

УДК 621.396.96



С. А. Горєлишев



П. Ю. Волков

ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ПРИХОВАНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ЗОНОЮ ОХОРОНИ ВАЖЛИВИХ ДЕРЖАВНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ЗОВНІШНЬОМУ ПІДСВІЧУВАННІ

Розглянуто геометричні й енергетичні характеристики системи спостереження у бістатичній радіолокації із сигналом радіотелевізійної передавальної станції формату Т2. Необхідну увагу приділено важливій характеристиці об'єкта, якою є бістатична ефективна площа розсіювання. Особливий інтерес під час визначення енергетичних характеристик бістатичної системи становить ефект так званої "просвітної" локації, який проявляється при бістатичних кутах, більших 130° . На прикладі північної межі Харківської області і використання підсвічування телепередавачами Белгородського регіону розрахована зона дії бістатичної ланки системи та показана можливість спостереження об'єктів у зоні її відповідальності. Запропонована для використання існуюча антена типу Channel Master 4228.

Ключові слова: порушник, приховане спостереження, бістатичний кут, ефективна поверхня розсіювання, зона охорони.

Постановка проблеми. У цілому за останні десятиріччя організація охорони важливих державних об'єктів (ВДО) зазнала значних змін. На об'єктах охорони вартові замінені сучасними охоронними комплексами, наприклад, відеокамерами, датчиками руху та іншими сучасними інженерно-технічними засобами. У разі спрацьовування будь-якого датчика у системі охорони об'єкта на це місце висувається тривожна група або чергова зміна та організовує оборону.

Зазначимо, що на висування тривожної групи потрібен певний час, який кожен командир прагне якомога збільшити. Цей час залежить від моменту спрацьовування датчика. Чим далі від об'єкта спрацює датчик, тим більше буде часу у розпорядженні командира – це визначає доцільність винесення межі спрацьовування датчиків якнайдалі від об'єкта [1].

Останнім часом у зв'язку зі здешевленням обчислювальних ресурсів, необхідних для оброблення сигналів, а також мініатюризацією надвисокочастотних приймальних пристроїв спостерігається інтерес до використання радіолокаційних методів у системі спостереження за зоною охорони ВДО.

Використання цих методів дасть змогу виявити й ідентифікувати порушників (транспортні засоби, збройного порушника або групи людей) на великих відстанях. Крім того, використання зовнішніх джерел підсвічування (телебачення, мобільного зв'язку) дозволить створити систему прихованого спостереження за зоною охорони ВДО.

Перехід на використання цифрових методів у передачі телебачення дає можливість очікувати поліпшення характеристик точності визначення положення об'єктів, у тому числі біологічних, під час використання випромінювань радіотелевізійних передавальних станцій (РТПС) формату Т2 для підсвічування об'єктів. Нарешті значний прогрес у використанні для оброблення інформації сучасної мікроелектронної техніки дає змогу сподіватися на позитивні результати в області цифрової фільтрації відбитих сигналів на тлі перешкод різної структури, в тому числі і схожих на корисний сигнал.

Однак для організації прихованого радіолокаційного спостереження за зоною охорони ВДО необхідно провести оцінювання характеристик бістатичної системи

спостереження із сигналом РТПС (дальність, потужність корисного сигналу та ін.). Ця задача є актуальною для побудови технічних засобів напівактивної радіолокації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Про інтенсивність робіт в області бістатичної радіолокації, у тому числі і з сигналами зовнішнього підсвічування, свідчить постійне обговорення цих питань на сторінках фахових видань, наприклад, журнал IET "Radar, Sonar and Navigation" [2] і два номери IEEE "Aerospace and Electronic Systems Magazine" [3, 4], а також у книгах [5–9]. У цих працях розглянуті теоретичні принципи напівактивної радіолокації, основи її застосування і побудови такого роду систем. Однак у більшості публікацій розглянуто зразки напівактивних радіолокаційних станцій (НАРЛС) з аналоговими сигналами підсвічування, а інтерес до систем на основі цифрових стандартів виявляється переважно на теоретичному рівні або на рівні створення експериментальних макетів.

У статті [10] було проведено оцінювання дальності виявлення надводних цілей у системі бістатичної пасивної когерентної локації з використанням різних супутникових сигналів підсвічування. А в статті [11] обґрунтовано структуру побудови системи бістатичної пасивної когерентної локації із сигналом підсвічування глобальної навігаційної супутникової системи та формування пропозицій щодо створення багатопозиційної радіолокаційної системи для моніторингу судноплавства в прибережних районах акваторій.

У дослідженнях [12, 13] описані принципи вибору сигналу підсвічування та схеми побудови НАРЛС, які диктуються насамперед призначенням і їх необхідними характеристиками. Однак усе це застосовано, виходячи з того, що об'єкт, який виявляється, є ціллю, що низько летить, яка використовує рельєф місцевості як своєрідне укриття.

У праці [14] аналізуються результати експериментальних досліджень процесу виділення сигналів рухомій цілі складної форми методом фонові локації та енергетичні співвідношення і їх фізичне трактування. Показано, що для вирішення завдання виявлення фонові локації може бути використаний пристрій виявлення на основі технологій "Track-Before-Detect" (TBD).

Останнім часом велика увага приділяється питанням виявлення людей, у тому числі за листяним покривом (непрозорими перешкодами) у

зв'язку зі збільшенням терористичної загрози. У публікаціях [15, 16, 17] розглянуто задачі й можливості виявлення об'єктів, у тому числі і біологічних, характеристики основних засобів, переваги використання бістатичних РЛС у разі прямого розсіювання. Однак у цих джерелах оцінювання характеристик бістатичної системи спостереження з сигналом РТПС для виявлення наземних малопомітних об'єктів також не проводилося.

Таким чином, аналіз джерел, що наведені вище, виявив необхідність теоретичних досліджень геометричних та енергетичних характеристик системи прихованого спостереження на базі бістатичної радіолокації при зовнішньому підсвічуванні сигналами цифрового телебачення Т2 для охорони ВДО.

Мета статті – провести оцінювання характеристик системи прихованого спостереження за зоною важливих державних об'єктів при застосуванні зовнішнього підсвічування випромінюваннями радіотелевізійних передавальних станцій стандарту Т2.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1) визначити енергетичні характеристики системи спостереження у бістатичній радіолокації із сигналом радіотелевізійної передавальної станції;

2) розрахувати геометричні характеристики системи прихованого спостереження у бістатичній радіолокації.

Виклад основного матеріалу. Проведені раніше дослідження [9, 12, 18] виявили, що використання передавачів цифрового телебачення стандарту Т2 для створення прихованої бістатичної системи спостереження цілком можливе. Широка мережа РТПС дає змогу вибрати з них необхідні для створення зони попередження щодо вторгнення на територію об'єкта, що охороняється.

Разом з тим відома класична формула радіолокації вимагає уточнення у межах зміни значення бістатичного кута залежно від можливого розташування об'єкта в геометричному полі системи. Залежно від типу джерела випромінювання геометрія системи істотно розрізняється.

Енергетичні характеристики системи спостереження у бістатичній радіолокації. У ході дослідження отримано оцінку співвідношення рівнів сигналу прямого поширення і сигналу, розсіяного об'єктом.

Відповідно до узагальнених рівнянь лінії зв'язку з втратами [19] потужність сигналу прямого поширення, що випромінюється передавачем і приймається приймачем, буде визначатися виразом

$$P_{\text{прм}} = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 K_{\text{ат}} K_{\text{пол}} K_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

де $K_{\text{ат}} = 2$ дБ – коефіцієнт загасання в атмосфері; $K_{\text{пол}} = 1$ дБ – коефіцієнт загасання, пов'язаний з поляризаційними втратами; $K_{\text{пр}} = 4$ дБ – інші втрати; $P_{\text{прд}}$ – потужність випромінювання передавача Т2; $G_{\text{прд}}$ – коефіцієнт посилення передавальної антени; $G_{\text{прм}}$ – коефіцієнт посилення приймальної антени; R – дальність радіолінії “передавач-приймач”; λ – довжина хвилі телевізійного сигналу.

Для поширеної радіолінії за характеристик передавача Т2 $P_{\text{прд}} = 1$ кВт (30 дБ/Вт), $G_{\text{прд}} = 10$ дБ, довжини хвилі $\lambda = 40$ см (частота цифрового пакета 746 МГц) та характеристик приймача $G_{\text{прм}} = 3$ дБ на дальності $R = 40$ км потужність прямого сигналу на вході приймача становитиме $P_{\text{прм}} = -86$ дБ/Вт.

Для корисного сигналу, прийнятого приймачем, потужність $P_{\text{прм-ц}}$ визначатиметься з урахуванням ефективної площі розсіювання (ЕПР) об'єкта виразом

$$P_{\text{прм-ц}} = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2}{(4\pi)^3 R_{\text{прд-ц}}^2 R_{\text{ц-пр}}^2 K_{\text{ат}} K_{\text{пол}} K_{\text{пр}}} \sigma_{\text{ц}}, \quad (2)$$

де $R_{\text{прд-ц}}$ – дальність радіолінії “передавач-об'єкт”; $R_{\text{ц-пр}}$ – дальність радіолінії “об'єкт-приймач”; $\sigma_{\text{ц}}$ – ЕПР об'єкта.

За таких самих вихідних параметрів передавача, приймача та ЕПР об'єкта (середнє ЕПР людини) $\sigma_{\text{ц}} = 0,5 \dots 1$ м² [4, 20] потужність корисного сигналу одержимо $P_{\text{прм-ц}} = -136,9$ дБ/Вт. Такий рівень сигналу може бути отриманий у межах усїєї зони підсвічування, без урахування зростання ЕПР об'єкта в бістатичній області. Крім того, під час розрахунку враховують, що для максимального кута відхилення об'єкта від лінії “передавач-приймач” у 30° і віддалення об'єкта від приймача на 1 км віддалення від передавача становитиме 39,14 км.

Зазначимо, що порівняння потужності прямого та відбитого сигналів визначає вимоги до динамічного діапазону приймача – не менше 51 дБ, тобто сигнали один від одного відрізняються більше ніж у 120 000 разів.

Переведення у чутливість приймача дає $1,1 \cdot 10^{-14}$ Вт, але це гранична чутливість.

Для забезпечення заданої достовірності правильного виявлення у 13 дБ необхідно отримати чутливість приймача у $5,5 \cdot 10^{-16}$ Вт, що реалізується на нинішньому рівні техніки без особливих труднощів, наприклад, у праці [13].

Ефективна площа розсіювання об'єкта $\sigma_{\text{ц}}$, що входить у формулу (2), є найважливішою характеристикою виявлення об'єкта. Для однопозиційної станції ЕПР відображає здатність об'єкта розсіювати електромагнітну енергію у напрямку, протилежному напрямку опромінення. Для бістатичної радіолокаційної системи під час опису відбиваючої здатності об'єкта необхідно враховувати можливі різні напрямки від об'єкта на передавальну (РТПС стандарту Т2) і на приймальну (наземний приймач) позиції. Такою характеристикою є бістатична ЕПР об'єкта $\sigma_{\text{ц}}$, значення якої залежить від величини бістатичного кута β [21].

Особливий інтерес під час визначення енергетичних характеристик бістатичної системи становить ефект так званої “просвітної” локації, що проявляється при бістатичних кутах $\beta \geq 130^\circ$ та характерний для такої постановки задачі.

Відповідно до теорії електромагнітного поля у разі появи на шляху поширення електромагнітної хвилі абсолютно чорного тіла великих порівняно з довжиною хвилі розмірів ($l \gg \lambda$) позаду тіла з'явиться “тіньове” поле розсіювання [21]. Поляризації тіньового поля і первинної хвилі збігаються.

“Тіньове” поле зосереджено у вузькому тілесному куті поблизу бістатичного кута $\beta = 180^\circ$ [22], так що його за американською термінологією можна називати полем “розсіювання уперед”, а реальний об'єкт – абсолютно чорним тілом, яке створює тільки тіньове поле розсіювання [23, 24].

Звідси впливає, що у наближенні фізичної оптики тіньове поле об'єкта не залежить від форми об'єкта і повністю визначається його тіньовим контуром. Крім того, на тіньове поле не впливає і матеріал поверхні об'єкта, який суттєво послаблює власне поле розсіювання. Це дуже важливо для завдання виявлення малопомітних цілей, якими і є порушники (біологічні об'єкти).

Згідно з проведеними дослідженнями [21] бістатична ЕПР для віддаленої точки приймання при бістатичних кутах $\beta = 130^\circ \dots 180^\circ$ визначається виразом

$$\sigma_{\text{ц}}(r) = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \int_{S_1} \exp \left[j \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \rho r \right] dS \right|^2, \quad (3)$$

де S_i – еквівалентна плоска синфазна апертура, перпендикулярна напрямку поширення падаючої хвилі, й обмежена проекцією на цю площину тінювого контуру об'єкта; ρ – радіус-вектор довільної точки апертури S_i ; r – орт у напрямку на приймальну позицію.

З формули (3) видно, що в граничному випадку, коли бістатичний кут $\beta = 180^\circ$ та r перпендикулярні ρ , ЕПР досягає максимуму і визначається виразом [21, 25]

$$\sigma_{ii}(180^\circ) = 4\pi \left(\frac{S_i}{\lambda} \right)^2. \quad (4)$$

Різде збільшення бістатичних ЕПР цілей σ_{ii} дасть змогу знизити енергетичний потенціал РЛС. Це підтверджують результати розрахунку ЕПР засобу доставки порушників (металевий об'єкт с площею контуру $S_i \approx 70 \text{ м}^2$) за значень бістатичного кута β від 150° до 210° методом інтегральних рівнянь (див. рис. 1).

Аналіз рисунку 1 виявив, що різке зростання значення бістатичних ЕПР (на 2 і більше порядків) відбувається у вузькому діапазоні кутів $\beta = 180^\circ \pm 3^\circ$, коли ракурс опромінення наближається до просвітнього і зростає площа тінювого контуру. При цьому в просторі бістатичних кутів маємо досить велику область ($150^\circ \dots 180^\circ$), де значення ЕПР перевищує площа об'єкта в два і більше разів (рис. 1). Саме ця область і буде становити інтерес для побудови системи прихованого спостереження.

Однак під час роботи РЛС у метровому та дециметровому діапазонах (частоти сигналів РПТС) багато об'єктів зондування (транспортні засоби, порушники та інші) мають уже резонансні розміри, тобто порівняні з довжиною

хвилі ($l \approx \lambda$). У цьому випадку необхідно провести уточнення значення бістатичної ЕПР об'єктів зондування як металевих, так і діелектричних за різних величин бістатичного кута.

Геометричні характеристики системи спостереження у бістатичній радіолокації. Наступною важливою характеристикою бістатичної РЛС, безпосередньо пов'язаною з потужністю сигналу, розсіяного об'єктом, є зона дії бістатичної ланки, під якою будемо розуміти область простору, в якому повинен перебувати об'єкт, щоб потужність корисного сигналу на вході приймача була не гіршою за граничний рівень. Визначимо цю зону з геометрії системи, при цьому обмежимо діапазон бістатичних кутів $\pm 30^\circ$ від “просвітнього” ракурсу ($\beta = 150^\circ - 210^\circ$).

Геометрія виявлення об'єкта “Ц” приймачем у точці “А”, який підсвічується сигналом РПТС “Т”, зображена на рис. 2. Надалі висотами фазового центру приймальної антени й об'єкта нехтуємо, оскільки вони на два порядки менші за висоту передавальної антени “Н”.

Завдання полягає у визначенні бістатичного кута β за різних азимутів й відстаней об'єкта від приймальної позиції. Невідомий бістатичний кут знайдемо з трикутника АЦТ за теоремою косинусів щодо сторін R , D_H і R_T (R – змінна, D_H – постійна для конкретного варіанта розрахунку). Кожен новий розрахунок проводиться під час зміни відстані R і фіксованого азимута α_3 . Зазначимо, що за $\alpha_3 = 0$ об'єкт знаходиться у площині прямого променя. Невідому величину R_T дістанемо з прямокутного трикутника ЦТО за сторонами H і R_H , а R_H (проекція R_T на площину Землі) – з трикутника АЦО за теоремою косинусів і даними D і R .

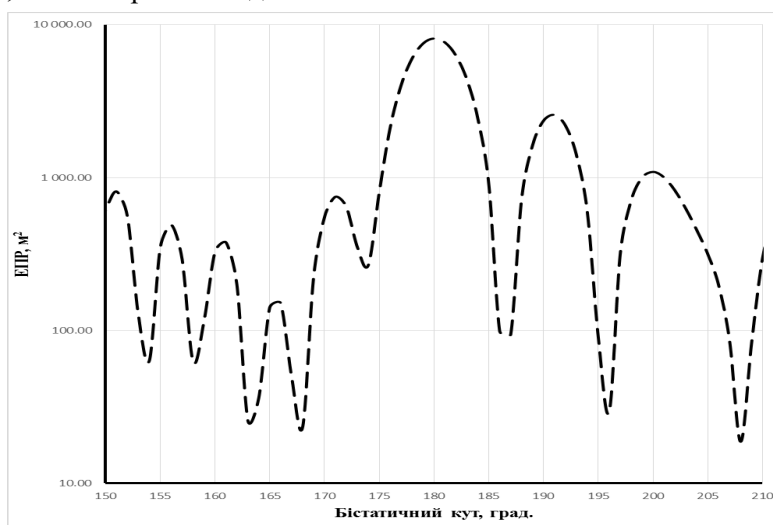


Рисунок 1 – Залежність ЕПР металевого об'єкта від бістатичного кута

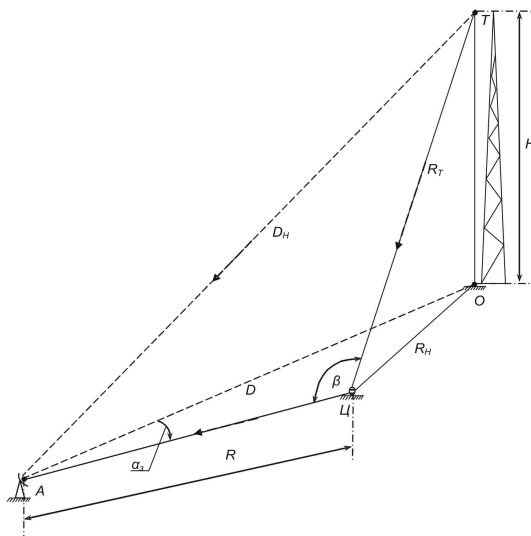


Рисунок 2 – Геометрія бістатичної локації цілі:

A – приймальна антена; T – передавальна антена Т2; $Ц$ – об'єкт локації;

R – наземна дальність від приймальної антени до об'єкта; R_H – наземна дальність від об'єкта до передавальної антени; R_T – похила дальність від об'єкта до передавальної антени; D – наземна дальність від приймальної антени до передавальної антени; D_H – похила дальність від приймальної антени до передавальної антени; H – висота передавальної антени; α_3 – азимут об'єкта, відрахований від лінії антен; β – бістатичний кут

З тригонометричних відношень виразів (5)–(7) отримуємо вираз (8) для розрахунку бістатичного кута:

$$R_H^2 = D^2 + R^2 - 2DR \cos \alpha_3, \quad (5)$$

$$R_T^2 = R_H^2 + H^2,$$

$$D_H^2 = R_T^2 + R^2 - 2RR_T \cos \beta, \quad (6)$$

$$R_T^2 = H^2 + D^2 + R^2 - 2DR \cos \alpha_3, \quad (7)$$

$$\beta = \arccos \frac{R - D \cos \alpha_3}{R_T}. \quad (8)$$

Для розрахунків розроблено алгоритм, схема якого зображена на рис. 3. Для подальшого визначення зони дії бістатичної ланки обрана північна межа Харківської області.

Розташування передавачів Т2 Белгородського регіону подано на рис. 4. За передавач візьмемо РПТС Белгорода. Відстань Харків – Белгород становить близько 40 км, а висота антени відповідно 221 м [26].

За цих умов результати розрахунку зовнішнього контуру зони дії бістатичної ланки подані в полярних координатах на рис. 5.

У межах цієї зони розташування об'єкта не приводить до зменшення величини бістатичного кута менше ніж 150° .

Аналіз результатів проведених досліджень та розрахунків виявив, що:

- під час використання підсвічування сучасним сигналом телевізійної станції формується досить велика робоча зона, величину якої необхідно буде скоротити на етапі вторинного оброблення прийнятої інформації;

- повний кут спостереження становить близько 60° , що відповідним чином впливає на організацію огляду простору;

- залежно від енергетичного потенціалу бістатичної системи необхідно організувати скоординований огляд доступного кута спостереження: послідовний, паралельний, змішаний;

- для змішаного принципу огляду простору необхідне формування як мінімум 10 парціальних діаграм спрямованості приймальної антени із шириною кожної 8° для виключення напрямків, що не проглядаються;

- для забезпечення контролю усієї передньої півсфери потрібно мати три такі станції з перенацілюванням бісектриси кута на відповідну передавальну станцію.

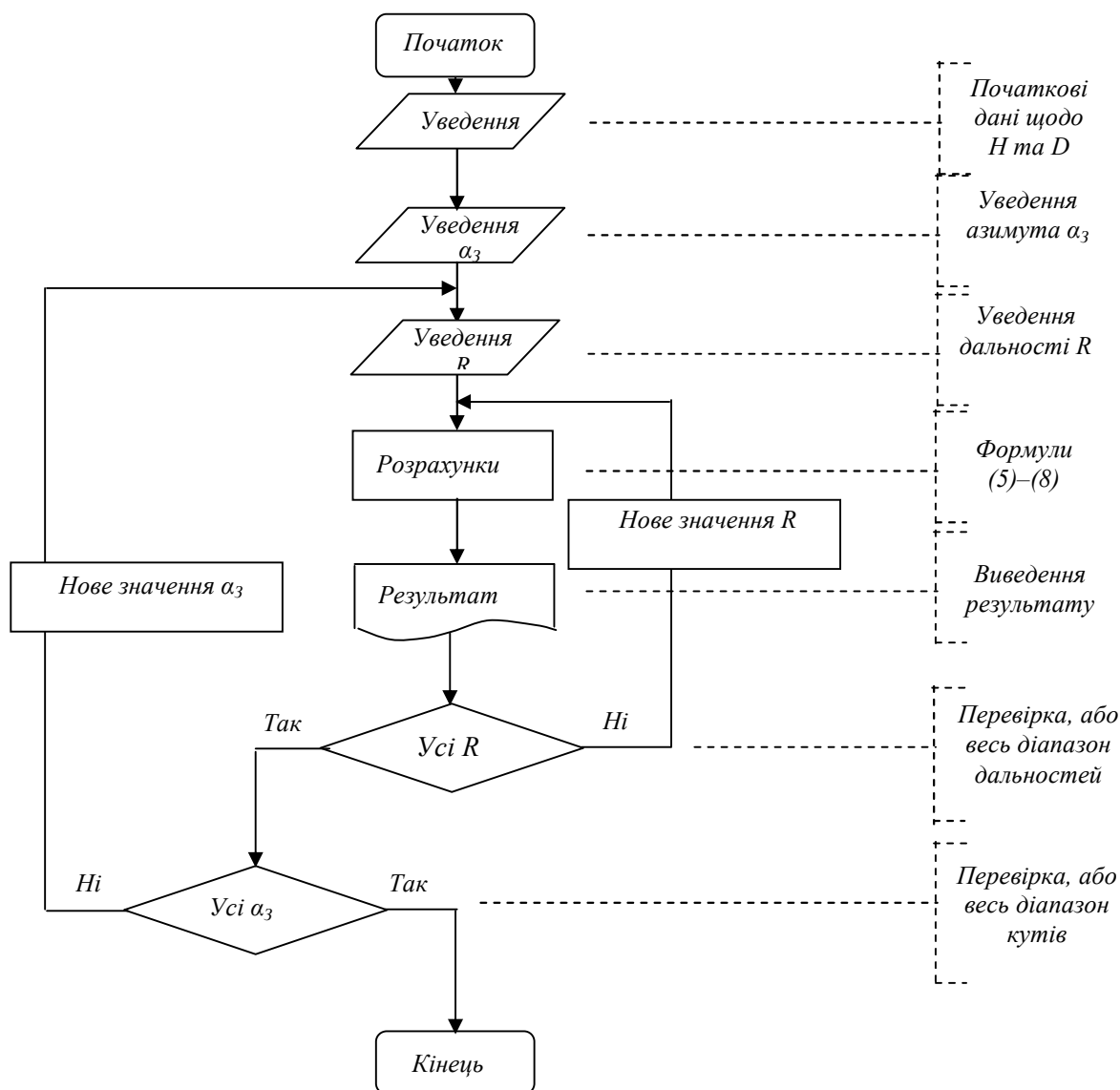


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму



Рисунок 4 – Напрямки зв'язку з телецентрами Белгородської області

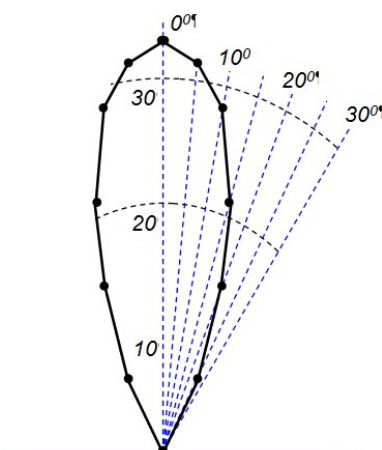


Рисунок 5 – Зовнішній контур зони підсвічування (0° – напрямок на Белгород)

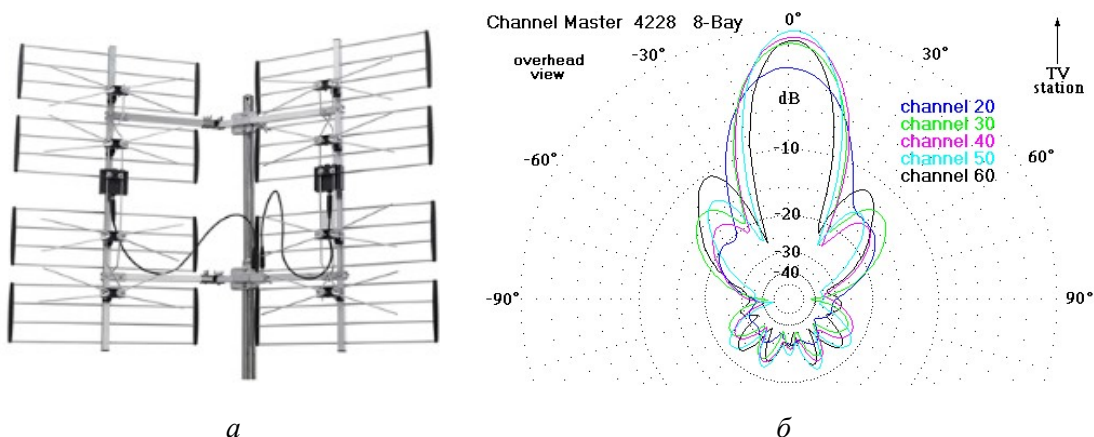


Рисунок 6 – Антена Channel Master 4228 (а – зовнішній вигляд антени, б – діаграма спрямованості антени за різних частот трансляції)

Після аналізу рис. 5 та енергетики передавачів T2 як приймальну антену можна запропонувати для використання, наприклад, вже існуючу антену типу Channel Master 4228. Зовнішній вигляд антени зображено на рис. 6, а, а її діаграму спрямованості, яка буде незначно змінюватися залежно від частоти трансляції, подано на рис. 6, б [27].

Одна така антена здатна приймати сигнали в секторі приблизно 60°, що забезпечить контроль території розміром 1,5...5 км залежно від величини бази.

Висновки

Таким чином, проведені дослідження підтвердили можливість ухвалення обґрунтованого рішення щодо доцільності

використання сигналів РПТС стандарту T2 для виявлення порушників зони охорони ВДО на тлі природних перешкод.

1. У ході досліджень отримані енергетичні характеристики системи спостереження у бістатичній радіолокації із сигналом РПТС стандарту T2. На підставі оцінки потужності прямого та відбитого сигналів, які на вході приймача залежать від цілої низки факторів, визначено вимоги до динамічного діапазону приймача – не менше 51 дБ. Для забезпечення заданої достовірності правильного виявлення у 13 дБ отримано чутливість приймача приблизно $5,5 \cdot 10^{-16}$ Вт.

Необхідна увага приділена важливій характеристиці об'єкта, якою є бістатична ЕПР. Її значення залежить від багатьох факторів – як параметрів системи бістатичної локації, так і

самої цілі. Особливий інтерес під час визначення енергетичних характеристик бістатичної системи становить ефект так званої “просвітної” локації, який проявляється при бістатичних кутах, більших 130° , що характерно для такого випадку. За рахунок “просвітного” ефекту між передавачем і приймачем бістатичної системи формується область з виключно високим енергетичним потенціалом – радіолокаційний бар'єр, що дає змогу надійно виявляти малопомітні цілі.

2. Для запропонованої системи прихованого спостереження за зоною охорони ВДО отримана зона дії бістатичної ланки, яка безпосередньо пов'язана з потужністю сигналу, що розсіяна об'єктом. Повний кут спостереження становить близько 60° , що відповідним чином впливає на організацію огляду простору. Для забезпечення контролю усієї передньої півсфери потрібно мати три такі станції з перенацілюванням бісектриси кута на відповідну передавальну станцію. Запропоновано як приймальну антену вже існуючу антену типу Channel Master 4228.

У подальших дослідженнях особливу увагу слід приділити уточненню поведінки бістатичної ЕПП об'єктів резонансних розмірів, а також визначенню характеристик бістатичної системи прихованого спостереження у плані компенсації впливу земної поверхні.

Перелік джерел посилання

1. Горєлишев С. А., Волков П. Ю. Шляхи вдосконалення системи охорони важливих державних об'єктів. *Честь і закон*. Харків : НА НГУ, 2021. № 1. С. 40–45.
2. IEE Radar, Sonar and Navigation. 2005. № 3.
3. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2012. № 10.
4. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2012. № 11.
5. Advances in Bistatic Radar / Ed. by N. J. Willis, H. D. Griffiths. Raleigh : SciTech Publishing, 2007.
6. Griffiths H., Baker C. Passive Bistatic Radar. *Principles of Modern Radar*. Vol. 3: Radar Applications / Ed. by W. L. Melvin, J. A. Scheer. Edison: SciTech Publishing, 2014. P. 499–541.
7. Bistatic Radar: Principles and Practice / Ed. by M. Cherniakov. Chichester : John Willey&Sons, 2007.

8. Bistatic Radar: Emerging Technology / Ed. by M. Cherniakov. Chichester : John Willey&Sons, 2008.

9. Пассивная когерентная радиолокация / А. В. Бархатов и др. Санкт-Петербург : СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2016. 163 с.

10. Нгуєн Ван Куан, Маркелова М. А., Веремьев В. И. Анализ возможности использования спутниковых сигналов подсвета для пассивной радиолокационной системы. *Вестник новгородского государственного университета. Технические науки*. 2019. № 4 (116). С. 86–91. DOI: <https://doi.org/10.34680/2076-8052.2019.4>.

11. Нгуєн Ван Куан. Пассивная радиолокационная система мониторинга движения судов в прибрежных районах с использованием спутниковых сигналов подсвета. *Известия вузов России. Радиоэлектроника*. 2020. № 3. С. 41–52. DOI: <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2020-23-3-41-52>.

12. Радиолокация по сигналам сторонних источников. Ч. 1. Современное состояние / А. В. Бархатов и др. *Инновации*. 2013. № 9 (179). С. 114–119.

13. Бархатов А. В., Веремьев В. И., Головков А. А. Полуактивная радиолокация в системе мониторинга обстановки и охраны важных объектов. *Известия вузов России. Радиоэлектроника*. 2015. № 4. С. 71–77.

14. Экспериментальные исследования выделения сигналов движущейся цели методом фоновой радиолокации / В. Е. Туров и др. *Вестник СибГУТИ*. 2016. № 3. С. 164–175.

15. Through-Wall Sensing (TWS) Technologies for Dismounted Infantry, DARPA SBIR 2004.1 – Topic SB041-022.

16. TNO offers through-the-wall radar for special operations, Jane's international defense review. 2004. № 8. P. 19.

17. Кондратенко О. П. Використання методів біорадіолокації для спостереження за біологічними об'єктами. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2018. Вип. 1 (31). С. 19–26.

18. Comparison of the parameters of signals with external illumination for supervision of the area for the protection of important state objects / S. Horielyshev et al. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2021. № 1(32). P. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001607>.

19. Уравнение радиосвязи. URL: <https://intellect.ml/uravnenie-radiosvyazi-373> (дата обращения: 21.03.2021).

20. Вторичные отражения от объектов и фона. URL: <https://special-for-diana.narod.ru/13.htm> (дата обращения: 18.03.2021).

21. Черняк В. С. Многопозиционная локация. Москва : Радио и связь, 1993. 416 с.

22. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. Москва : Радиотехника, 2004. 320 с.

23. Кирюшкин В. В., Черепанов Д. А. Бистатическая локация воздушных целей сигналами спутниковых радионавигационных систем. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bistaticheskaya-lokatsiya-vozdushnyh-tseley-signalamisputnikovyh-radionavigatsionnyh-sistem.pdf> (дата обращения: 02.02.2021).

24. Мольков А. В. Характеристики обнаружения цели при радиолокации “на просвет”. *Методы и устройства передачи и обработки информации*. 2009. Вып. 11. С. 280–283.

25. Быстров Р. П., Кузнецов Е. В., Соколов А. В., Чесноков Ю. С. Методы современной радиолокации и обработки сигналов. *Успехи современной радиоэлектроники*. 2005. № 9. С. 11–26.

26. Районы и пункты установки РТПС. URL: <https://dvpbro.ru/wp-content/uploads/2012/04/stroit.jpg> (дата обращения: 19.01.2020).

27. Channel Master 4228 8 Bay TV Antenna. URL: <https://ebay.com/p/Channel-Master-4228-8-Bay-TV-Antenna/1180135237> (дата звернення: 19.02.2020).

Стаття надійшла до редакції 20.04.2021 р.

УДК 621.396.96

С. А. Горелишев, П. Ю. Волков

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ СКРЫТОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗОНОЙ ОХРАНЫ ВАЖНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВНЕШНЕМ ПОДСВЕЧИВАНИИ

Рассмотрены геометрические и энергетические характеристики системы наблюдения в бистатической радиолокации с сигналом радиотелевизионной передающей станции стандарта T2. Необходимое внимание уделено важной характеристике объекта, которой является бистатическая ЭПР. Особый интерес при определении энергетических характеристик бистатической системы представляет эффект так называемой “просветной” локации, который проявляется при бистатических углах, больших 130° . На примере северной границы Харьковской области и использования подсвечивания телепередатчиками Белгородского региона рассчитана зона действия бистатического звена системы и показана возможность наблюдения объектов в зоне ответственности. Предложена для использования существующая антенна типа Channel Master 4228.

Ключевые слова: нарушитель, скрытое наблюдение, бистатический угол, эффективная поверхность рассеивания, зона охраны.

UDC 621.396.96

S. Horielyshev, P. Volkov

EVALUATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE COVERT SURVEILLANCE SYSTEMS FOR THE PROTECTION ZONE OF IMPORTANT STATE OBJECTS UNDER EXTERNAL LIGHTING

The article discusses the geometric and energy characteristics of the surveillance system in bistatic radar with a signal from a radio-television transmitting station of the T2 standard. Based on the estimated power

of the reflected signal, which at the input of the receiver depends on a number of factors and, first of all, on the reflecting properties of the object, in accordance with the generalized equation of the communication line with losses, the dynamic range and the limiting sensitivity of the receiving device were calculated.

The necessary attention is paid to an important characteristic of the object, which is the bistatic RCS. Its value depends on many factors, such as the parameters of the bistatic location system, and the target itself. Of particular interest in determining the energy characteristics of a bistatic system is the effect of the so-called "translucent" location, which manifests itself at bistatic angles large 130° .

Using the example of the northern border of the Kharkiv region and the use of illumination by TV transmitters of the Belgorod region, the coverage area of the bistatic link of the system is calculated and the possibility of observing objects in the area of responsibility is shown. For this, a computational algorithm has been developed and implemented.

The total viewing angle is approximately 60° , which accordingly influences the organization of the area of responsibility. To ensure control of the entire front hemisphere, it is necessary to have at least three radars with antennas that have the ability to re-target the angle bisector to the corresponding station T2. An existing antenna of the Channel Master 4228 type is proposed for use.

Directions for further research. Particular attention should be paid to clarifying the behavior of the bistatic effective scattering surface of objects of resonant dimensions, as well as determining the characteristics of the bistatic covert surveillance system in terms of compensation for the influence of the earth's surface.

Keywords: intruder, covert surveillance, bistatic angle, radar cross-section (RCS), protection zone.

Горслишев Станіслав Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри тактики Національної академії Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0003-1689-0901>

Волков Павло Юрійович – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0003-1238-9730>