \cos((2j+l-1)\gamma T)) \right], \quad (7)$$

де σ_{ϕ}^2 - дисперсія фазових флуктуацій; τ - інтервал кореляції фазових флуктуацій; γ - частота осциляцій коефіцієнта кореляції фази.

Відповідні складові середньоквадратичної помилки (СКП) вимірювання радіальної швидкості цілі можуть бути розраховані згідно виразів:

$$\sigma_{v_{ш}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sigma_{\Omega_{ш}}, \quad (8)$$

$$\sigma_{v_{фл}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sigma_{\Omega_{фл}}, \quad (9)$$

де λ - довжина хвилі РЛС.

Для когерентно-імпульсних РЛС керування повітряним рухом та Повітряних Сил оглядового типу сантиметрового діапазону довжин хвиль частота

повторення радіоімпульсів пачки може знаходитись в діапазоні 680...1700 Гц.

Принципова відмінність РЛС супроводження полягає у тому, що цей клас РЛС призначається для наведення засобів ураження (ракет) на ціль. Особливістю РЛС супроводження є наявність систем автосупроводження, зокрема за дальністю та радіальною швидкістю [25].

Має практичну користь отримати можливі значення складових СКП вимірювання радіальної швидкості цілі при відношенні сигнал-шум за потужністю $q^2 = 1000$, для випадків когерентного накопичення короткої $n = 8$, середньої $n = 16$ та тривалої $n = 32$ пачок радіоімпульсів для РЛС даних типів.

За допомогою виразів (6) та (8) можна розрахувати складову СКП вимірювання радіальної швидкості цілі, обумовлену внутрішніми шумами приймального пристрою $\sigma_{\text{вш}}$ для пачок з $n = 8, 16$ та 32 .

Для випадку поширення радіохвиль у випадково-неоднорідному середовищі, в роботі [1, 2] надані величини дисперсії фазових флуктуацій радіосигналу σ_{ϕ}^2 , який пройшов крізь обурену тропосферу Землі. Інтервал кореляції фазових флуктуацій може складати $\tau = 0,1 \dots 1$ с.

В РЛС оглядового типу на дальностях виявлення цілей понад 200 км, неоднорідності тропосфери розміром 100 м здатні викликати флуктуації фази з дисперсією $\sigma_{\phi}^2 = 1,74 \text{ рад}^2$ при $\lambda = 0,1$ м.

Для РЛС супроводження на дальностях виявлення цілей 50...150 км, неоднорідності тропосфери розміром 100 м здатні викликати флуктуації фази з дисперсією $\sigma_{\phi}^2 = 4,8 \dots 9,7 \text{ рад}^2$ при $\lambda = 3 \dots 5$ см.

Для наведених даних, за допомогою виразів (7) та (9) можна розрахувати складову СКП вимірювання радіальної швидкості цілі, обумовлену фазовими флуктуаціями радіоімпульсів прийнятої пачки $\sigma_{\text{вфл}}$ для $n = 8, 16$ та 32 .

Результати розрахунків складових СКП вимірювання радіальної швидкості цілі для РЛС оглядового типу наведені в табл. 1.

Результати розрахунків складових СКП вимірювання радіальної швидкості цілі для РЛС супро-

водження наведені в табл. 2. Отримані результати свідчать про те, що значення складових СКП вимірювання радіальної швидкості цілі, обумовлені фазовими флуктуаціями радіоімпульсів прийнятої пачки здатні в декілька разів перевершувати складові, обумовлені впливом внутрішніх шумів приймального пристрою РЛС.

Таблиця 1 – Складові СКП вимірювання радіальної швидкості цілі для РЛС оглядового типу, м/с

n	$\sigma_{\text{вш}}$	$\sigma_{\text{вфл}}$
8	0,08...0,18	0,5...0,76
16	0,04...0,09	0,36...0,54
32	0,02...0,05	0,26...0,38

Таблиця 2 – Складові СКП вимірювання радіальної швидкості цілі для РЛС супроводження, м/с

n	$\sigma_{\text{вш}}$	$\sigma_{\text{вфл}}$
8	0,66	1,85...6,9
16	0,33	1,3...4,82
32	0,16	0,91...3,4

Окрім впливу неоднорідностей тропосфери, вплив доплеровського шуму цілі та багатотрасовості поширення радіосигналу обумовлює додаткове збільшення флуктуаційної складової СКП вимірювання радіальної швидкості цілі до декілька одиниць м/с і більше. Причому, в значно більшому ступені фазові викривлення радіолокаційного сигналу здійснюють вплив на роботу РЛС супроводження, викликаючи небезпеку зриву цілі з авто супроводження за дальністю та радіальною швидкістю.

Висновки

Проведене оцінювання свідчить про необхідність використання спеціальних методів зниження впливу вказаних факторів при радіолокаційному вимірюванні радіальної швидкості цілі як в межах дальності прямої видимості РЛС, так й поза цими межами.

Отримані результати дозволяють визначати ступінь погіршення якості часо-частотної обробки пачки радіоімпульсів в когерентно-імпульсних РЛС та оцінювати ступінь зниження ефективності подальшої вторинної обробки радіолокаційної інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория / под. ред. Я.Д. Ширмана. – М: З.А.О. «МАКВИС», 1998. – 828 с.
2. Вопросы статистической теории антенн / Я.С. Шифрин – М: Сов. радио, 1970. – 383 с.
3. Карлов В.Д. Влияние среды распространения радиоволн на приморском направлении при измерении угловых координат радиолокационных целей / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, В.В. Челпанов, К.П. Квиткин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – № 3 (25). – С. 51-53.
4. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н.П. Красюк – М: Радио и связь, 1988. – 223 с.
5. Петрушенко М.М. Особливості застосування радіотехнічних систем Повітряних Сил в нестабільних гідрометеорологічних умовах та стихійних метеорологічних явищах / М.М. Петрушенко // Системи управління навігації та зв'язку. – 2009. – № 2 (10). – С. 54-57.
6. Карлов В.Д. Обнаружение аэродинамических целей в условиях шумовых и пассивных помех с широким доплеровским спектром / В.Д. Карлов, И.Г. Леонов, А.Е. Присяжный, О.Я. Луковский // Системи обробки інформації. – 2006. – № 9(58). – С. 34-36.
7. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника / Пер. с англ. под общ. ред. К.Н. Трофимова. – М: Сов. радио, 1976, Т 1. – 456с.

8. Островитянов Р.В. Статистическая теория радиолокации протяженных целей/ – М: Радио и связь, 1982. – 232 с.
9. Котов А.Ф. Влияние отражений от подстилающей поверхности на процесс локации объектов // Теория и практика систем синхронизации / Московский институт радиотехники электроники и автоматики. – 1992. – С.4-8.
10. Карлов В.Д. Влияние неоднородностей рельефа позиции радиолокационной станции на эффективность подавления внешней помехи при локации надводных целей / В.Д. Карлов, Н.Н. Минервин, Н.Н. Петрушенко, Е.В. Лукашук // Системи управління навігації та зв'язку. – 2008. – № 4 (8). – С. 34-36.
11. Белевщук Я.О. Розробка методики оцінки радіолокаційних характеристик вертолітної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України / Я.О. Белевщук, М.М. Бречка, В.О. Василець, О.І. Сухаревський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – № 1 (5) – С. 83-88.
12. Карлов В.Д. Особливості локації вертольотів в умовах поширення радіохвиль над морем / В.Д. Карлов, А.М. Артеменко, О.В. Струцінський, І.М. Пічугін // Збірник наукових праць ХУПС. – 2017. – № 4 (53). – С. 93-96.
13. Карлов В.Д. Особливості локації вертольотів здійснюючих політ над морем на малих висотах / В.Д. Карлов, О.М. Бесова, І.М. Пічугін, О.В. Струцінський // Новітні технології-для захисту повітряного простору : зб. тез доповідей Чотирнадцятої наукової конференції ХНУПС. 11 – 12 квітня 2018 р. – Харків, 2018. – С. 444.
14. Карлов В.Д. До питання про вимірювання дальності маловисотної цілі при її радіолокації в межах тропосферного хвилеводу над морем / В.Д. Карлов, Д.Б. Кучер, О.В. Струцінський, О.В. Лукашук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 3 (24). – С. 98-101.
15. Карлов В.Д. К вопросу о измерении доплеровской частоты сигнала отраженного от цели лоцируемой за пределами радиогоризонта над морем / В.Д. Карлов, А.П. Кондратенко, А.К. Шейгас, Ю.Б. Ситник // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 1 (14). – С. 115-117.
16. Минервин Н.Н. Ошибки измерения радиальной скорости и радиального ускорения цели, обусловленные неучетом флюктуаций фаз импульсов пачки / Н.Н. Минервин, А.Л. Кузнецов // АКТТ. – 2001. – № 22. – С. 288-294.
17. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
18. Карлов В.Д. Помилка вимірювання радіальної швидкості цілі внаслідок впливу флюктуацій початкових фаз радіоімпульсів пачки / В.Д. Карлов, О.Л. Кузнецов, А.М. Артеменко, А.Д. Карлов // Системи управління навігації та зв'язку – 2019. – № 1 (53) – С. 61-65.
19. Кучук Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 3. – С. 154-158.
20. V. Karlov Evaluation of the accuracy of measuring the radial velocity of a target with an exponential and alternating decrease in phase correlation of the burst radio signal / V. Karlov, O. Kuznietsov, A. Artemenko, A. Karlov // Сучасні інформаційні системи – 2019. – Том 3 № 1 – С. 71-75.
21. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
22. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г. А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – № 2(35). – С. 97-102.
23. Карлов В.Д. Статистичні характеристики радіолокаційних сигналів відбитих від місцевих предметів в умовах аномальної рефракції. / В.Д. Карлов, А.О. Родюков, І.М. Пічугін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – Вип. 4 (21). – С. 71-74.
24. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос – М: Радио и связь, 1981. – 416 с.
25. Радиоэлектронные системы / Ю.М. Седишев, В.І. Карпенко, Д.В. Атаманський та ін. – Х: ХУПС, 2010. – 418 с.

Received (Надійшла) 20.10.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.12.2019

Evaluation of the possibilities of providing the necessary accuracy of the radial velocity measuring of a target by coherent-pulse radars outside the line of sight

O. Kuznietsov, A.. Artemenko, V. Petrusenko, A.. Karlov

Abstract. The urgent task is to find ways to evaluate the degree of deterioration in the accuracy of radial velocity measurement of complex maneuvering targets beyond the radar's line of sight and to analyze the impact of this deterioration on their subsequent track processing. The purpose of the article is to calculate the components of the error measurement of the radial velocity of the target and to analyze their contribution to the resulting error for typical parameters of coherent pulse radar. The article estimates the possible values of the components of the mean-square error of measuring the radial velocity of the target which appear as a result of fluctuations of the phase of the radio signal outside the radar line of sight. The expediency of using a coherent burst of radio pulses to provide the necessary detection range with specified quality indicators is substantiated. Consideration is carried out for a model of a signal with a random amplitude and an initial phase. It is assumed that phase fluctuations are distributed according to the normal law with zero mean, and their correlation decreases with an increase in the interval between the radio bursts of the packet alternating. The results show that due to the phase fluctuations of the radio pulses of the received pack, the mean-square measuring error of the target radial velocity can exceed the values determined by the tactical requirements for coherent-pulse radars. The performed numerical analysis allows to determine the degree of reduction of the quality of the radio pulses burst time-frequency processing in coherent-pulse radars and evaluates the degree of reduction of the effectiveness of the further secondary processing of the radar information.

Keywords: radar line of sight, radar surveillance, radial velocity, coherent-pulse radar, burst of radio pulses, phase fluctuations.