

УДК [621.396.96+621.396.67]:654.9

**А. Б. Добровольський****ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ СИГНАЛІЗАЦІЙНИХ  
ЗАСОБІВ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ**

*У статті зроблено оцінку інформаційної здатності технічних засобів охорони кордону та вказано шляхи її підвищення; описано методики визначення параметрів руху порушника двопозиційними радіопроменевими засобами охорони, метод визначення дальності до порушника сигналізаційним засобом охорони обривного типу на основі вимірювання електричної ємності чутливого елемента.*

**Ключові слова:** інформаційна здатність, технічний засіб охорони кордону, двопозиційний радіопроменевий сигналізаційний засіб охорони, сигналізаційний засіб охорони обривного типу, зона виявлення, мікрокабель.

**Вступ**

На сьогодні в охороні державного кордону використовують досить широкий спектр технічних засобів охорони. Так для сигналізаційного блокування локальних ділянок державного кордону використовують двопозиційні радіопроменеві сигналізаційні засоби охорони (РПСЗО) СС-84РЛБ («Витим»), РЛД-73 («Георгин») та сигналізаційні засоби охорони обривного типу «Хмель-1», «Кристалл-М», «Кристалл-2», «Лиана-1», «Трос». Перспективними двопозиційними РПСЗО, які можуть прийти на зміну «Витиму» та «Георгину», є сигналізаційні засоби «Фортеза-12» та «Радий-БРК» [1 – 2]. Щодо сигналізаційних засобів обривного типу, то перспективними засобами є «Краб-1» та «Кувшинка-М» [3 – 4]. Особливістю наявних зразків сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок державного кордону є їхня недостатня інформаційна здатність, оскільки ці засоби не дозволяють визначати напрямок руху та швидкість порушника, дальність до нього. Інформаційна здатність технічних засобів охорони кордону може суттєво впливати на процес забезпечення ефективних умов затримання правопорушників. Так за умов реалізації в обривних сигналізаційних засобах та РПСЗО вищезазначених можливостей інформаційна здатність зростатиме [5 – 6].

**Результати дослідження**

Щоб порівняти різноманітні технічні засоби охорони кордону за найбільш універсальними критеріями існують інформаційні можливості, що ґрунтуються на кількості отриманої інформації про порушника. Так у роботі [6] проведено оцінку інформаційної здатності наявних зразків технічних засобів охорони кордону за їхніми тактико-технічними характеристиками, а також оцінено, як зміниться інформаційна здатність цих же технічних засобів охорони, якщо в них з'являться такі функціональні можливості: запам'ятовування інформації про факт порушення, визначення напрямку руху порушника та дальності до нього, формування його радіозображення. Для знаходження інформаційної здатності технічних засобів охорони кордону використовують такий вираз:

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

де  $K$  — коефіцієнт запам'ятовування ( $K=1$  — інформація про факт порушення запам'ятовується;  $K=0$  — інформація не запам'ятовується);  $N_T$  — часовий ступінь свободи;  $N_W$  — просторовий ступінь свободи;  $N_D$  — кількість видів ступенів свободи.

Кількість часових ступенів свободи впливає на інформаційну здатність технічних

засобів, але її необхідно враховувати там, де для формування сигналів тривоги використовують часові параметри, наприклад, час затримки отриманого сигналу щодо сигналу, який випромінювався. Частина наявних технічних засобів не використовує часові характеристики сигналу, і відповідно для знаходження інформаційної здатності часові ступені свободи будуть відсутніми. Найширшого розповсюдження в технічних засобах охорони отримало використання просторових параметрів про набуття інформації про факт порушення [6].

Тепловізійні засоби охорони мають найвищу інформаційну здатність серед усіх технічних засобів охорони, але разом із цим характеризуються такими недоліками: якісно не можуть адаптуватися до всіх видів місцевості та мають високу вартість (від десятків тисяч до декількох сотень тисяч у. о.). У свою чергу, в інших технічних засобах охорони є такі шляхи щодо збільшення своєї інформаційної здатності:

по-перше, це запам'ятовування отриманої інформації (якщо це реалізувати в приладі «Хмель-1», то інформаційна ємність дорівнюватиме 1 біту);

по-друге, якщо технічні засоби охорони матимуть можливість визначати напрямок руху порушника (наприклад, сигналізаційна система «Витим»), то її інформаційна здатність дорівнюватиме 5,3 біт.

по-третє, якщо з'являється можливість визначати дальність до порушника, наприклад, у сигналізаційних приладах «Хмель-1», «Кристалл-2» та в сигналізаційній системі «Витим», яка вже визначає напрямок руху, із похибками у вимірюванні дальності 5 м («Хмель-1»), 15 м («Кристалл-2»), 1 м («Витим»), то їхня інформаційна здатність буде дорівнюватиме відповідно 10,2 біт, 7,2 біт, 13,1 біт;

по-четверте, під час реалізації функції формування радіозображення з'явиться можливість визначення поперечних розмірів порушника, і якщо для системи «Витим» (де вже визначається напрямок руху та дальність до порушника) та радіолокаційних станцій ПСНР-5 та СБР-3 взяти роздільну здатність за поперечними розмірами 0,5 м за ширини контролюваної ділянки 5 м та за висоти контролюваної ділянки 1,7 м, їхня інформаційна ємність дорівнюватиме 18,9 біт, 19,3 біт, 14,27 біт.

У таблиці 1 наведено інформаційну здатність технічних засобів охорони кордону відповідно до їхніх тактико-технічних характеристик, а також оцінку напрямків її підвищення за реалізації вищезазначених шляхів удосконалення.

Таблиця 1

**Інформаційні характеристики технічних засобів охорони кордону**

Інформаційні характеристики	Сигналізаційні засоби				Радіолокаційні станції		Тепловізійні засоби	
	обривного типу			двопозиційний радіопроменевий				
	«Хмель-1» (Україна)	«Кристалл-2» (СРСР)	«Краб-1» (Росія)	«Витим» (СРСР)	СБР-3 (СРСР)	ПСНР-5 (СРСР)	Vario View™150 (Німеччина)	Carl Zeiss (Німеччина)
$N_W$	1	1	50	1	$7,8 \left( \frac{L}{\Delta L} \right)$	$15 \left( \frac{L}{\Delta L} \right)$	$640^{(N_X)}$ $420^{(N_Y)}$	$640^{(N_X)}$ $512^{(N_Y)}$
$N_D$	2	2	2	2	$20 \left( \frac{\beta}{\Delta \beta} \right)$	$40 \left( \frac{\beta}{\Delta \beta} \right)$	$7000 \left( \frac{L}{\Delta L} \right)$	$3600 \left( \frac{L}{\Delta L} \right)$
$I$ , біт	1/0*	2	6,6/0*	4,3	8,4**	13,5**	32,8**	32,1**

Інформаційні характеристики	Сигналізаційні засоби				Радіолокаційні станції		Тепловізійні засоби	
	обривного типу			двопозиційний радіопроменевий				
	«Хмель-1» (Україна)	«Кристалл-2» (СРСР)	«Краб-1» (Росія)	«Витим» (СРСР)	СБР-3 (СРСР)	ПСНР-5 (СРСР)	Vario View™150 (Німеччина)	Carl Zeiss (Німеччина)
Можливі шляхи вдоскон:								
1) Запам. інф-ії $I_z$ , біт	+	—	+	—	—	—	—	—
	1		6,6					
2) Визначення напрямку $I_n$ , біт	—	—	—	+	—	—	—	—
				5,3				
3) Визначення дальності $I_d$ , біт	+	+	—	+	—	—	—	—
	10,2	7,2		13,1				
4) Формування радіозоб. $I_p$ , біт	—	—	—	+	+	+	—	—
				18,9	14,27	19,1		

Примітка: \* — значення інформаційної здатності / але інформація не запам'ятовується;  
\*\* — значення інформаційної здатності відповідає транспортному засобу (автомобіль).

У роботі [7] зазначено можливість реалізації двопозиційним РПСЗО визначення напрямку руху та швидкості порушника, а також його класифікацію за типом: людина або крупна тварина. Щоб визначити напрямок руху об'єкта двопозиційним РПСЗО, застосовують такий технічний розв'язок, як використання в зоні виявлення відбивача. За розміщення в зоні виявлення відбивача визначення напрямку руху відбувається в результаті відстеження послідовності змін сигналу, який приймають: перекриття об'єктом променя на відбивач, потім прямого променя або відбувається зворотня послідовність, як це показано на рис. 1.

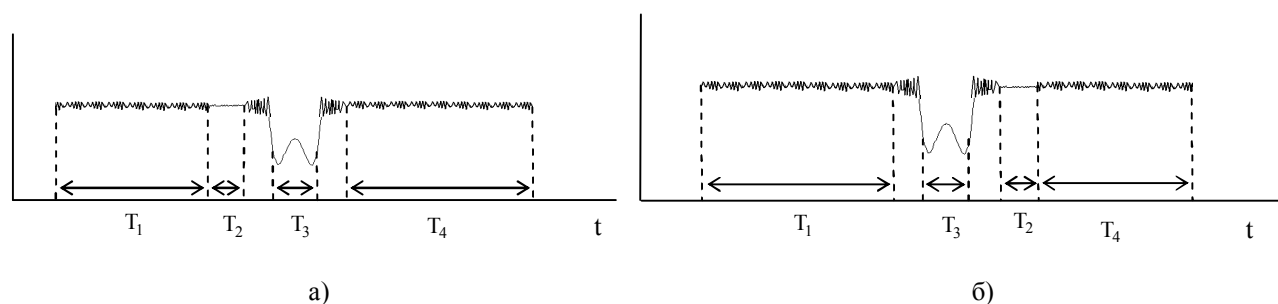


Рис. 1. Сигнал, що реєструють на виході ПРМ: а) коли об'єкт рухається в напрямку “до нас”; б) коли об'єкт рухається в напрямку “від нас”;  $T_1$ ,  $T_4$  — інтервал часу, коли відбувається інтерференція;  $T_2$  — інтервал часу, коли відсутня інтерференція;  $T_3$  — інтервал часу, коли об'єкт перекриває прямий промінь

Недоліком цього способу є те, що для його функціонування відбивач повинен бути точно розміщений на краю зони виявлення, тому такий спосіб підходить для двопозиційних РПСЗО, які розміщуються стаціонарно, наприклад, сигналізаційна система «Георгин». Крім того якщо порушник буде долати зону виявлення поблизу передавача або приймача, то це

приведе до різкого зменшення амплітуди сигналу, який приймають. Тобто порушник своїм тілом буде перебивати одночасно як прямий промінь, так і промінь на відбивач, що призведе до неможливості визначення напрямку руху порушника. Щоб визначати напрямок руху сигналізаційною системою «Георгин», порушник повинен долати зону виявлення не ближче, ніж 12 м від передавача або приймача [8].

За реєстрації в часі початку перекриття променя на відбивач (із відбивача) та початку перекриття прямого променя або за реєстрації часових показників у зворотному порядку стає можливим визначити такий параметр руху, як швидкість руху порушника. Так швидкість знаходять за цією формулою:

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

де  $t_1, t_2$  — моменти часу перекриття променів у напрямку відбивача та прямого променя;  $r_g$  — відстань від середньої лінії (напрямок прямого променя) до відбивача, розташованого на краю зони виявлення;  $R_m$  — відстань між передавачем та приймачем;  $\lambda$  — довжина хвилі, що випромінюється передавачем.

Класифікацію порушників здійснюють за такими ознаками:

- за реєстрацією зміни модуля комплексної амплітуди від впливу бокового розміру об'єкта (боковий розмір крупних тварин більший за боковий розмір людини ( $a > 0,25$  м)). У роботі [9] наведено модель утворення сигналу в двопозиційному РПСЗО за рахунок дифракції електромагнітних хвиль на порушникові. Згідно з цією моделлю діапазон зміни модуля комплексної амплітуди в точці прийому збільшується за зростання бокового розміру порушника;

- за часом тривалості перекриття променя на відбивач (із відбивача) або прямого променя.

У таблиці 2 подано ознаки ідентифікації і відповідні їм критерії.

Таблиця 2

**Ознаки ідентифікації впливу об'єкта порушення**

Ознака ідентифікації	Критерій ідентифікації
Першим реєструють зміну амплітуди сигналу ( $X_1$ ) внаслідок перекриття об'єктом порушення променя на відбивач (із відбивача)	Критерій визначення напрямку руху – об'єкт рухається «до нас»
Першим реєструють значне зменшення амплітуди сигналу ( $X_2$ ) внаслідок перекриття об'єктом порушення прямого променя	Критерій визначення напрямку руху – об'єкт рухається «від нас»
Зміна модуля комплексної амплітуди за бокового розміру більше за 0,25 м ( $X_3$ )	Критерій визначення типу об'єкту (людина/тварина)
Час тривалості перекриття променя на відбивач (із відбивача) ( $X_4$ )	Критерій визначення типу об'єкту (людина/тварина)

Аналогічно до процесу оцінки сигналів у радіолокації [10] наявність додаткових ознак ідентифікації сигналу можна трактувати як паралельне виявлення сигналу за відповідною ознакою. Структура алгоритму обробки сигналу з урахуванням визначених критеріїв ідентифікації складається з декількох паралельних каналів ідентифікаторів сигналу за відповідною ознакою, як показано на рис. 2.



Рис. 2. Структура алгоритму обробки сигналу

Згідно з рис. 2 амплітудний детектор, окрім граничного виявлення, обробляє сигнал за додатковими каналами обробки, що містять ідентифікатори за ознаками  $X_1, X_2, X_3, X_4$ , за якими блок логічної обробки визначає напрямок руху та тип порушника (людина або тварина).

Щоб зрозуміти, як працює блок логічної обробки, необхідно зрозуміти логіку його роботи, тобто знайти відповідність між вхідними та вихідними сигналами. Для цього виконаємо такі дії:

1) складемо таблицю істинності (таблиця 3);

2) згідно з таблицею запишемо логічну функцію (формулу) за допомогою методу, який називається «досконала диз'юнктивна нормальна форма»:

- у заданій таблиці вибирають тільки набори змінних, за яких значення функції дорівнює «1»;

- для кожного такого набору записують кон'юнкції всіх вхідних змінних, що мають значення «1», при цьому ті змінні, що мають значення «0», записують інверсіями цих змінних;

- усі отримані кон'юнкції об'єднують знаками диз'юнкції, це й буде логічна функція, яку можна буде спростити (мінімізувати) за законам Булевої алгебри;

3) будемо логічну схему за спрощеною логічною функцією.

Таблиця 3

Таблиця істинності

Змінні				$Y(X_1, X_2, X_3, X_4)$
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
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

Змінні				$Y(X_1, X_2, X_3, X_4)$
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1

Логічна функція для випадку, коли визначають тип об'єкта (людина) та напрямок руху цього об'єкта матиме такий вигляд:

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

Спростивши вираз (3), отримаємо:

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

Логічна схема блоку обробки зображена на рис. 3. Під час побудови логічної схеми на основі вищезазначеної логічної функції беремо до уваги встановлений порядок виконання логічних операцій: інверсія, добуток, додавання – при цьому не забуваємо про пріоритет дужок.

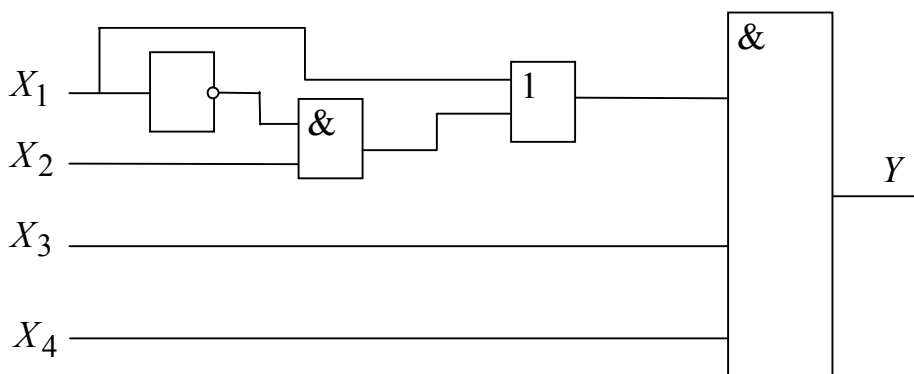


Рис. 3. Логічна схема блоку обробки

У роботі [11] запропоновано інший спосіб визначення напрямку руху порушника двопозиційним РПСЗО. Для цього необхідною умовою є утворення несиметричної зони виявлення. Щоб утворити несиметричну зону виявлення, достатньо мати несиметричну форму діаграми спрямованості антени передавача або приймача, яка була б звужена з однієї сторони до своєї середньої лінії. Так для моделювання хвильоводно-щілинної антени передавача сигналізаційної системи «Витим» використовували програму HFSS v. 13.0. Процес моделювання в HFSS детально описано в [12].

Вихідним даними для моделювання є фізичні розміри антени та довжина хвилі, що відповідає робочій частоті 35 ГГц. У результаті моделювання антени, яку використовують у передавачі двопозиційної РПСЗО «Витим» (рис. 4 а), отримуємо її діаграму спрямованості, показану на рис. 4 б.

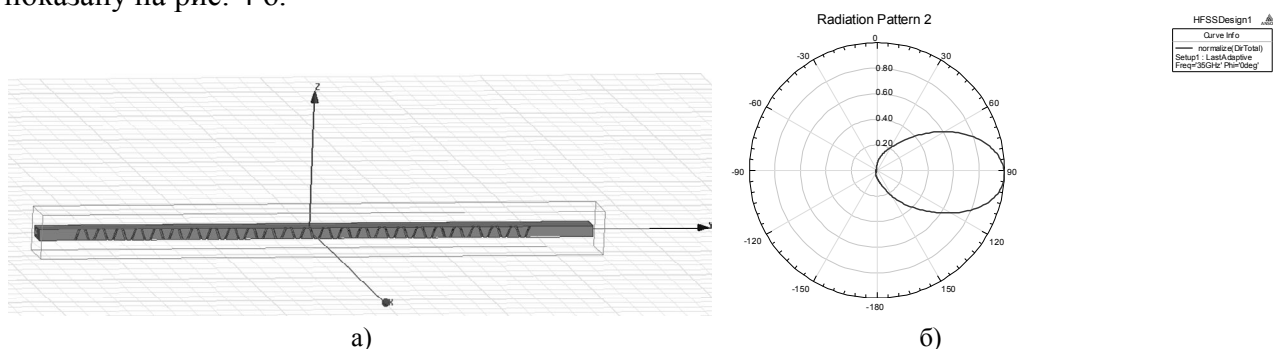


Рис. 4. Хвильоводно-щілинна антена ПРД системи «Витим» у HFSS v. 13.0:  
а) зовнішній вигляд; б) діаграма спрямованості

У результаті моделювання в HFSS було змінено конструкцію антени передавача. Сутність змін у конструкції полягає в тому, що в середині хвилеводу розташовано дрібні металеві циліндри, як це показано на рис. 5 а. Унаслідок 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. Отже, розташовуючи в середині хвилеводу металеві циліндри різних розмірів і змінюючи координати їхнього розташування, можна отримати діаграму спрямованості необхідної форми.

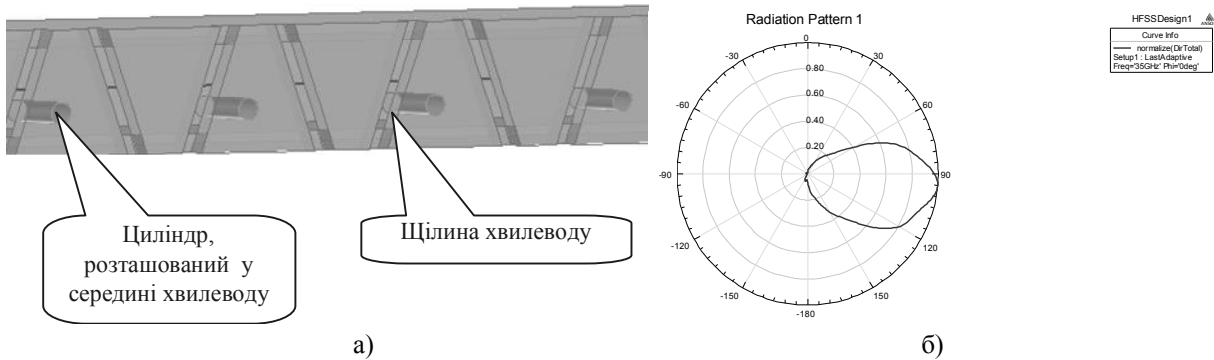


Рис. 5. Хвилеводно-щілинна антена ПРД системи «Витим» у HFSS v. 13.0 зі зміненою конструкцією (циліндри в середині хвилеводу): а) зовнішній вигляд; б) діаграма спрямованості

Визначення напрямку руху порушника здійснюють за аналізом послідовності сигналу, що приймають. Завдяки несиметричній формі зони виявлення порушник, який перебуває з більш широкої сторони зони виявлення (щодо середньої лінії), перевипромінює та утворює в приймачеві значно вищий рівень сигналу, ніж перебуваючи з вузької сторони зони виявлення. Формування несиметричної зони виявлення пояснено на рис. 6 а, де діаграма спрямованості передавача не симетрична. На рис. 6 б пояснено, як змінюватиметься сигнал, який приймають, якщо порушник здійснює тангенціальний (поперечний) рух через несиметричну зону виявлення від широкої сторони до вузької.

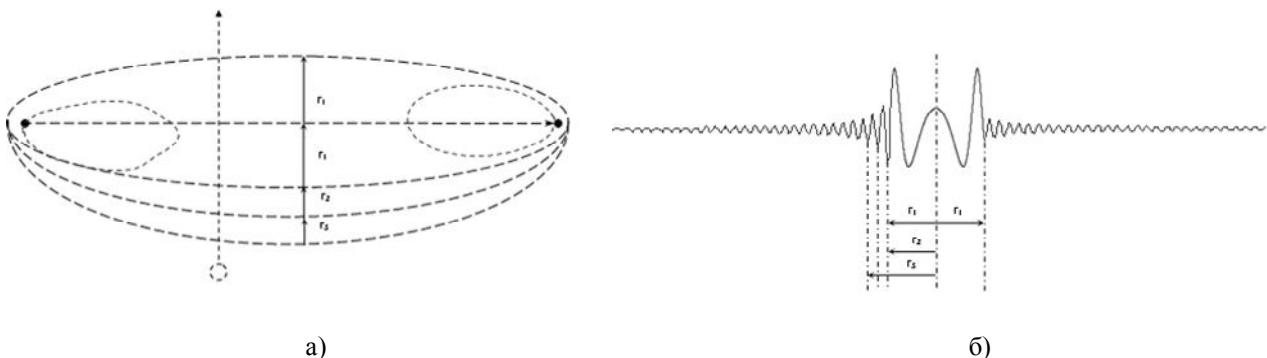


Рис. 6. Несиметрична зона виявлення: а) зовнішній вигляд зони виявлення, сформований завдяки несиметричній формі діаграми спрямованості передавача; б) діаграма сигналу в каналі прийому під час руху порушника через несиметричну зону виявлення від широкої сторони до вузької

Щодо сигналізаційних засобів охорони обривного типу, то в вищезазначених засобах «Краб-1», «Кувшинка-М» є можливість визначати приблизну довжину чутливого елемента. Ця функціональна можливість реалізована на основі методу імпульсної рефлектометрії. Проте зазначений метод має низку суттєвих недоліків:

- максимальна протяжність чутливого елемента не може бути більшою за 500 м, оскільки в процесі розповсюдження електромагнітної хвилі у хвилеводній лінії відбувається її затухання переважно в землі;
- для роботи сигналізаційного засобу необхідно заземлення в ґрунт, який через свої

властивості може обмежити довжину проводу, що контролюють, наприклад, тип ґрунту – сухий або кам'янистий;

– за використання методу імпульсної рефлектометрії сигналізаційний засіб охорони є активним, що у свою чергу призводить до зменшення тривалості його роботи під час використання автономного джерела електроживлення.

Впоратися з таким недоліком, як необхідність заземлення, можна використовуючи в сигналізаційних засобах касети з мікрокабелем, а альтернативою методу імпульсної рефлектометрії може бути визначення довжини мікрокабелю на основі вимірювання його електричної ємності.

Так касети з мікрокабелем використовують у таких сигналізаційних засобах обривного типу: «Хмель-1», «Лиана-1», «Трос». Мікрокабель являє собою дві ізольовані жили діаметром 0,05 мм. Принцип роботи сигналізаційних засобів охорони, у яких використовують касети з мікрокабелем, полягає в контролі цілісності мікрокабелю шляхом реєстрації зміни його опору. Електричне коло, яке контролюють, утворюється в результаті оплавлення кінця мікрокабелю. Зазначені прилади не мають функції визначення відстані до місця обриву чутливого елемента.

Вимірювання відстані до місця обриву мікрокабелю за допомогою вимірювання електричної ємності може бути зведене до методики, сутність якої полягає у виконанні такої послідовності дій:

– вимірювання величини електричної ємності контрольної довжини обірваного мікрокабелю та обчислення величини погонної електричної ємності, як зазначено у формулі:

$$C_{\text{поз}} = \frac{C_{\text{к}}}{L_{\text{к}}}, \quad (5)$$

де  $C_{\text{к}}$  – електрична ємність контрольної довжини мікрокабелю,  $L_{\text{к}}$  – контрольна довжина мікрокабелю;

– здійснення постійного контролю величин початкового та кінцевого значення напруг у мікрокабелі;

– вимірювання часу заряду електричної ємності мікрокабелю;

– розрахунок залишкової електричної ємності мікрокабелю за формулою (3):

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

де  $R$  – опір мікрокабелю, через який відбувається заряд електричної ємності залишку мікрокабелю,  $U$  – початкове значення напруги в мікрокабелі,  $U_0$  – кінцеве значення напруги в мікрокабелі,  $t$  – час заряду електричної ємності залишку мікрокабелю від  $U_0$  до  $U$ ;

– визначення відстані до місця обриву за формулою (7):

$$L_{\text{зал}} = \frac{C_{\text{зал}}}{C_{\text{поз}}}. \quad (7)$$

Однак цю методику вимірювання відстані до місця обриву з використанням касет з мікрокабелем неможливо застосувати. Пов'язано це з тим, що погонна ємність буде сталою величиною тільки для ділянки обірваного мікрокабелю без касети ( $L_{\text{об}}$ ), як це показано на рис. 7 а.



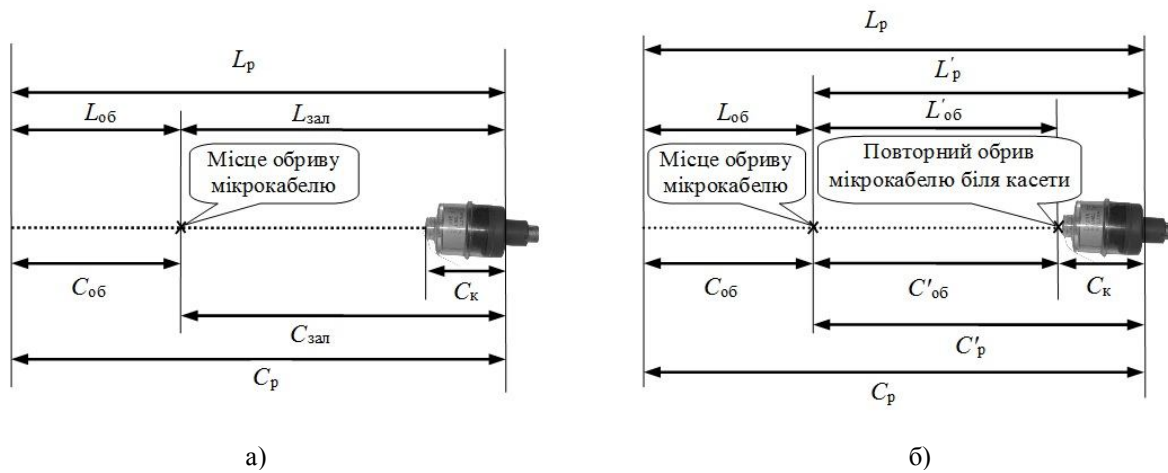


Рис. 7. Касета з розмотаним мікрокабелем

Відповідно можливим є тільки знаходження відстані  $L_{об}$ , як зазначено у виразі:

$$L_{об} = \frac{C_{об}}{C_{поз}} = \frac{C_p - C_{зал}}{C_{поз}}. \quad (8)$$

Погонну ємність не можна використовувати для знаходження довжин залишку мікрокабелю ( $L_{зал}$ ) та розмотаного мікрокабелю ( $L_p$ ), оскільки на ємність залишку мікрокабелю ( $C_{зал}$ ) та ємність розмотаного мікрокабелю ( $C_p$ ) впливає міжвиткова ємність самої касети з мікрокабелем ( $C_k$ ).

Щоб знайти довжину  $L_{зал}$ , можливим варіантом є повторне здійснення обриву мікрокабелю безпосередньо перед касетою, як це показано на рис. 7 б. Отже, відстань до попереднього місця обриву мікрокабелю дорівнює:

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

Однак подібний спосіб недоцільно використовувати, оскільки це призводить до більш швидкого використання мікрокабелю, що міститься в касеті, але ще, крім цього, він не дозволяє реалізовувати тактичну перевагу під час застосування засобів подібного типу — визначення напрямку руху об'єкта в разі блокування ділянки місцевості.

Щоб реалізувати в сигналізаційному засобі охорони обривного типу такі функції, як визначення дальності до об'єкта та напрямку, необхідно застосовувати інший спосіб знаходження електричних ємностей мікрокабелю. Таким альтернативним способом може бути обробка експериментальних даних електричної ємності касети мікрокабелю у двох випадках: під час його розмотування та в разі його обриву.

Так, за результатами експерименту, вимірювали електричну ємність касети мікрокабелю «Трос» цифровим мультиметром M890G. Загальна довжина мікрокабелю касети «Трос» становить 2000 м [13]. За результатами експерименту встановлено, що під час розмотування мікрокабелю з касети електрична ємність поступово зменшується, хоча загальна довжина мікрокабелю не змінюється. За експериментальними даними знайдено рівняння регресійних поліномів для двох зазначених випадків. Коефіцієнти рівнянь та ступені поліномів знайдено за допомогою програми MathCAD. Лістинг програми MathCAD для цих регресійних поліномів показано на рис. 8. Де  $n$  – ступінь поліному.  $L1$ ,  $C1$  – довжина та електрична ємність розмотаного мікрокабелю,  $L2$ ,  $C2$  – довжина та електрична ємність обірваного мікрокабелю. У векторах результатів  $V1$  та  $V2$  перші три рядки є службовими, а інші вказують на значення коефіцієнтів поліному.

```

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

```

Рис. 8. Лістинг програми MathCAD для двох регресійних поліномів

Так значення електричної ємності під час розгортання повної касети на всю довжину відповідатиме регресійному поліному, що має такий вид:

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

де  $L_p$  – довжина розмотаного мікрокабелю з касети.

Значення електричної ємності під час обриву мікрокабелю з повної касети описують таким поліномом:

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

де  $L_{об}$  – довжина обірваного мікрокабелю з касети.

Вигляд функцій (10) та (11) показано на рис. 9.

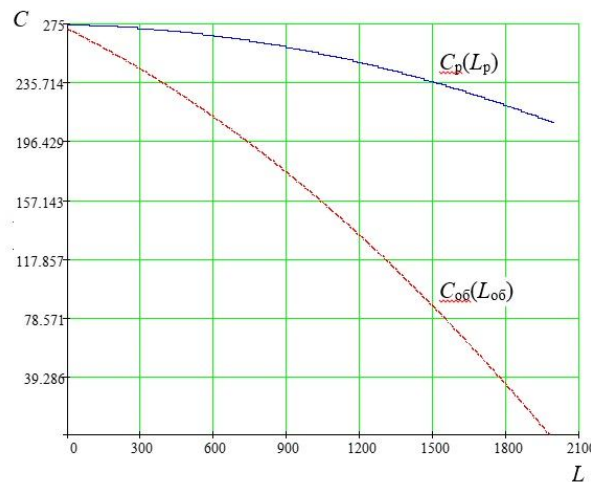


Рис. 9. Вигляд регресійних поліномів за експериментальними даними

З рівняння (10) можна визначити довжину розмотаного мікрокабелю з повної касети:

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

де  $C_p$  – електрична ємність повної касети з розмотаним мікрокабелем.

У разі використання повної касети з мікрокабелем відстань до обриву (відстань до порушника) можна знайти за допомогою виразів (5) та (9):

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

Однак визначати дальність до порушника за виразом (12) недоцільно, оскільки кожен раз під час блокування ділянки повинна розгортатися повна (нова) касета з мікрокабелем.

Тому необхідною умовою щодо розробки методу визначення дальності до об'єкта (обриву мікрокабеля) є реалізація можливості використання неповної касети з мікрокабелем. Для цього треба здійснити низку таких дій, пояснення яких показано на рис. 10:

1. Виміряти електричну ємність неповної не розмотаної касети ( $C_H$ ).
2. Визначити довжину мікрокабелю в неповній нерозмотаній касеті з виразу (11):

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

де  $C_H$  – електрична ємність неповної нерозмотаної касети.

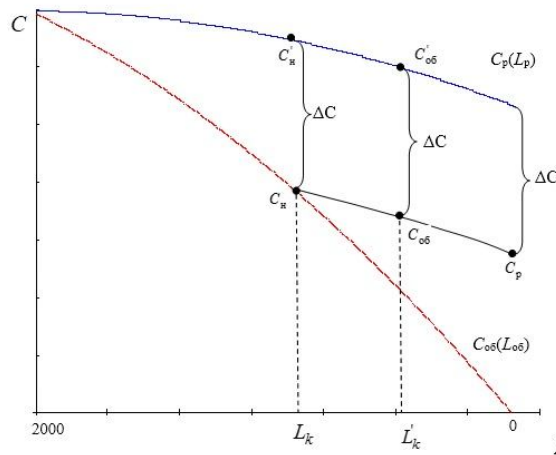


Рис. 10. Залежності електричних ємностей повної розмотаної касети, неповної розмотаної касети з обірваним мікрокабелем від довжини мікрокабелю

3. Визначити за формулою (12) електричну ємність повної касети розмотаної на довжину  $2000 - L_k$  ( $C'_H$ ).

$$4. \text{ Визначити } \Delta C = C'_H - C_H .$$

5. Виміряти електричну ємність розмотаної неповної касети ( $C_p$ ).

6. Виміряти електричну ємність розмотаної неповної касети після обриву мікрокабелю порушником на довжині  $L'_k$  ( $C_{об}$ ).

7. Визначити прогнозовану ємність повної розмотаної касети після обриву мікрокабелю порушником на довжині  $L'_k$ :

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

8. Визначити з виразу (12) довжину мікрокабелю повної розмотаної касети після обриву:

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

9. Визначити довжину мікрокабелю для неповної розмотаної касети після його обриву з урахуванням виразів (14), (16):

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

## Висновки

За результатами проведених досліджень обґрунтовано шляхи підвищення інформаційної здатності сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок кордону. Зважаючи на це, доцільним є розробка нових або модернізація наявних сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок кордону з новими функціональними можливостями.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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 – Проводноволокновое средство обнаружения [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.techportal.ru/material/?check=2&id=1383>.
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 // 36. 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>.

*Добровольський Андрій Борисович* – ад'юнкт.

Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького.