

УДК 621.396.96



С. А. Горєлишев



П. Ю. Волков



О. А. Олещенко

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ БІСТАТИЧНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРИХОВАНОВОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ЗОНОЮ ОХОРОНИ ВАЖЛИВИХ ДЕРЖАВНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Розглянуто питання побудови бістатичних систем радіолокації, які запропоновано використовувати у Національній гвардії України для виконання завдань щодо охорони важливих державних об'єктів. Особливості побудови такої системи пов'язані із відсутністю в її складі власного передавача та з використанням ефекту «просвітної» локації. Запропоновано загальну конфігурацію бістатичних систем радіолокації когерентного типу та розглянуто основні проблеми оброблення сигналів. Центральною проблемою побудови такої бістатичної системи радіолокації є дія прямого сигналу джерела випромінювання, який проникає у приймальний тракт по бічних пелюстках її антени і заважає. Проаналізовано залежність відношення потужності корисного сигналу до проникаючого сигналу на вході приймача від місцезонашування цілі та розглянуто шляхи придушення прямого сигналу. Для поліпшення придушення такого сигналу запропонований адаптивний компенсатор у складі приймача.*

**Ключові слова:** бістатична радіолокація, передавач T2, проникаючий сигнал, відношення потужності сигналів, адаптивний компенсатор, «просвітна» локація.

**Постановка проблеми.** У процесі побудови бістатичної радіолокаційної системи (БРЛС) прихованого спостереження зони охорони важливих державних об'єктів (ВДО) необхідно врахувати безліч факторів: можливість виділення смуги відчуження, топографію об'єкта і рельєф місцевості, види рослинності, дальність виявлення порушників, їх тактику дій, сусідство залізничних шляхів і автомобільних магістралей, кабельних ліній, шляхів міграції тварин і ґрунтово-геологічні умови тощо. Крім того, особливості виконання службово-бойових завдань підрозділами Національної гвардії України (НГУ) також впливають на конфігурацію та технічну реалізацію цієї системи – ефект так званої «просвітної» локації [1, 2].

Особливості побудови системи прихованого спостереження пов'язані із відсутністю у її складі власного передавача. Це приводить до зменшення вартості системи спостереження, її габаритів і підвищення мобільності, відсутності необхідності виділення частотного діапазону, шкідливого впливу на людей і створення завад для інших засобів. Унаслідок наявності великої кількості зовнішніх джерел підсвічування можливе створення зони спостереження довільних розміру і форми та забезпечення практично повної

прихованості [3]. У зв'язку із необхідністю вимірювання положення цілі і її швидкості на одній приймальній позиції використовується когерентний принцип побудови РЛС.

Основним недоліком є відсутність можливості управління роботою передавача (місце розташування, тип сигналу, режим роботи). Крім того, необхідно виявляти малорозмірні наземні об'єкти, в тому числі й біологічні, в умовах інтенсивних завад, до яких належать прямий сигнал передавача підсвічування та його копії, що потрапляють в антену приймача під час відбиття від місцевих предметів і підстилаючої поверхні.

Усе це викликає труднощі під час проектування БРЛС прихованого спостереження та потребує вирішення складних технічних завдань. Таким чином, дослідження, що спрямовані на виявлення та врахування особливості побудови БРЛС прихованого спостереження, є актуальним науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням придушення прямого сигналу в напівактивних радіолокаторах із зовнішнім джерелом підсвічування цілей у сучасній літературі приділено достатньо уваги. Це можуть бути такі методи, як застосування електродинамічного екранування, просторової

когерентної автокомпенсації, демодуляції зі спектральною режекцією і частотно-часовою селекцією під час кореляційного оброблення.

У відомих публікаціях [4, 5, 6] розглянуто ефективність оброблення в адаптивних антенах, вплив неідентичності частотних характеристик каналів приймання, які описуються відомими функціями або обумовлені наявністю запізнювання радіохвиль через рознесення фазових центрів антен. Однак у цих публікаціях як цілі виявлення розглядаються повітряні або низьколітаючі повітряні цілі. Вплив неідентичності каналів досліджено у низці дисертаційних робіт, наприклад [7].

У праці [8] проаналізовано у загальному випадку побудови РЛС вплив на граничний коефіцієнт придушення завад неідентичних частотних характеристик каналів приймання радіохвиль автокомпенсатора, які обумовлені наявністю відбиття від підстилаючої поверхні дисперсійними властивостями трактів тощо.

Пропонований у публікації [9] метод зниження завадових компонентів унаслідок геометричного рознесення антен двох каналів приймання не завжди може застосовуватися на практиці. Він передбачає в інтересах електродинамічного екранування сигналу підсвічування, прийнятого по бічних пелюстках (БП) діаграми спрямованості, приймальну позицію розташовувати від передавача на відстані, більшій за дальність радіогоризонту. Під час побудови БРЛС прихованого спостереження ВДО усі передавачі зовнішнього підсвічування, навпаки, знаходяться у зоні прямої видимості.

На аналіз особливостей формування завад від підстилаючої поверхні у разі виявлення низьколітаючих цілей та можливість зниження їх впливу на виявлення цілі зверталась увага у праці [10]. Розглядалася двопозиційна радіолокаційна станція під час повітряного базування передавача.

У публікаціях [11, 12] зазначається, що центральною проблемою побудови бістатичних систем є дія прямого сигналу джерела випромінювання, проникаючого в приймальний тракт напівактивної системи радіолокації по БП її антени, що заважає. У праці [11] наведені результати оцінки співвідношення проникаючого та корисного сигналів у зоні підсвічування GSM-станції. У праці [12] розглядається варіант побудови квазібістатичної системи, тобто системи, де відстань між передавачем та приймачем значно менша за

відстань до цілі, що не відповідає конфігурації БРЛС прихованого спостереження ВДО.

Таким чином, аналіз джерел, наведених вище, виявив необхідність теоретичних досліджень щодо шляхів компенсації впливу завад різного виду під час побудови бістатичних напівактивних систем радіолокації, які запропоновано використовувати в НГУ для виконання завдань щодо охорони ВДО.

**Мета статті** – розглянути особливості побудови системи прихованого спостереження за зоною важливих державних об'єктів під час застосування зовнішнього підсвічування випромінюванням радіотелевізійних передавальних станцій стандарту T2 в умовах складної завадової обстановки.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1) визначити загальну конфігурацію і проблеми оброблення сигналів у бістатичній напівактивній системі радіолокації;

2) оцінити відношення потужності корисного сигналу до проникаючого сигналу на вході приймача у «просвітній» напівактивній системі радіолокації та розглянути шляхи придушення цього сигналу.

**Виклад основного матеріалу.** *Загальна конфігурація і проблеми оброблення сигналів у бістатичній напівактивній системі локації.* У ході практичної реалізації БРЛС прихованого спостереження виникає низка специфічних проблем:

- вибір типу сигналу підсвічування;
- вибір схеми побудови приймача і визначення етапів оброблення;
- вибір алгоритмів оброблення сигналів на кожному етапі;
- придушення прямого сигналу у цільовому каналі;
- визначення технічних вимог до пристроїв цієї системи;
- вибір місця розташування приймача.

У дослідженнях [1, 3, 13] зазначено, що для прихованого спостереження за зоною охорони ВДО, які охороняються НГУ, використання передавачів цифрового телебачення стандарту T2 як джерела зовнішнього підсвічування цілком можливе.

У зв'язку з цим розглянемо у загальному вигляді структуру БРЛС прихованого спостереження, яку запропоновано використовувати в НГУ для виконання завдань щодо охорони ВДО, та особливості її побудови. Структура такої системи наведена на рис. 1.

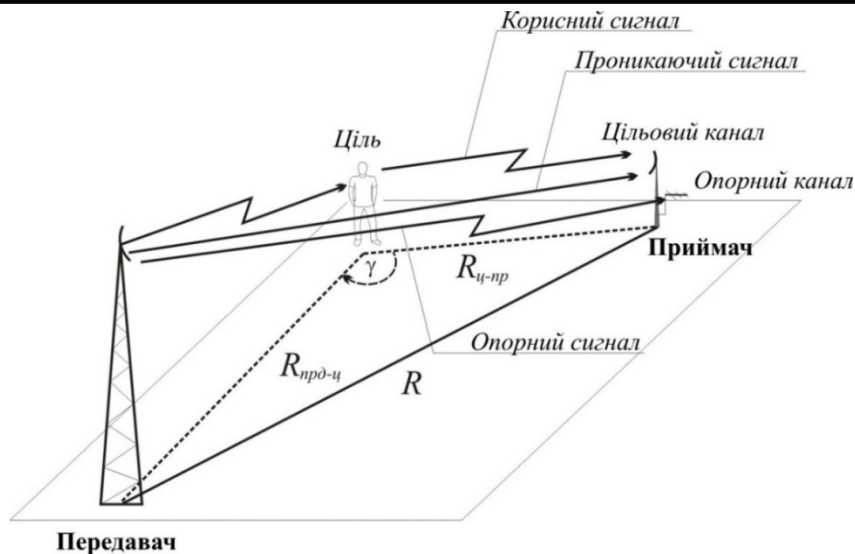


Рисунок 1 – Загальна конфігурація бістатичної системи локації

Пропонована БРЛС прихованого спостереження є системою когерентного типу. Вона містить передавач зовнішнього підсвічування і приймач, які рознесені на деяку відстань  $R$  (база). Її особливістю є використання ефекту «просвітної» локації – ціль виявлення практично завжди знаходиться між передавачем та приймачем. Приймач радіолокатора у загальному випадку складається із двох каналів: цільового, який використовується для отримання відбитого сигналу від цілі, і опорного – для синхронізації із передавачем. Опорний сигнал приймається від передавача окремою антеною або окремим променем фазової антенної решітки. Для БРЛС прихованого спостереження за зоною охорони ВДО як приймальна антена може бути використана антена площею від  $10 \text{ м}^2$  до  $20 \text{ м}^2$  з механічним скануванням від 0,1 до 0,5 оборотів за секунду [14]. Опорна антена має вузький промінь, який спрямований на передавач цифрового телебачення Т2.

Випромінюваний передавачем квазінеперервний сигнал цифрового телебачення Т2 забезпечує високу чутливість, а його велика тривалість і малий пік-фактор – високий енергетичний потенціал бістатичної системи [3]. Теорія і досвід застосування локаторів у квазінеперервному режимі поряд із перевагами виявили низку проблем, які обмежують дальність дії, а також утруднюють

виявлення цілей і знижують точність оцінки їх параметрів. Однією з таких проблем є недостатня потужність випромінювання джерел підсвічування, що знижує дальність виявлення. Для підвищення дальності виявлення проводиться накопичення сигналу, відбитого від об'єкта, однак збільшення часу накопичення призводить до значного збільшення обчислювальної складності.

Крім того, висота об'єкта виявлення (особливо порушника) мала, і без прийняття спеціальних заходів за рівня завади від 60 дБ до 90 дБ над сигналом від цілі отримати необхідне відношення сигнал/шум важко. На рисунку 2 наведено залежність дальності виявлення (прямої видимості) цілей різної висоти для п'яти стандартних висот підвісу антени передавачів Т2 (від 50 м до 220 м).

Червоними лініями відмічені висоти двох об'єктів – порушника (1,7 м) та засобу доставки (2,6 м). Аналіз кривих виявив, що для існуючих стандартних висот підвісу антен передавачів дальність прямої видимості складає від 30 км до 60 км, що відповідає вимогам до зон охорони ВДО.

Інша проблема пов'язана з тим, що прямий сигнал джерела підсвічування по БП діаграмі спрямованості антени БРЛС надходить у цільовий канал, призначений для приймання сигналів, відбитих від цілі.

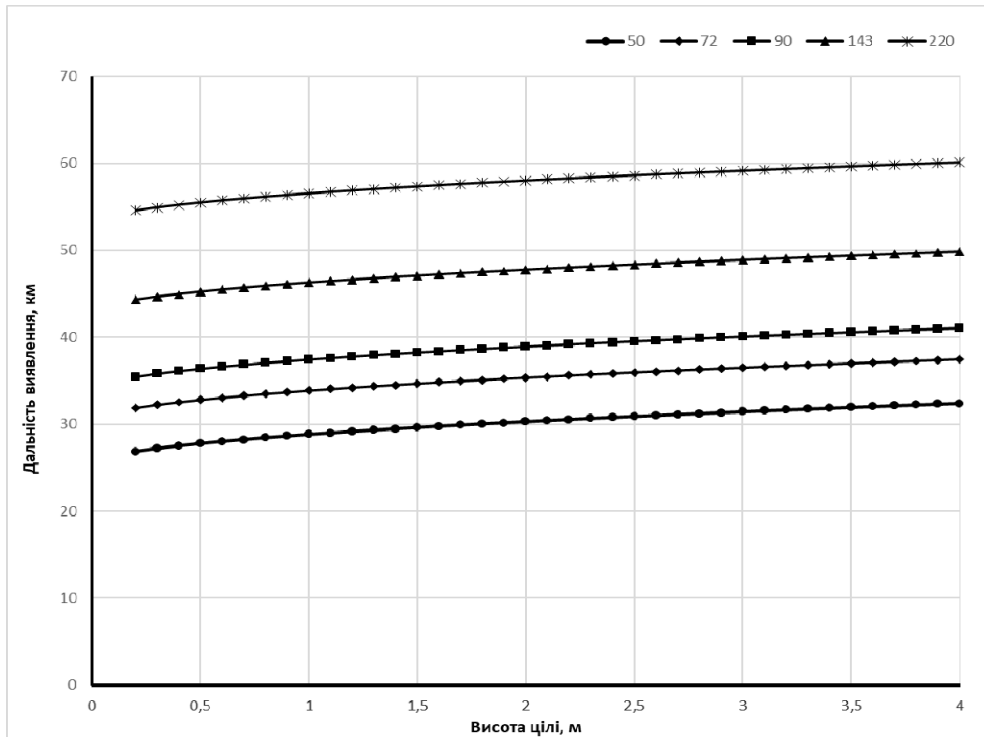


Рисунок 2 – Залежності дальності прямої видимості від висот антени й об'єкта

Потужність прямого сигналу джерела підсвічування у багато разів перевищує потужність корисного сигналу. Відбитий сигнал від цілі приймається на тлі цієї завади, що ускладнює або робить неможливим виявлення і подальше оброблення цього сигналу й цілі може бути не виявлена на заданій дальності.

Одним із основних можливих шляхів підвищення завадостійкості є збільшення бази сигналу або синтезу сигналу, що мінімізує рівень БП функції невизначеності в заданій області частотно-часових зрушень. У цьому випадку такий спосіб не підходить, тому що використовуваний сигнал підсвічування не підлягає зміні. Другий підхід полягає у синтезі фільтра або пари сигнал-фільтр, які за рахунок неузгодженості оброблення знижують вплив завад у необхідній області невизначеності.

Іншим способом боротьби з такою завадою є використання електродинамічної огорожі. Однак за запропонованої конфігурації БРЛС (див. рис. 1), тобто при малих кутах приймання опорного сигналу разом із очікуваним сигналом від об'єкта, вона є малоефективною.

Найбільш дієвими засобами боротьби із потужними проникаючими сигналами, стосовно квазінеперервного режиму, є алгоритми тимчасової і частотної режекції, проте їх ефективність знижується зі збільшенням кількості завад, розподілених за затримкою і частотою.

Ще одним загальним напрямом є методи, засновані на компенсації завад у кореляційних каналах оброблення. В основі принципу компенсації завад лежить когерентне віднімання з корисного сигналу оцінок коливань, які заважають і отримані будь-яким способом. Очевидно, що глибина придушення завад залежить від точності вимірювання цих параметрів та відношення потужності сигналів. У зв'язку з цим перспективним напрямом виявляється застосування компенсаційних методів усунення перешкоджаючих коливань, заснованих на оцінюванні комплексних амплітуд сигналів за допомогою адаптивних фільтрів.

Відношення потужності корисного сигналу до проникаючого сигналу на вході приймача.

Як зазначалося вище, БРЛС прихованого спостереження за зоною охорони ВДО не є варіантом квазібістатичної системи. На відміну від [12] відношення потужності корисного сигналу й проникаючого є більш складним та залежить від розміщення цілі.

Бістатичне рівняння локації для корисного сигналу на вході антени цільового каналу може бути записано як

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{пр}} \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 (R_{\text{прд-ц}} R_{\text{ц-пр}})^2}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{пр}}$  – потужність сигналу на вході приймача;

$P_{\text{прд}}$  – потужність сигналу на виході передавача T2;

$G_{\text{прд}}$  і  $G_{\text{пр}}$  – коефіцієнти посилення антени передавача і приймача відповідно;  $\lambda$  – довжина хвилі;  $\sigma$  – бістатична ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) об'єкта;  $R_{\text{прд-ц}}$  і  $R_{\text{ц-пр}}$  – відстані «передавач-ціль» і «приймач-ціль» відповідно [15].

Потужність проникаючого сигналу від передавача до цільового каналу по БП діаграми спрямованості антени, що пройшов відстань, рівну дальності радіолінії «передавач-приймач»  $R$  (див. рис. 1), може бути виражена як

$$P'_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{прд}} G'_{\text{прд}} G'_{\text{пр}} \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2}, \quad (2)$$

де  $G'_{\text{прд}}$  – коефіцієнт посилення передавальної антени по БП діаграми спрямованості,  $G'_{\text{пр}}$  – коефіцієнт посилення приймальної антени по БП.

Об'єднавши вирази (1) і (2), знайдемо відношення потужності корисного сигналу до проникаючого:

$$\frac{P_{\text{пр}}}{P'_{\text{пр}}} = \frac{G_{\text{прд}} G_{\text{пр}} \sigma R^2}{4\pi G'_{\text{прд}} G'_{\text{пр}} (R_{\text{прд-ц}} R_{\text{ц-пр}})^2}. \quad (3)$$

За допомогою виразу (3) та постановки задачі охорони ВДО у Вовчанському районі, яка наведена у праці [15], визначимо залежності відношення потужності від положення цілі, у тому числі й у зоні охорони ВДО. При цьому дальність радіолінії «передавач-приймач»  $R = 40$  км, висота антени передавача 221 м, коефіцієнти посилення передавача  $G_{\text{прд}}$  і  $G'_{\text{прд}}$  однакові (кругова діаграма спрямованості передавача Т2), для приймача  $G_{\text{пр}} = 30$  дБ,  $G'_{\text{пр}} = 1$  дБ. На рисунку 3 наведено залежності відношення потужності корисного сигналу до проникаючого для засобів доставлення порушників (у загальному вигляді металевий об'єкт із  $\sigma = 328$  м<sup>2</sup>) від азимута розташування цілі відносно приймача на різних фіксованих  $R_{\text{ц-пр}}$ .

На рисунку 4 наведено аналогічні залежності для порушника (у загальному вигляді діелектричний об'єкт із  $\sigma \approx 1$  м<sup>2</sup>).

Аналіз наведених залежностей виявив, що за відстані до цілі, меншої ніж 5 км, відношення потужності сигналів не залежить від азимута розташування цілі відносно приймача і практично є постійною величиною. Для засобів доставлення діапазон складає від –30 дБ до –45 дБ, а для порушника – від –55 дБ до –70 дБ. У разі збільшення дальності виявлення спостерігається

залежність співвідношення сигналів від азимута цілі. У разі збільшення азимута цілі за різних відстаней співвідношення потужностей сигналів прагнуть відповідно до –65 дБ і –90 дБ, що значно підвищує вимоги до чутливості і динамічного діапазону приймача. Розглядаючи ситуацію  $R_{\text{ц-пр}} > R$ , коли фактично виходить квазібістатичний радар, отримаємо значення енергетичного співвідношення величиною –100 дБ, що також підтверджується у праці [12].

У публікації [12] встановлено необхідний рівень енергетичного відношення сигнал/завада величиною 20 дБ. З урахуванням часу накопичення  $T_{\text{int}}$  в адаптивному компенсаторі, узгодженому із шириною спектра сигналу DTV-T2 ( $\Delta f = 8$  МГц), знайдемо енергетичне співвідношення:

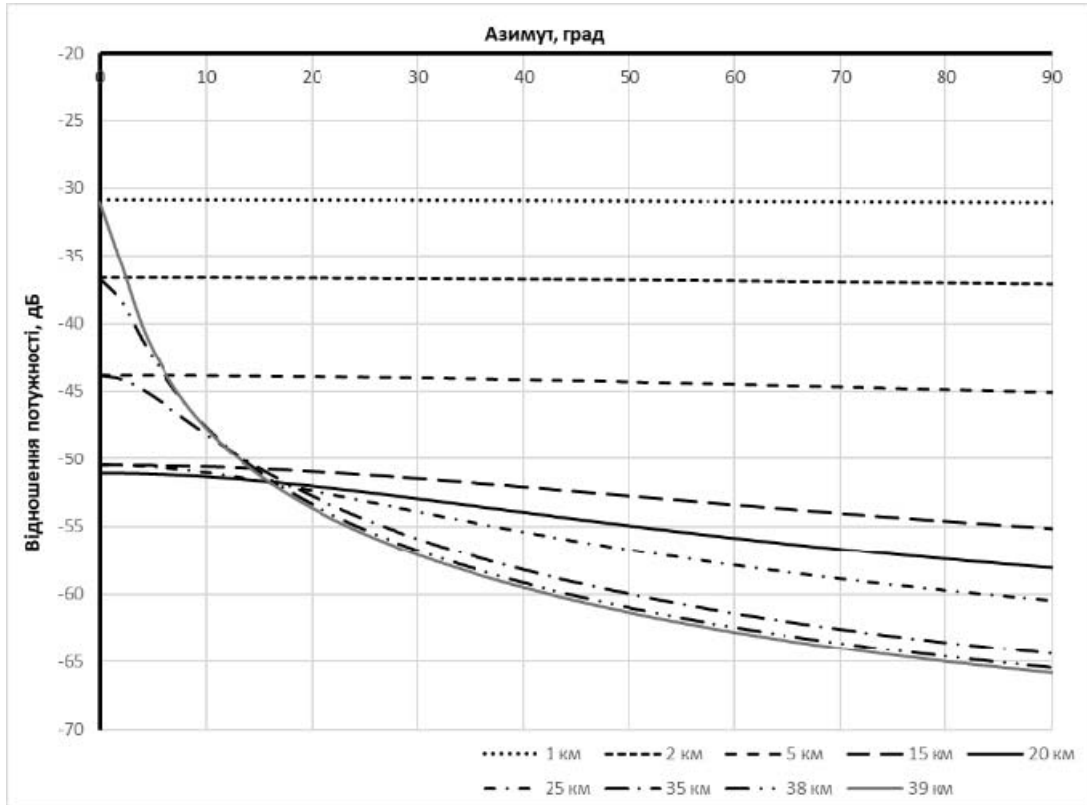
$$\frac{P_{\text{пр}}}{P'_{\text{пр}}} \times T_{\text{int}} \cdot \Delta f = \left( \frac{G_{\text{прд}} G_{\text{пр}} \sigma R^2}{4\pi G'_{\text{прд}} G'_{\text{пр}} (R_{\text{прд-ц}} R_{\text{ц-пр}})^2} \right) \times T_{\text{int}} \cdot \Delta f > 20. \quad (4)$$

У рівнянні (4) для максимізації лівої частини величин небагато. Найбільш очевидний шлях – мінімізувати  $G'_{\text{пр}}$ . Технічно це виражається у формуванні «нуля» приймання в адаптивній приймальній антені в напрямку на передавач. Для часу накопичення 20 мс та розглянутого випадку необхідна «нульова» глибина складає не менше ніж 70 дБ (див. рис. 3, 4). В адаптивної антени така глибина може бути отримана тільки в тому випадку, якщо приймальна антена нерухома або дуже повільно сканує. Для БРЛС прихованого спостереження час накопичення  $T_{\text{int}}$  потенційно може піднятися від 0,5 с до 1 с (швидкість цілі невелика), що зменшує необхідну нульову глибину від 55 дБ до 50 дБ відповідно.

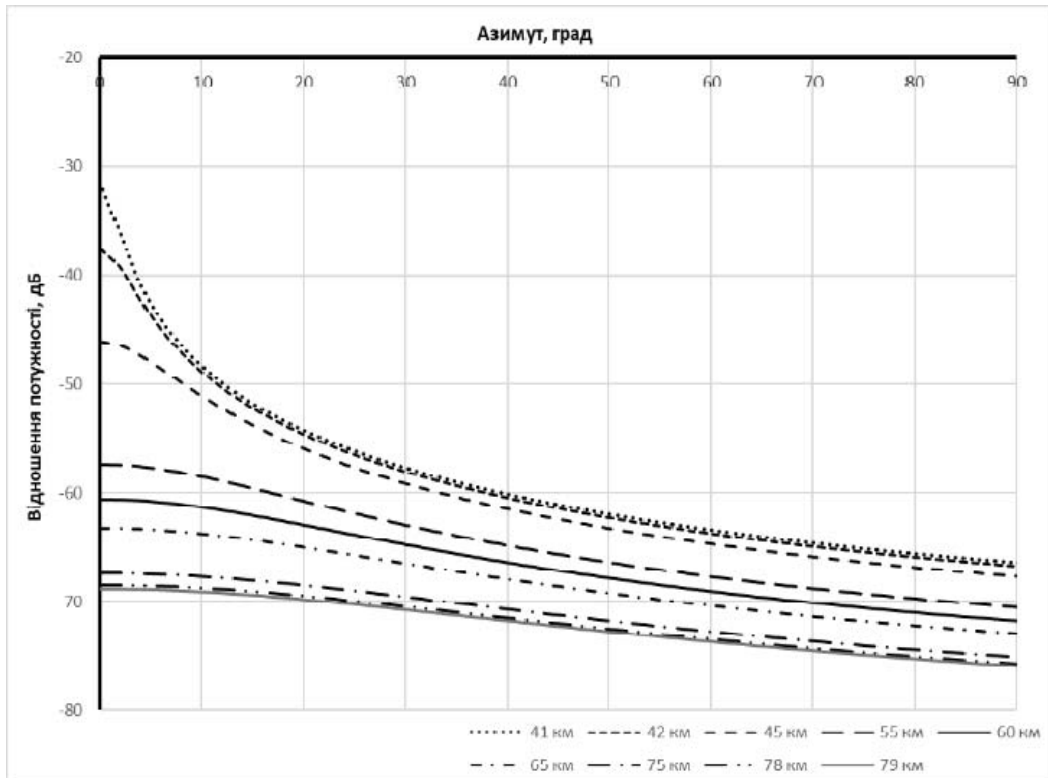
Для поліпшення придушення проникаючого сигналу запропоновано адаптивний компенсатор у складі приймача, який складається із системи регулювання зі зворотним зв'язком та враховує співвідношення корисного і проникаючого сигналів, інформацію про їх затримку і структуру [16]. На рисунку 5 наведена загальна структура приймача із системою компенсації проникаючого сигналу.

В адаптивному компенсаторі здійснюється оброблення квадратурного радіолокаційного сигналу (КРС), отриманого по опорному каналу, множення на ваговий коефіцієнт, що адаптивно підбудовується, і компенсація прямого радіолокаційного сигналу радіопередавача у сигналі, отриманого по цільовому каналу.

Структурна схема пристрою компенсації радіолокаційного сигналу прямого поширення показана на рис. 6.

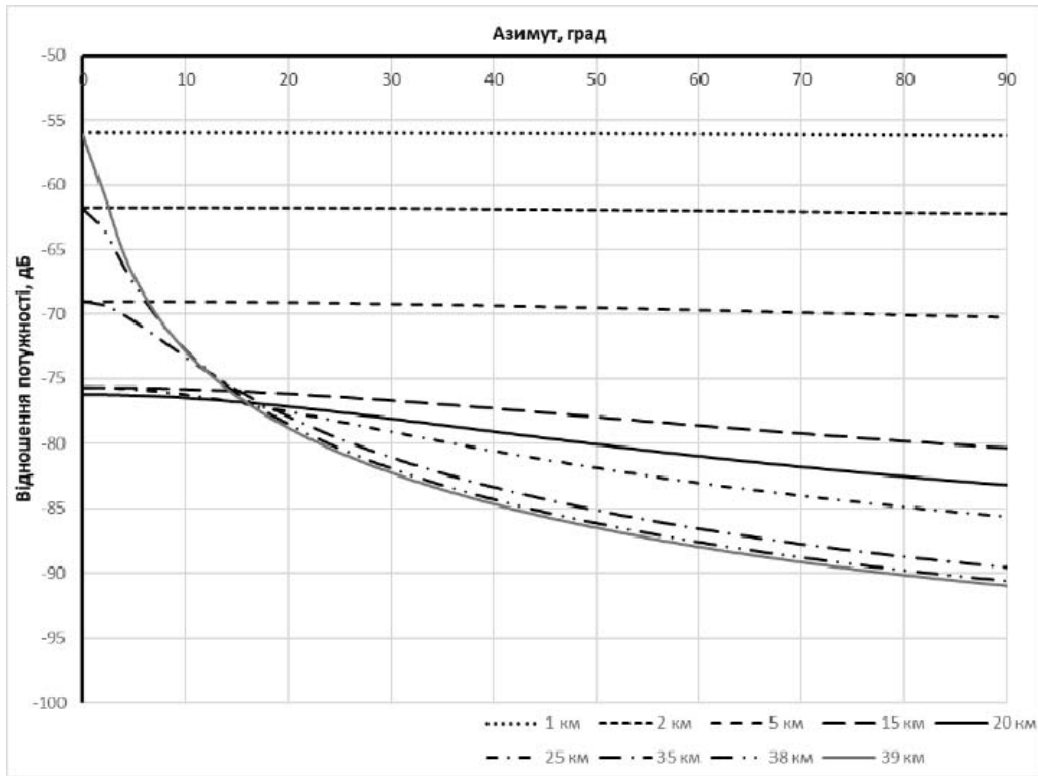


a

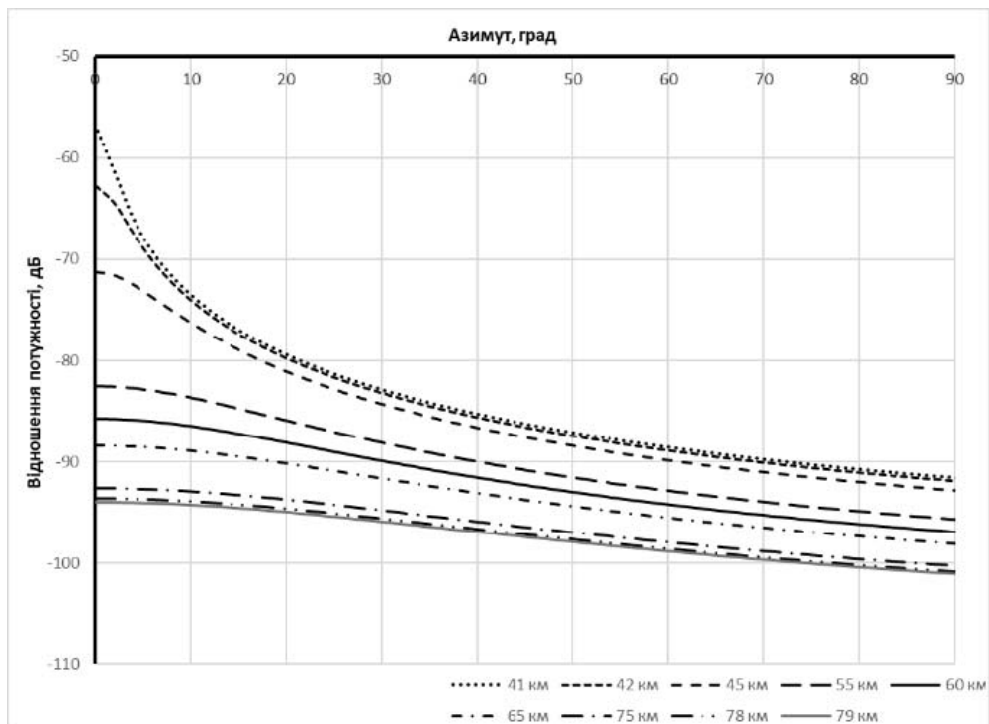


b

Рисунок 3 – Відношення потужності корисного сигналу до проникаючого для засобів доставлення порушників від азимута (a – на відстанях  $R_{ц-пр} < R$ ; б – на відстанях  $R_{ц-пр} > R$ )



а



б

Рисунок 4 – Відношення потужності корисного сигналу до проникаючого для порушників від азимута (а – на відстанях  $R_{ц-пр} < R$ ; б – на відстанях  $R_{ц-пр} > R$ )

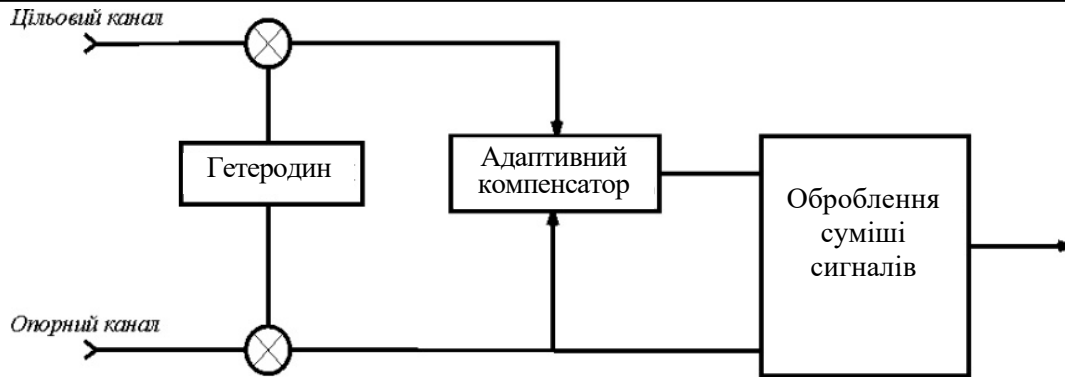


Рисунок 5 – Загальна структура приймача із системою компенсації проникаючого сигналу

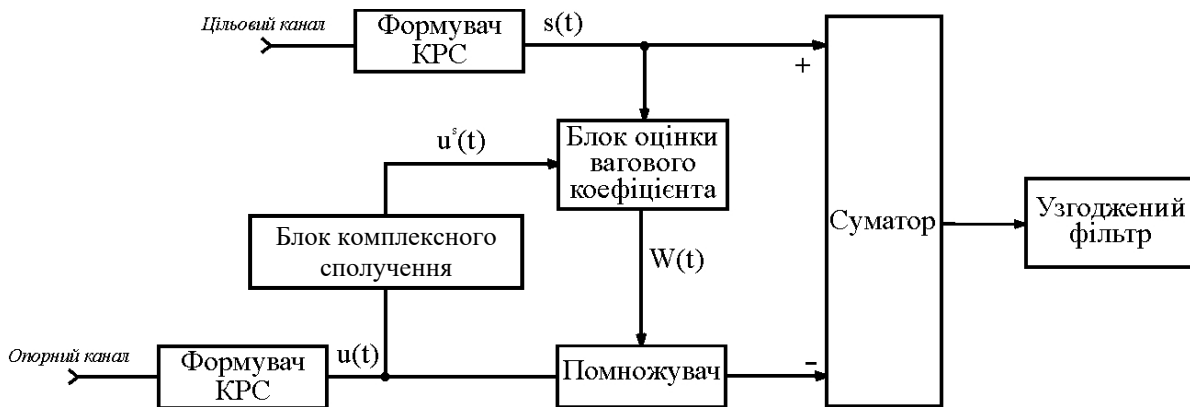


Рисунок 6 – Структурна схема засобу компенсації проникаючого сигналу

Пристрій компенсації прямого радіолокаційного сигналу складається з таких структурних блоків: два формувачі КРС у цільовому й опорному каналах, суматор, блок комплексного сполучення, блок оцінки вагового коефіцієнта, помножувач і узгоджений фільтр.

На вхід формувача КРС як у цільовому, так і в опорному каналах сигнал надходить на проміжній частоті. Радіолокаційний сигнал у цільовому каналі  $s(t)$  надходить у блок оцінки вагового коефіцієнта і на суматор.

В опорному каналі від передавача Т2 приймається прямий сигнал і формується КРС  $u(t)$ , який передається на помножувач та через блок комплексного сполучення  $u^s(t)$  на блок оцінки вагового коефіцієнта. У блоці оцінки вагового коефіцієнта коефіцієнт визначається за формулою

$$W(t) = (1 - \mu)W(t - 1) + \mu s(t) \times u^s(t), \quad (5)$$

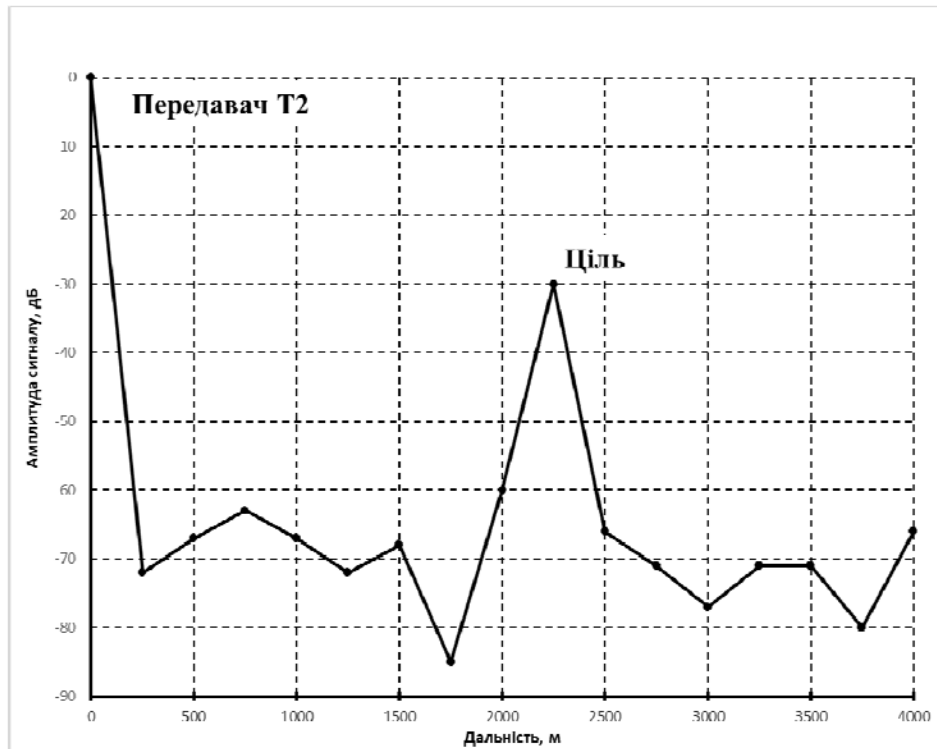
де  $t$  – дискретні відліки часу,  $0 < \mu < 1$  – коефіцієнт, що визначає компроміс між точністю і швидкістю компенсації,  $W(0) = 1$ .

Обчислений ваговий коефіцієнт  $W(t)$  надходить у помножувач. Помножувач формує сигнал  $W(t)u(t)$ , який з протилежним знаком надходить у суматор. У суматорі формується різницевий сигнал  $s(t) - W(t)u(t)$ , який подається в узгоджений фільтр. В узгодженому фільтрі відбувається формування відгуку на скомпенсований радіолокаційний сигнал для вторинного оброблення.

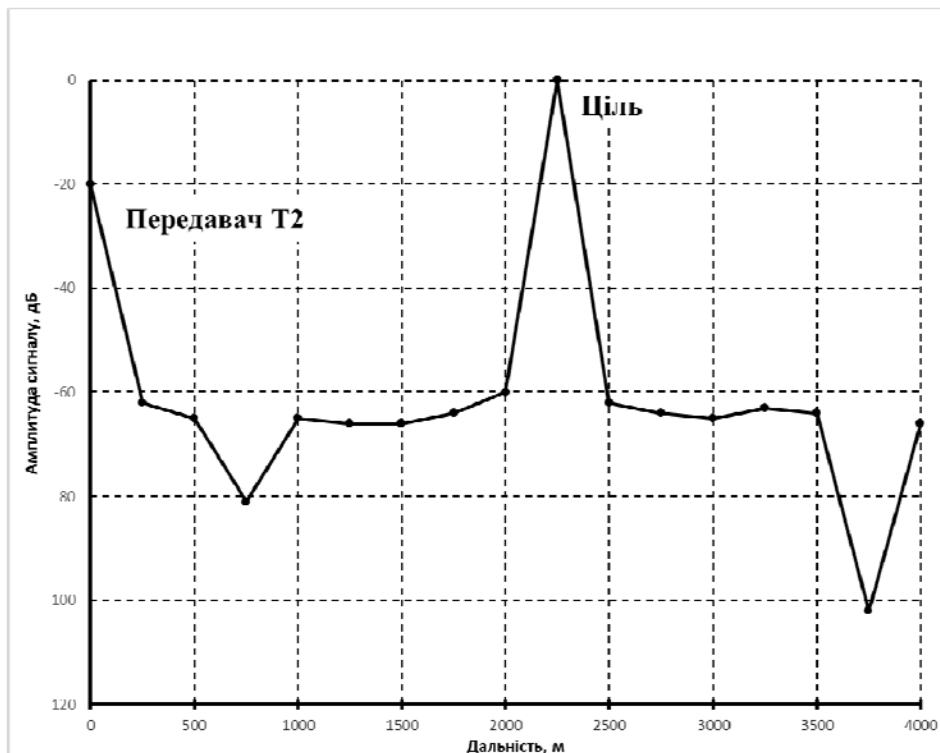
На додаток до динамічної компенсації приймальна антена цільового каналу може мати різну поляризацію відносно випромінювання передавача DTV-T2. Більшість з антен використовують крос-поляризацію сигналу.

Проведені математичні експерименти за подібною структурною схемою цифрового компенсатора при цілі, яка знаходиться на дальності 2 км, дали на виході корелятора результати, показані на рис. 7.





а



б

Рисунок 7 – Сигнал з виходу корелятора:  
а – без компенсації; б – з компенсацією проникаючого сигналу

На рисунку 7, а показана обвідна амплітуди напруги на виході цільового каналу без придушення проникаючого сигналу. Різкі піки спостерігаються на дальностях приблизно в 2 км (місце розташування об'єкта) і на нульовій відстані у точці проникаючого сигналу. На рисунку 7, б показано той же профіль після придушення проникаючого сигналу. Загальне придушення склало приблизно 50 дБ за смуги інтегрування 30 Гц. Результати експерименту підтверджують доцільність вибору методу придушення проникаючого сигналу й аналітичного аналізу енергетичних показників.

### **Висновки**

Таким чином, проведені дослідження підтвердили можливість побудови бістатичних систем радіолокації, які запропоновано використовувати у Національній гвардії України для виконання завдань щодо охорони важливих державних об'єктів.

1. Особливості побудови системи прихованого спостереження пов'язані із відсутністю в її складі власного передавача та з використанням ефекту «просвітної» локації. Унаслідок наявності великої кількості зовнішніх джерел підсвічування можливе створення зони спостереження довільного розміру й форми та забезпечення практично повної прихованості. Основний недолік полягає у відсутності можливості управління роботою передавача (місце розташування, тип сигналу, режим роботи). Крім того, необхідно виявляти малорозмірні наземні об'єкти в умовах інтенсивних завад, до яких належать прямий сигнал передавача підсвічування та його копії, що потрапляють в антену приймача під час відбиття від місцевих предметів і підстилаючої поверхні.

Запропонована загальна конфігурація БРЛС як система когерентного типу. Ця система містить передавач зовнішнього підсвічування і приймач, які рознесені на деяку відстань. Приймач радіолокатора складається з двох каналів: цільового, який використовується для отримання відбитого сигналу від цілі, і опорного – для синхронізації з передавачем. Опорний сигнал приймається від передавача окремою антеною або окремим променем фазованої антенної решітки.

2. Потужність прямого сигналу джерела підсвічування у багато разів перевершує потужність корисного сигналу. Відбитий сигнал від цілі приймається на тлі цієї завади,

що ускладнює або робить неможливим виявлення і подальше оброблення цього сигналу, і ціль може бути не виявлена на заданій дальності. За допомогою аналітичних виразів отримано залежності відношення потужності корисного сигналу до проникаючого для засобів доставки порушників (у загальному вигляді металевий об'єкт з  $\sigma = 328 \text{ м}^2$ ) та порушника (у загальному вигляді діелектричний об'єкт з  $\sigma \approx 1 \text{ м}^2$ ) від азимута розташування цілі відносно приймача на різних фіксованих відстанях.

Аналіз залежностей виявив, що за відстані до цілі, меншої ніж 5 км, відношення потужності сигналів не залежить від азимута розташування цілі. У разі збільшення дальності виявлення і збільшення азимута цілі співвідношення потужностей сигналів прагнуть відповідно до – 65 дБ для засобів доставлення і –90 дБ для порушників.

Для поліпшення придушення проникаючого сигналу запропоновано адаптивний компенсатор у складі приймача, який складається із системи регулювання зі зворотним зв'язком та враховує співвідношення корисного і проникаючого сигналів, інформацію про їх затримку і структуру. Наведено загальну структуру приймача із системою компенсації проникаючого сигналу та структурну схему засобу адаптивної компенсації.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення характеристик бістатичної системи прихованого спостереження у плані компенсації впливу підстилаючої поверхні та місцевих предметів.

### **Перелік джерел посилання**

1. Горелишев С. А., Волков П. Ю. Шляхи вдосконалення системи охорони важливих державних об'єктів. *Честь і закон*. 2021. № 1. С. 40–45.
2. Кондратенко О. П. Використання методів біорадіолокації для спостереження за біологічними об'єктами. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків : НА НГУ, 2018. Вип. 1 (31). С. 19–26.
3. 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. Number 1(32). С. 14–23. DOI: 10.21303/2461-4262.2021.001607.

4. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки. Москва : Радио и связь, 1986. 448 с.

5. Малкин Е. Б. Влияние неидентичности каналов ФАР на качество адаптивной обработки. Москва : РТИ АН СССР, 1987. 18 с. (Препринт. РТИ АН СССР; 878).

6. Абрамович Ю. И., Качур В. Г., Михайлюков Н. Н. Эффективность пространственной компенсации помех в системах с неидентичными каналами приема. *Радиотехника и электроника*. Харьков, 1989. Т. 24. № 6. С. 1196–1206.

7. Богачев В. А. Эффективность адаптивной компенсации помех при неидентичных частотных характеристиках приемных каналов РЛС. *Радиолокация, навигация, связь* : материалы V междунар. науч.-техн. конф., г. Воронеж, 20-23 апр. 1999 г. Воронеж, 1999. Т. 2. С. 747–757.

8. Войтович О. А. Влияние подстилающей поверхности на эффективность компенсации РЛС с ФАР. *Системы обработки информации*. Харьков : ХНУПС, 2006. Вып. 8 (57). С. 15–18.

9. Охрименко А. Е. Спектральная плотность мешающих отражений в скрытых полуактивных многопозиционных радиолокационных системах с посторонним подсветом. *Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук*. 2014. № 1.

10. Воронцова С. А. Анализ особенностей формирования мешающих отражений от Земли при обнаружении низколетящих целей с помощью двухпозиционной радиолокационной

станции. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2016. Т. 15. № 3. С. 131–142.

11. Синтез устройства обработки радиолокационного сигнала полуактивного радиолокатора с подсветом от базовой станции сотовой связи / Хишам М. Аль-Хетки и др. *Докл. БГУИР*. 2006. Т. 4. № 2. С. 39–44.

12. Saini Rajesh, Cherniakov M., Lenive V. Direct Path Interference Suppression in Bistatic System: DTV Based Radar *IEEE Radar*. 2003. DOI: 0-7803-7871-7/03.

13. Кириченко І. О., Горелишев С. А., Побережний А. А. Технологічні основи інформаційно-аналітичного забезпечення службово-бойової діяльності сил охорони правопорядку: монографія. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2013. 292 с.

14. Горелишев С. А., Волков П. Ю. Оцінка характеристик системи прихованого спостереження за зоною охорони важливих державних об'єктів при зовнішньому підсвічуванні. *Честь і закон*. 2021. № 2 (77). С. 42–51.

15. Griffith H. D. and Long B. A. Long. Television Based Bistatic Radar *IEE Proceedings*. 1986. Vol. 133. P. 649–657.

16. Устройство компенсации прямого радиолокационного сигнала радиопередатчика в приемнике двухпозиционной радиолокационной системы : пат. 0002716154 РФ.; заявл. 06.03.2020.

*Стаття надійшла до редакції 30.08.2021 р.*

**УДК 621.396.96**

**С. А. Горелишев, П. Ю. Волков, А. А. Олещенко**

### **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ БИСТАТИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СКРЫТОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗОНОЙ ОХРАНЫ ВАЖНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Рассмотрены вопросы построения бистатических систем радиолокации, которые предполагается использовать в Национальной гвардии Украины для выполнения заданий по охране важных государственных объектов. Особенности построения данной системы связаны с отсутствием в ее составе передатчика и использования эффекта «просветной» локации. Предложена общая конфигурация бистатических систем радиолокации когерентного типа и рассмотрены основные проблемы обработки сигналов. Центральной проблемой построения данной бистатической системы радиолокации является воздействие мешающего прямого сигнала источника излучения, проникающего в приемный тракт по боковым лепесткам ее антенны. Проанализирована зависимость отношения мощности полезного и проникающего сигнала на входе приемника от месторасположения цели и рассмотрены пути подавления прямого сигнала. Для улучшения подавления такого сигнала предложен адаптивный компенсатор в составе приемника.*

*Ключевые слова:* бистатическая радиолокация, передатчик T2, проникающий сигнал, отношение мощности сигналов, адаптивный компенсатор, «просветная» локация.

UDC 621.396.96

S. Horielyshev, P. Volkov, O. Oleschenko

### **FEATURES OF CONSTRUCTION OF A BISTATIC RADAR SYSTEM FOR COVERED SURVEILLANCE OF THE PROTECTION ZONE OF IMPORTANT STATE OBJECTS**

*The article discusses the issues of building bistatic radar systems, which are supposed to be used in the National Guard of Ukraine to perform tasks for the protection of important state facilities. The peculiarities of the construction of this system are associated with the absence of its own transmitter in its composition and the use of the «translucent» location effect. A general configuration of bistatic coherent radar systems is proposed and the main problems of signal processing in such a radar system are considered. The central problem of constructing this bistatic radar system is the effect of an interfering direct signal from a radiation source (usually continuous), penetrating into the receiving path along the side lobes of its antenna.*

*Using analytical expressions, the dependences of the ratio of the power of the useful and penetrating signals for delivery vehicles and intruders on the azimuth of the target relative to the receiver at various fixed ranges are obtained. The analysis of the dependences showed that at ranges to the target less than 5 km, the ratio of the signal capability does not depend on the target azimuth. With an increase in the detection range and an increase in the azimuth of the target, the signal power ratio tends, respectively, to -65 dB for delivery vehicles and -90 dB for intruders.*

*Ways of suppressing the direct signal are considered. To improve the suppression of such a signal, an adaptive compensator as part of the receiver is proposed. It consists of a feedback control system and takes into account the ratio of the useful and penetrating signals, information about their delay and structure. The general structure of a receiver with a compensation system for a penetrating signal and a block diagram of an adaptive compensation device are presented.*

*Direction for further research. Particular attention should be paid to defining the characteristics of the bistatic covert surveillance system in terms of compensating for the influence of the underlying surface and local objects.*

**Keywords:** bistatic radar, transmitter T2, penetrating signal, signal power ratio, adaptive compensator, «translucent» location.

**Горєлишев 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>

**Олещенко Олександр Анатолійович** – кандидат військових наук, виконуючий обов'язки директора департаменту планування застосування Головного управління Національної гвардії України  
<https://orcid.org/0000-0001-6324-7981>