

ПИТАННЯ РОЗВИТКУ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ, УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

DOI 10.33099/2786-7714-2024-2-7-5-10

УДК 355.623

Олещук Микола Миколайович (кандидат технічних наук)
<https://orcid.org/0009-0002-9233-9679>

Повітряні Сили Збройних Сил України, Вінниця, Україна

ВПЛИВ РУХУ СКЛАДОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО КАНАЛУ НА ПАРАМЕТРИ ВІДБИТОГО СИГНАЛУ РЛС ПРИ ЛОКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ У ТРОПОСФЕРНОМУ РАДІОХВИЛЕВОДІ НАД МОРЕМ

Місцеві метеорологічні умови над акваторією та в прибережних районах внутрішніх морів та інших великих водойм можуть призводити до великих вертикальних градієнтів коефіцієнту заломлення повітря і, як наслідок, появи тропосферних радіохвильоводів, які, в свою чергу, змінюють умови локації повітряних цілей. У статті проведено аналіз впливу складових радіолокаційного каналу на параметри відбитого сигналу радіолокаційної станції при локації повітряних цілей у тропосферному радіохвильоводі над морем. Уточнено властивості ланок радіолокаційного каналу та оцінено показники якості функціонування радіотехнічної системи. Проведений аналіз показав, що відбиті сигнали від повітряних цілей, які рухаються у багатопроменевих тропосферних радіохвильоводах з різними швидкостями за різними траєкторіями, флюктують у залежності від параметрів руху повітряної цілі, характеристик тропосферного радіохвильоводу та параметрів зондувальних сигналів. Типові флюктуації відбитих сигналів повітряних цілей в тропосферному радіохвильоводі є комбінованими: повільними “незалежними від імпульсу до імпульсу” та швидкими; повільними “дружніми” та швидкими; повільними “незалежними від імпульсу до імпульсу” та повільними “дружніми”; повільними “незалежними від імпульсу до імпульсу”, повільними “дружніми” та швидкими. Оскільки флюктуації відбитих сигналів погіршують показники якості виявлення та вимірювання координат повітряних цілей в тропосферному радіохвильоводі над морем, то для їх зменшення необхідно мати можливість вибору параметрів зондувальних сигналів, які залежать від характеристик тропосферного радіохвильоводу та методів обробки відбитих сигналів в радіолокаційній станції. Отримані результати можуть бути корисними розробникам та експлуатантам радіолокаційних станцій, що розташовуються в прибережних районах.

Ключові слова: радіолокаційний канал, радіолокаційна станція, повітряна ціль, тропосферний радіохвильовід.

Вступ

Радіолокаційні станції за класифікацією [1] відносяться до активних радіотехнічних систем (РТС) здобування інформації. Узагальнена схема такої РТС наведена на рис. 1. Уточнюючи властивості ланок радіолокаційного каналу (РЛК) вдається оцінювати показники якості функціонування РТС, вибирати їх оптимальні параметри і визначати напрями вдосконалення РТС [2].

Параметри елементів 1, 2, 6 та 7 рисунку 1 відомі із малим ступенем невизначеності (майже повністю відомі).

Параметри елементу 4 є невідомими, але знаходяться в певному обмеженому інтервалі, з урахуванням припущень про який будується РТС.

Ступень невизначеності параметрів елементів 5 та 6 займає проміжне положення між “невідомі” та

“повністю відомі”. В залежності від можливості апріорі отримати інформацію про параметри елементів 5 та 6 решта невизначеності переноситься на елемент 4, що є поганим з боку отримання його об’єктивних характеристик.

Для наземних РЛС радіотехнічних військ (РТВ) об’єктами, що досліджується, є повітряні цілі (ПЦ) різних типів, а середовищем поширення радіохвиль є тропосфера, яка вважається однорідною та ізотропною. В переважній більшості випадків такі припущення є адекватним, але при локації ПЦ над морем та в прибережних районах така модель може бути недостатньою для пояснення ефектів, що спостерігаються [3, 4, 5, 6, 7]. Швидка зміна вологості повітря із висотою над поверхнею води може призводити до появи частин простору із аномально малим погонним згасанням радіохвиль – тропосферним радіохвильоводам (ТРХ).



Рисунок 1. Узагальнена схема активної РТС здобування інформації

Виникнення ТРХ призводить до перерозподілу енергії випромінювання РЛС у просторі, що викривляє її зону виявлення, призводить до додаткової флуктуації відбитих сигналів [8] та змінює показники якості виявлення цілей, тому для правильної інтерпретації прийнятих РЛС сигналів необхідно мати відповідні моделі ТРХ.

Матеріали та методи

Дослідженню впливу ТРХ на роботу РЛС присвячено багато експериментальних та теоретичних робіт [3, 4, 7, 9, 10, 11], що дозволило розробити певні моделі ТРХ [12, 13].

Але в цих роботах вважалось, що всі елементи РЛК в ТРХ є статичними, тобто положення ПЦ,

антени РЛС, стінок ТРХ є фіксованими у якийсь момент часу.

Це є певною ідеалізацією явищ, що спостерігаються, і накладає обмеження на створені моделі.

Метою статті є аналіз впливу руху складових РЛК на параметри відбитого сигналу РЛС при локації ПЦ у ТРХ над морем.

Результати

Схематично процес поширення електромагнітних хвиль (ЕМХ) у ТРХ під час локації ПЦ можливо представити у вигляді, який наведено на рис. 2.

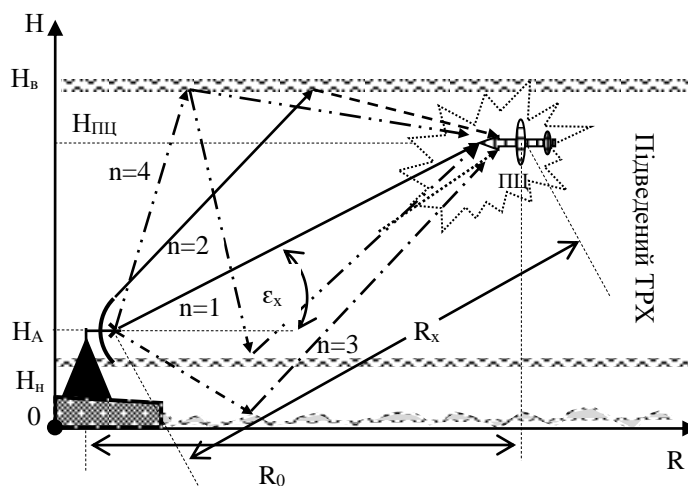


Рисунок 2. Оптична модель багатопроменевого поширення ЕМХ у ТРХ

РЛС, яка знаходиться на узбережжі і має висоту підйому антени H_A , виявляє ПЦ під кутом ϵ_x на висоті $H_{ПЦ}$ та похилій дальності R_x в середині підведеного ТРХ із висотою верхньої та нижньої стінок H_v та H_n відповідно. Також на рис. 2 наведені можливі шляхи поширення ЕМХ від РЛС до ПЦ та в зворотному напрямку.

Оцінимо вплив руху ПЦ, антени РЛС, хвилювання поверхні моря та руху стінок

тропосферного хвилеводу на характеристики ТРХ як елементу РЛК.

Експериментально отримати множину просторових реалізацій відбитих сигналів ПЦ, що рухаються у ТРХ, важко. Тому, зазвичай, можна використовувати множину їх часових реалізацій, траєкторію руху і швидкість ПЦ. При цьому передбачається, що часові та просторові реалізації електромагнітного поля ергодичні, а ПЦ рухаються за простою траєкторією.

Припустимо, що ПЦ рухається прямолінійно зі швидкістю $V_{ПЦ} = V$. У цьому випадку, кореляційна функція випадкового електромагнітного поля, що рухається у просторі, буде зводитися до обчислення кореляції для випадкової ЕМХ $U(r+Vt)$ в різні моменти часу й у різних точках простору при $V=V(r,t)=const$.

Просторово-часова функція кореляції ЕМХ визначається виразом [14]:

$$\overline{\{U(r_1+Vt_1)U(r_2+V(t+\tau))\}} = \psi(\Delta r + V\tau), \quad (1)$$

де $\Delta r = r_2 - r_1$, у припущенні, що $U \neq 0$.

При виконанні умови часової ергодичності часове середнє (1) сходиться за $\tau \rightarrow \infty$ в ймовірнісному сенсі до свого статистичного середнього, тобто до функції автокореляції.

Аналогічно, функцію автокореляції можна знайти шляхом просторового усереднення. При цьому, зазначений добуток при усередненні вздовж прямої лінії має прагнути до статистичного середнього при збільшенні інтервалу усереднення.

Розглянемо питання про виконання умов часової й просторової ергодичності для функції автокореляції плоских ЕМХ, що рухаються, при усередненні у фіксовану місці простору на обмеженому часовому інтервалі $[0, T]$, а також при усередненні на обмеженому просторовому інтервалі $[0, L_{ТРХ}]$ у той же самий момент часу.

Достатньою умовою виконання теореми часової ергодичності [15] відносно кореляційної функції (1) є прагнення її до нуля при $T \rightarrow \infty$.

Якщо позначити функцію кореляції випадкової величини $\eta(V_t) = \overline{U(V_t)U(V(t+\tau))}$ у вигляді $\psi_\eta(V \times \tau)$, то:

$$\psi_\eta(V\tau) = \overline{[UV(t)] * [UV(t+\tau)]} \cdot \overline{[UV(t+\tau)] * [UV(t+\tau+\tau_1)]} - \psi^2(V\tau), \quad (2)$$

де (*) – операція згортання.

Спроможність часової оцінки (часової ергодичності) (2) зводиться до того, що має виконуватися умова [14, 15]:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \psi_\eta(V\tau_1) d\tau_1 = 0. \quad (3)$$

За прямолінійного руху цілі її швидкість має дві компоненти $V_x = V \cos \alpha$, $V_z = V \sin \alpha$, де α – кут між вектором \vec{V} і віссю x .

Значення часової функції кореляції у фіксованому місці простору має вигляд [14, 15]:

$$\begin{aligned} \overline{U(Vt)U(V(t+\tau))}_T &= \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T U(V_x t, 0, V_z t) U(V_x (t+\tau), 0, V_z (t+\tau)) dt = \\ &= \frac{1}{V_x T} \int_0^{V_x T} \xi(x, 0, x \cdot tg \gamma) \xi(x + V_x \tau, 0, x \cdot tg \gamma + V_z \tau) dx. \end{aligned} \quad (4)$$

Заміною $(V_x t) = x$ зроблено перехід від усереднення за часом до усереднення по прямій лінії x .

Слід знайти значення просторової функції автокореляції в той самий момент часу при усередненні вздовж лінії x , що збігається з напрямком швидкості переміщення цілі $L_x = L \cos \alpha$:

$$\begin{aligned} \overline{U(x)U(x+\Delta r)}_L &= \frac{1}{L} \int_0^L U(x, 0, z) U(x + \Delta r_x, 0, z + \Delta r_z) dx = \\ &= \frac{1}{L} \int_0^{L_x} U(x, 0, z(x)) U(x + \Delta r_x, 0, z(x) + \Delta r_z) \sqrt{1 + [z'(x)]^2} dx \times \\ &\times \frac{1}{L_x} \int_0^{L_x} U(x, 0, xtg \gamma) U(x + \Delta r_x, 0, xtg \gamma + \Delta r_z) dx. \end{aligned} \quad (5)$$

З (4) і (5) видно, що, якщо часовий інтервал усереднення обрати так, щоб виконувалися співвідношення $V_x T = L_x$, а просторове зміщення Δr_x , Δr_z зв'язати із часовим зміщенням τ співвідношеннями $V_x \tau = \Delta r_x$, $V_z \tau = \Delta r_z$, то можна констатувати еквівалентність часових і просторових значень функції кореляції ЕМХ випадкового поля, що рухається.

Отримані результати підтверджують гіпотезу Тейлора [14, 15]: щодо функції кореляції плоских ЕМХ випадкового поля, що рухаються, відповідно до якої часові спостереження флуктуацій ЕМХ дають інформацію про просторові кореляційні властивості ЕМХ вздовж напрямку руху.

Таким чином, визначення параметрів ТРХ при локації цілі, що рухається зі швидкістю $V_{ц}$ уздовж лінії візування може полягати у визначенні часової кореляційної функції нерухомого ТРХ без цілі, а потім необхідно вважати, що ТРХ рухається зі швидкістю $V_{ц}$.

Такий підхід можливо використовувати для будь якого відносного руху елемента ТРХ, як у радіальному так і тангенціальному напрямку.

Це дозволяє зробити висновок, про те, що відносний рух елементів багатопроменевих ТРХ приводить до флуктуацій зондувальних сигналів (ЗНС) та (або) відбитих сигналів від ПЦ. Параметри флуктуацій залежить від швидкості ПЦ, характеристик (пам'яті) ТРХ, параметрів ЗНС та швидкості сканування простору антеною РЛС.

Чинниками змін положення елементів тропосферного радіолокаційного каналу може бути:

- вітер у акваторії моря;
- швидкість обертання антени РЛС;
- зміна положення ПЦ у ТРХ відносно РЛС;
- швидкість руху цілі.

Виходячи з незалежності чинників сумарний вектор швидкості змін можна визначити як:

$$\vec{V}_\Sigma = \vec{V}_{втр} + \vec{V}_{ант} + \vec{V}_{ц}. \quad (6)$$

Без порушення узагальнення, \vec{V}_Σ можливо розглядати як:

$$\vec{V}_\Sigma = \vec{V}_\Sigma^h + \vec{V}_\Sigma^t, \quad (7)$$

де $|\vec{V}_\Sigma^h| = V_{\text{вітр}}^h + V_{\text{ант}}^h + V_{\text{ц}}^h$ та $|\vec{V}_\Sigma^t| = V_{\text{вітр}}^t + V_{\text{ант}}^t + V_{\text{ц}}^t$ – нормальна (радіальна) та тангенціальна (перпендикулярна) складові відносного руху елементів ТРХ відповідно.

Такий підхід дозволяє розглядати нормальні (радіальні) та тангенціальні складові вектору швидкості окремо.

Для оцінки флуктуацій відбитого сигналу проаналізовано швидкість вітру над акваторією Чорного моря [16], швидкості типових ПЦ [17], швидкості обертання антени та параметри ЗНС типових РЛС, що зведено до таблиць 1-3.

Для оцінки флуктуацій відбитих сигналів ПЦ спочатку, визначається середній час затримки між променями в ТРХ над Чорним морем, і отримуємо:

$$\tau_{\text{фл}} = \frac{|\overline{\Delta L_{\text{ТРХ}}}|}{V_p}, \quad f_{\text{фл}} = \frac{1}{\tau_{\text{фл}}}. \quad (8)$$

Таблиця 1

Швидкості ПЦ

Тип ПЦ	Максимальна швидкість, м/с	Розміри в радіальній площині, м	Розміри в тангенціальній площині, м
Орлан 10	41	1,8	3,1
Гранат-4	40	1,9	3,2
Тахион	36	0,61	2

Таблиця 2

Характеристики ЗНС та діаграм спрямованості типових РЛС

Тип РЛС	Частота обертання антени РЛС, об./хв.	Ширина діаграми спрямованості антени по азимуту, град.	Період повторення ЗНС, мс	Тривалість ЗНС, мкс	Несуча частота ЗНС, МГц
19Ж6	12	2	0,6	6	2900...3200
ПЗ7	6	1	1,3	1,7	2695...3115
П-18	6	8	2,7	6	150...170

Таблиця 3

Середні типові значення швидкості вітру над Чорним морем за травень - листопад

Час доби, год.	Середня швидкість вітру, м/с	Мінімальна швидкість вітру (95%), м/с	Максимальна швидкість вітру (95%), м/с
0...6	1,15	0,3	2,0
7...12	2,4	0,5	4,3
13...18	2,6	1,0	4,2
19...24	1,65	0,3	3,0

Вираз (8) дозволяє розрахувати $\tau_{\text{фл}}$ та $f_{\text{фл}}$ ЗНС у місті знаходження ПЦ при зміні швидкості вітру $\vec{V}_{\text{вітр}}$: $\tau_{\text{фл}}^{\text{сирп}} \approx 1$ с, $f_{\text{фл}}^{\text{сирп}} \approx 1$ Гц. Отримані значення періоду флуктуацій є набагато більшими за період повторення та тривалість зондувальних імпульсів РЛС, тому можна зробити висновок, що зміни швидкості вітру $\vec{V}_{\text{вітр}}$ можуть призводити (за класифікацією [18]) лише до повільної (“дружньої”) флуктуації імпульсів пачки відбитих сигналів ПЦ.

Період флуктуації сигналу через обертання антени можна знайти як:

$$\tau_{\text{фл}}^{\text{ант}} = \frac{|\overline{\Delta L_{\text{ТРХ}}}|}{V_{\text{ант}}} = \frac{60 |\overline{\Delta L_{\text{ТРХ}}}|}{2\pi R_{\text{ц}} n_{\text{ант}}}, \quad (9)$$

де $n_{\text{ант}}$ – швидкість обертання антени РЛС, об./хв.

В залежності від швидкості обертання антени РЛС $f_{\text{фл}}^{\text{ант}} = 1/\tau_{\text{фл}}^{\text{ант}} \approx 1,8..3,6$ кГц.

Порівнюючи отримані значення $\tau_{\text{фл}}^{\text{ант}}$ із періодом повторення та тривалістю зондувальних імпульсів РЛС, можна зробити висновок, що

обертання антени може призводити до “незалежної” ([18]) флуктуації імпульсів у пачці відбитих ПЦ у ТХВ сигналів.

Для отримання $\tau_{\text{фл}}^{\text{ушвид}} \tau_{\text{фл}}^{\text{ушвид}}$ та $f_{\text{фл}}^{\text{ушвид}}$ в залежності від змін положення ПЦ і швидкості руху ПЦ $V_{\text{ц}}$ необхідно розрахувати частоту Доплера у кожному з L каналів багатоканальної за часом параметричної моделі ТРХ:

$$F_{\text{д}}^n = \frac{2V_{\text{ц}}^n}{\lambda}, \quad (10)$$

де $V_{\text{ц}}^n = \frac{L_n}{T_n}$.

Частота відбитого сигналу в кожному каналі багатопроменевої за часом параметричної моделі: $f_0^n = f_0 \pm F_{\text{д}}^n$.

Оскільки $f_0 \gg F_{\text{д}}^n$, то $\sum_{n=1}^N U_n(t) e^{j f_0^n t}$ є биття, що має середню частоту:

$$f_{\text{биття}}^{\text{д}} = f_{\text{макс}}^{\text{д}} - f_{\text{мін}}^{\text{д}} \approx 2f_0, \quad (11)$$

де $f_{\max}^D = f_0 \pm F_{D\max}^n$, $f_{\min}^D = f_0 \pm F_{D\min}^n$.

Порівнюючи значення f_{\max}^D та f_{\min}^D із періодом повторення та тривалістю зондувальних імпульсів РЛС, можна зробити висновок, що рух ПЦ з швидкістю \bar{V}_c може призводити до швидкої (“внутрішньоімпульсної” [18]) флуктуації кожного з імпульсів пачки відбитих сигналів ПЦ.

Вплив змін положення ПЦ у ТРХ розраховуються аналогічно впливу при зміні $\bar{V}_{\text{втр}}$ або зміні $\bar{V}_{\text{ант}}$ для ПЦ:

“Орлан-10”: $|\overline{\Delta L_{\text{ТРХ}}}| = 0,18 \text{ м}$, $\tau_{\text{фл}} = 4,5 \text{ мс}$,
 $f_{\text{фл}} = 222 \text{ Гц}$;

“Гранат-4”: $|\overline{\Delta L_{\text{ТРХ}}}| = 0,19 \text{ м}$, $\tau_{\text{фл}} = 4,7 \text{ мс}$,
 $f_{\text{фл}} = 213 \text{ Гц}$;

“Тахіон”: $|\overline{\Delta L_{\text{ТРХ}}}| = 0,17 \text{ м}$, $\tau_{\text{фл}} = 4,5 \text{ мс}$,
 $f_{\text{фл}} = 222 \text{ Гц}$.

Порівнюючи отримані значення $\tau_{\text{фл}}$ із періодом повторення та тривалістю зондувальних імпульсів РЛС, можна зробити висновок, що зміни положення ПЦ у ТРХ можуть приводити до “дружньої” (повільної) флуктуації імпульсів пачки відбитих від ПЦ сигналів.

Зміна ракурсу ПЦ також призводить до флуктуацій відбитого сигналу. Для уникнення таких флуктуацій необхідно, щоб ракурс цілі змінювався на кут $\Delta\Psi_{\text{рак}}$, що не перевищує величин:

$$\Delta\Psi_{\text{рак}} \ll \lambda/4l_{\text{макс}}, \quad \Delta\Psi_{\text{рак}} < \delta R/l_{\text{макс}}, \quad (12)$$

де $l_{\text{макс}}$ – максимальна відстань між відбиваючими центрами цілі,

δR – роздільна здатність ЗНС по дальності.

Обговорення

Співвідношення (12) дозволяє висунути вимоги до зв'язку флуктуації відбитого сигналу ПЦ та відносної швидкості змін ракурсу ПЦ та швидкості обертання антени РЛС.

Таким чином, зміна положення ПЦ з швидкістю V_c призводить до “незалежної” флуктуації імпульсів пачки відбитих сигналів і до “внутрішньоімпульсної” (швидкої) флуктуації кожного з імпульсів пачки відбитих сигналів ПЦ.

Висновки

Проведений аналіз показує, що відбиті сигнали від ПЦ, які рухаються у багатопроменевих ТРХ з різними швидкостями за різними траєкторіями, флуктують у залежності від параметрів руху ПЦ, характеристик ТРХ та параметрів ЗНС.

Типові флуктуації відбитих сигналів ПЦ в ТРХ є комбінованими:

повільними “незалежними від імпульсу до імпульсу” та швидкими;

повільними “дружніми” та швидкими;

повільними “незалежними від імпульсу до імпульсу” та повільними “дружніми”;

повільними “незалежними від імпульсу до імпульсу”, повільними “дружніми” та швидкими.

Оскільки флуктуації відбитих сигналів погіршують ефективність виявлення та

вимірювання координат ПЦ у ТРХ над морем, то для їх зменшення необхідно мати можливість вибору параметрів ЗНС, які залежать від характеристик ТРХ та методів обробки відбитих сигналів в РЛС.

Список використаних джерел

1. Гуткин Л. С. Современная радиоэлектроника и ее проблемы / Л. С. Гуткин. – М.: Сов. радио, 1968. – 104 с.
2. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов / М. Е. Варганов, Ю. С. Зиновьев, Л. Ю. Астанин и др.; под ред. Л. Т. Тучкова. – М.: Радио и связь, 1985. – 236 с.
3. Распространение ультракоротких радиоволн: Пер. с англ. / Под ред. Б.А. Шиллерова. – М.: Сов. радио, 1954. – 564 с.
4. Кукушкин А. В. Загоризонтное распространение ультракоротких радиоволн над морем: Обзор. / Кукушкин А. В., Фрейлихер В. Д., Фукс И. М. // Известия вузов. Радиофизика, 1987. – Т. XXX. – №7. – С. 811-839.
5. Кабанов В. А. Структура коэффициента преломления атмосферы и диагностика условий распространения УКВ над морем / В. А. Кабанов. – Х.: ИРЭ АН УССР, 1996. – 161 с.
6. Жуков Б. В. Диагностика условий распространения УКВ в тропосфере / Б. В. Жуков, В. А. Кабанов, И. М. Мыщенко, В. Б. Синицкии, Г. И. Хлопов, С. И. Хоменко; Под ред. Г. И. Хлопова. – Київ: Науково-виробниче підприємство “Видавництво “Наукова думка” НАН України”, 2010. – 264 с.
7. Лобкова Л. М. Распространение радиоволн над морской поверхностью / Л. М. Лобкова. – М.: Радио и связь, 1991. – 256 с.
8. Карлов В. Д. Точність вимірювання кутових координат аеродинамічних об'єктів в умовах тропосферної рефракції / В. Д. Карлов, О. Л. Кузнецов, В. В. Белоусов, С. А. Тузіков, М. М. Олещук, В. М. Петрушенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2021. – № 1(63). – С. 146-152.
9. Морская радиолокация / Под ред. В.И. Винокурова. – Л.: Судостроение, 1986. – 256 с.
10. Красюк Н. П. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н. П. Красюк, В. Л. Коблов, В. Н. Красюк – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
11. Леушин С. Г. Експериментальні дослідження ненавмисних активних перешкод для причорноморського регіону, джерело яких знаходиться за межею радіогоризонту у дециметровому діапазоні хвиль / С. Г. Леушин, О. В. Бесова, М. М. Олещук // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – №1(67). – 2021. – С. 80–84. <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.67.10>.
12. Карлов В. Д. Свойства морского тропосферного волновода как элемента радиоканала / В. Д. Карлов, В. Л. Мисайлов, Н. Н. Петрушенко // Системи обробки інформації. – Вип. 6(73). – 2008. – С. 54–58.
13. Леушин С. Г. Параметри причорноморських тропосферних радіохвильоводних каналів виявлення безпілотних літальних апаратів / С. Г. Леушин, О. В. Бесова, М. М. Олещук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2021. – №1(42). – С. 99-103. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.42.12>.
14. Коростелев А. А. Пространственно-временная теория радиосистем / А. А. Коростелев – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
15. Чернов Л. А. Распространение волн в среде со случайными неоднородностями / Л. А. Чернов. – М.: Наука, 1975. – 171 с.
16. Архів погоди. Режим доступу: <https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/weat>

herarchive

17. Кутовий О. П. Тенденції розвитку безпілотних літальних апаратів / О. П. Кутовий // Наука і оборона. – 2000. – №4. – С. 39–47.

18. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

Mykola Oleshchuk (Candidate of Technical Sciences)

<https://orcid.org/0009-0002-9233-9679>

Air Force of the Armed Forces of Ukraine, Vinnytsia, Ukraine

THE INFLUENCE OF THE MOVEMENT OF THE COMPONENTS OF THE RADIO LOCATION CHANNEL ON THE PARAMETERS OF THE REFLECTED RADAR SIGNAL IN THE LOCATION OF AIR TARGETS IN THE TROPOSPHERIC RADIO WAVEGUIDE OVER THE SEA

Local meteorological conditions over the water area and in the coastal areas of inland seas and other large bodies of water can lead to large vertical gradients of the air refractive index and, as a result, the appearance of tropospheric radio waveguides, which change the location conditions of air targets. The article analyzes the influence of the components of the radar channel on the parameters of the reflected signal of the radar station when locating aerial targets in the tropospheric radio waveguide over the sea. The properties of the radar channel links were specified and the indicators of the quality of the functioning of the radio engineering system were evaluated. The conducted analysis showed that the reflected signals from air targets moving in multi-beam tropospheric radio waveguides at different speeds along different trajectories fluctuate depending on the parameters of the air target movement, the characteristics of the tropospheric radio waveguide and the parameters of the sounding signals. Typical fluctuations of the reflected signals of air targets in the tropospheric radio waveguide are combined: slow "independent from pulse to pulse" and fast; slow "friendly" and fast; slow "independent from pulse to pulse" and slow "friendly"; slow "independent from pulse to pulse", slow "friendly" and fast. Since the fluctuations of the reflected signals impair the quality indicators of detecting and measuring the coordinates of aerial targets in the tropospheric radio waveguide over the sea, to reduce them, it is necessary to be able to choose the parameters of sounding signals, which depend on the characteristics of the tropospheric radio waveguide and the methods of processing the reflected signals in the radar station. The obtained results can be useful to developers and operators of radars located in coastal areas.

Keywords: radar channel, radar station, air target, tropospheric radio waveguide.

References

1. Gutkin L. S. Sovremennaya radioelektronika i ee problemy / L. S. Gutkin. – M.: Sov. radio, 1968. – 104 s.
2. Radiolokatsionnye harakteristiki letatelnykh apparatov / M. E. Varganov, Yu. S. Zinovev, L. Yu. Astanin i dr. ; pod red. L. T. Tuchkova. – M.: Radio i svyaz, 1985. – 236 s.
3. Rasprostraneniye ultrakorotkiy radiovoln: Per. s angl. / Pod red. B. A. Shillerova. – M: Sov. radio, 1954. – 564s.
4. Kukushkin A. V. Zagorizontnoye rasprostraneniye ultrakorotkiy radiovoln nad morem: Obzor. / Kukushkin A. V., Freyliher V. D., Fuks I. M. // Izvestiya vuzov. Radiofizika, 1987. – T.HHH. – #7. – S.811
5. Kabanov V. A. Struktura koeffitsienta prelomleniya atmosfery i diagnostika usloviy rasprostraneniya UKV nad morem / V. A. Kabanov. – H.: IRE AN USSR, 1996. – 161 s.
6. Zhukov B. V. Diagnostika usloviy rasprostraneniya UKV v troposfere / B. V. Zhukov, V. A. Kabanov, I. M. Myitsenko, V. B. Sinitskii, G. I. Hlopov, S. I. Homenko; Pod red. G. I. Hlopova. – KiYiv: Naukovo-virobniche pIdpriEmstvo "Vidavnitstvo "Naukova dumka" NAN UkraYini", 2010. – 264s.
7. Lobkova L. M. Rasprostraneniye radiovoln nad morskoy poverhnostyu / L. M. Lobkova. – M.: Radio i svyaz, 1991. – 256s.
8. Karlov V. D. Tochnistj vymirjuvannja kutovykh koordynat aerodynamichnykh ob'ektiv v umovakh troposfernoj refrakciji / V. D. Karlov, O. L. Kuznjecov, V. V. Bjelousov, S. A. Tuzikov, M. M. Oleshchuk, V. M. Petrusenko // Systemy upravlinnja, navigacij i ta zvjazku. – 2021. – # 1(63). – S. 146-152.
9. Morskaya radiolokatsiya / Pod red. V.I. Vinokurova. – L.:Sudostroenie, 1986. – 256s.
10. Krasjuk N. P. Vliyanie troposfery i podstilayushey poverhnosti na rabotu RLS / N. P. Krasjuk, V. L. Koblov, V. N. Krasjuk – M.: Radio i svyaz, 1988. – 216 s.
11. Leushyn S. Gh. Eksperymentaljni doslidzhennja nenavmysnykh aktyvnykh pereshkod dlja pryehornomorsjogho reghionu, dzherelo jakykh znakhodytsja za mezheju radioghoryzontu u decymetrovomu diapazoni khvylj / S. Gh. Leushyn, O. V. Bjesova, M. M. Oleshchuk // Zbirnyk naukovykh pracj Kharkivsjogho nacionaljnogho universytetu Povitrijanykh Syl. – #1(67). – 2021. – S. 80-84. <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.67.10>.
12. Karlov V. D. Svojtva morskogho troposfernogho volnovoda kak elementa radyokanala / V. D. Karlov, V. L. Mysajlov, N. N. Petrusenko // Systemy obrobky informaciji. — Vyp. 6(73). – 2008. – S.54-58.
13. Leushyn S. Gh. Parametry pryehornomorsjkykh troposfernykh radiokhvylevodnykh kanaliv vyjavlennja bezpilotnykh litaljnykh apparativ / S. Gh. Leushyn, O. V. Bjesova, M. M. Oleshchuk // Nauka i tekhnika Povitrijanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrajinj. – 2021. – #1(42). – S. 99-103. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.42.12>.
14. Korocylev A. A. Prostranstvenno-vremennaya teoriya radosistem / A. A. Korostylev – M.: Radio i svyaz, 1987. — 320 s/
15. Chernov L. A. Rasprostraneniye voln v srede so sluchaynymi neodnorodnostyami / L. A. Chernov. – M.: Nauka, 1975. – 171 s.
16. Arkhiv pohody. Rezhym dostupu: <https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/weat-herarchive>
17. Kutovyi O. P. Tendentsii rozvytku bezpilotnykh litalnykh apparativ / O. P. Kutovyi // Nauka i obrona. – 2000. – №4. – S. 39-47.
18. Radioelektronnie sistemi: Osnovi postroeniya i teoriya. Spravochnik Izd. 2-e, pererab. i dop. / Pod red. Ya.D. Shirmana. – M.: Radiotekhnika, 2007. – 512 s.