

УДК [621.396.96+621.396.67]:654.9

**А. Б. Добровольский**

## **ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ СИГНАЛИЗАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ**

*В статье проведена оценка информационной способности технических средств охраны границы; указаны пути ее повышения; описаны методики определения параметров движения нарушителя двухпозиционными радиолучевыми средствами охраны, метод определения дальности до нарушителя сигнализационным средством охраны обрывного типа на основе измерения электрической ёмкости чувствительного элемента.*

**Ключевые слова:** информационная способность, техническое средство охраны границы, двухпозиционное радиолучевое сигнализационное средство охраны, сигнализационное средство охраны обрывного типа, зона выявления, микрокабель.

### **Введение**

На сегодняшний день в охране государственной границы используют довольно широкий спектр технических средств охраны. Так для сигнализационного блокирования локальных участков государственной границы используют двухпозиционные радиолучевые сигнализационные средства охраны (РЛССО) СС-84РЛБ («Витим»), РЛД-73 («Георгин») и сигнализационные средства охраны обрывного типа «Хмель-1», «Кристалл-М», «Кристалл-2», «Лиана-1», «Трос». Перспективными двухпозиционными РЛССО, которые могут прийти на смену «Витиму» и «Георгину», являются сигнализационные средства «Фортеза-12» и «Радий-БРК» [1 – 2]. Что касается сигнализационных средств обрывного типа, то перспективными средствами являются «Краб-1» и «Кувшинка-М» [3 – 4]. Особенностью существующих образцов сигнализационных средств охраны локальных участков государственной границы является их недостаточная информационная способность, так как данные средства не позволяют определять направление движения и скорость нарушителя, дальность до него. Информационная способность технических средств охраны границы может существенно влиять на процесс обеспечения эффективных условий задержания правонарушителей. Так при условии реализации в обрывных сигнализационных средствах и РЛССО вышеупомянутых возможностей их информационная способность будет возрастать [5 – 6].

### **Результаты исследования**

Чтобы сравнить различные технические средства охраны границы по наиболее универсальным критериям существуют информационные возможности, которые основываются на количестве полученной информации о нарушителе. Так в работе [6] проведена оценка информационной способности действующих образцов технических средств охраны границы по их тактико-техническим характеристикам, а также оценено, как изменится информационная способность этих же технических средств охраны, если у них появятся такие функциональные возможности: запоминание информации о факте нарушения, определение направления движения нарушителя и дальности до него, формирование его радиоизображения. Для нахождения информационной способности технических средств охраны границы используют следующее выражение:

$$I = K \log_2(N_T N_W N_D), \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент запоминания ( $K = 1$  – информация о факте нарушения запоминается;  $K = 0$  – информация не запоминается);  $N_T$  – временная степень свободы;  $N_W$  –

пространственная степень свободы;  $N_D$  – количество видов степеней свободы.

Количество временных степеней свободы влияет на информационную способность технических средств, но ее необходимо учитывать там, где для формирования сигналов тревоги используют временные параметры, например, время задержки полученного сигнала по отношению к излученному. Часть существующих технических средств не использует временные характеристики сигнала, и соответственно для нахождения информационной способности временные степени свободы будут отсутствовать. Наиболее широкое распространение в технических средствах охраны получило использование пространственных параметров для извлечения информации о факте нарушения [6].

Тепловизионные средства охраны имеют наивысшую информационную способность среди всех технических средств охраны, но вместе с этим характеризуются такими недостатками: качественно не могут адаптироваться ко всем видам местности и имеют высокую стоимость (от десятков тысяч до нескольких сотен тысяч у.е.). В свою очередь, у других технических средств охраны есть следующие пути относительно увеличения своей информационной способности:

во-первых, это запоминание полученной информации (если это реализовать в приборе «Хмель-1», то информационная емкость будет равна 1 бит);

во-вторых, если технические средства охраны будут иметь возможность определять направление движения нарушителя (например, сигнализационная система «Витим»), то ее информационная способность будет равна 5,3 бит.

в-третьих, если появляется возможность определять дальность к нарушителю, например, в сигнализационных приборах «Хмель-1», «Кристалл-2» и в сигнализационной системе «Витим», которая уже определяет направление движения, с погрешностями в измерении дальности 5 м («Хмель-1»), 15 м («Кристалл-2»), 1 м («Витим»), то их информационная способность будет равна соответственно 10,2 бит, 7,2 бит, 13,1 бит;

в-четвертых, при реализации функции формирования радиоизображения появится возможность определения поперечных размеров нарушителя, и если для системы «Витим» (где уже определяется направление движения и дальность к нарушителю) и радиолокационных станций ПСНР-5 и СБР-3 взять разрешающую способность по поперечным размерам 0,5 м при ширине контролируемого участка 5 м и при высоте контролируемого участка 1,7 м, их информационная ёмкость будет равна 18,9 бит, 19,3 бит, 14,27 бит.

В таблице 1 представлена информационная способность технических средств охраны границы в соответствии с их тактико-техническими характеристиками, а также оценка направлений её повышения при реализации вышеупомянутых путей усовершенствования.

Таблица 1

**Информационные характеристики технических средств охраны границы**

| Информационные характеристики | Сигнализационные средства |                        |                      |                              | Радиолокационные станции                                                                    |                                                                                            | Тепловизионные средства                                                     |                                                                             |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                               | обрывного типа            |                        |                      | двухпозиционное радиолучевое |                                                                                             |                                                                                            |                                                                             |                                                                             |
|                               | «Хмель-1»<br>(Украина)    | «Кристалл-2»<br>(СССР) | «Краб-1»<br>(Россия) | «Витим»<br>(СССР)            | СБР-3<br>(СССР)                                                                             | ПСНР-5<br>(СССР)                                                                           | Vario View™150<br>(Германия)                                                | Carl Zeiss<br>(Германия)                                                    |
| $N_W$                         | 1                         | 1                      | 50                   | 1                            | 7,8<br>$\left(\frac{L}{\Delta L}\right)$<br>20<br>$\left(\frac{\beta}{\Delta \beta}\right)$ | 15<br>$\left(\frac{L}{\Delta L}\right)$<br>40<br>$\left(\frac{\beta}{\Delta \beta}\right)$ | 640 ( $N_X$ )<br>420 ( $N_Y$ )<br>7000<br>$\left(\frac{L}{\Delta L}\right)$ | 640 ( $N_X$ )<br>512 ( $N_Y$ )<br>3600<br>$\left(\frac{L}{\Delta L}\right)$ |

| Информационные характеристики                              | Сигнализационные средства |                     |                   |                              | Радиолокационные станции |               | Тепловизионные средства   |                       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|
|                                                            | обрывного типа            |                     |                   | двухпозиционное радиолучевое |                          |               |                           |                       |
|                                                            | «Хмель-1» (Украина)       | «Кристалл-2» (СССР) | «Краб-1» (Россия) | «Витим» (СССР)               | СБР-3 (СССР)             | ПСНР-5 (СССР) | Vario View™150 (Германия) | Carl Zeiss (Германия) |
| $N_D$                                                      | 2                         | 2                   | 2                 | 2                            | 3                        | 3             | 3                         | 3                     |
| $I$ , бит                                                  | 1/0*                      | 2                   | 6,6/0*            | 4,3                          | 8,4**                    | 13,5**        | 32,8**                    | 32,1**                |
| Возможн. пути усоверш.:<br>1) Запом. инф-ии<br>$I_z$ , бит | +                         | —                   | +                 | —                            | —                        | —             | —                         | —                     |
| 2) Определение направления<br>$I_n$ , бит                  | —                         | —                   | —                 | +                            | —                        | —             | —                         | —                     |
| 3) Определение даль-ти<br>$I_d$ , бит                      | +                         | +                   | —                 | +                            | —                        | —             | —                         | —                     |
| 4) Формирование радиоизб.<br>$I_p$ , бит                   | —                         | —                   | —                 | +                            | +                        | +             | —                         | —                     |
|                                                            | 10,2                      | 7,2                 |                   | 13,1                         | 14,27                    | 19,1          |                           |                       |

Примечание: \* – значение информационной способности / но информация не запоминается; \*\* – значение информационной способности соответствует транспортному средства (автомобиль).

В работе [7] указана возможность реализации двухпозиционным РЛССО определения направления движения и скорости нарушителя, а также его классификации за типом: человек или крупное животное. Чтобы определить направление движения объекта двухпозиционным РЛССО, применяют такое техническое решение, как использование в зоне выявления отражателя. При размещении в зоне выявления отражателя определение направления движения происходит в результате отслеживания последовательности изменений сигнала, который принимают: перекрытие объектом луча на отражатель, потом прямого луча или прохождения обратной последовательности, как это показано на рис. 1.

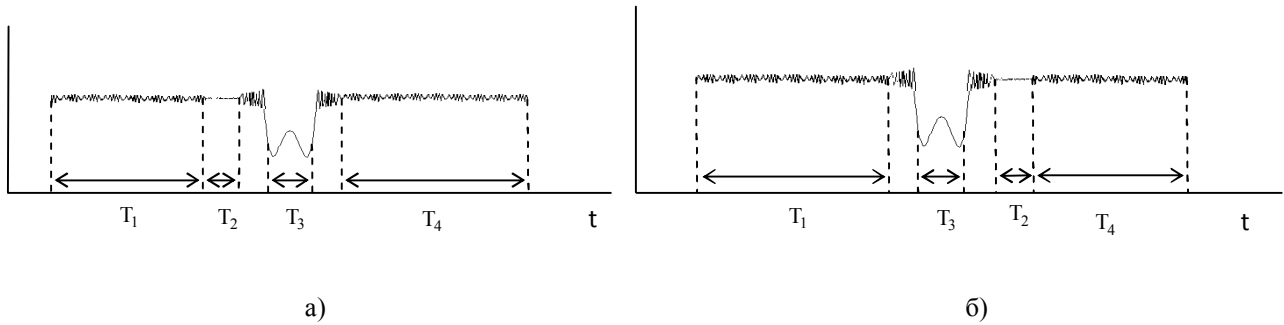


Рис. 1. Сигнал, который регистрируется на выходе ПРМ: а) когда объект движется в направлении “к нам”; б) когда объект движется в направлении “от нас”;  $T_1, T_4$  – интервал времени, когда происходит интерференция;  $T_2$  – интервал времени, когда отсутствует интерференция;  $T_3$  – интервал времени, когда объект перекрывает прямой луч

Недостатком данного способа является то, что для его функционирования отражатель должен быть точно размещен на краю зоны выявления, поэтому такой способ подходит для двухпозиционных РЛССО, которые размещаются стационарно, например, сигнализационная система «Георгин». Кроме того если нарушитель будет преодолевать зону выявления вблизи передатчика или приемника, то это приведет к резкому уменьшению амплитуды сигнала. То есть нарушитель своим телом будет перекрывать одновременно как прямой луч, так и луч на отражатель, что приведёт к невозможности определения направления движения нарушителя. Чтобы определять направление движения сигнализационной системой «Георгин», нарушитель должен преодолевать зону выявления не ближе, чем 12 м от передатчика или приемника [8].

При регистрации во времени начала перекрытия луча на отражатель (от отражателя) и начала перекрытия прямого луча или при регистрации временных показателей в обратном порядке становится возможным определить такой параметр движения, как скорость движения нарушителя. Так скорость находят по следующей формуле:

$$V_n = \frac{2R_m \lambda r_o}{(8r_o^2 + R_m \lambda)(t_2 - t_1)}, \quad (2)$$

где  $t_1, t_2$  – моменты времени перекрытия лучей в направлении отражателя и прямого луча;  $r_o$  – расстояние от средней линии (направление прямого луча) к отражателю, который находится на краю зоны выявления;  $R_m$  – расстояние между передатчиком и приемником;  $\lambda$  – длина волны, излучаемой передатчиком.

Классификацию нарушителей осуществляют по следующим признакам:

- по регистрации изменения модуля комплексной амплитуды от влияния бокового размера объекта (боковой размер крупных животных больше бокового размера человека ( $a > 0,25$  м)). В работе [9] приведена модель образования сигнала в двухпозиционном РЛССО за счет дифракции электромагнитных волн на нарушителе. Согласно данной модели диапазон изменения модуля комплексной амплитуды в точке приема увеличивается при росте бокового размера нарушителя;

- по времени продолжительности перекрытия луча на отражатель (от отражателя) или прямого луча.

В таблице 2 представлены признаки идентификации и соответствующие им критерии.

Таблица 2

## Признаки идентификации влияния объекта нарушения

| Признак идентификации                                                                                                                 | Критерий идентификации                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Первым регистрируют изменение амплитуды сигнала ( $X_1$ ) вследствие перекрытия объектом нарушения луча на отражатель (от отражателя) | Критерий определения направления движения – объект движется «к нам»  |
| Первым регистрируют значительное уменьшение амплитуды сигнала ( $X_2$ ) вследствие перекрытия объектом нарушения прямого луча         | Критерий определения направления движения – объект движется «от нас» |
| Изменение модуля комплексной амплитуды при боковом размере больше 0,25 м ( $X_3$ )                                                    | Критерий определения типа объекта (человек/животное)                 |
| Время продолжительности перекрытия луча на отражатель (от отражателя) ( $X_4$ )                                                       | Критерий определения типа объекта (человек/животное)                 |

Аналогично процессу оценки сигналов в радиолокации [10] наличие дополнительных признаков идентификации сигнала можно трактовать как параллельное выявление сигнала по соответствующему признаку. Структура алгоритма обработки сигнала с учетом определенных критериев идентификации состоит из нескольких параллельных каналов идентификаторов сигнала по соответствующему признаку, как показано на рис. 2.

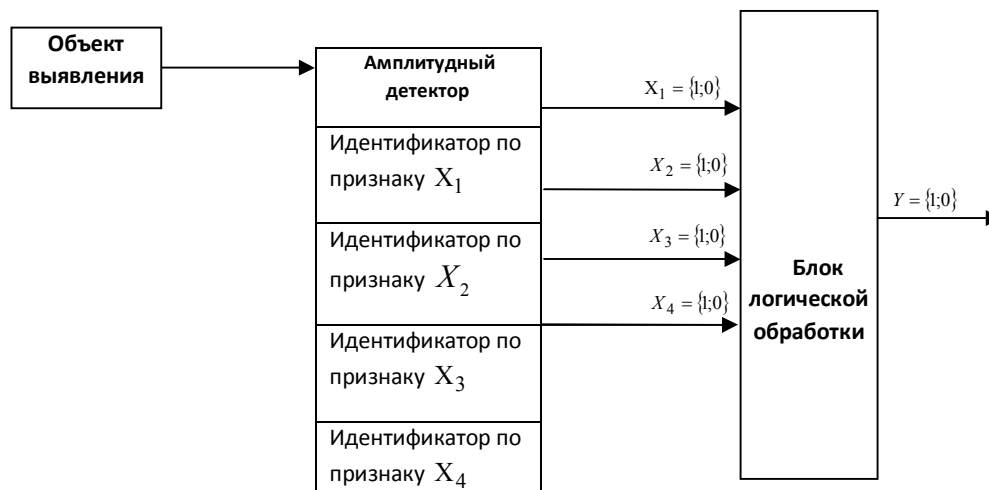


Рис. 2. Структура алгоритма обработки сигнала

Согласно рис. 2 амплитудный детектор, кроме порогового обнаружения, обрабатывает сигнал по дополнительным каналам обработки, которые включают идентификаторы по признакам  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ , по которым блок логической обработки определяет направление движения и тип нарушителя (человек или животное).

Чтобы понять, как работает блок логической обработки, необходимо понять логику его работы, то есть найти соответствие между входными и исходящими сигналами. Для этого выполним следующие действия:

1) составим таблицу истинности (таблица 3);

2) согласно таблице запишем логическую функцию (формулу) с помощью метода, который называется «совершенная дизъюнктивная нормальная форма»:

– в заданной таблице выбирают только наборы сменных, при которых значение функции равняется «1»;

– для каждого такого набора записывают конъюнкции всех входных переменных,

имеющих значение «1», при этом те переменные, которые имеют значение «0», записывают инверсиями этих переменных;

– все полученные конъюнкции объединяют знаками дизъюнкции, это и будет логическая функция, которую можно будет упростить (минимизировать) по законам Булевой алгебры;

3) строим логическую схему по упрощенной логической функции.

Таблица 3

### Таблица истинности

| Сменные |       |       |       | $Y(X_1, X_2, X_3, X_4)$ |
|---------|-------|-------|-------|-------------------------|
| $X_1$   | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ |                         |
| 0       | 0     | 0     | 0     | 0                       |
| 0       | 0     | 0     | 1     | 0                       |
| 0       | 0     | 1     | 0     | 0                       |
| 0       | 0     | 1     | 1     | 0                       |
| 0       | 1     | 0     | 0     | 0                       |
| 0       | 1     | 0     | 1     | 0                       |
| 0       | 1     | 1     | 0     | 0                       |
| 0       | 1     | 1     | 1     | 1                       |
| 1       | 0     | 0     | 0     | 0                       |
| 1       | 0     | 0     | 1     | 0                       |
| 1       | 0     | 1     | 0     | 0                       |
| 1       | 0     | 1     | 1     | 1                       |
| 1       | 1     | 0     | 0     | 0                       |
| 1       | 1     | 0     | 1     | 0                       |
| 1       | 1     | 1     | 0     | 0                       |
| 1       | 1     | 1     | 1     | 1                       |

Логическая функция для случая, когда определяют тип объекта (человек) и направление его движения будет иметь следующий вид:

$$Y = \bar{X}_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4. \quad (3)$$

Упростив выражение (3), получим:

$$Y = X_3 \cdot X_4 (\bar{X}_1 \cdot X_2 + X_1 \cdot \bar{X}_2 + X_1 \cdot X_2) = X_3 \cdot X_4 \cdot (\bar{X}_1 \cdot X_2 + X_1). \quad (4)$$

Логическая схема блока обработки изображена на рис. 3. При построении логической схемы на основе вышеупомянутой логической функции принимаем во внимание установленный порядок выполнения логических операций: инверсия, произведение, добавление – при этом не забываем о приоритете скобок.

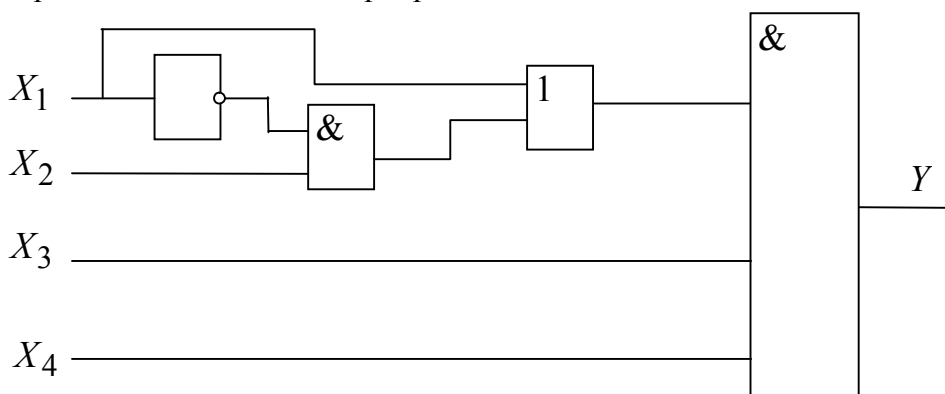


Рис. 3. Логическая схема блока обработки

В работе [11] предложен другой способ определения направления движения нарушителя двухпозиционным РЛССО. Для этого необходимым условием является образование несимметричной зоны выявления. Чтобы образовать несимметричную зону выявления, достаточно иметь несимметричную форму диаграммы направленности антенны передатчика или приемника, которая была бы сужена с одной стороны к своей средней линии. Так для моделирования волноводно-щелевой антенны передатчика сигнализационной системы «Витим» использовали программу HFSS v. 13.0. Процесс моделирования в HFSS детально описан в [12].

Исходными данными для моделирования являются физические размеры антенны и длина волны, соответствующая рабочей частоте 35 ГГц. В результате моделирования антенны, используемой в передатчике двухпозиционного РЛССО «Витим» (рис. 4 а), получим ее диаграмму направленности, показанную на рис. 4 б).

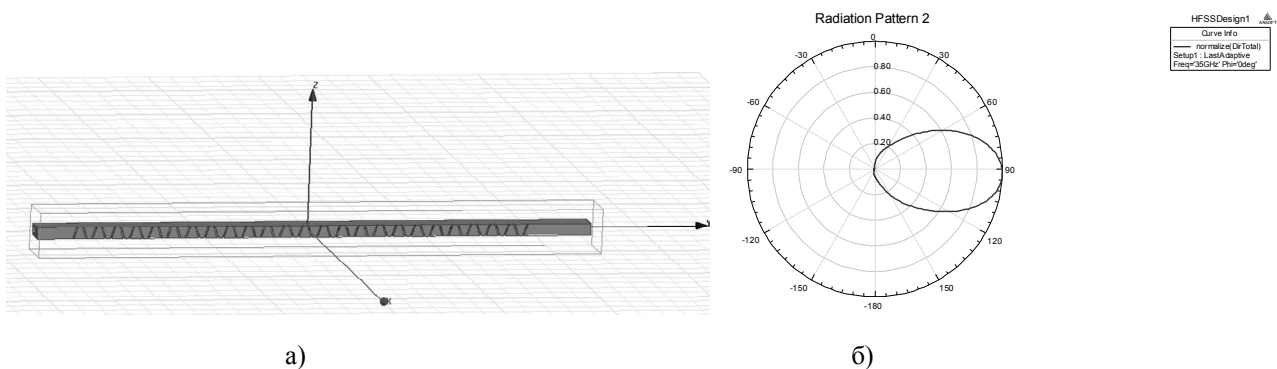


Рис. 4. Волноводно-щелевая антенна ПРД системы «Витим» в HFSS v. 13.0:  
а) внешний вид; б) диаграмма направленности

В результате моделирования в HFSS была изменена конструкция антенны передатчика. Сущность изменений в конструкции заключается в том, что в середине волновода располагаются мелкие металлические цилиндры, как это показано на рис. 5 а. Вследствие этого меняется диаграмма направленности антенны, которая сужается с одной стороны к своей средней линии и, наоборот, расширяется с другой. Вид такой диаграммы направленности показан на рис. 5 б. Таким образом, располагая в середине волновода металлические цилиндры разных размеров и меняя координаты их расположения, можно получить диаграмму направленности необходимой формы.

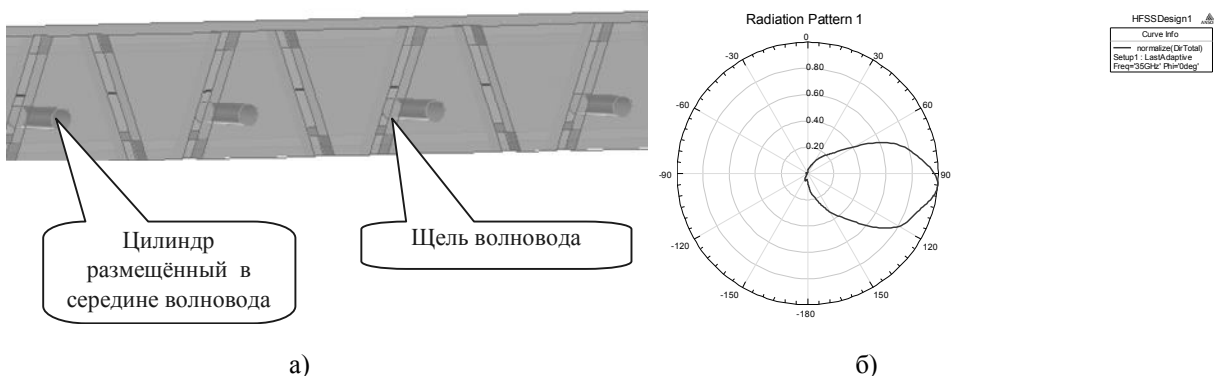


Рис. 5. Волноводно-щелевая антенна ПРД системы «Витим» в HFSS v. 13.0 с измененной конструкцией (цилиндры в середине волновода): а) внешний вид; б) диаграмма направленности

Определение направления движения нарушителя осуществляется в результате анализа последовательности принимаемого сигнала. Благодаря несимметричной форме зоны выявления, нарушитель, который находится с более широкой стороны зоны выявления (по отношению к средней линии), переизлучает и образует в приемнике значительно выше уровень сигнала, чем находясь с узкой стороны зоны выявления. Формирование несимметричной зоны выявления объясняется на рис. 6 а, где диаграмма направленности передатчика является несимметричной. Рис. 6 б объясняет, как будет меняться принимаемый сигнал, если нарушитель осуществляет тангенциальное (поперечное) движение через несимметричную зону выявления от широкой стороны к узкой.

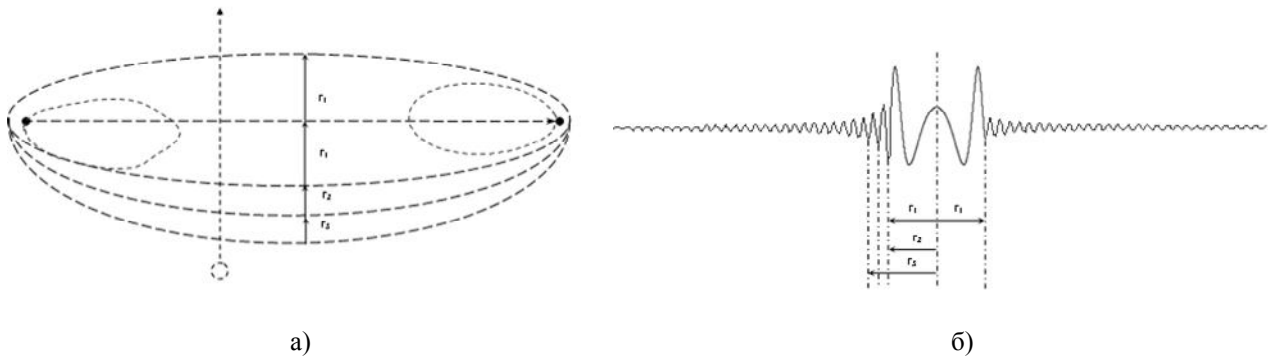


Рис. 6. Несимметричная зона выявления: а) внешний вид зоны выявления, сформированной благодаря несимметричной форме диаграммы направленности передатчика; б) диаграмма сигнала в канале приема при движении нарушителя через несимметричную зону выявления от широкой стороны к узкой

Что касается сигнализационных средств охраны обрывного типа, то в вышеупомянутых средствах «Краб-1», «Кувшинка-М» существует возможность определять приблизительную длину чувствительного элемента. Данная функциональная возможность реализована на основе метода импульсной рефлектометрии. Однако у этого метода есть ряд существенных недостатков:

- максимальная протяженность чувствительного элемента не может быть больше 500 м, так как в процессе распространения электромагнитной волны в волноводной линии происходит её затухание (в основном в земле);
- для работы сигнализационного средства необходимо заземление в грунт, который в силу своих свойств может ограничить длину контролируемого провода, например, тип грунта – сухой или каменистый;
- при использовании метода импульсной рефлектометрии сигнализационное средство охраны является активным, что в свою очередь приводит к уменьшению продолжительности его работы при использовании автономного источника электропитания.

Управиться с таким недостатком, как необходимость заземления, можно при использовании в сигнализационных средствах кассет с микрокабелем, а альтернативой методу импульсной рефлектометрии может быть определение длины микрокабеля на основе измерения его электрической ёмкости.

Так кассеты с микрокабелем используют в следующих сигнализационных средствах обрывного типа: «Хмель-1», «Лиана-1», «Трос». Микрокабель представляет собой две изолированные жилы диаметром 0,05 мм. Принцип работы сигнализационных средств охраны, в которых используют кассеты с микрокабелем, состоит в контроле целостности микрокабеля путем регистрации изменения его сопротивления. Электрическая цепь, которую контролируют, образовывается в результате оплавления конца микрокабеля. Указанные приборы не имеют функции определения расстояния до места обрыва чувствительного элемента.

Измерение расстояния до места обрыва микрокабеля с помощью измерения электрической ёмкости может свестись к следующей методике, а её сущность состоит в

выполнении такой последовательности действий:

– измерение величины электрической ёмкости контрольной длины оборванного микрокабеля и вычисления величины погонной электрической емкости, как указано в формуле:

$$C_{\text{пог}} = \frac{C_{\kappa}}{L_{\kappa}}, \quad (5)$$

где  $C_{\kappa}$  – электрическая ёмкость контрольной длины микрокабеля,  $L_{\kappa}$  – контрольная длина микрокабеля;

– осуществление постоянного контроля величин начального и конечного значения напряжений в микрокабеле;

– измерение времени заряда электрической емкости микрокабеля;

– расчеты остаточной электрической емкости микрокабеля по формуле (3):

$$C_{\text{ост}} = \frac{t}{R \cdot \ln \left( 1 - \frac{U}{U_0} \right)}, \quad (6)$$

где  $R$  – сопротивление микрокабеля, через который происходит заряд электрической ёмкости остатка микрокабеля,  $U$  – начальное значение напряжения в микрокабеле,  $U_0$  – конечное значение напряжения в микрокабеле,  $t$  – время заряда электрической ёмкости остатка микрокабеля от  $U_0$  до  $U$ ;

– определение расстояния к месту обрыва по формуле (7):

$$L_{\text{остат}} = \frac{C_{\text{остат}}}{C_{\text{пог}}}. \quad (7)$$

Однако данную методику измерения расстояния до места обрыва при использовании кассет с микрокабелем невозможно использовать. Связано это с тем, что погонная ёмкость будет постоянной величиной только для участка оборванного микрокабеля без кассеты ( $L_{\text{об}}$ ), как это показано на рис. 7 а.

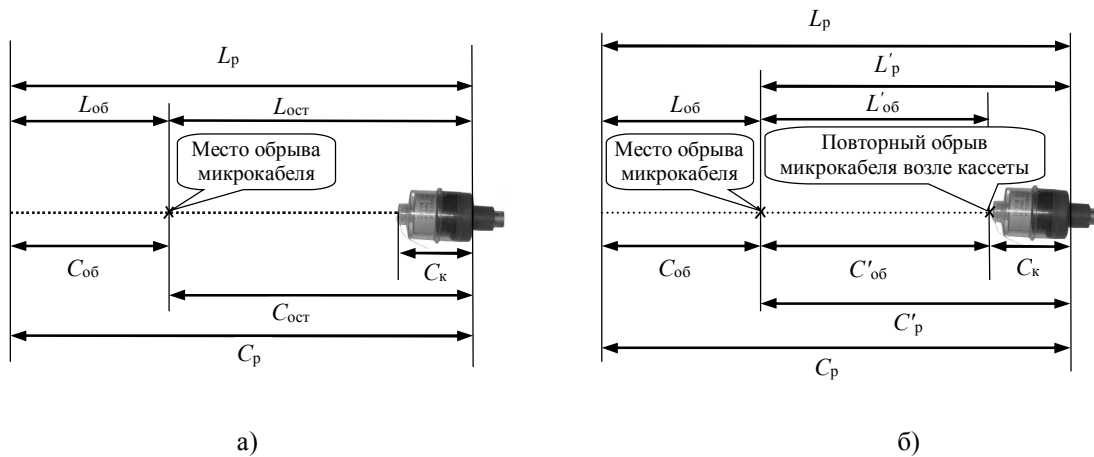


Рис. 7. Кассета с размотанным микрокабелем

Соответственно возможным является только нахождения расстояния  $L_{\text{об}}$ , как указано в выражении:

$$L_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}}}{C_{\text{пог}}} = \frac{C_p - C_{\text{остат}}}{C_{\text{пог}}}. \quad (8)$$

Погонную емкость нельзя использовать для нахождения длин остатка микрокабеля

( $L_{остат}$ ) и размотанного микрокабеля ( $L_p$ ), так как на ёмкость остатка микрокабеля ( $C_{остат}$ ) и ёмкость размотанного микрокабеля ( $C_p$ ) влияет междувитковая ёмкость самой кассеты с микрокабелем ( $C_k$ ).

Чтобы найти длину  $L_{остат}$ , возможным вариантом является повторное осуществление обрыва микрокабеля непосредственно перед кассетой, как это показано на рис. 7 б. Таким образом, расстояние до предыдущего места обрыва микрокабеля будет равно:

$$L'_{об} = \frac{C'_p - C'_{об}}{C_{ног}}. \quad (9)$$

Однако подобный способ нецелесообразно использовать, поскольку это приводит к более быстрому использованию микрокабеля, содержащегося в кассете, но еще, кроме этого, он не позволяет реализоваться тактическому преимуществу при применении средств подобного типа — определению направления движения объекта в случае блокирования участка местности.

Чтобы реализовать в сигнализационном средстве охраны обрывного типа такие функции, как определение дальности до объекта и направление, необходимо применять другой способ нахождения электрических ёмкостей микрокабеля. Таким альтернативным способом может быть обработка экспериментальных данных электрической ёмкости кассеты микрокабеля в двух случаях: при его разматывании и в случае его обрыва.

Так, по результатам эксперимента, измеряли электрическую ёмкость кассеты микрокабеля «Трос» цифровым мультиметром M890G. Общая длина микрокабеля кассеты «Трос» составляет 2000 м [13]. По результатам эксперимента, установлено, что при разматывании микрокабеля с кассеты электрическая ёмкость постепенно уменьшается, хотя общая длина микрокабеля не меняется. По экспериментальным данным найдены уравнения регрессионных полиномов для двух указанных случаев. Коэффициенты уравнений и степени полиномов найдены с помощью программы Mathcad. Листинг программы Mathcad для этих регрессионных полиномов показан на рис. 8. Где  $n$  — степень полинома.  $L_1$ ,  $C_1$  — длина и электрическая ёмкость размотанного микрокабеля,  $L_2$ ,  $C_2$  — длина и электрическая ёмкость оборванного микрокабеля. В векторах результатов  $V_1$  и  $V_2$  первые три строки являются служебными, а другие указывают на значения коэффициентов полинома.

```

n := 2
v1 := regress(L1, C1, n)
v2 := regress(L2, C2, n)
z := 0, 0.1.. 2000
re1(z) := interp(v1, L1, C1, z)
re2(z) := interp(v2, L2, C2, z)

```

$$v1 = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 2 \\ 271.604 \\ -0.081 \\ -2.865 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \quad v2 = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 2 \\ 274.144 \\ -2.902 \times 10^{-3} \\ -1.494 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

Рис. 8. Листинг программы Mathcad для двух регрессионных полиномов

Так значение электрической ёмкости при развертывании полной кассеты на всю длину будет соответствовать регрессионному полиному, который имеет такой вид:

$$C_p(L_p) = -2.825 \cdot 10^{-5} L_p^2 - 0.081 L_p + 271.604, \quad (10)$$

где  $L_p$  – длина размотанного микрокабеля с кассеты.

Значение электрической ёмкости при обрыве микрокабеля с полной кассеты описывают следующим полиномом:

$$C_{об}(L_{об}) = -1.494 \cdot 10^{-5} L_{об}^2 - 2.902 L_{об} + 274.144, \quad (11)$$

где  $L_{об}$  – длина оборванного микрокабеля с кассеты.

Вид функций (10) и (11) показан на рис. 9.

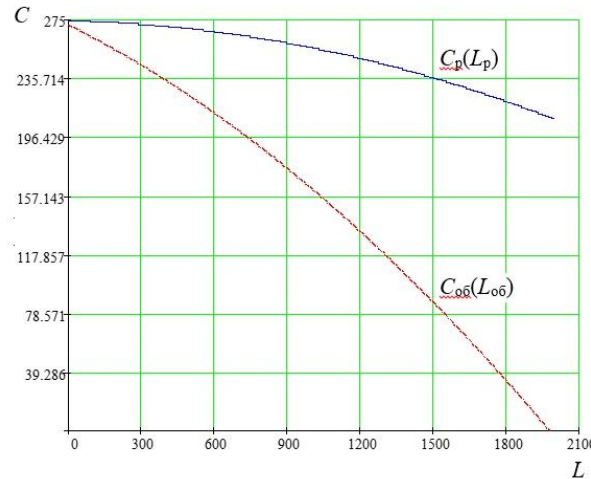


Рис. 9. Вид регрессионных полиномов по экспериментальным данным

Из уравнения (10) можно определить длину размотанного микрокабеля с полной кассеты:

$$L_p = 179.1 \cdot \sqrt{0.037 - 1.13 \cdot 10^{-4} C_p} - 1433.6, \quad (12)$$

где  $C_p$  – электрическая емкость полной кассеты с размотанным микрокабелем.

В случае использования полной кассеты с микрокабелем расстояние до места обрыва (расстояние до нарушителя) можно найти с помощью выражений (5) и (9):

$$L_{остат} = L_p - L_{об}. \quad (13)$$

Однако определять дальность до нарушителя по выражению (12) представляется нецелесообразным, так как каждый раз при блокировании участка должна разворачиваться полная (новая) кассета с микрокабелем.

Поэтому необходимым условием относительно разработки метода определения дальности до объекта (обрыва микрокабеля) является реализация возможности использования неполной кассеты с микрокабелем. Для этого необходимо осуществить ряд следующих действий, объяснение которых показано на рис. 10:

1. Измерить электрическую ёмкость неполной неразмотанной кассеты ( $C_n$ ).
2. Определить длину микрокабеля в неполной неразмотанной кассете из выражения (11):

$$L_k = 33467 \cdot \sqrt{0.016 - 5.9 \cdot 10^{-5} \cdot C_n} - 97.12, \quad (14)$$

где  $C_n$  – электрическая ёмкость неполной неразмотанной кассеты.

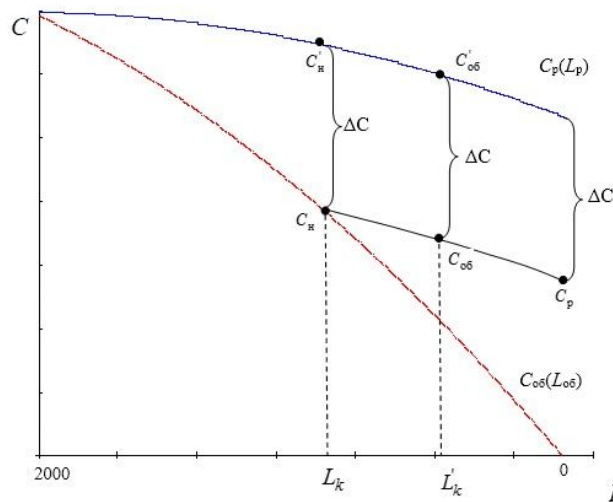


Рис. 10. Зависимости электрических емкостей полной размотанной кассеты, неполной размотанной кассеты, полной кассеты с оборванным микрокабелем от длины микрокабеля

3. Определить по формуле (12) электрическую ёмкость полной кассеты размотанной на длину  $2000 - L_k$  ( $C'_н$ ).

4. Определить  $\Delta C = C'_н - C_н$ .

5. Измерить электрическую ёмкость размотанной неполной кассеты ( $C_p$ ).

6. Измерить электрическую ёмкость размотанной неполной кассеты после обрыва микрокабеля нарушителем на длине  $L'_k$  ( $C_{об}$ ).

7. Определить прогнозируемую ёмкость полной размотанной кассеты после обрыва микрокабеля нарушителем на длине  $L'_k$ :

$$C'_{об} = C_{об} + \Delta C. \quad (15)$$

8. Определить из выражения (12) длину микрокабеля полной размотанной кассеты после обрыва:

$$L'_k = 179.1 \sqrt{0.037 - 1.13 \cdot 10^{-4} \cdot C'_{об}} - 1433.6. \quad (16)$$

9. Определить длину микрокабеля для неполной размотанной кассеты после его обрыва с учетом выражений (14), (16):

$$L_{остат} = L_k - L'_k - \frac{C_p - C_{об}}{C_{ног}}. \quad (17)$$

### Выводы

По результатам проведенных исследований обоснованы направления повышения информационной способности сигнализационных средств охраны локальных участков границы. При этом целесообразным является разработка новых или модернизация существующих сигнализационных средств охраны локальных участков границы с новыми функциональными возможностями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстроразворачиваемый радиолучевой комплекс «Фортеза-12» [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.centers.ru/catalog/perimeter/russia/umirs/forteza.htm>.
  2. Быстроразворачиваемый комплекс «Радий-БРК». Руководство по эксплуатации. ЮСДП 425.149.005 [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.umirs.ru/upload/iblock/c71/re-radiy-brk.pdf>.
  3. Краб-1, Краб-1М – Проводноволновое средство обнаружения [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.techportal.ru/material/?check=2&id=1383>.
- Наукові праці ВНТУ, 2014, № 2

4. Сигнализатор обрывного типа «Кувшинка-М» [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.ktso.ru/katalog/obrs/kuwshinka-m/kuwshinka-m.php>.
5. Чернышев, М. Н. Исследование и разработка методов преобразования информации при формировании изображения нарушителя в электромагнитных волнах в технических системах охраны : дис... к. т. н. : 05.13.17 / Чернышев Максим Николаевич. – Пенза, 2011. – 190 с.
6. Добровольський, А. Б. Модель оцінки ефективності технічних засобів охорони кордону при врахуванні інформаційних характеристик / А. Б. Добровольський // Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – 2012. – Вип. № 38. – С. 25 – 30.
7. Добровольський, А. Б. Методика визначення параметрів руху об'єкту двопозиційним радіопроменевим засобом охорони / А. Б. Добровольський // Науково-практичний журнал «Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони». – 2013. – № 3 (18). – С. 28 – 34.
8. Прибор РЛД-73. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.ktso-doc.ru/001nikiret/rld73/ito-rld73.php>.
9. Сальников, И. И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах / Сальников И. И. – М. : ФИЗМАЛИТ, 2011. – 252 с.
10. Радиотехнические системы : Учеб. Для вузов по специальности «радиотехника» / [Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М. и др.] ; под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : Высш. шк., 1990. – 496 с.
11. Добровольський, А. Б. Підвищення інформаційної здатності діючих зразків радіопроменевих засобів охорони, що використовуються в охороні державного кордону / А. Б. Добровольський // Науковий журнал «Системи озброєння і військова техніка». – 2014. – № 1 (37). – С. 34 – 37.
12. 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.
13. Обрывное сигнализационное устройство «Трос» (ОС-21) [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.ktso.ru/katalog/obrs/os21/os21.php>.

**Добровольский Андрей Борисович** – адъютант.

Национальная академия Государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого.