

УДК [621.396.96+621.396.67]:355.457

А.Б. Добровольський

Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, Хмельницький

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ДІЮЧИХ ЗРАЗКІВ РАДІОПРОМЕНЕВИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ОХОРОНІ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

Розроблені імітаційні моделі: існуючої хвилеводно-цілінної антени, що використовується в передавачі двопозиційного радіопроменевого засобу охорони «Витим» та її діаграма спрямованості, а також хвилеводно-цілінна антенна зі зміненою конструкцією, що має діаграму спрямованості несиметричної форми. Застосування несиметричної діаграми спрямованості антени передавача дає змогу утворити несиметричну зону виявлення, в результаті чого можливим стає визначення напрямку руху порушника двопозиційним радіопроменевим засобом охорони.

Ключові слова: двопозиційний радіопроменевий засіб охорони, передавач, приймач, зона виявлення, хвилеводно-цілінна антенна, діаграма спрямованості.

Вступ

Постановка проблеми. На сьогодні в охороні державного кордону використовується достатньо широкий спектр технічних засобів охорони. Так зокрема для блокування локальних ділянок кордону використовуються двопозиційні радіопроменеві сигналізаційні засоби охорони (надалі РПСЗО) СС-84РЛБ («Витим»), РЛД-73 («Георгин»). Перспективними двопозиційними РПСЗО даного класу, які можуть прийти на зміну «Витиму» та «Георгину», є сигналізаційні засоби «Фортеза-12», «Радий-РБК». На теперішній час двопозиційні РПСЗО окрім охорони локальних ділянок кордону достатньо широко застосовуються для охорони периметрів об'єктів різного призначення як державної так і приватної власності. Тому що вони володіють багатьма перевагами, основними з яких є:

- відсутність впливу на роботу системи таких кліматичних факторів, як атмосферні опади, температура оточуючого середовища, напрямок та сила вітру, а також наявність в зоні виявлення (надалі ЗВ) дрібних тварин та птахів;
- прихованість встановлення, внаслідок чого порушник (надалі - об'єкт, під об'єктом розуміється людина), найбільш ймовірно не буде застосовувати спеціальних заходів по подоланню рубежу охорони;
- значна протяжність однієї ділянки, що охороняється (до 500 м);
- можливість виявлення об'єкту, що долає рубіж охорони як в повний зріст так і зігнувшись (повзком).

Однак, особливістю існуючих двопозиційних РПСЗО є їх недостатня інформаційна здатність, так як дані засоби не дозволяють визначати напрямок руху та швидкість об'єкту, дальність до нього. Інформативність технічних засобів охорони кордону може суттєво впливати на процес забезпечення ефективних умов

затримання правопорушників. Особливо актуальним є визначення напрямку можливого руху об'єкту при сигналізаційному блокуванні локальних ділянок державного кордону [1]. Так за умови реалізації в РПСЗО вищезазначених можливостей, інформаційна здатність засобів буде зростати [2, 3].

Метою статті є обґрунтування можливості визначення напрямку руху об'єкту двопозиційним РПСЗО та розробка імітаційної моделі хвилеводно-цілінної антени передавача (надалі ПРД) системи «Витим», яка формує несиметричну діаграму спрямованості, що в свою чергу дасть можливість утворити несиметричну ЗВ та визначати напрямок руху об'єкту.

Основний матеріал

В двопозиційних РПСЗО ПРД та приймач (надалі ПРМ) формують ЗВ у формі витягнутого еліпсоїду обертання, як показано на рис. 1. Принцип дії двопозиційних РПСЗО заснований на реєстрації зміни комплексної амплітуди електромагнітної хвилі внаслідок руху об'єкту між ПРД та ПРМ. Поява об'єкту в ЗВ призводить до зменшення або збільшення сигналу, що приймається. Тривожне повідомлення формується системою при реєстрації на ПРМ перевищення рівня сигналу відносно граничного значення.

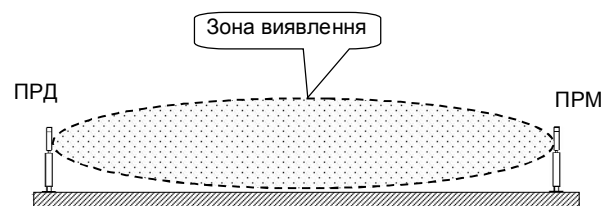


Рис. 1. Схема ЗВ в двопозиційному РПСЗО

Беручи до уваги принцип дії двопозиційних РПСЗО, дослідимо чи можливо визначати напрям

руху об'єкту за аналізом комплексної амплітуди при його появи в чутливій зоні. Для цього за основу візьмемо модель утворення сигналу на основі фазового простору [4]. На рис. 2 наведена геометрична схема еліптичної моделі з лініями рівних просторових фаз, що може являти собою геометричне положення точок на еліпсі, для яких виконується умова $l_1 + l_2 = 2c$. Схема відповідає горизонтальній площині, де ПРД та ПРМ розміщуються в фокусах еліпсів.

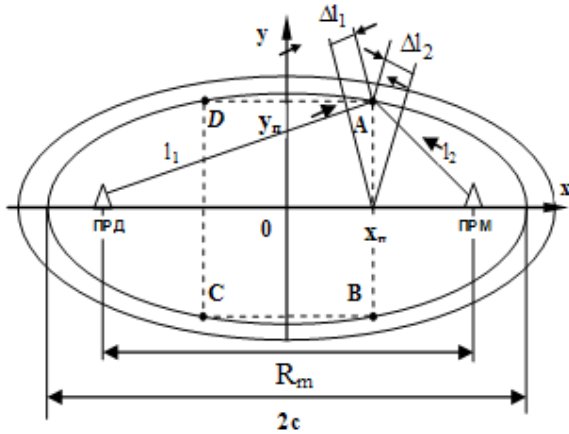


Рис. 2. Еліптична модель фазового простору в двопозиційному РПСЗО (в горизонтальній площині)

Нехай об'єкт знаходиться в чутливій зоні, що утворена ПРД та ПРМ, а саме в точці А. Проаналізуємо, як зміниться комплексна амплітуда внаслідок його появи. Для цього визначимо різницю ходу між прямим напрямком по лінії ПРД → ПРМ та напрямком через точку А з координатами x_n, y_n :

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2, \quad (1)$$

де $\Delta l_1 = l_1 - (R_m/2 + x_n)$; $\Delta l_2 = l_2 - (R_m/2 - x_n)$.

Виразимо відстані l_1 та l_2 через параметр R_m :

$$l_1 = \sqrt{\left(\frac{R_m}{2} + x_n\right)^2 + y_n^2}; \quad l_2 = \sqrt{\left(\frac{R_m}{2} - x_n\right)^2 + y_n^2}. \quad (2)$$

Проведемо перетворення виразів для l_1 та l_2 з врахуванням того, що при $\alpha \ll 1$ $\sqrt{1 + \alpha^2} \approx 1 + \frac{\alpha^2}{2}$:

$$l_1 = \left(\frac{R_m}{2} + x_n\right) \cdot \sqrt{1 + \frac{y_n^2}{\left(\frac{R_m}{2} + x_n\right)^2}};$$

$$y_n / \left(\frac{R_m}{2} + x_n\right) \ll 1; \quad \text{при } 0 \leq x_n < R_m/2.$$

$$l_1 \approx \left(\frac{R_m}{2} + x_n\right) \cdot \left[1 + \frac{y_n^2}{2 \cdot \left(\frac{R_m}{2} + x_n\right)^2}\right] = \quad (3)$$

$$= \left(\frac{R_m}{2} + x_n\right) + \frac{y_n^2}{2 \cdot \left(\frac{R_m}{2} + x_n\right)}.$$

Аналогічно для випадку l_2 отримуємо:

$$l_2 \approx \left(\frac{R_m}{2} - x_n\right) + \frac{y_n^2}{2 \cdot \left(\frac{R_m}{2} - x_n\right)}. \quad (4)$$

Відповідно різницю ходу можна виразити наступним чином:

$$\Delta l = \frac{y_n^2}{2} \cdot \left[\frac{1}{\left(\frac{R_m}{2} - x_n\right)} + \frac{1}{\left(\frac{R_m}{2} + x_n\right)} \right] =$$

$$= \frac{2 \cdot y_n^2}{R_m \cdot \left(1 - 4x_n^2/R_m^2\right)}. \quad (5)$$

З виразу (5) слідує, що різниця ходу при ($x_n = 0$) дорівнює $\Delta l = \frac{2 \cdot y_n^2}{R_m}$, а при $x_n \rightarrow \frac{R_m}{2}$ (але $x_n \neq \frac{R_m}{2}$) $\Delta l = \frac{y_n^2}{R_m}$, тобто в два рази менше, чим в центрі ЗВ. Чим більше x_n (відстань від центру ЗВ), тим більше буде масштаб функції $\Delta l(y_n)$.

Комплексна амплітуда на ПРМ дорівнює:

$$E_{\text{прм}} = E \cos(\Delta\varphi) e^{j\varphi}, \quad (6)$$

де $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta l$ – фазовий зсув електромагнітної хвилі.

На основі виразу (5) визначимо відносний фазовий зсув електромагнітної хвилі для еліптичної моделі фазового простору в горизонтальній площині між ПРД та ПРМ:

$$\Delta\varphi_{\text{ел}} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta l = \frac{4 \cdot \pi y_n^2}{\lambda \cdot R_m \left(1 - 4x_n^2/R_m^2\right)}. \quad (7)$$

Комплексна амплітуда електромагнітної хвилі, якщо об'єкт рухається вздовж осі 0у (рис. 2), приймає вигляд $E_{\text{прм}} = E \cos(\Delta\varphi_{\text{ел}}) e^{j\varphi} \rightarrow S(y_n)$, тобто характеризує сигнал $S(t)$ на виході приймача:

$$S(y_n) = S_0 \cos \left[\frac{4 \cdot \pi y_n^2}{\lambda \cdot R_m \left(1 - 4x_n^2/R_m^2\right)} \right]. \quad (8)$$

Таким чином сигнал, що реєструється на ПРМ буде залежати як від відомих параметрів R_m, λ , так і невідомих – координат x_n, y_n в ЗВ між ПРД та ПРМ. Звідти можна зауважити, що визначити напрямку руху не представляється можливим. Пояснення цьому можна знайти звернувшись до рис. 2, де точка А (уявне місце знаходження об'єкту) буде симетрична відносно осі 0x, 0у для точок В, С, D. Відповідно, сигнал на виході ПРМ буде однаковим за умов перебування об'єкту в будь-якій з зазначених точок, що і обумовлює невідповідність того, звідки ж рухається об'єкт.

Щоб визначити напрямку руху об'єкту двопозиційним РПСЗО необхідно застосування додаткових технічних рішень. Можливими варіантами для визначення параметрів руху об'єкту може бути:

– використання двох окремих ЗВ;

– використання в ЗВ відбивача та аналіз в часі зміни сигналу на виході ПРМ при русі об'єкту в ЗВ;
 – використання несиметричної ЗВ, яка може бути сформована в результаті того, що антеною ПРД (ПРМ) утворюється діаграма спрямованості несиметричної форми.

Що стосується першого запропонованого варіанту, то визначення напрямку руху проводиться за послідовністю перетинання двох ЗВ. Такий спосіб визначення напрямку руху вже реалізований в двопозиційному РПСЗО «Горос» [5]. Однак даний спосіб характеризується додатковою складністю устаткування РПСЗО, так як ПРД повинен мати два окремих випромінювача, а загальний блок ПРМ два приймача відповідно. В свою чергу це призводить до збільшення енергоспоживання ПРД та ПРМ.

В другому варіанті при розміщенні відбивача в ЗВ визначення напрямку руху відбувається за відслідковуванням послідовності зміни сигналу, що приймається: перекриття об'єктом променю на відбивач, потім прямого променю або зворотня послідовність. Даний спосіб детально зазначено в роботі [6]. Його недоліком є те, що для його дієвості необхідно щоб відбивач був точно розміщений на краю ЗВ. Тому такий спосіб більше підходить для двопозиційних РПСЗО, які будуть розміщуватись стаціонарно.

Дослідимо третій варіант визначення напрямку руху об'єкту. Для цього необхідною умовою є утворення несиметричної ЗВ. Щоб утворити несиметричну ЗВ достатньо мати несиметричну форму діаграми спрямованості антени ПРД або ПРМ, яка б була звужена з однієї сторони до своєї середньої лінії. Так як виконується одна із умов, що визначена Р. Шенноном для доцільності імітаційного моделювання: «аналітичні методи існують, але математичні процедури достатньо складні та трудомісткі, що імітаційне моделювання дає більш простий спосіб вирішення поставленої задачі» здійснимо імітаційне моделювання хвильоводно-щілинної антени, яка використовується в ПРД системи «Витим» [7]. Для моделювання хвильоводно-щілинної антени ПРД системи «Витим» використовуємо програму HFSS v. 13.0. Процес моделювання в HFSS детально зазначено в [8].

Вихідними даними для моделювання є фізичні розміри антени та довжина хвилі, що відповідає робочій частоті 35 ГГц. Зовнішній вигляд хвильоводно-щілинної антени ПРД системи «Витим» показано на рис. 3.

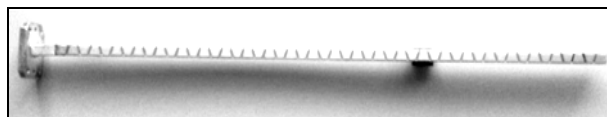
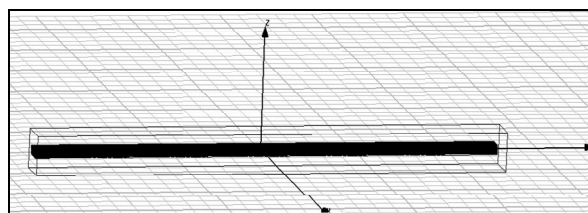


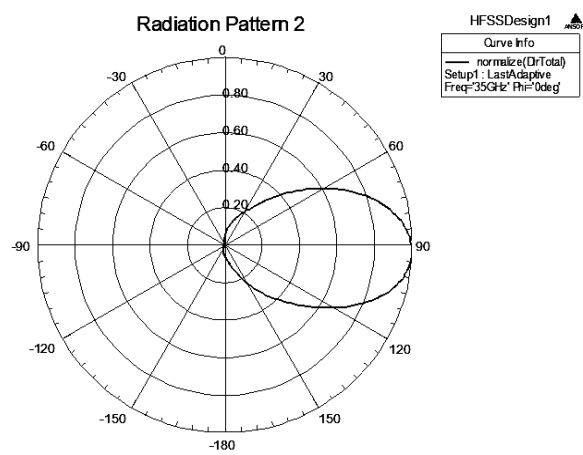
Рис. 3. Хвильоводно-щілинна антена ПРД системи «Витим»

В результаті моделювання антени, яка використовується в ПРД двопозиційної РПСЗО «Витим»

(рис. 4, а), отримуємо її діаграму спрямованості, що показана на рис. 4, б.



а



б

Рис. 4. Хвильоводно-щілинна антена ПРД системи «Витим» в HFSS v. 13.0: а – зовнішній вигляд; б – діаграма спрямованості

В результаті моделювання в HFSS була змінена конструкція антени передавача. Сутність змін в конструкції полягає в тому, що в середині хвильоводу розташовуються дрібні металеві циліндри, як це показано на рис. 5, а. Внаслідок цього змінюється діаграма спрямованості антени, яка звужується з однієї сторони до своєї середньої лінії і навпаки розширюється з іншої. Вигляд такої діаграми спрямованості показано на рис. 5, б. Таким чином, розташовуючи в середині хвильоводу металеві циліндри різних розмірів та змінюючи координати їх розташування, можна отримати діаграму спрямованості необхідної форми.

Висновки

В ході дослідження щодо підвищення інформаційної здатності діючих зразків двопозиційних РПСЗО, що використовуються в охороні державного кордону, було обґрунтовано можливість визначення напрямку руху об'єкту за допомогою моделі утворення сигналу на основі фазового простору. Необхідною умовою для цього є несиметрична ЗВ. При імітаційному моделюванні в програмі HFSS була отримана модель хвильоводно-щілинної антени ПРД двопозиційного РПСЗО «Витим» зі зміненою конструкцією, що має діаграму спрямованості несиметричної форми, як наслідок з'являється можливість визначати напрямок руху об'єкту.

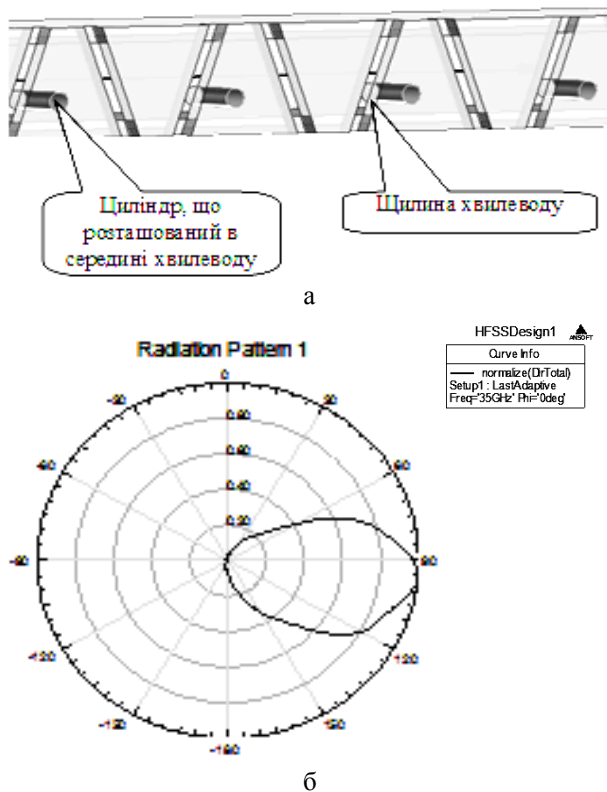


Рис. 5 Хвильоводно-щілинна антенна ПРД системи «Вітим» в HFSS v. 13.0 зі зміненою конструкцією (циліндри в середині хвильоводу): а – зовнішній вигляд; б – діаграма спрямованості

Список літератури

1. Лантвойт О.Б. Деякі аспекти концепції комплексного контролю сухопутного кордону / О.Б. Лантвойт, С.В. Ленков, М.І. Лисий // Наука і оборона: щокварт. наук.-теорет. та наук.-пр. ж. МО України. – №3' 2011. – С 3-7.

2. Чернышев М.Н. Исследование и разработка методов преобразования информации при формировании изображения нарушителя в электромагнитных волнах в технических системах охраны / М.Н. Чернышев. – Пенза 2011.

3. Добровольський А.Б. Модель оцінки ефективності технічних засобів охорони кордону при врахуванні інформаційних характеристик / А.Б. Добровольський // Збірник наук. пр. Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2012. – Вип. 38. – С. 25-30.

4. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах / И.И. Сальников. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2011. – 252 с.

5. Извещатель охранный линейный «ТОРОС». Техническое описание и руководство по эксплуатации. – 27 с.

6. Добровольський А.Б. Методика визначення параметрів руху двопозиційним радіопроменем засобом охорони / А.Б. Добровольський // Наук.-пр. ж. «Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони». – № 3 (18)/2013. – С. 28-34.

7. Бобков С.П. Моделирование систем: учеб. пособ. / С.П. Бобков, Д.О. Бышев. – Иван. гос. хим.-технол. ун-т – Иваново, 2008 – 156 с.

8. Банков С.Е. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – М., ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. – 256 с.

Надійшла до редколегії 15.01.2014

Рецензент: д-р техн. наук, доц. М.І. Лисий, Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького, Хмельницький.

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ОБРАЗЦОВ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ, КОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В ОХРАНЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ

А.Б. Добровольский

Разработаны имитационные модели: существующей волноводно-щелевой антенны, которая используется в передатчике двухпозиционного радиолучевого средства охраны «Витим» и её диаграмма направленности, а также эта же волноводно-щелевая антенна с изменённой конструкцией, которая имеет диаграмму направленности несимметричной формы. Использование несимметричной диаграммы направленности антенны передатчика даёт возможность создания несимметричной зоны обнаружения, в результате чего становится возможным определение направления движения нарушителя двухпозиционным радиолучевым средством охраны.

Ключевые слова: двухпозиционное радиолучевое средство охраны, передатчик, приёмник, зона обнаружения, волноводно-щелевая антенна, диаграмма направленности.

INCREASE OF THE INFORMATIONAL ABILITY OF RADIO-BEAM PROTECTION MEANS WHICH ARE CURRENTLY USED FOR BORDER PROTECTION

A.B. Dobrovolskyi

The simulating models of existing waveguiding-slot antenna which is used in the transmitter of two-station radio-beam protection device called "Vitim" and its directional diagram, as well as the same waveguiding-slot antenna of alternative design which has asymmetrical directional diagram have been developed. Use of the asymmetrical directional diagram of the antenna-mitter enables creation of non-symmetric zone of detection, therefore it becomes possible to define direction of violator's movement with the help of this two-station radio-beam protection device.

Keywords: two-station radio-beam protection device, transmitter, receiver, detection zone, waveguiding-slot antenna, directional diagram.