

УДК 621.396.96



О. П. Кондратенко

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ БІОРАДІОЛОКАЦІЇ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА БІОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Розглянуто задачі й можливості біолокації об'єктів, характеристики основних засобів, представлених промисловістю, переваги використання бістатичних РЛС при прямому розсіюванні.

К л ю ч о в і с л о в а: безпілотний літальний апарат, біолокація, бістатична радіолокація, бістатичний кут, тероризм, ефективна поверхня, що відбиває.

Постановка проблеми. Наразі спостерігається інтенсивний розвиток систем ближньої радіолокації. Вони використовуються при побудові систем охорони стратегічних об'єктів від проникнення порушників і запобігання терористичним актам. У цих випадках об'єктом виявлення є людина, тобто біологічний об'єкт. Для побудови систем охорони використовуються різні фізичні ефекти й методи [1]. У статті розглядаються системи, у яких використовуються радіолокаційні методи, при цьому висота установки антени локатора порівнянна з висотою об'єкта виявлення або більше нього, а зона виявлення містить у собі як ближню зону (Френеля), так і далеку зону випромінювання антени.

Відповідно до Закону України “Про Національну гвардію України” (з урахуванням змін Закону від 24.12.2015 р.) [2] Національна гвардія України зобов'язана:

- вживати заходів з припинення діяльності незаконних воєнізованих або збройних формувань (груп), терористичних організацій, організованих груп і злочинних організацій;
- брати участь у антитерористичних операціях;
- брати участь у заходах, пов'язаних із припиненням збройних конфліктів і інших провокацій на державному кордоні, а також у заходах щодо недопущення масового переходу державного кордону з території суміжних держав.

Виконання цих завдань передбачає надійне й своєчасне виявлення протидіючих сил із застосуванням відповідного технічного оснащення, зокрема методів і засобів біолокації.

Мета статті – показати один з можливих шляхів реалізації спостереження за біологічними об'єктами з використанням методів бістатичної радіолокації.

Виклад основного матеріалу. За визначенням біолокацією є метод дистанційного виявлення й діагностування людей або тварин, у тому числі за оптично непрозорими перешкодами, заснований на модуляції радіолокаційного сигналу коливальними рухами й переміщеннями органів біологічного об'єкта.

Біорадіолокаційні системи з'явилися в результаті розробок на стику радіофізики й біології – розділів науки, достатньо далеких один від іншого. Проте ці системи відразу привернули увагу дослідників, а потім і потенційних споживачів у багатьох країнах світу. Головною причиною цього була основна особливість, властива радіолокаційним системам як джерелам інформації, – можливість дистанційно й безконтактно контролювати положення й рух біологічного об'єкта. Своєю чергою прогрес радіолокаційних техніки й технологій дозволив істотно збільшити кількість і підвищити якість інформації, одержуваної від об'єкта, дозволив використати радіолокацію для спостереження за живими організмами.

Величини переміщень, що реєструються, визначають використання в біорадіолокаторах електромагнітних хвиль надвисокочастотного діапазону, а як зондувальні можуть використовуватися як імпульсні сигнали, так і безперервні з лінійною або нелінійною частотною модуляцією, а також монохроматичні.

Біорадіолокатори (БРЛ), що випускають серійно на цей час, призначені для виявлення людей і відстеження їхніх переміщень за будівельними конструкціями (наприклад, при проведенні антитерористичних операцій). Інші варіанти застосування біолокаторів виходять за рамки обговорюваних питань.

У нашому випадку біорадіолокаційні системи забезпечують спостереження за живими об'єктами в умовах особливих і надзвичайних ситуацій: від порятунку людей з-під руїн будинків до прихованого спостереження за кримінальними або терористичними групами, що перебувають у будинку або ховаються за природними перешкодами.

Використання БРЛ дозволяє виконувати такі завдання:

- забезпечення безпеки охоронюваних територій з метою недопущення проникнення третіх осіб;
- сканування транспортних засобів, кузовів, причепів і контейнерів з метою виявлення осіб, які незаконно перетинають прикордонні ділянки й митні пункти;
- виявлення поранених на полі бою;
- уловлювання мовних сигналів людей у випадках, коли неможливий прямий слуховий контакт.

Також на основі БРЛ можливе створення дистанційного прихованого поліграфа, що дозволить за змінами параметрів кардіореспіраторної системи дійти висновків про психоемоційний стан людини й визначити, чи говорить вона правду.

Для БРЛ важливими є такі технічні характеристики:

- час роботи від автономного джерела живлення;
- можливість ручного перенесення пристрою, його вага й габарити;
- простота використання й зручність сприйняття зображення;
- кут сканування місцевості;
- час виявлення нерухокої людини (якщо можливо) і людини, яка рухається;
- матеріали, крізь які можливе виявлення людини приладом (цемент, цегла, сніг), і довкілля (суша, вода, повітря й т. п.);
- максимальна ширина оптично непроникної перешкоди, через яку можливе виявлення людини;
- максимальна дистанція, у межах якої БРЛ здатний виявити людину;
- точність визначення місця розташування людини.

Коротко розглянемо характеристики основних засобів, представлених промисловістю. У цей час використовуються радіолокаційна станція (РЛС) розвідки наземних цілей ближньої зони 112L1 “Борсук” (рис. 1), радіолокатор розвідки наземних і малошвидкісних низьких цілей 111L1 “Лис” (рис. 2), мобільний комплекс наземної розвідки й РЕБ “Джеб”, РЛС виявлення людей за перешкодами РО-400, радіолокаційний комплекс для контролю обстановки в зоні об'єктів “Радескан”.



Рис. 1. Локатор “Борсук”



Рис. 2. Локатор “Лис”



Радіолокатори 112L1 та 111L1 (більш потужний) призначені для виявлення рухомих цілей і техніки, забезпечення охорони території або ведення розвідки. “Борсук” – патрульний радіолокатор, що носять на собі, він забезпечує виявлення людей, наземних і надводних транспортних засобів [3]. Миттєве поле огляду РЛС відповідає полю зору ока людини. “Лис” призначений для виявлення людей, які рухаються, і техніки (у варіантах виконання – повільних низьких цілей, а також тих, що пересуваються по водній поверхні) з метою забезпечення охорони території або розвідки [4].

РЛС забезпечують автоматичне виявлення об'єктів і вимірювання відстані до них у будь-який час доби й пору року, у поганих погодних умовах (дощ, пил, туман, відсутність оптичної видимості). Дальність виявлення цілей РЛС “Борсук”, що рухаються з радіальною швидкістю 2...50 км/год, така:

одиначна людина – 600...800 м, автотранспорт – до 1600 м. Аналогічні показники для 111L1 “Лис”:
одиначна людина – 5,4 км, автомобіль, моторний човен – 11,5 км, вертоліт – 12 км.

Обидві розглянуті РЛС безперервного випромінювання, що дозволяє застосовувати передавач із дуже малою потужністю випромінювання 30...40 мВт і 0,2 Вт відповідно, а використання фазокодової маніпуляції робить РЛС малосприйнятливою до перешкод і не створює їх для інших радіотехнічних засобів. Вони працюють у міліметровому діапазоні хвиль, частота близько 36 ГГц.

“Джеб” – мобільний комплекс наземної розвідки й радіоелектронної боротьби на базі броньованої машини (наприклад, “Тритон”) [5]. Він призначений для виявлення, класифікації й ідентифікації наземних рухомих цілей (у різних модифікаціях – повільних низьких цілей і об’єктів, що пересуваються по водній поверхні); проведення радіомоніторингу, радіоперехоплення й радіопротидії; цілевказування; виконання завдань з охорони протяжних територій і ведення розвідки (рис. 3).



Рис. 3. РЛК “Джеб”

РЛС комплексу забезпечує автоматичне виявлення й розпізнавання наземних і малошвидкісних низьких цілей на дальностях до 12 км у міліметровому діапазоні (людини – 3 км, автомобіля – 6 км). Вишка РЛС (на якій також розміщені відео- і тепловізійна камери) піднімається на 4,5 м.

РЛС РО-400 призначена для виявлення людей за їх рухами й/або подихом за залізобетонними або цегельними стінами товщиною до 60 см (рис. 4) на відстані не менше 12,0 м. При цьому визначаються відстань до людей і їх кількість. Локатор працює на частоті близько 400 МГц [6].



Рис. 4. Застосування РЛС РО-400

Радіолокаційний комплекс “Радескан” використовується для контролю обстановки в зоні об’єктів (рис. 5). Він призначений для виявлення й ідентифікації об’єктів, що рухаються, на відкритій земній і водній поверхнях, а також у повітряному просторі (людина, група людей, транспортні засоби, човен, катер, літак та ін.), на відкритих територіях, включаючи морські узбережжя, аеродроми, акваторії річкових і морських портів [7].

Дальність виявлення об’єкта і його розпізнавання: до 2 000 м – людина, група людей, до 3 000 м – транспортний засіб. Час виявлення об’єкта не більше 3 с. Смуга робочих частот $2\,400 \pm 75$ МГц, середня потужність випромінювання не більше 100 мВт.

Можна дійти проміжного висновку про освоєну однопозиційну (моностатичну) реалізацію засобів виявлення біологічних і інших об’єктів. Зазначимо, що про вартість



Рис. 5. Система огляду комплексу “Радескан”

локаторів не йдеться. Авторіві не вдалося знайти згадування про інший спосіб – застосування багатопозиційних (у простому випадку – бістатичних) РЛС. Тому нижче коротко заповнимо цей пробіл.

Відповідно до прийнятої термінології під багатопозиційною радіолокацією (МПРЛС) розуміють радіолокаційну систему, що включає *декілька* рознесених у просторі передавальних, приймальних або приймально-передавальних позицій, у якій одержувана ними інформація про об'єкти обробляється спільно [8]. Саме завдяки спільній обробці інформації про кожний об'єкт, одержуваної в рознесених точках простору (а також при опроміненні об'єктів з рознесених точок), досягаються основні переваги МПРЛС.

З визначення випливає, що до МПРЛС не відносять бістатичні (тобто двопозиційні) РЛС із рознесеними *однією* передавальною й *однією* приймальною позиціями. Але бістатичні РЛС можна розглядати як осередки МПРЛС.

Завдяки спільній обробці інформації, одержуваної рознесеними позиціями, МПРЛС має істотні переваги порівняно з однопозиційною РЛС та сукупністю окремих РЛС, не об'єднаних у багатопозиційну систему. Відзначимо основні з них без коментарів [8]:

- можливість створення зони дії необхідної конфігурації;
- енергетичні переваги;
- високоточний вимір просторового положення цілі;
- можливість виміру трьох координат і вектора швидкості джерел випромінювання;
- збільшення пропускної здатності;
- підвищення захищеності від активних і пасивних перешкод.

Однак реалізація цих переваг вимагає чималих фінансових витрат. Крім того, МПРЛС мають і певні недоліки. Як правило, це додаткові труднощі, які доводиться долати при створенні МПРЛС. Їх можна вважати платнею за переваги:

- необхідність спільного керування рознесеними позиціями;
- необхідність передавання даних по лініях зв'язку;
- додаткові вимоги до синхронізації, передавання опорних коливань і сигналів, фазування рознесених позицій;
- підвищення вимог до пристроїв оброблення сигналів і продуктивності обчислювальних засобів;
- необхідність геодезичного або навігаційного прив'язування й союстирування позицій.

Разом з тим можна одержати значний ефект і при невеликих витратах шляхом істотного спрощення МПРЛС і переходу до бістатичних РЛС, які при певній конфігурації щодо об'єкта локації дозволяють спостерігати об'єкти, які раніше не виявлялися.

Вирішальну роль тут відіграє кут β між напрямками від цілі на передавальну й приймальну позиції, що називається *бістатичним*. Це одна з основних геометричних характеристик бістатичних РЛС. При помірних значеннях β згідно з теоремою еквівалентності і експериментальними даними бістатична ЕРП σ_{β} звичайно близька до однопозиційної ефективної розсіюючої поверхні тієї ж самої цілі σ_0 (з урахуванням усереднення за можливими ракурсами). Однак у міру наближення β до 180° картина різко змінюється.

У літературі показано, що у тілесному куті поблизу $\beta = 180^\circ$ виникає тіньове поле, яке можна назвати “полем розсіювання вперед” [9]. Звідси випливає, що в наближенні фізичної оптики тіньове поле об'єкта *не залежить від форми поверхні*. Зрозуміло також, що на тіньове поле цілі не впливає й *матеріал* її поверхні (наприклад, пластмаса), або покриття, що поглинають радіохвилі, які різко послаблюють власне поле.

Наприклад, для ідеально провідної кулі радіусом $r_u = 20\lambda$ (λ – довжина хвилі) однопозиційна σ_0 і бістатична σ_{β} при кутах β , менших $140\dots 150^\circ$, дорівнює $400 \pi \lambda^2$. При розсіюванні вперед $\sigma_{\beta}(180^\circ) = 4\pi^3 \cdot 10^4 \cdot \lambda^2$. Отже, $\sigma_{\beta}(180^\circ)$ приблизно у 16 000 разів, або на 42 дБ більше. Різке збільшення ЕРП цілей при розсіюванні вперед дозволяє за певних умов знизити енергетичний потенціал РЛС. Особливо важливо, що “тіньову” ЕРП σ_{β} ніяк не можна зменшити [9].

На рис. 6 наведений приклад розрахунку “тіньової” ЕРП ракети. Видно, що в секторі 20° ЕРП σ_{β} ($\beta > 170^\circ$) більше 18 дБ/м^2 , що істотно перевищує однопозиційну ЕРП [10]; для кутів $\pm 30^\circ$ від 180° також маємо приріст на 10 дБ.

Таким чином, якщо геометрія розташування позицій бістатичної РЛС і об'єктів така, що в процесі їхнього руху виконується умова $\beta \approx 180^\circ$, то можна використати ефект збільшення ЕРП для виявлення об'єктів. При цьому можлива економія енергетичного потенціалу РЛС.

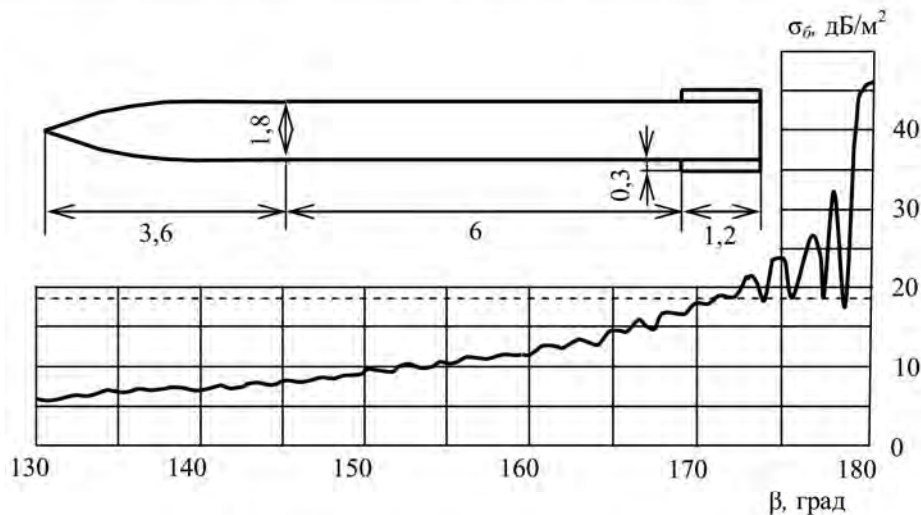


Рис. 6. Приклад розрахунку “тіньової” ЕРП ракети

Режим розсіювання вперед має й свої недоліки: погіршується точність вимірювання координат і швидкості цілей, тому що при $\beta \approx 180^\circ$ сумарна дальність (передавальна позиція – об’єкт – приймальна позиція) слабо залежить від положення об’єкта (при $\beta = 180^\circ$ взагалі не залежить); разом зі зростанням ЕРП цілей зростає й ЕРП деяких відбивачів, що заважають, наприклад, місцевих предметів на земній поверхні; значну перешкоду може створювати й прямий сигнал передавальної позиції [8].

Застосуємо отримані результати (у бістатичній локації) для визначення ЕРП лінійного диполя, яким у першому наближенні будемо вважати безпілотний літальний апарат. Наведемо формули, отримані у праці [9] при круговій поляризації для різних співвідношень довжини диполя й довжини хвилі, які мають такий вигляд:

$$\sigma_6^{BB}(\beta) \approx 0,17 \cdot \lambda^2; \quad (1)$$

$$\sigma_6^{GB}(\beta) \approx 0,057 \cdot \lambda^2; \quad (2)$$

$$\sigma_6^{GG}(\beta) \approx 0,86 \cdot \frac{\lambda^2}{15} \cdot (2 + \cos 2\beta). \quad (3)$$

Перший верхній індекс – передавання, другий – приймання. У цих формулах σ_6^{BB} , σ_6^{GG} , σ_6^{GB} – ЕРП відповідно при вертикальній, горизонтальній й змішаній (випромінювання на одній, приймання на іншій) поляризаціях. Поєднуючи ці формули, одержимо

$$\sigma_6 \approx 0,014 \cdot \lambda^2 \cdot (7 + \cos 2\beta). \quad (4)$$

В окремому випадку однопозиційної РЛС ($\beta = 0$)

$$\sigma_0 \approx 0,11 \cdot \lambda^2. \quad (5)$$

Аналіз формул показує, що поляризаційні залежності (від бістатичного кута) слабкі. Так, збільшення β від 0 до 90° при круговій поляризації спричинює зниження ЕРП усього на 1,25 дБ. При цьому середня ЕРП виявляється приблизно на 1,7 дБ більше, ніж мінімальна середня ЕРП напівхвильового відбивача при лінійній поляризації.

Інша картина при лінійній поляризації. Через громіздкість розрахункові формули не наводимо. Графіки для різних сполучень поляризації на передавання й приймання показані на рис. 7. Графіки нормовані стосовно довжини хвилі.

Із графіків виходить, що для виявлення БПЛА краще використовувати горизонтальну поляризацію випромінювань. Видно також залежність від довжини хвилі – зміни графіків 3 мінімальні.

Таким чином, проведений аналіз свідчить про доцільність використання методу “провічувальної” радіолокації для виявлення біологічних та інших приземних об’єктів.

Представлена публікація відкриває цикл статей, присвячених обговорюваному питанню, з наступним детальним розробленням питань виявлення й ідентифікації об’єктів, використання сторонніх випромінювань передавачів систем різного призначення й вироблення конкретних пропозицій з практичної реалізації прихованих радіотехнічних систем для Національної гвардії України.

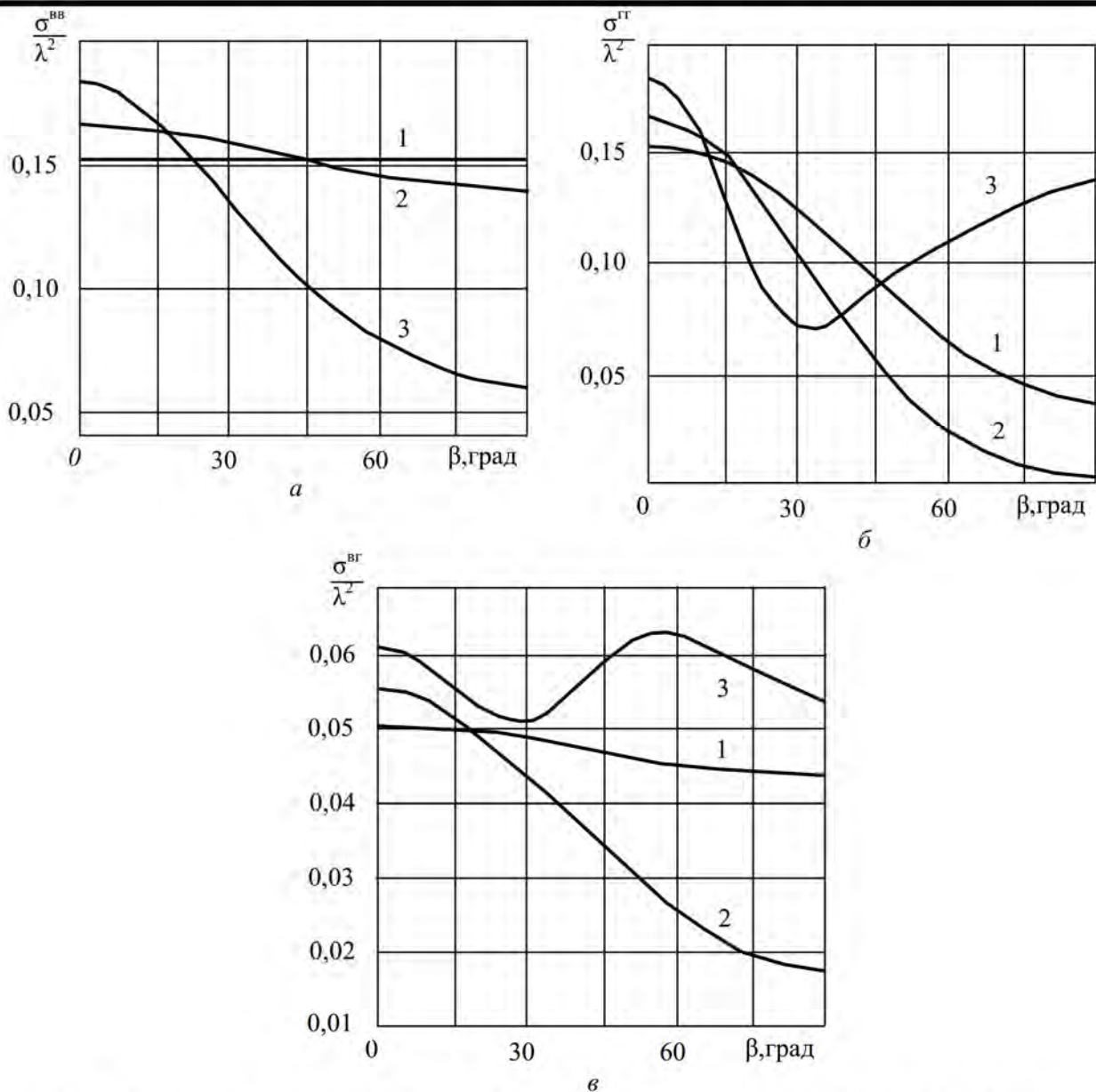


Рис. 7. Залежності середньої ЕРП об'єктів довжиною l від бістатичного кута β при лінійній поляризації: a й $б$ – випромінювання й приймання на одній поляризації (відповідно на вертикальній й горизонтальній); $в$ – випромінювання й приймання на різних (ортогональних) поляризаціях (1 – $l \approx \lambda/2$; 2 – $l \approx \lambda$; 3 – $l \approx 3\lambda/2$)

Висновки

1. Радіолокатори розвідки наземних і надводних цілей успішно пройшли військові випробування у підрозділах Державної прикордонної служби України й прийняті на озброєння МО України.
2. Радіолокатори можуть використовуватися для охорони сухопутних і водних ділянок державного кордону, для охорони військових і адміністративно-господарських об'єктів (склади, атомні електростанції, резиденції високопоставлених осіб і т. ін.) у будь-яких погодних умовах за відсутності оптичної видимості.
3. У жодному з описів зразків не згадується про можливість виявлення безпілотних літальних апаратів.
4. Стає доцільним проведення досліджень з використання методів бістатичної радіолокації (у тому числі прихованої) для рішення задач спостереження за біологічними об'єктами в зонах проведення антитерористичних операцій.

Список використаних джерел

1. Магауенов, Р. Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения [Текст] : учеб. пособие / Р. Г. Магауенов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2004. – 367 с.
2. Про Національну гвардію України [Електронний ресурс] : Закон України від 13.03.2014 р. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/876-18>. – Назва з екрана.
3. Радиолокационная станция разведки наземных целей ближней зоны 112L1 “Барсук” [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kiev.all.biz/rls-razvedki-11211-barsuk-g2462>. – Название с экрана.
4. Радиолокатор разведки наземных и малоскоростных низколетящих целей 111L1 “Лис” [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%81_\(%D0%A0%D0%9B%D0%A1\)](https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%81_(%D0%A0%D0%9B%D0%A1)). – Название с экрана.
5. Мобильный комплекс наземной разведки и РЭБ “Джеб” [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ust.com.ua/ru/mobilnyj-kompleks-nazemnoj-razvedki-i-reb-dzheb/>. – Название с экрана.
6. РЛС обнаружения людей за преградами РО-400 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=5053&tbl=02.03.03>. – Название с экрана.
7. РЛС “Радескан” [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.umirs.ru/catalog/stationary_complex/radiolokatsionnyu-kompleks-okhrany-obektov/. – Название с экрана.
8. Черняк, В. С. Многопозиционная радиолокация [Текст] / В. С. Черняк. – Москва : Радио и связь, 1993. – 416 с.
9. Черняк, В. С. Многопозиционные радиолокационные станции и системы [Текст] / В. С. Черняк, Л. П. Заславский, Л. В. Осипов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 1. – С. 9–69.
10. Glaser, J. I. Bistatic RCS of complex objects near forward scatter [Текст] / J. I. Glaser. – IEEE Trans. – 1985. – Vol. AES-21, № 1. – P. 70–78.

Стаття надійшла в редакцію 18.01.2018 р.

УДК 621.396.96

А. П. Кондратенко

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ БИОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ
ЗА БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

Рассмотрены задачи и возможности биолокации объектов, характеристики основных средств, представленных промышленностью, преимущества использования бистатических РЛС при прямом рассеянии.

К л ю ч е в ы е с л о в а: беспилотный летательный аппарат, биолокация, бистатическая радиолокация, бистатический угол, терроризм, эффективная отражающая поверхность.

UDC 621.396.96

О. П. Kondratenko

USE OF METHODS OF THE BIORADAR-LOCATION FOR OBSERVATION OF BIOLOGICAL OBJECTS

At present there is an intensive development of near radar systems. They are used in the construction of systems for the protection of strategic objects from penetrating violators and preventing terrorist acts. In these cases, the object of detection is a person, that is, a biological object. Different physical effects and methods are used to construct security systems. Systems that use radar techniques are considered in this article, with the height of the antenna of the locator comparable to the height of the detection object or more of it, and the detection zone includes both the near-field zone (Fresnel) and the distant radiation zone of the antenna.

In accordance with the Law of Ukraine "On the National Guard of Ukraine" (subject to the amendments to the Law dated 24.12.2015), the National Guard of Ukraine is obliged:

- take measures to stop the activities of illegal paramilitary or armed formations (groups), terrorist organizations, organized groups and criminal organizations;*
- to participate in antiterrorist operations;*
- take part in activities related to the cessation of armed conflicts and other provocations at the state border, as well as measures to prevent mass transit of the state border from the territory of neighboring states.*

The fulfillment of these tasks involves the reliable and timely detection of counter-forces with the use of appropriate technical equipment, in particular methods and means of biolocation.

The purpose of the article is to show one of the possible ways of observing biological objects with the use of bistatic radar methods.

The problems and possibilities of biolocation of objects, characteristics of basic means presented by industry, advantages of using biased radar systems in direct scattering are considered.

К e y w o r d s: unmanned aerial vehicle, biolocation, bistatic radar-location, bistatic corner, terrorism, the effective reflecting surface.

Кондратенко Олександр Павлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільної техніки Національної академії Національної гвардії України.