

РОЗНЕСЕНА ДВОХПОЗИЦІЙНА РАДІОМЕТРИЧНА СИСТЕМА КАРТОГРАФУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Постановка проблеми

Рознесена радіометрична система (РМС) [6, 7, 9, 13] дозволяє вимірювати кутові координати, різницю ходу та швидкість об'єктів. Картографування земних та космічних об'єктів потребує визначення дальності дії РМС [1 – 4, 11, 12]. У теперішній час відсутній вираз для розрахунку вказаної дальності дії при картографуванні. Задача обґрунтування варіантів рівнянь дальності картографування рознесеної двохпозиційною РМС є важливою та актуальною. При цьому треба врахувати і заважаючі сигнали, які є на розкриві антен кореляційного радіометра, а також розширення смуг пропускання РМС для підвищення енергетичних характеристик та розрізнявальної здатності за різницею ходу.

Аналіз публікацій, які представлені у [1 – 5, 7 – 12, 22], не дає можливості визначити дальність дії рознесеної двохпозиційної РМС при картографуванні земних та космічних об'єктів. Лише у публікаціях [6, 12] розглядається виявлення повітряних та наземних цілей без врахування коливань, що заважають, які знаходяться на розкриві антен рознесеної РМС. В статтях [4, 5, 7 – 12] є структурні схеми РМС, результати їх експериментальних досліджень та обробки радіометричних зображень.

Мета статті – обґрунтування варіантів рівнянь дальності дії радіотеплолокаційного спостереження рознесеної двохпозиційною РМС картографування земних та космічних об'єктів, варіантів підвищення розрізнявальних здатностей за різницею ходу та відносною швидкістю об'єктів.

Виклад основного матеріалу

Загальна схема побудови бортової РМС наведена на рис. 1. Літак рухається над поверхнею з швидкістю \vec{V} , на ньому знаходяться два просторово рознесені пункти прийому П1, П2 кореляційного радіометра. Відстань між П1, П2 є базою рознесеної системи і позначена на рис. 1 через Б. За час зйомки одної строки поверхні літак її пролітає. Таким чином будується радіометричне зображення. Збільшення вхідної смуги пропускання системи та (або) величини Б збільшує розрізнявальну здатність (РЗ) за різницею ходу у кожному положенні антен, тобто зменшує розмір пікселя зображення.

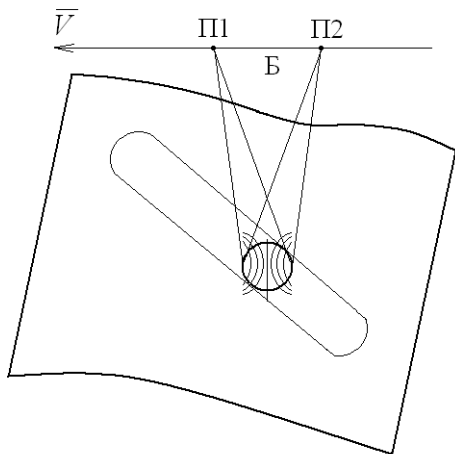


Рис. 1. Загальна схема побудови бортової РМС картографування земної поверхні

Основним елементом рознесеної двохпозиційної РМС [1 – 3, 10, 16, 22] є кореляційний радіометр. Чутливість кореляційного радіометра [16]:

$$\Delta T_{\min} = \frac{\alpha (T_{\text{пр}} + T_a)}{\sqrt{P_{\text{вх}} / P_{\text{вих}}}}, \quad (1)$$

де α – const кореляційного радіометра ($\sqrt{2}$); $T_{\text{пр}}$, T_a – відповідно температури радіоприймача та антени радіометра; $P_{\text{вх}}$, $P_{\text{вих}}$ – вхідна та вихідна смуги пропускання радіометра.

Широкопосмуговий кореляційний радіометр. На основі створених приладів [15] можливо збільшення $P_{\text{вх}}$, наприклад у шість разів, при переході з 8 до 3 мм діапазону довжин хвиль [19]. Вказане надає зниження ΔT_{\min} , що важливо при картографуванні малорозмірних

об'єктів (МО). Розширення $\Pi_{\text{вх}}$ узгоджується з регламентом радіозв'язку [19]. Так, при переході з 8 до 3 мм діапазону РЗ за різницею хода по лінії бази підвищується з 0,3 до 0,05 м. Освоєння промисловістю елементної бази більше 275 ГГц дозволить застосовувати $\Pi_{\text{вх}} > 40$ ГГц, що відповідає РЗ за різницею хода по лінії бази $< 10^{-2}$ м.

Даний підхід може розглядатися і для інфрачервоного діапазону (ІЧ) довжин хвиль. Так, у вікні прозорості атмосфери 3,3 – 4,2 мкм реалізується РЗ за різницею хода по лінії бази 15,4 мкм, що суттєво підвищить якість зображень. Хоча при цьому постає складна науково-технічна задача створення лінії затримки з багатьма відводами та вибір детекторів.

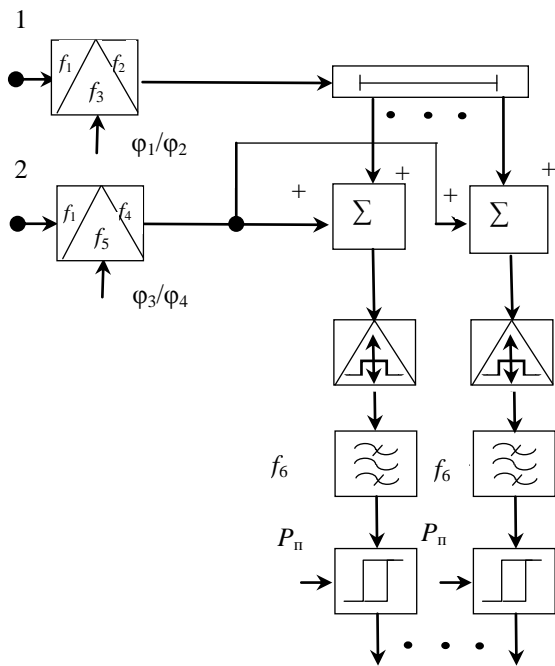


Рис. 2. Схема широкопasmового кореляційного радіометра

У теперішній час неможливо реалізувати перемножувач радіометра з $\Pi_{\text{вх}}$ 6 ГГц. Один з варіантів побудови приладу з необхідною $\Pi_{\text{вх}}$ приведена на рис. 2. На вході встановлено модулятори, які забезпечують «фарбування» сигналів за фазою φ_i з частотами f_3 та f_5 . Якщо f_3, f_5 дорівнюють наприклад 1,1 та 1,9 кГц, то взаємна кореляційна функція (ВКФ) корисних сигналів фільтрується на частоті f_6 у 3 кГц. Лінія затримки має відведення через 0,5 ВКФ.

В подальшому (рис. 2) проводиться складання сигналів першого та другого каналів прийому у суматорах (Σ). Квадратичне детектування на квадраторах та фільтрація на f_6 надає значення ВКФ. Коливання вихідних фільтрів інтеграторів радіометра порівнюються з рівнем порогів P_n . Значення P_n визначає рівень помилкової тривоги F при картографуванні різноманітних поверхонь.

При створенні системи в ІЧ діапазоні довжин хвиль можливо застосовувати загальну структурну схему приладу, рис. 2.

Температури, тілесні кути та втрати по трасі поширення. За виразом (1) знаходимо з рівняння [18]:

$$T_{\text{шр}} = T_0 (K_{\text{ш}} - 1), \quad (2)$$

де $K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шуму радіоприймального пристрою радіометра; T_0 – температура середовища, яке оточує кореляційний радіометр.

Температура (1) для кожного з двох каналів прийому при картографуванні поверхонь [6, 13]:

$$T_a = (1 - \beta)\eta \left[T_{\text{атм}} + T_3 (1 - \delta) + \sum_{i=1}^n t_i \delta_i + T \delta \right] + \beta \eta \left(T_{\text{атм}} + T_3 + \sum_{j=1}^k t_j \delta_j \right) + (1 - \eta) T_0. \quad (3)$$

Перша складова (3) надає антенну температуру прийняту у тілесному куті головної пелюстки діаграми спрямованості (ДС) антени радіометра $\Omega_{\text{гл}}$. Друга складова – зовні $\Omega_{\text{гл}}$, а третя складова характеризує особисті шуми антен радіометра. Причому: β – коефіцієнт враховує частку ненаправленого випромінювання, яке приймається антеною зовні $\Omega_{\text{гл}}$;

η – коефіцієнти корисної дії антен; $T_{\text{атм}}, T_3, T$ – відповідно шумові (радіояскраві) температури атмосфери, землі та МО картографування; t_i, t_j – відповідно шумові температури поверхонь, що заважають прийому корисних сигналів, які знаходяться у головній та бокових пелюстках ДС антен; $i = 1, 2 \dots n$ та $j = 1, 2 \dots k$;

$$\delta = \Omega_{\text{МО}} / \Omega_{\text{гл}}, \quad (4)$$

де $\Omega_{\text{МО}}$ – тілесний кут зайнятий МО [1, 13]; δ_i, δ_j – теж саме що і δ , але для сигналів, які заважають прийому коливань МО, причому:

$$\Omega_{\text{оп}} = S / R^2, \quad \Omega_{\text{гл}} = 4\pi\eta / G, \quad (5)$$

де S – площа МО; R – дальність до нього; G – коефіцієнти підсилювання антен [17, 20]

$$G = \left(3,2 \cdot 10^4 L_1 L_2 \right) / \left[\lambda (180/\pi) \right]^2, \quad (6)$$

де L_1, L_2 – розміри антен у горизонтальній та вертикальній площинах відповідно; λ – центральна довжина хвилі РМС.

Якщо однакових розмірів антен у системі L_i з виразів (4), (5) отримуємо:

$$\delta = (SG) / (4\pi\eta R^2). \quad (7)$$

Температура атмосферного випромінювання, яка спостерігається при зенітному куті ϕ [1, 13, 16]:

$$T_{\text{атм}}(\phi) = (T_0 - 30) \left[1 - L(\phi)^{-1} \right], \quad (8)$$

де $L(\phi)$ – повне поглинання (загасання) в атмосфері (сумарні втрати по трасі поширення радіометричних (РМ) сигналів).

При використанні моделі [1, 16] і середніх відстаней R (< 8 км) вираз для сумарних втрат по трасі поширення має вигляд

$$L(\phi) \approx \exp \left[0,23BR(\cos\phi)^{-1} \right], \quad (9)$$

де B – коефіцієнт поглинання РМ сигналів при наявності в атмосфері кисню, пари води, пилу.

У виразах (8) та (9) використовується модель плоскої поверхні картографування, яка покрита однорідним шаром атмосфери. Для визначення коефіцієнтів B використовуємо підходи, які приведені у [1, 14]. При ясній погоді враховано лише поглинання кисню і водяних парів у стандартних умовах. Щільність водяних парів, при цьому, дорівнює $7,5 \text{ гр/м}^3$. Також визначені значення B при дощу середньої сили – 4 мм/годину . Значення коефіцієнтів B для довжини хвилі $\sim 3,4 \text{ мм}$, коли ясно та дощ середньої сили відповідно дорівнюють $1,0442$ і $1,9444$ разів/км. Результати розрахунку за виразом (9), при зміні R від $1,5$ до $5,5$ км приведені на рис. 3. Криві $T_{\text{атм}1}(\phi)$ та $T_{\text{атм}2}(\phi)$ відповідно відображають значення температур атмосфери якщо ясно, або дощ. Перша крива $T_{\text{атм}1}(\phi, 1.5)$ безперервна та друга $T_{\text{атм}2}(\phi, 1.5)$ (позначена точками) надають значення температур, коли R дорівнює $1,5$ км. Криві $T_{\text{атм}1}(\phi, 3.5)$ (тире) та $T_{\text{атм}2}(\phi, 3.5)$ (точки тире) побудовані при R у $3,5$ км. На рис. 3 п'ята ($\times \times \times$) і шоста ($\circ \circ \circ$) криві здобуті коли $R = 5,5$ км.

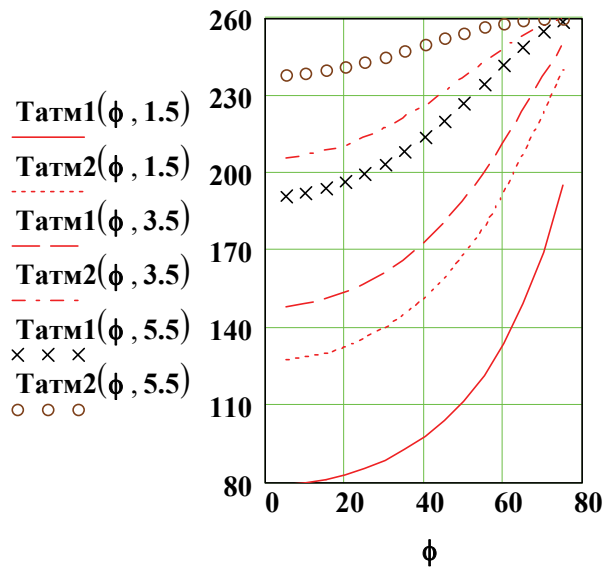


Рис. 3. Температура атмосферного випромінювання $T_{\text{атм}i}(\phi)$, яка спостерігається при зенітному куті ϕ та зміні дальності R від 1,5 до 5,5 км

Температура T_3 обрана на основі експериментальних даних радіоєскравих температур [16] для сухого піску (гравію) $\sim 252\text{ K}$. При цьому $\phi \leq 30^\circ$.

Радіоєскрава температура МО T залежить від її випромінювальної здатності χ , кута ϕ та термодинамічної температури T_T , так $T(\phi) = \chi(\phi)T_T$ [1, 16]. Для шершавих поверхонь значення $\chi(\phi \leq 30^\circ)$ змінюється у межах від $\sim 0,91$ до $\sim 0,88$, для гладкого вологого ґрунту $\sim 0,67$. При знаходженні автомобіля на однорідній поверхні [16], коли $\chi(\phi \leq 30^\circ)$ дорівнює $\sim 0,72$ [13].

Для виявлення МО гладкого вологого ґрунту приймаємо T у 194 K .

Радіоєскраві випромінювання завод T_ϕ (фону, що корельований та власних шумів приймальних каналів) при відсутності сигналу МО на вході системи визначається виразом

$$T_\phi = (1 - \beta)\eta \left[T_{\text{атм}} + T_3(1 - \delta) + \sum_{i=1}^n t_i \delta_i \right] + \beta\eta \left(T_{\text{атм}} + T_3 + \sum_{j=1}^k t_j \delta_j \right) + (1 - \eta)T_0. \quad (10)$$

Відношення сигнал-завада та дальність дії системи. Якщо у РМС однакові антени та канали прийому то відношення сигнал-завада γ_i ($i = 1, 2$) у кожному з каналів дорівнює [14, 13]:

$$\gamma_i = P_{ci} / P_{\phi i} = (P_{ai} - P_{\phi i}) / P_{\phi i}, \quad (11)$$

де P_{ai} , $P_{\phi i}$ – відповідно потужність сигналів на вході РМС при наявності та відсутності сигналу від МО, так [18, 23]:

$$P_{ai} = kT_0 \Pi_{\text{вх}} \left(K_{\text{ш}} - 1 + \frac{T_{ai}}{T_0} \right) \\ P_{\phi i} = kT_0 \Pi_{\text{вх}} \left(K_{\text{ш}} - 1 + \frac{T_{\phi i}}{T_0} \right), \quad (12)$$

де k – постійна Больцмана.

Якщо технічні параметри (T_0 , $K_{\text{ш}}$, β , η , $G \dots$) кожного з каналів однакові та провівши ряд математичних перетворень з формул (2) – (7), (10) – (12) здобули γ для одного з каналу прийому РМС:

$$\gamma = \frac{(1 - \beta)SG |T - T_3|}{4\pi\alpha R^2 L [T_0 (K_{\text{ш}} - \eta) + A]}, \quad (13)$$

де L – втрати в РМС та

$$A = \eta \left[T_{\text{атм}} + T_3 + (1 - \beta) \sum_{i=1}^n t_i \delta_i + \beta \sum_{j=1}^k t_j \delta_j \right]. \quad (14)$$

Після кореляційного стискання, тобто оцінювання ВКФ в РМС, відношення сигнал-шум ν на виході системи визначається з виразу [14, 6, 13]:

$$\nu = \frac{\Pi_{\text{вх}} \tau_{\text{н}} \rho^2}{1 + \rho^2}, \quad (15)$$

де $\tau_{\text{н}}$ – час накопичення у кореляційному радіометрі; ρ – коефіцієнт кореляції вхідних коливань, при $\gamma_1 = \gamma_2$

$$\rho = \gamma / (1 + \gamma). \quad (16)$$

Якщо $\nu = 5,64$ рази (15) то імовірність вірного виявлення МО на поверхні картографування $P_{\text{в}}$ дорівнює 0,5 при фіксованому рівні помилкової тривоги $F = 10^{-2}$ [14,6]:

$$P_{\text{в}} = F^{(1+\nu)^{-1}}.$$

Використовуємо вирази (15) та (16), при умові що дальність до МО суттєво більше відстані між антенами кореляційного радіометра Б (рис. 1), γ визначаємо з рівняння:

$$\gamma = \left[\nu + \sqrt{\nu(K_{\text{ст}} - \nu)} \right] / (K_{\text{ст}} - 2\nu), \quad (17)$$

де $K_{\text{ст}}$ – коефіцієнт кореляційного стискання, причому $K_{\text{ст}} = \Pi_{\text{вх}} \tau_{\text{н}}$.

Враховуючи (17) з виразу (13) отримали рівняння дальності дії рознесеної двохпозиційної РМС:

$$R = \sqrt{\frac{|T - T_3| S G (1 - \beta)}{4 \pi \alpha \gamma L [T_0 (K_{\text{ш}} - \eta) + A]}}, \quad (18)$$

Відношення сигнал-шум на виході РС інтегратора [21] дорівнює:

$$\nu = \frac{1}{2} \left(\frac{m}{\sigma} \right)^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - \exp(-\Pi_{\text{вих}} t / 3)}{\sqrt{1 - \exp(-2 \Pi_{\text{вих}} t / 3)}} \right]^2, \quad (19)$$

де m, σ – відповідно середнє значення та середньоквадратичне відхилення на виході інтегратора; t – час інтегрування кореляційного радіометра.

Для забезпечення найбільшої смуги картографування (строчка, яка перпендикулярна \vec{V} на рис. 1) обмежили значення $\tau_{\text{н}}$ (15) на рівні $\tau_{\text{н}} = 3 / \Pi_{\text{вих}}$. При цьому $m \neq 1$ (19) та втрати у величині ν дорівнюють $(1/0,9514)^2 \approx 1,105$ рази. Тоді отримуємо $\nu = 5,64 \cdot 1,105 \approx 6,23$ рази.

На рис. 4 представлені результати розрахунку за виразом (18) при наступних типових технічних характеристиках [13, 15 – 18]: $T = 194 \text{ K}$; $T_3 = 252 \text{ K}$; $T_{\text{атм}} = 209 \text{ K}$; $T_0 = 290 \text{ K}$; $\beta = 0,31$; $L = 2$; $K_{\text{ш}} = 2,7$; $\eta = 0,78$; $\lambda = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $L_1 = L_2 = 90 \lambda$; $\Pi_{\text{вх}} = 6 \cdot 10^9 \text{ ГГц}$; $\Pi_{\text{вих}} = 310 \text{ ГГц}$; $\nu = 6,23$; $F = 10^{-2}$; $P_{\text{в}} = 0,5$; $t_i \approx t_j \approx 0$, тобто картографування ведеться на

протяжній однорідній поверхні; S – змінюється в межах від 2 до 10^3 м^2 ; значення T_3 це радіоюскрава температури піску (або гравію), коли $\phi < 30^\circ$.

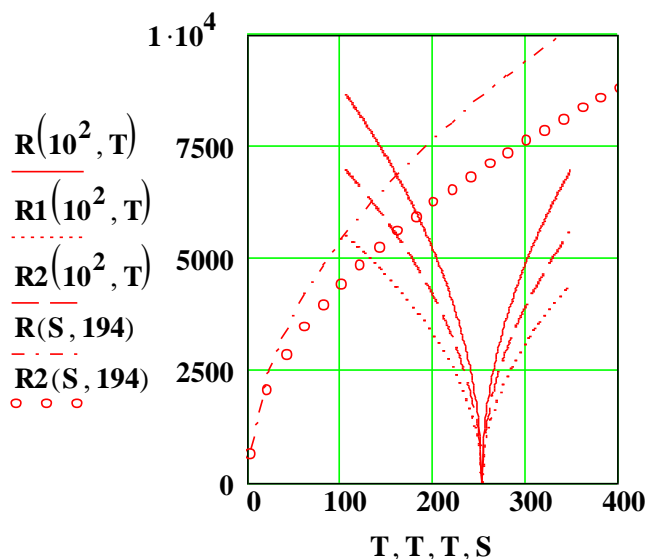


Рис. 4. Дальність дії рознесеної двохпозиційної РМС $R_i(S, T)$ в залежності від площини об'єкту S та його температури T

Перша крива $R(10^2, T)$ на рис. 4 безперервна, відображає значення дальності дії РМС при зміні T (105-348 K), коли $S = 10^2 \text{ м}^2$. Так, наприклад $R(10^2, 194) \approx 5442 \text{ м}$. При цьому під носієм на зображенні є N_τ різниць ходу через 0,5 ВКФ ($N_\tau \approx 6,3$) та відстань між різницями ходу $\Delta_\tau \approx 27,2 \text{ м}$. Якщо $T \approx T_3$ то R_i прямує до нуля, так як відсутній радіоюскравий контраст на поверхні зображення. Смуга картографування Π_k визначаємо приблизно, при умові, що сканування антенною системою ведеться через напівширин її ДС $\Theta_{0,5}$, так:

$$\Pi_k \approx \frac{2[R_i(S, T) \text{tg}(\Theta_{0,5}/2)]^2}{V \tau_H}, \quad (20)$$

де V – швидкість польоту носія (125 м/с); причому $\Theta_{0,5} = \sqrt{2} \lambda / L_i$.

Коли $R(10^2, 194)$ отримали $\Pi_k \approx 3020 \text{ м}$.

При виявленні вологого ґрунту на фоні піску (гравію) величини $R(S, 194)$ (четверта крива, точки тире на рис. 4) надає значення R_i , якщо перемінна S .

Доплерівська поправка частоти сигналу МО F_d при двохпозиційній системі прийому та фіксованій висоті її польоту дорівнює [2, 3, 10]:

$$F_d = \frac{2V}{\lambda} \sin \varepsilon \sin\left(\frac{\xi}{2}\right), \quad (21)$$

де V – різниця швидкості між носієм (рис. 1) та МО на поверхні картографування; ε – кут між лінією МО – середина бази та вектором \vec{V} ; ξ – кут, який створений першим пунктом прийому ПІ – МО – другим пунктом прийому ПІІ.

Якщо на кожному відведенні РМС (рис. 2) після квадратичних детекторів (квадраторів) встановлені, наприклад, 10 (N) фільтрів то $\Pi_{\text{вих}}$ дорівнює 31 Гц. За рахунок недостатньої величини t (19) втрати в v дорівнюють $\sim 6,72$ рази. Тобто у виразах (17), (18) нове значення v , так $v = 5,64 \cdot 6,72 \approx 37,89$ рази.

Зміну величин v у РМС, при звуженні $\Pi_{\text{вих}}$, позначимо через B_i , яке знаходимо з виразу

$$B_i = v(\Pi_{\text{вих}}) / v(\Pi_{\text{вих}} / N), \quad (22)$$

де N – кількість фільтрів Доплера на виході кожного з квадратичних детекторів (рис. 2).

Результати розрахунку за останнім виразом наведено на рис. 5. Нижня крива відображає зміну $B_i(t)$, коли $N = 10$ та $P_{\text{вих}}$ зменшується з 310 до 31 Гц, при цьому $t < 3/P_{\text{вих}}$ ($t < \tau_H$).

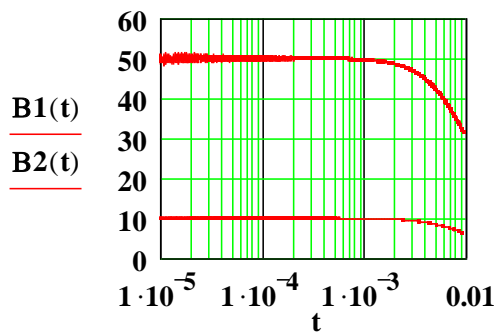


Рис. 5. Зміна співвідношення $B_i(t)$ за час інтегрування у радіометрі t , при звуженні смуги пропускання його вихідного фільтра $P_{\text{вих}}$

Верхня крива на рис. 5 – $N = 50$, $P_{\text{вих}}$

зменшується з 310 до 6,2 Гц. Якщо $t < 10^{-3}$ спостерігаємо на вказаних кривих власні шуми кореляційного радіометра.

Результати розрахунку $R_i(S, T)$ при вимірі F_d надані другою кривою $R_1(10^2, T)$, яка позначена крапками на рис. 4. Дальність дії РМС зменшується $\sim 1,57$ рази відносно значення $R(10^2, 194)$, так отримали $R_1(10^2, 194) \approx 3464$ м. При цьому $P_k \approx 1230$ м, $N_\tau \approx 6,3$ та $\Delta_r \approx 17,3$ м.

При встановленні 50 (N) фільтрів на виході кожного з квадратичних детекторів (рис. 2) отримуємо: $P_{\text{вих}} = 6,2$ Гц, $R_3(10^2, 194) \approx 2320$ м, $N_\tau \approx 6,3$, $P_k \approx 550$ м та $\Delta_r \approx 11,6$ м.

У РМС бажано мати прямокутний амплітудо-частотний спектр, тоді тіло невизначеності (ТН) на її виході $(\sin x/x)^2$ [8, 9]. Якщо значення F_d у (21), наприклад, ~ 46 Гц, то рівень фону ТН, що заважає картографуванню, зменшується ~ -13 дБ. При збільшенні величини $F_d \sim 170$ Гц, рівень фону ТН знижується до ~ -25 дБ. Вказане зменшення корельованого фону ТН, що заважає картографуванню, враховується множення (14) на $10^{-1,3}$ ($10^{-2,5}$) разів.

Третя крива $R_2(10^2, T)$ на рис. 4 позначена тире, відображає зміну значень відстані картографування, коли $F_d \sim 46$ Гц. Відносно $R_1(10^2, T)$ дальність збільшується, так $R_2(10^2, 194) \approx 4378$ м. П'ята крива $R_2(S, 194)$ (ooo, рис. 4) також здобута якщо $F_d \sim 46$ Гц. Відмічаємо, що крива $R(S, 194)$ проходить вище $R_2(S, 194)$. Втрати у дальності при виміру F_d дорівнюють $R(10^2, T)/R_2(10^2, T) \approx 1,24$ рази.

Картографування земної поверхні в ПЧ діапазоні довжин хвиль (3,3 – 4,2 мкм) при $B = 20$ м, $R \sim 5,5$ км надає $\Delta_r \approx 9 \cdot 10^{-3}$ м.

Картографування космічних об'єктів. Якщо проводиться картографування космічних об'єктів з надземної орбіти, записи рівнянь T_a (3) та T_ϕ (10) декілька змінюються:

$$T_a = (1 - \beta_1) \eta \left(T_k + T \delta + \sum_{i=1}^n t_i \delta_i \right) + \beta_2 \eta \left(T_{\text{атм}} + T_3 + \sum_{j=1}^k t_j \delta_j \right) + (1 - \eta) T_c, \quad (23)$$

$$T_\phi = (1 - \beta_1) \eta \left(T_k + \sum_{i=1}^n t_i \delta_i \right) + \beta_2 \eta \left(T_{\text{атм}} + T_3 + \sum_{j=1}^k t_j \delta_j \right) + (1 - \eta) T_c.$$

де β_1, β_2 – відповідно частка ненаправленого випромінювання, які приймаються антеною радіометра у передній та задній напівсферах; T_k, T_c – радіояскраві температури космосу та середи, що оточує антени відповідно.

Нове значення γ здобули перетворюючи вирази (11), (12) з врахуванням (2) – (7), так

$$\gamma = \frac{(1 - \beta_1) S G T}{4 \pi \alpha R^2 L [T_c (K_{\text{ш}} - \eta) + \mu (K_{\text{ш}} - 1) + A_1]}, \quad (24)$$

де μ – різниця між значеннями T_0 та T_c ;

$$A_1 = \eta \left[(1 - \beta_1) \left(T_k + \sum_{i=1}^n t_i \delta_i \right) + \beta_2 \left(T_{\text{атм}} + T_3 + \sum_{j=1}^k t_j \delta_j \right) \right]$$

У підсумку отримуємо замість (18) варіант рівняння дальності спостереження за космічними об'єктами з надземної орбіти

$$R = \sqrt{\frac{T S G (1 - \beta_1)}{4 \pi \alpha \gamma L [T_c (K_{\text{ш}} - \eta) + \mu (K_{\text{ш}} - 1) + A_1]}}. \quad (25)$$

Якщо є різниця між швидкостями надземного носія та космічного об'єкта картографування (21) величина A_1 в (25) зменшується відповідно F_d та ТН фону, що корельовано.

Перспективним є побудова рознесених радіометричних систем при дослідженні космічних об'єктів в діапазонах від дециметрових до ПЧ довжин хвиль.

Висновки

Запропоновано підвищення чутливості та розрізняювальної здатності за різницею ходу за рахунок впровадження у кореляційний радіометр (рис. 2) відповідних модуляторів вхідних сигналів та квадратичних детекторів. Отримано рівняння дальності дії рознесеної двохпозиційної РМС з врахуванням радіояскравих температур атмосфери та поверхонь, що заважають. При типових технічних характеристиках РМС та виявленні вологого ґрунту з температурою T ($\sim 194K$) площиною S (10^2) на однорідному фоні ($\sim 252K$) отримали дальність дії R_i $\sim 5,4$ км. При цьому смуга картографування Π_k ~ 3 км, у кожному пікселі зображення різниць ходу N_τ ~ 6 , а відстань між нами на поверхні Δ_r ~ 27 м. Вимірювання доплерівської поправки частоти F_d при 10 вихідних фільтрах зменшує R_i до $\sim 3,5$ км і встановлює Π_k $\sim 1,2$ км, Δ_r ~ 17 м та N_τ ~ 6 . Останні значення визначені за умови, що F_d об'єкта співпадає з головною пелюсткою ТН фону, що корельовано. При зростанні F_d у 1,5 рази рівень фону, що заважає, зменшується у ~ -13 дБ і R_i збільшується $\sim 1,26$ рази, так: R_i $\sim 4,4$ км, Π_k ~ 2 км, Δ_r ~ 22 м.

Запропоновано варіант визначення дальності дії рознесеної двохпозиційної РМС для картографування космічних об'єктів з надземної орбіти. Вказано на збільшення R_i при вимірі F_d , за рахунок зниження фону, що корельовано.

Список літератури : 1. *Теоретические основы радиолокации* / А.А. Коростелев, Н.Ф. Клюев, Ю.А. Мельник и др. ; под ред. В.Е. Дулевича. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Сов. радио, 1978. – 608с. 2. *Алмазов В.Б. Методы пассивной радиолокации.* – Харьков : ВИРТА, 1974. – 86с. 3. *Караваяев В.В., Сазонов В.В.* Статистическая теория пассивных радиолокационных систем. – М. : Радио и связь, 1987. – 240с. 4. *Биков В.Н.* Виявлення малорозмірних об'єктів радіометричною інформаційною системою мм діапазону з шумовою підсвіткою / Биков В.Н. // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи 2(10).* –Харків : ХАІ. – 2005. – С. 5-11. 5. *Калинкін С.И., Кудряшов В.Е.,*

Хоменко Е.В. Выбор параметров многоканальной радиометрической системы обнаружения малоразмерных неоднородностей // Радиотехника. – 1992. – №10-11. – С. 3-7. 6. Коломійцев О.В., Клеваний Ю.А., Мельников І.В. Дальність радіотеплолокаційного спостереження двокоординатною радіометричною системою повітряних цілей // Системи обробки інформації. – Харків : ХУПС, 2014. – Вип. 2(118). – С. 21 – 24. 7. Lukin K.A., Kudriashov V.V., Vyplavin P.L., Palamarchuk V.P. Coherent imaging in the range-azimuth plane using a bistatic radiometer based on antennas with beam synthesizing // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 29, 7, pp. 16 – 22. 8. Lukin K.A., Kudriashov V.V., Vyplavin P.L., Palamarchuk V.P., Lukin S.K. Coherent radiometric imaging using antennas with beam synthesizing // International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 7, Spec. Iss. 3-4, pp. 453 – 458. 9. Kudryashov V.V., Lukin K.A., Palamarchuk V.P., Vyplavin P.L. Coherent radiometric imaging with a Ka-band ground-based synthetic aperture noise radar // Telecommunications and Radio Engineering. – 2013. – Vol. 72, No. 8. – p. 699-710. 10. Kudriashov V.V. 'A Modified Maximum Likelihood Method for Estimation of Mutual Delay and Power of Noise Signals by Bistatic Radiometer'. Comptes Rendus – Academie Bulgare des Sciences, 68, 5, pp. 631 – 640. 11. Qingxia Li, Ke Chen, Wei Guo, Liang Lang, Fangmin He, Liangbing Chen. An Aperture Synthesis Radiometer at Millimeter Wave Band // Microwave and Millimeter Wave Technology, 2008. ICMMT 2008. Vol. : 4, pp. 1699 – 1701. 12. Ji Wu, Hao Liu, Shouzheng Ban, Xiaolong Dong, and Jingshan Jiang. Research Activity on Synthetic Aperture Radiometry in CSSAR/CAS // Progress In Electromagnetics Research Symposium 2005. PIERS Vol. :1, No : 5, pp : 538-542. 13. Дальність радіотеплолокаційного спостереження кореляційним виявлячем сигналів малорозмірних об'єктів на поверхні землі / Коломійцев О.В., Кудряшов В.В. // V наук. конф. ХУПС ім. І.Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору» : наук.-техн. конф., 28-29 бер. 2009 р. : тези доп. – Харків : ХУПС, 2009. – С. 217. 14. Теоретические основы радиолокации ; под ред. Я.Д. Ширмана. – М. : Сов. радио, 1970. – 560с. 15. Інститут електроніки і зв'язі АН України, 2017. – Ел. Доступ [http : //www.mitris.com/files/Osnovnye_napravleniya_razrabotok.pdf](http://www.mitris.com/files/Osnovnye_napravleniya_razrabotok.pdf). 16. Справочник по радиолокации ; под ред. М. Сколника. Т. 4. Радиолокационные станции и системы ; под ред. М.М. Вейсбена. – М. : Сов. радио, 1978. – 376с. 17. Справочник по радиолокации ; под ред. М. Сколника. Т. 2. Радиолокационные антенные устройства ; под ред. П.И. Дудника. – М. : Сов. радио, 1977. – 408с. 18. Радиоприемные устройства / Ю.Т. Давыдов, Ю.С. Данич, и др. ; под ред. А.П. Жуковского. – М. : Высш. шк., 1989. – 388с. 19. Регламент радиосвязи. Статьи. – Женева : Швейцария, 2016. – 441 с. 20. Шевченко А.Ф. Результати порівняльного аналізу характеристик спрямованості кільцевих фазованих антенних решіток для завдань створення багатопозиційних активно-пасивних РЛС // Системи обробки інформації. – Харків : ХУПС. – 2014. – Вип. №9(125). – С. 65–72. 21. Статистическая радиотехника / Т.В. Горяинов, А.Г. Журавлев, В.И. Тихонов ; под ред. В.И. Тихонова. – М. : Сов. радио, 1980. – 544с. 22. Алмазов В.Б., Манжос В.М., Камчатний Н.И. Упрощенный алгоритм обнаружения шумового сигнала в двухпозиционной системе пассивной локации // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 1987. – Т. 30. № 11. – С.20–24. 23. Леонов І.Л., Присяжний А.Е., Сидоренко Д.С. Визначення робочих характеристик приймальних пристроїв шляхом моделювання на ПЄОМ // Системи обробки інформації. – Харків : ХУПС. – 2014. – Вип. №1(117). – С. 30–32.

Харківський національний університет
повітряних сил імені Івана Кожедуба

Надійшла до редколегії 15.10. 2017