

УДК 621.396.96:004.94

В.В. Паслєн, канд. техн. наук, доцент,

А.Б. Добровольський, ад'юнкт,

І.Р. Демидов, студент

Донецький національний технічний університет

ул. Артєма 58, г. Донецьк, Україна, 83001

E-mail: paslen@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗОНЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЛЯ ДВУХПОЗИЦИОННОГО РАДИОЛУЧЕВОГО СРЕДСТВА ОХРАНЫ

Разработаны имитационные модели волноводно-щелевой антенны, используемой в передатчике двухпозиционного радиолучевого средства охраны «Витим», а также аналогичной антенны с измененной конструкцией, обеспечивающей диаграмму направленности несимметричной формы. Предложена методика определения направления движения объекта с помощью двухпозиционного радиолучевого средства охраны.

Ключевые слова: *двухпозиционное радиолучевое средство охраны, передатчик, приёмник, зона обнаружения, диаграмма направленности.*

В настоящее время в системе охраны государственной границы используется достаточно широкий спектр технических средств охраны. Так в частности для сигнализационного блокирования локальных участков границы используются двухпозиционные радиолучевые сигнализационные средства охраны (РЛССО) — СС-84РЛБ («Витим»), РЛД-73 («Георгин»). Перспективными двухпозиционными РЛССО данного класса, которые могут прийти на смену «Витиму» и «Георгину», являются сигнализационные средства «Фортеза-12» и «Радий-РБК». В настоящее время двухпозиционные РЛССО кроме охраны локальных участков границы достаточно широко применяются для охраны периметров объектов разного назначения как государственной, так и частной собственности. Потому что данные средства обладают следующими преимуществами:

— на работу системы не влияют такие климатических факторы, как атмосферные осадки, температура окружающей среды, направление и сила ветра, а также наличие в зоне обнаружения (ЗО) мелких животных и птиц;

— скрытность установки, вследствие чего нарушитель (в дальнейшем — объект, под ним понимается человек), наиболее вероятно не будет применять специальных мер по преодолению рубежа охраны;

— значительная протяженность одного участка, который блокируется (до 500 м);

— возможность обнаружения объекта, который преодолевает рубеж охраны как в полный рост так и согнувшись (ползком).

Особенность существующих двухпозиционных РЛССО, проявляется в их недостаточной информационной способности, так как данные средства не позволяют определять направление движения и скорость объекта, дальность до него. Информативность технических средств охраны границы может существенно влиять на процесс обеспечения эффективных условий задержания правонарушителей. Особенно актуальным является определение направления движения объекта при сигнализационном блокировании локальных участков государственной границы [1, 2]. Так при условии реализации в РЛССО вышеупомянутых возможностей, информационная способность средств будет возрастать [2, 3].

Целью исследования является обоснование возможности определения направления движения объекта двухпозиционным РЛССО и в дальнейшем разработка имитационной модели волноводно-щелевой антенны передатчика (ПРД) системы «Витим», которая формирует несимметричную диаграмму направленности, что в свою очередь даёт возможность образовывать несимметричную ЗО и определять направление движения объекта.

В двухпозиционных РЛССО ПРД и приёмник (ПРМ) формируют ЗО в форме вытянутого эллипсоида вращения. Принцип действия двухпозиционных РЛССО основан на регистрации изменения комплексной амплитуды электромагнитной волны, в результате движения объекта между ПРД и ПРМ. Появление объекта в ЗО приводит к уменьшению или увеличению принимаемого сигнала. Тревожное сообщение формируется системой при регистрации на ПРМ превышения уровня сигнала относительно порогового значения.

Принимая во внимание принцип действия двухпозиционных РЛССО, обоснуем следующее — возможно ли определять направление движения объекта по изменению комплексной амплитуды (на ПРМ) при его появлении в чувствительной зоне. Для этого воспользуемся моделью образования сигнала на основе фазового пространства [3].

На рисунку 1 показана еліптична модель фазового простору з лініями рівних просторових фаз, представляюча собою еліпс, всі точки якого задовольняють умову $l_1 + l_2 = 2c$. Схема відповідає горизонтальній площині, на якій ПРД і ПРМ розташовані в фокусах еліпса.

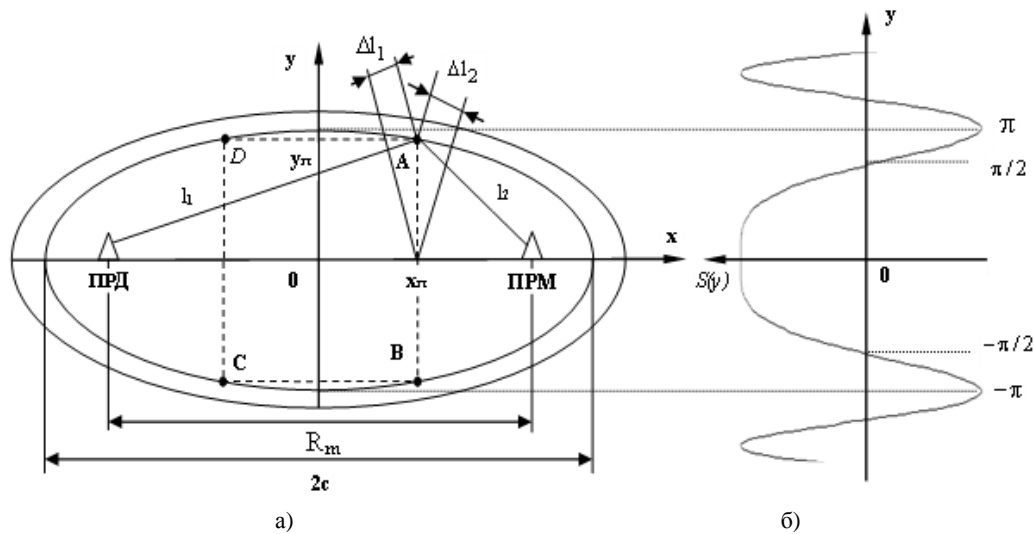


Рисунок 1 — Еліптична модель фазового простору двохпозиційного РЛССО

Пусть объект находится в чувствительной зоне, которая образована ПРД и ПРМ, а именно в точке А. Проанализируем, как изменится комплексная амплитуда при появлении объекта. Для этого определим разность хода между ПРД к ПРМ по прямой линии через точку О и по ломанной линии через точку А с координатами x_n, y_n

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2, \tag{1}$$

где $\Delta l_1 = l_1 - \left(\frac{R_m}{2} + x_n\right); \Delta l_2 = l_2 - \left(\frac{R_m}{2} - x_n\right)$.

Выразим расстояния l_1 и l_2 через параметр R_m :

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

$$l_2 = \sqrt{\left(\frac{R_m}{2} - x_n\right)^2 + y_n^2} = \left(\frac{R_m}{2} - x_n\right) \cdot \sqrt{1 + \frac{y_n^2}{\left(\frac{R_m}{2} - x_n\right)^2}}.$$

Поскольку $\frac{y_n}{\left(\frac{R_m}{2} \pm x_n\right)} \ll 1$, при $0 \leq x_n < \frac{R_m}{2}$, то преобразуем выражения для l_1 и l_2 , используя

известное соотношение $\sqrt{1 + \alpha^2} \approx 1 + \frac{\alpha^2}{2}$, при $\alpha \ll 1$:

$$l_1 \approx \left(\frac{R_m}{2} + x_n\right) + \frac{y_n^2}{2\left(\frac{R_m}{2} + x_n\right)}; \tag{2}$$

$$l_2 \approx \left(\frac{R_m}{2} - x_n\right) + \frac{y_n^2}{2\left(\frac{R_m}{2} - x_n\right)}. \tag{3}$$

Подставляя (2) и (3) в (1) и преобразуя, находим

$$\Delta l = \frac{y_n^2}{2} \cdot \left[\frac{1}{\left(\frac{R_m}{2} - x_n\right)} + \frac{1}{\left(\frac{R_m}{2} + x_n\right)} \right] = \frac{2y_n^2}{R_m \left(1 - \frac{4x_n^2}{R_m^2}\right)}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что разность хода при $x_n = 0$ равна $\Delta l = \frac{2y_n^2}{R_m}$, а при $x_n \approx \frac{R_m}{2}$ (но $x_n \neq \frac{R_m}{2}$) — $\Delta l = \frac{y_n^2}{R_m}$, то есть в два раза меньше. Чем больше x_n (расстояние от центра ЗО), тем больше будет масштаб функции $\Delta l(y_n)$.

Определим комплексную амплитуду электрической составляющей электромагнитной волны в точке приема

$$\dot{E}_{\text{прм}} = \dot{E} \cos(\Delta\varphi) e^{j\varphi}, \quad (5)$$

где $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l$ — фазовый сдвиг электромагнитной волны.

Используя выражение (5) определим относительный фазовый сдвиг электромагнитной волны для эллиптической модели фазового пространства (рисунок 1)

$$\Delta\varphi_{\text{ел}} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l = \frac{4\pi y_n^2}{\lambda R_m \left(1 - \frac{4x_n^2}{R_m^2}\right)}. \quad (6)$$

Если объект движется вдоль оси Oy (рисунок 1), то комплексная амплитуда электромагнитной волны принимает вид $\dot{E}_{\text{прм}} = \dot{E} \cos(\Delta\varphi_{\text{ел}}) e^{j\varphi}$ и определяет уровень сигнала на выходе приемника

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

где y_n, x_n — координаты объекта в ЗО; λ — длина волны; R_m — длина блокируемого участка между ПРД и ПРМ.

Таким образом, сигнал, который регистрируется на ПРМ будет зависеть как от известных — параметров R_m, λ , так и неизвестных координат объекта в ЗО между ПРД и ПРМ — x_n, y_n . Отсюда следует, что определять направление движения объекта не представляется возможным. Пояснение этому можно найти, обратившись к рисунку 1, где точка А (воображаемое место нахождения объекта) будет симметрична относительно осей Ox, Oy для точек В, С, D. Соответственно сигнал на выходе ПРМ будет одинаковым при условии пребывания объекта в любой из указанных точек, что обуславливает невозможность определения направления движения объекта.

Чтобы определить направление движения объекта двухпозиционным РЛССО необходимо применение дополнительных технических решений. Возможными вариантами для определения параметров движения объекта может быть:

- использование двух отдельных ЗО;
- использование в ЗО отражателя и анализ во времени изменения сигнала на выходе ПРМ при движении объекта в ЗО;
- использование несимметричной ЗО, которая образуется в результате того, что антенной ПРД (ПРМ) формируется диаграмма направленности несимметричной формы.

Что касается первого варианта, то направление движения определяется, исходя из последовательности пересечения двух ЗО. Такой способ определения направления движения уже реализован в двухпозиционном РЛССО «Торос». Однако он характеризуется дополнительным усложнением РЛССО, так как ПРД должен иметь два отдельных излучателя, а ПРМ — два приемника соответственно, что приводит к увеличению энергопотребления как ПРД, так и ПРМ.

Во втором варианте при размещении отражателя в ЗО, определение направления движения происходит за отслеживанием последовательности изменения принимаемого сигнала, который принимается: перекрытие объектом луча на отражатель, потом прямого луча или обратная последовательность. Данный способ детально описан в работе [4]. Его недостатком является то, что для его реализации функционирования отражатель должен быть точно размещен на краю ЗО. Потому такой способ больше подходит для двухпозиционных РЛСОО, которые будут размещаться стационарно.

Необходимым условием реализации третьего варианта является создание несимметричной ЗО. Для формирования несимметричной ЗО достаточно иметь несимметричную форму диаграммы направленности антенны ПРД или ПРМ, суженную с одной стороны относительно своей средней линии. Так как аналитические методы анализа структуры поля антенны достаточно сложны и трудоёмки, то было выполнено имитационное моделирование волноводно-щелевой антенны ПРД системы «Витим» с помощью программы HFSS v. 13.0. В качестве исходных данными была использована физическая модель антенны волноводно-щелевой антенны ПРД системы «Витим» с рабочей частотой 35 ГГц, внешний вид которой показан на рисунке 2.

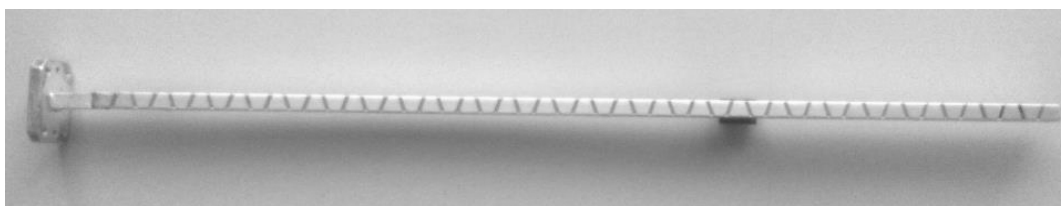


Рисунок 2 — Внешний вид волноводно-щелевой антенны ПРД системы «Витим»

На рисунке 3, а показана модель антенны, а на рисунке 3, б — ее диаграмма направленности, полученная в процессе моделирования.

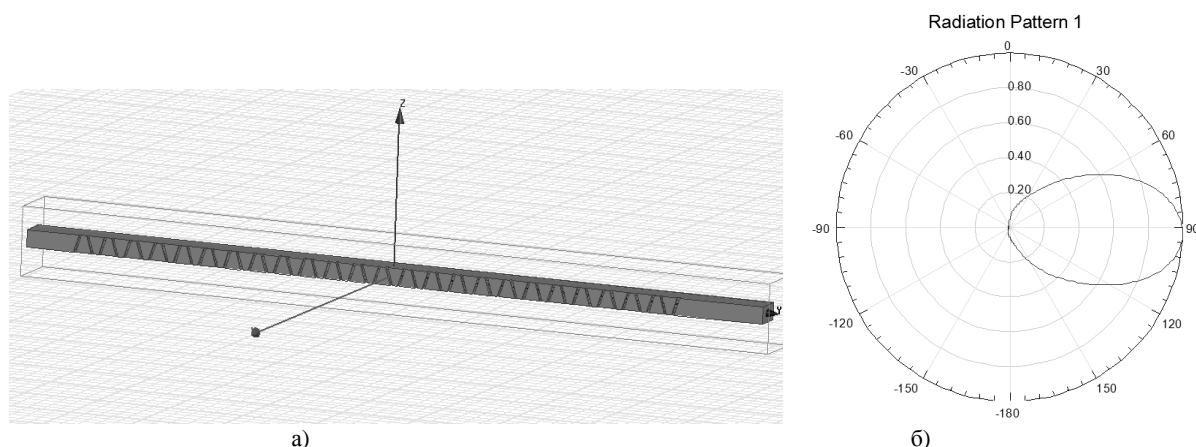


Рисунок 3 — Модель волноводно-щелевой антенны ПРД системы «Витим» (а) и ее диаграмма направленности (б)

Была разработана модель антенны с измененной конструкцией. Сущность изменений заключается в том, что в середине волновода располагаются мелкие металлические цилиндры, как это показано на рисунке 4, а. Вследствие этого происходит изменение диаграммы направленности антенны, а именно — сужение с одной стороны средней линии и расширение с другой стороны. Вид данной диаграммы направленности показан на рисунке 4, б.

Таким образом, располагая в середине волновода металлические цилиндры разных размеров и изменяя координаты их расположения, становится возможным получение диаграммы направленности несимметричной формы.

Как было указано выше, для определения направления движения обязательным условием является создание несимметричной зоны обнаружения относительно средней линии. Изменения конструкции антенны ПРД, как это сделано в имитационной модели, делает возможным определение направления движения объекта двухпозиционным РЛСОО. Сущность методики определения направления движения объекта заключается в анализе последовательности изменений принятого сигнала, который отразился от объекта. Благодаря несимметричной форме ЗО объект, находящийся с более широкой стороны ЗО (по отношению к средней линии), переизлучает и создаёт в ПРМ больший уровень сигнала, чем находясь

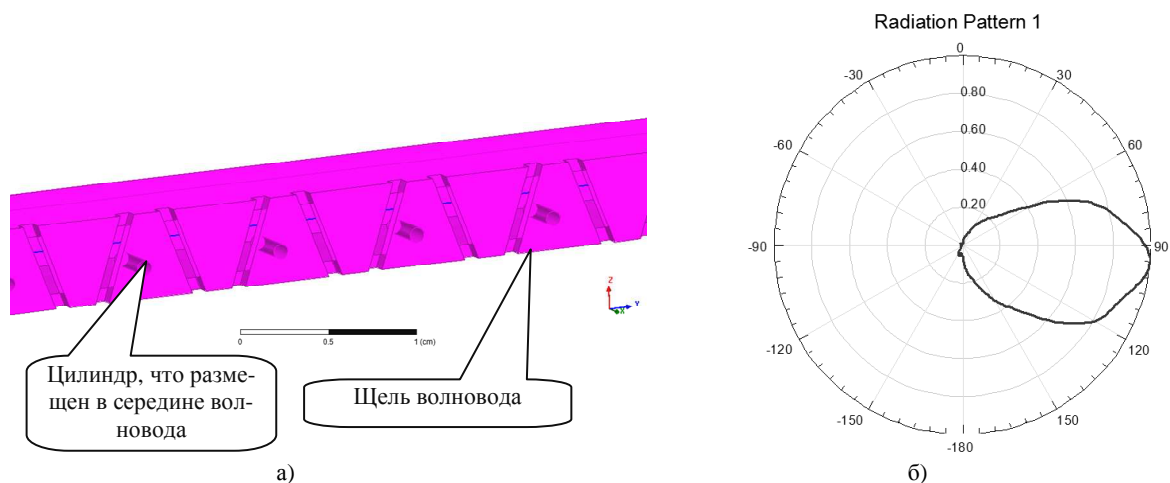


Рисунок 4 — Модель волноводно-щелева антенна з измененою конструкцією (циліндри в середині волновода) (а) зовнішній вигляд і її діаграма направленості (б)

с узкої сторони ЗО. Формування несиметричної форми ЗО пояснюється рисунком 5, а, де діаграма направленості ПРД являється несиметричною. Рисунок 5,б пояснює як змінюється прийнятий сигнал, якщо об'єкт здійснює тангенціальне (поперечне) рух через несиметричну ЗО від широкій сторони до вузької.

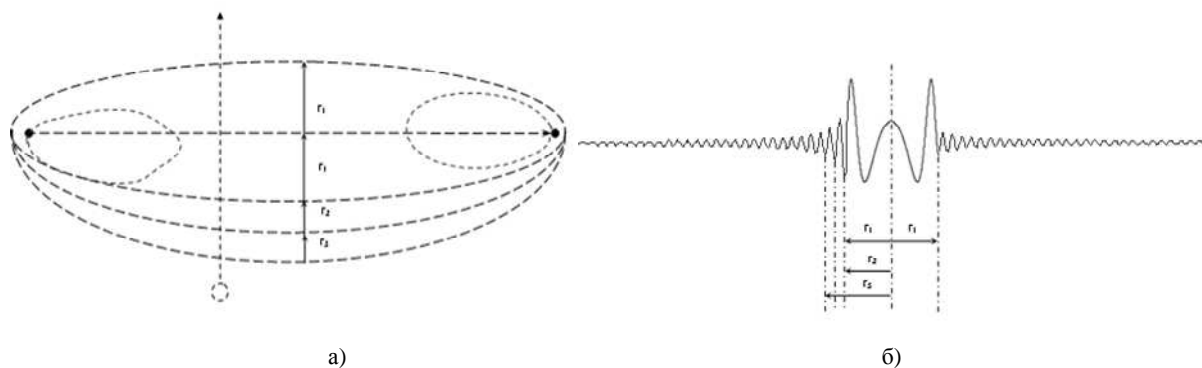


Рисунок 5 — Зовнішній вигляд несиметричної ЗО (а) ЗО і діаграма сигналу (б) в каналі прийому при русі об'єкта через несиметричну ЗО від широкій сторони до вузької

Результати, отримані в роботі дозволяють зробити наступні висновки:

- обґрунтована можливість визначення напрямку руху об'єкта з допомогою двохпозиційних РЛССО шляхом формування несиметричної ЗО між ПРД і ПРМ;
- розроблені імітаційні моделі діючого зразка антени ПРД двохпозиційного РЛССО «Вітим», а так же цієї ж антени з зміненою конструкцією, яка формує несиметричну форму діаграми направленості;
- розроблена методика визначення напрямку руху об'єкта з допомогою двохпозиційного РЛССО, що формує несиметричну діаграму направленості.

В подальшому передбачається проведення експериментальних досліджень РЛССО з використанням розробленої антени.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Лантвойт О.Б. Деякі аспекти концепції комплексного контролю сухопутного кордону / О.Б. Лантвойт, С.В. Ленков, М.І. Лисий // Щоквартальний науково-теоретичний та науково-практичний журнал Міністерства оборони України «Наука і оборона». — 2011. — № 3. — С. 3–7.
2. Добровольський А.Б. Модель оцінки ефективності технічних засобів охорони кордону при врахуванні інформаційних характеристик / А.Б. Добровольський // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. — К.: ВІКНУ, 2012. — Вип. № 38. — С. 25–30.

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

4. Добровольський А.Б. Методика визначення параметрів руху двопозиційним радіопроменевим засобом охорони / А.Б. Добровольський // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони: науково-практичний журнал. — 2013. — № 3 (18) — С. 28–34.

Поступила в редакцію 25.02.2014 г.

Пасльон В.В., Добровольський А.Б., Демидов І.Р. Моделювання несиметричної зони виявлення для двопозиційного радіопроменевого засобу охорони

Розроблені: імітаційні моделі діючої хвильоводно-щилинної антени, що використовується в передавачі двопозиційного радіопроменевого засобу охорони «Вітим», а також ця ж хвильоводно-щилинна антенна зі зміненою конструкцією, яка має діаграму спрямованості несиметричної форми; методика визначення напрямку руху об'єкту двопозиційним радіопроменевим засобом охорони.

Ключові слова: двопозиційний радіопроменевий засіб охорони, передавач, приймач, зона виявлення, діаграма спрямованості.

Paslyon V.V., Dobrovolskyi A.B., Demidov I.R. Modelling of an asymmetrical zone of detection by two-position radio-beam guarding means

The simulating models of existing waveguiding-slot antenna which is used in the transmitter of two-station radio-beam protection device "Vitim" and its directional diagram, as well as the same waveguiding-slot antenna of alternative design which has asymmetrical directional diagram are developed. The method to determine a direction of movement object with two-position radio-beam guarding stations is proposed.

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