

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.

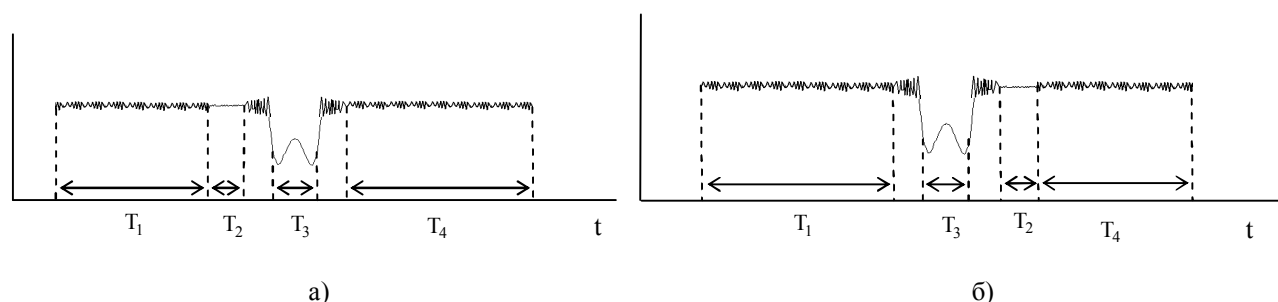


Рис. 1. Сигнал, що реєструють на виході ПРМ: а) коли об'єкт рухається в напрямку “до нас”; б) коли об'єкт рухається в напрямку “від нас”; T_1 , T_4 — інтервал часу, коли відбувається інтерференція; T_2 — інтервал часу, коли відсутня інтерференція; T_3 — інтервал часу, коли об'єкт перекриває прямий промінь

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; λ — 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.

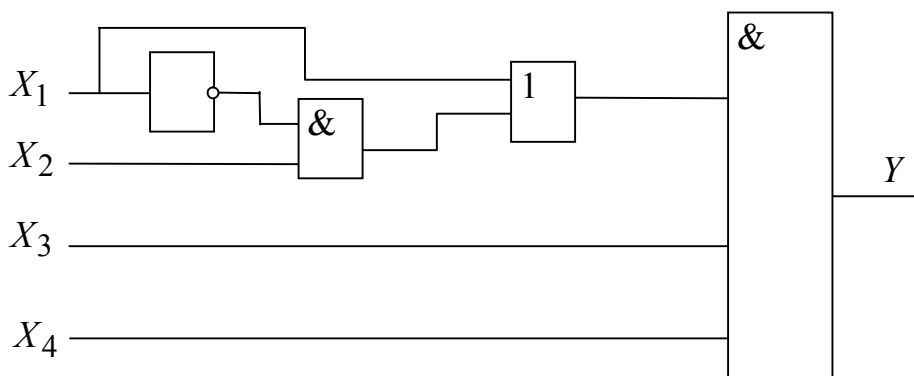


Рис. 3. Логічна схема блоку обробки

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 хвилеводно-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.

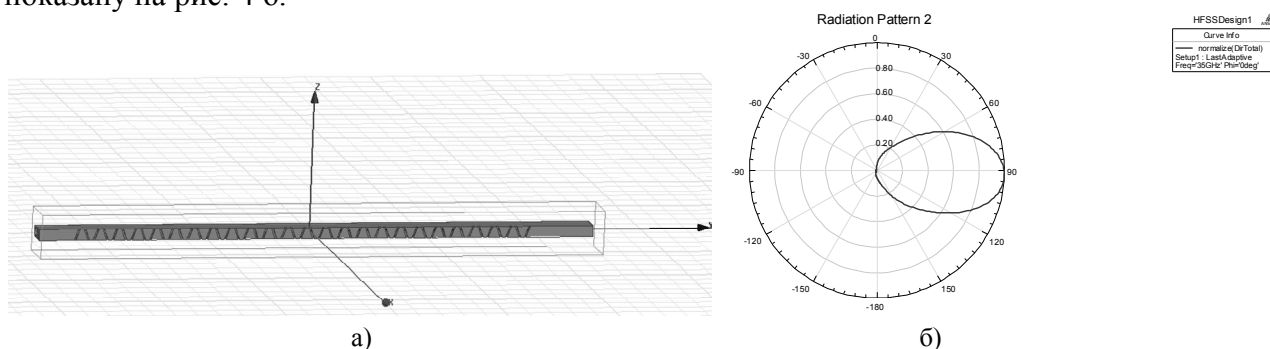


Рис. 4. Хвилеводно-щілинна антена ПРД системи «Витим» у HFSS v. 13.0:
а) зовнішній вигляд; б) діаграма спрямованості

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.

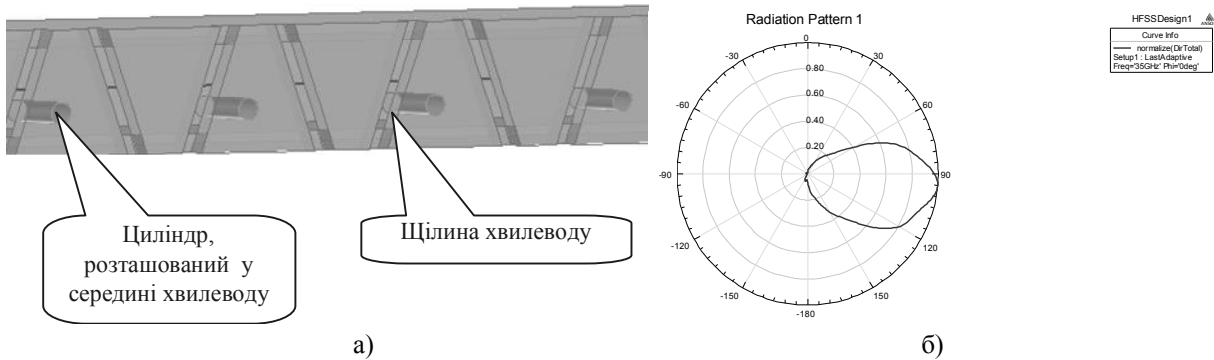


Рис. 5. Хвилеводно-щілинна антена ПРД системи «Витим» у HFSS v. 13.0 зі зміненою конструкцією (циліндри в середині хвилеводу): а) зовнішній вигляд; б) діаграма спрямованості

Визначення напрямку руху порушника здійснюють за аналізом послідовності сигналу, що приймають. Завдяки несиметричній формі зони виявлення порушник, який перебуває з більш широкій 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 широкій сторони до вузької.

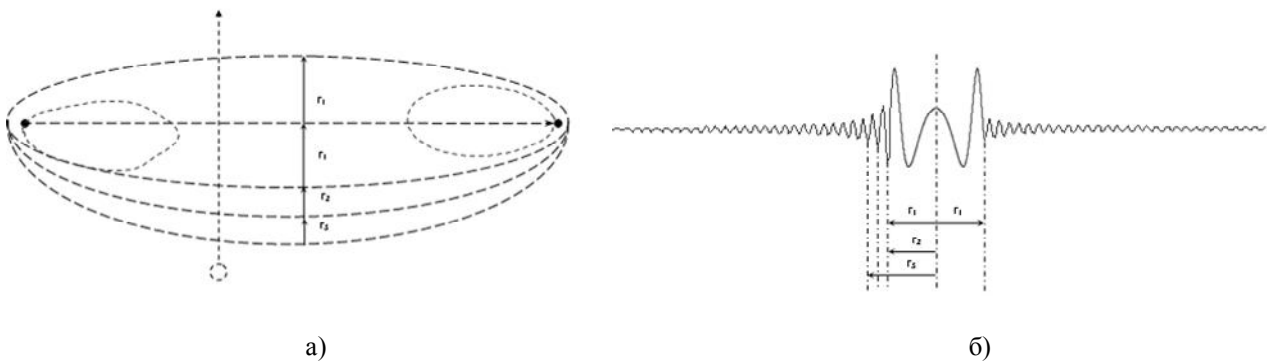


Рис. 6. Несиметрична зона виявлення: а) зовнішній вигляд зони виявлення, сформований завдяки несиметричній формі діаграми спрямованості передавача; б) діаграма сигналу в каналі прийому під час руху порушника через несиметричну зону виявлення від широкій сторони до вузької

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.

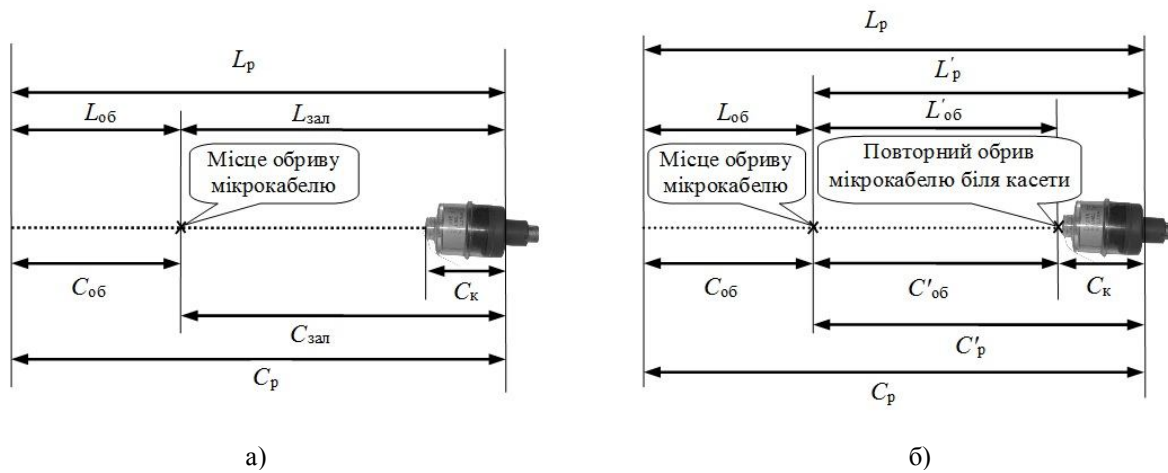


Рис. 7. Касета з розмотаним мікрокабелем

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

$$L_{об} = \frac{C_{об}}{C_{поз}} = \frac{C_p - C_{зал}}{C_{поз}}. \tag{8}$$

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:

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

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.

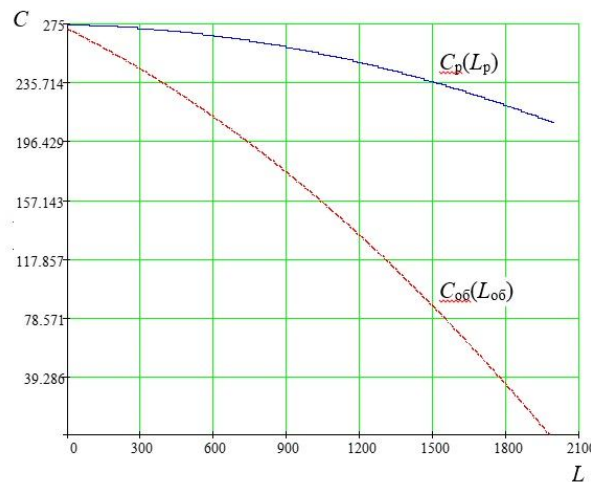


Рис. 9. Вигляд регресійних поліномів за експериментальними даними

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.

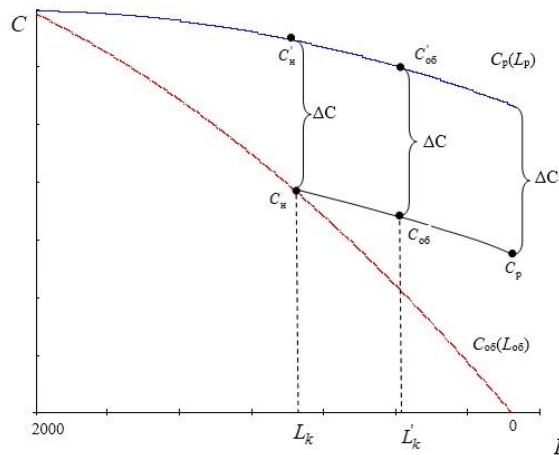


Рис. 10. Залежності електричних ємностей повної розмотаної касети, неповної розмотаної касети з обірваним мікрокабелем від довжини мікрокабелю

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

4. 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.

A. B. Dobrovolskiy

INCREASE OF INFORMATION CAPACITY OF SIGNAL DEVICES, INTENDED FOR STATE FRONTIER PROTECTION

The paper considers the following problems: evaluation of information capacity of technical means of state border protection, ways of its improvement, techniques of trespasser motion parameters determination by means of two-positional radio-emission devices, method of distance to the trespasser determination by means of break type signal devices, based on the measurement of electric capacitance of sensitive element.

Key words: *information capacity, technical means of border protection, two-positional radio-emission signal defence device, break type signal device, detection zone, microcable.*

Introduction

Nowadays, rather wide range of technical means is used for the protection of state border. For instance, for signal blocking of local sections of state border two positional radio-emission signal defence devices (RESDD) — CC-84ПДБ («Vitim»), ПДД-73 («Georgin») and break type signal means — «Khmel-1», «Crystal-M», «Crystal-2», «Liana-1», «Tros». Two-positional RESDD, that can replace «VITIM» and «GEORGINA» are signal devices «FORTEZA-12» and «РАДИЙ-БРК» [1 – 2]. Reading break type signal means, they can be replaced by such devices as «Crab-1» and «Cuvshinka-M» [3 – 4]. Characteristic feature of the existing signal devices for the protection of local sections of state border is their insufficient information capacity, because these devices can not determine the direction of motion and speed of the trespasser the distance to him. Information capacity of technical devices for border protection can greatly influence the efficiency of trespasser capturing process. If the above-mentioned conditions are realized in break type signal devices and RESDD, then, the information capacity will increase [5 – 6].

Results of research

For comparison of various technical means of border protection, the most universal criteria are information capacities, based on the volume of information regarding trespasser. In [6] evaluation of information capacity of the existing models of technical means, intended for border protection according to their tactical-technical characteristics has been performed, as well the change of information capacity of these technical means evaluation, if they possess such functional possibilities – storage of the information, regarding the fact of trespass, determination of trespasser motion direction and distance to him, his radioimage formation. To determine the information capacity of technical means of border protection the following expression is used:

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

where K — storing factor ($K=1$ - information about the fact of trespass is stored; $K=0$ — information is not stored); N_T — time degree of freedom; N_W — space degree of freedom; N_D — number of freedom degrees types.

The number of time degrees of freedom influences information capacity of technical means, but it must be taken into account in cases when for the formation of alarm signals, time parameters are used, for instance, delay time of the received signal relatively emitted signal. Part of existing technical means do not use time characteristics of the signal and time degrees of freedom for finding information capacity will be missing. Usage of space parameters regarding the information about trespass fact is widely spread in technical means of protection [6].

Infra-red imaging means have highest information capacity among all technical means of protection but at the same time have some drawbacks — they can not be adapted to all types of terrain and have high cost (from tens thousands to several hundreds thousands of USD). In their turn

other technical means have possibilities to increase their information capacity:

- at first, it is storage of the information obtained, if it is realized in the device «Khmel-1» the information capacity will equal 1 bit;

- secondly, if technical means of border protection have the possibility to determine the direction of trespasser motion, for instance, signal system «Vitim», then its information capacity will equal 5.3 bit;

- thirdly, if there is a possibility to determine the distance to the trespasser, for instance, in signal devices «Khmel-1», «Crystal-2» and in signal system «Vitim» (that already determines the direction of motion) with the errors of distance measurement — 5 m («Khmel-1»), 15 m («Crystal-2»), 1 m («Vitim»), then their information capacity will equal 10.2 bit, 7.2 bit, 13.1 bit, correspondingly;

- fourth, in the process of realization of radio-image formation function there appears the possibility to determine the cross-sectional dimensions of the trespasser and if for the system «Vitim» (that already determines the direction of motion and the distance to the trespasser) and radar units ПЧР-5 and СБР-3 we take by cross-sectional dimensions 0.5 at the the width of the controlled area 5 m and at the height of the controlled area 1.7 m their information capacity equals 18.9 bit, 19.3 bit, 14.27 bit.

Table 1 contains the data, regarding information capacity of technical means of border protection according to their tactic-engineering characteristics and evaluation of ways of its improvement while realization of the above-mentioned methods of improvement.

Table 1

Information characteristics of technical means of border protection

Information characteristics	Signal means				Radar installation		Infra-red means	
	breaking type			two-position radio emission	СБР-3 (USSR)	ПЧР-5 (USSR)	Vario View™150 (Germany)	Carl Zeiss (Germany)
	«Khmel-1» (Ukraine)	«Crystal-2» (USSR)	«Crab-1» (Russia)	«Vitim» (USSR)				
N_W	1	1	50	1	7,8 $\left(\frac{L}{\Delta L}\right)$ 20 $\left(\frac{\beta}{\Delta\beta}\right)$	15 $\left(\frac{L}{\Delta L}\right)$ 40 $\left(\frac{\beta}{\Delta\beta}\right)$	640 (N_X) 420 (N_Y) 7000 $\left(\frac{L}{\Delta L}\right)$	640 (N_X) 512 (N_Y) 3600 $\left(\frac{L}{\Delta L}\right)$
N_D	2	2	2	2	3	3	3	3
I , bit	1/0*	2	6,6/0*	4,3	8,4**	13,5**	32,8**	32,1**
Possible ways of improvement:								
1). Information storage.	+	—	+	—	—	—	—	—
I_3 , bit	1	—	6,6	—	—	—	—	—
2). Determination of	—	—	—	+	—	—	—	—
	+	+	—	+	—	—	—	—

Information characteristics	Signal means				Radar installation		Infra-red means	
	breaking type			two-position radio emission				
	«Khmel-1» (Ukraine)	«Crystal-2» (USSR)	«Crab-1» (Russia)	«Vitim» (USSR)	СБР-3 (USSR)	ПЧР-5 (USSR)	Vario View™150 (Germany)	Carl Zeiss (Germany)
direction	10,2	7,2	—	13,1	—	—	—	—
3). I_d , bit	—	—	—	+	+	+	—	—
Randing	—	—	—	18,9	14,27	19,1	—	—
4). I_r , bit	—	—	—	—	—	—	—	—
4). Formation of radioimage.	—	—	—	—	—	—	—	—
I_r , bit	—	—	—	—	—	—	—	—

Note: * - value of information power / but the information is not stored; ** - value of information power corresponds to transport means (automobile).

In [7] the possibility to determine the motion direction and speed of the trespasser by means of two-position RESDD, and his classification by the type-man or large animal is noted. To determine the direction of object motion by two-position RESDD, the reflector is used in the detection area. If the reflector is located in the detection area, the determination of motion direction is performed as a result of tailing of the received signal sequences change: overlapping by the object the beam to the reflector, then direct beam, or inverse sequence occurs, as it is shown in Fig. 1.

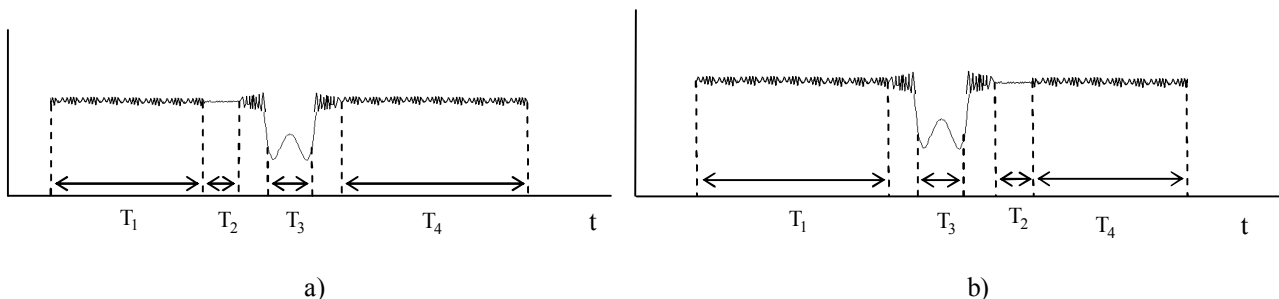


Fig. 1. Signal being registered at the output of the receiver: a) when the object moves in the direction “to us”; b) when the object moves in the direction “from us”; T_1 , T_4 - time interval, when interference occurs; T_2 - time interval, when interference is missing; T_3 - time interval, when the object intercept the direct beam

The drawback of the given method is that for its operation, the reflector must be accurately located on the edge of the detection area. That is why such method is suitable for two-position RESDD, located stationary, for instance, signal system «Georgin». Besides, if trespasser overcomes the detection area near the transmitter or receiver, this will result in rapid decrease of the amplitude of the received signal. That is the trespasser by his body will block simultaneously both direct beam and beam the reflector, and it will be impossible to determine the direction of trespasser motion. To determine the direction of motion by means of signal system «Georgin» the trespasser must overcome the detection area at the distance not less than 12 m from the receiver or the transmitter [8].

While registration of the start of beam blocking on the reflector (from the reflector) and beginning of direct beam blocking or while registration of time indices in inverse order it becomes

possible to determine such parameter of motion as trespasser speed. The speed is found by the following formula:

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

where t_1, t_2 - moments of time of beams blocking in the direction of the reflector and direct beam; r_r - distance from the middle line (direction of the direct beam) to the reflector, located at the edge of detection area; R_m - distance between the transmitter and receiver; λ - length of the wave, generated by the transmitter.

Classification of the trespasser is carried out by the following features:

- by registration of the change of complex amplitude modulus under the impact of lateral dimension of the object, Lateral dimension of large animals is greater than the lateral dimension of a man ($a > 0.25$ m). In [9] the model of signal formation in two-position RESDD as a result of diffraction of electromagnetic waves on the trespasser, is presented. According to the given model the range of complex amplitude module change at the point of reception increases at the growth of lateral dimension of the trespasser.

- by the duration of the beam overlap on the reflector (from the reflector) or direct beam.

Table 2 contains the features of identification and corresponding criteria.

Table 2

Characteristics of impact identification of object violation

Characteristic of identification	Criterion of identification
Change of signal (X_1) amplitude is registered first as a result of overlapping of violation object of the beam on the reflector (from the reflector)	Criterion of motion direction determination – the object moves «to us»
Considerable decrease of signal (X_2) amplitude as a result of the overlap by the object direct beam violation	Criterion of motion direction determination – the object moves «from us»
Change of complex amplitude modulus at lateral size is more than 0.25 m (X_3)	Criterion of object type determination (man/animal)
Time of beam overlap duration on the reflector (from the reflector) (X_4)	Criterion of object type determination (man/animal)

Similarly to the process of signals evaluation in radiolocation [10], additional features of signal identification can be considered as parallel detection of the signal by corresponding feature. The structure of signal processing algorithm, taking into account identification criteria consists of several parallel channels of signals identifiers by corresponding feature, as it is shown in Fig. 2.

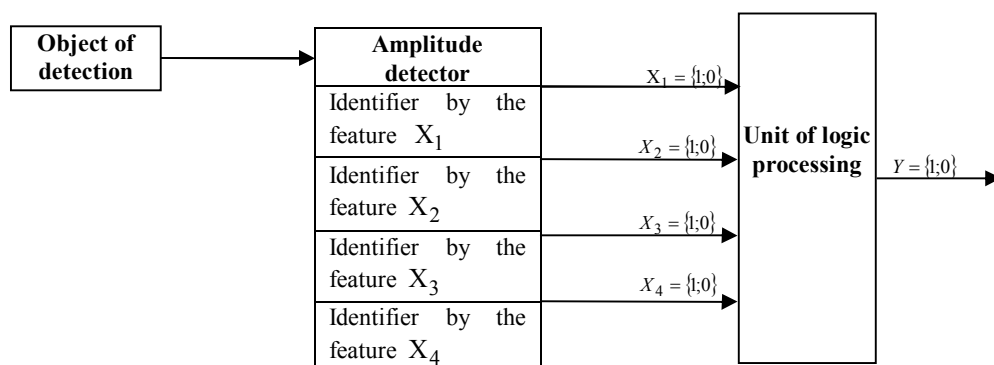


Fig. 2. Structure of signal processing algorithm

As it is shown in Fig. 2, amplitude detector besides boundary detection, processes signal by means of additional processing channels, which include identifiers by the features X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , by which unit of logic processing determines the direction of the motion and the type of trespasser (man or animal).

To understand how logic processing unit operates, it is necessary to understand the logic of its operation, that is, to find correspondence between input and output signals, the following actions should be done:

first – we compose the truth table (Table 3);

second – according to the Table we will write down logic function (formula) by means of the method, called «expanded disjunctive normal form»:

- in the given Table only the sets of variables, at which the value of function equals «1» are selected;

- for each set the conjunctions of all input variables, having value «1» are written, variables, having value «0» are written as inversions of these variables;

- all the obtained conjunctions are united by the signs of disjunction, this will be logic function, that can be minimized, applying the laws of Booleam algebra;

third – we construct logic scheme by minimized logic function.

Table 3

Truth table

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

Logic function for the case, when the type of the object (man) and the direction of its motion to be determined, will have the following form:

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

Having reduced the expression (3) we obtain:

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

Logic scheme of processing unit is shown in Fig. 3. When constructing logic scheme, based on the above-mentioned logic function we take into account the established procedure of logic operations execution: inversion, product, addition, we should not forget about the priority of

brackets.

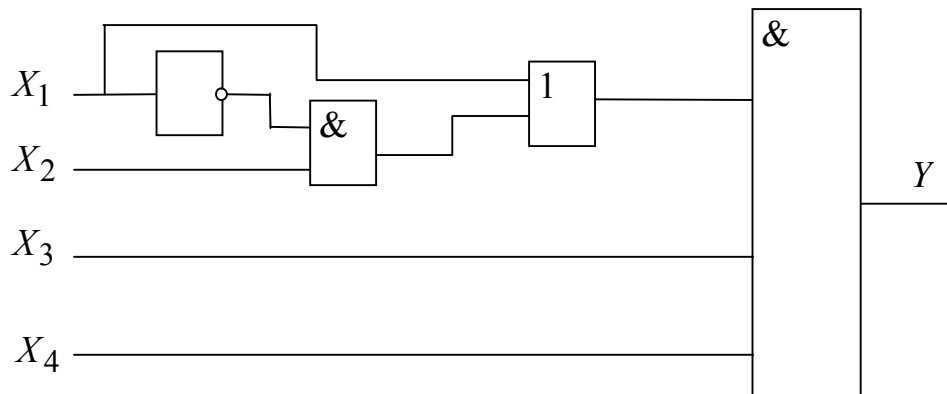


Fig. 3. Logic scheme of processing unit

In [11] another method of trespasser motion determination by means of two position ПІС30 is suggested. The necessary condition, is the formation of asymmetric zone of detection. To create asymmetric zone of detection it is sufficient to have asymmetric directional pattern of the transmitter or the receiver, that would be narrowed from one of the sides to its middle line. For modeling of slotted-guide aerial of signal system «Vitim» transmitter programme HFSS v. 13.0 was used. The process of modeling in HFSS is shown in [12].

Output data for modeling are dimensions of the aerial and wave length, that corresponds to operating frequency 35 GHz. As a result of modeling of the aerial, used in the transmitter of two-positional ПІС30 «Vitim» (Fig. 4 a), its directional pattern, shown in Fig. 4 b, is obtained .

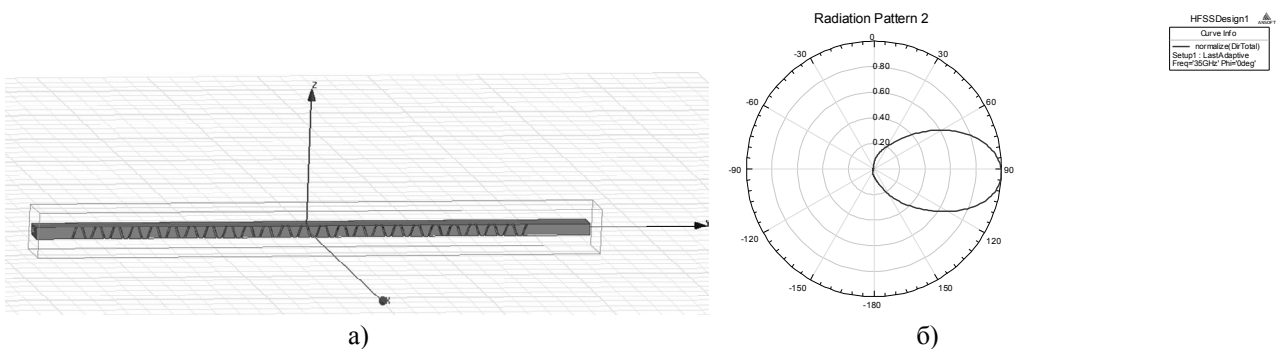


Fig. 4. Waveguide-slit aerial of "VITIM" system in HFSS v. 13.0: a) external view; b) directional pattern

As a result of modeling in HFSS the construction of transmitter aerial was changed. The essence of construction changes is the following: small metal cylinders are located in the middle of wave-guide, as it is shown in Fig. 5 a. As a result, directional pattern of the aerial changes, it narrows from one side to its middle line and, vice versa, widens from the other side. The form of such directional pattern is shown in Fig. 5 b. Hence, placing metal cylinders of different dimensions in the middle of the wave guide and changing the coordinates of their location, the directional pattern of the required form, can be obtained.

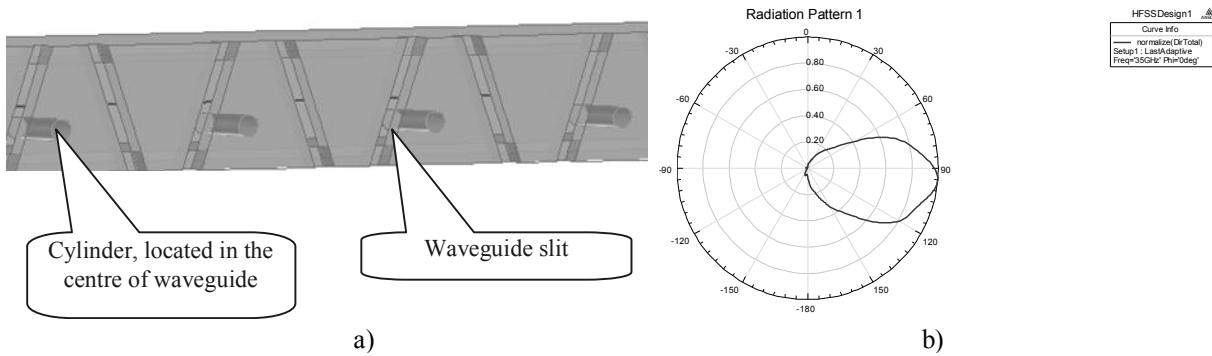


Fig. 5. Waveguide-slit aerial transmitter with changed construction (cylinders in the centre of waveguide): a) external view; b) directional pattern

Determination of the direction of motion of the trespasser is realized by the analysis of received signal sequence as a result of asymmetric signal sequence. As a result of asymmetric form of the detection area, the trespasser, who is from the wider side of detection area (relatively the middle line), emits and forms in the receiver higher level of the signal, than being from the narrow side of detection area. Formation of asymmetric detection area is explained at Fig. 6 a, where directional pattern of the transmitter is asymmetric Fig. 6 b explains how the received signal will change, if the trespasser performs tangential (transversal) motion across asymmetric area of detection from wide side to the narrow side.

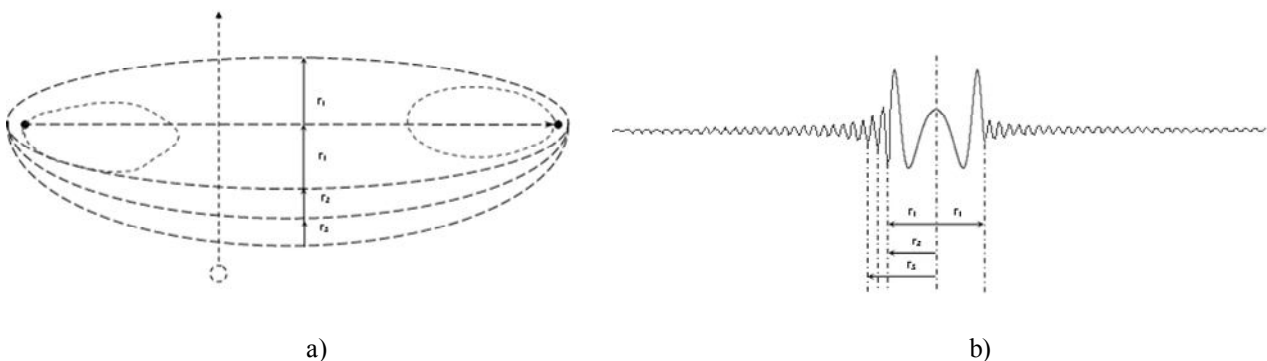


Fig. 6 Asymmetric zone of detection: a) external view of detection zone, formed due to asymmetric form of of direction diagram of the transmitter ; b) signal diagram in reception channel while trespasser motion across asymmetric detection zone from wide side to the narrow side

Concerning signal devices of break type, the above-mentioned devices «Crab-1» and «Kuvshinka-M» have the possibility to determine the approximate length of sensitive element. The given functional possibility is realized on the basis of the method of pulse reflectometry. However, the given method has some drawbacks:

- maximum length of sensitive element can not be more than 500 m, because in the process of propagation of electro-magnetic wave in waveguide line its attenuation in the earth occurs;
- for operation its signal device must be grounded, as a result of its properties the soil can limit the length of wire, being controlled, for instance, if the soil is dry or rocky;
- using the method of pulse reflectometry signal device is active, that, in its turn, leads to decrease of operation, if self-contained power supply is used.

It is possible to overcome such a drawback as the necessity of grounding using in signal devices the cassettes with microcable, and determination of microcable length, based on measurement of its capacitance can be the alternative to the method of pulse reflectometry.

Cassettes with microcable are used in the following signal devices of break type – «Khmel-1», «Liana-1», «Tros». Microcable comprises two conductors, 0.05 mm of diameter. Operation principle of signal devices, using cassettes with microcable is the control of microcable integrity by means of registration of its resistance change. Electric circuit, being controlled, is formed as a result of fusion

of microcable end. The above-mentioned devices do not possess the function of determination of the distance to the place of sensitive element break.

Measurement of the distance to the place of microcable break by means of measurement of capacitance can be reduced to the following technique, that comprises the following actions:

– measurement of capacitance value of the control length of the broken microcable and calculation of the value of the linear capacitance, as it is shown in the formula:

$$C_{lin} = \frac{C_c}{L_c}, \quad (5)$$

where C_c – capacitance of the control length of microcable; L_c - control length of microcable.

– realization of permanent control over the values of initial and final values of voltages in microcable;

– measurement of microcable capacitance charging time;

– calculation of residual capacitance of microcable by the formula (3):

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

where R – resistance of microcable, across which the charging of the capacitance of the rest of microcable occurs; U – initial value of voltage in microcable; U_0 – final value of voltage in microcable; t – time of capacitance charging of the rest of microcable from U_0 до U .

– determination of the distance to the place of break by the formula (7):

$$L_{rest} = \frac{C_{rest}}{C_{lin}}. \quad (7)$$

However, the given technique of measurement of the distance to the place of break, using cassettes with microcable is impossible to use, because linear capacitance will be stable value only for the section of the broken microcable without cassette (L_{br}), as it is shown in Fig. 7 a.

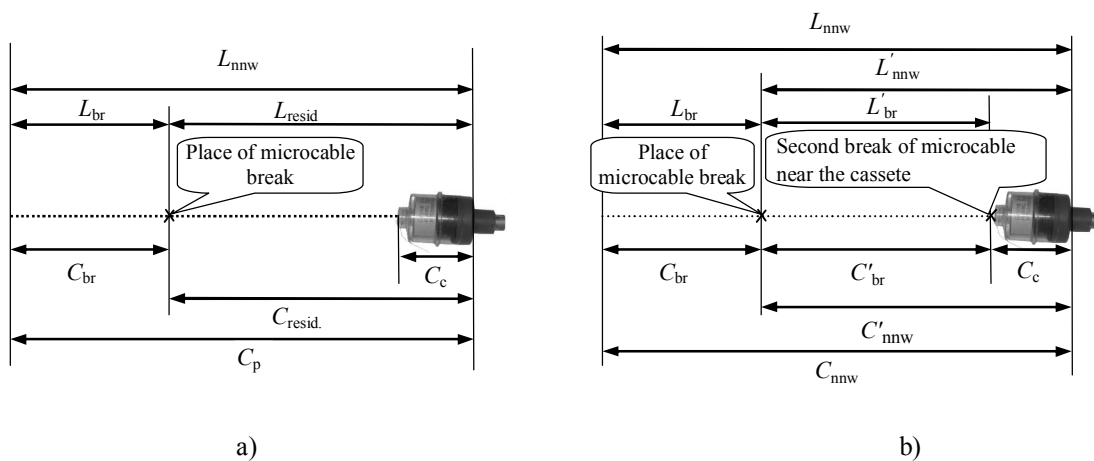


Fig. 7. Cassette with unreeled microcable

Accordingly, it is possible to find the distance L_{br} , as it is shown in the expression:

$$L_{br} = \frac{C_{br}}{C_{lin}} = \frac{C_{un} - C_{rest}}{C_{lin}}. \quad (8)$$

Linear capacitance can not be used for determining the length of the rest of microcable (L_{res}) and unreeled microcable (L_{ur}), because the capacitance of the rest of microcable (C_{rest}) and

capacitance of unreeled microcable (C_{ur}) is influenced by interbranch capacitance of the cassette it self with microcable (C_c).

To find out the length L_{rest} the possible variant is to break microcable directly before the cassette, as it is shown in Fig. 7 b. Thus, the distance to previous place of microcable break equals:

$$L'_{br} = \frac{C'_{ur} - C'_{br}}{C_{lin}}. \quad (9)$$

But it is not expedient to use the given method, as it does not result in more rapid usage of microcable, contained in the cassette, but it does not allow to realize tactical advantage, when similar devices are used — determination of motion direction in case of blocking of the area.

To realize in signal device of break type such functions as determination of the distance to the object and direction it is necessary to apply another method of microcable capacitance determination. The alternative method may be processing of experimental data of microcable cassette capacitance in two cases — when it is unreeled or when it is broken.

By the results of the experiment capacitance of microcable cassette «Tros» was measured by means of digital multimeter M890G. Total length of microcable of the cassette «Tros» is 2000 m [13]. By the results of the experiment it was revealed that while unreeling of microcable from the cassette the capacitance gradually decreases, although the total length of microcable does not change. By experimental data the equations of regressive polynomials for two above-mentioned cases were found. Coefficients of the equations and degrees of polynomials are determined by means of MathCAD programme. Listing of MathCAD programme for these regressive polynomials is shown in Fig. 8. Where n – degree of polynomial. $L1, C1$ – length and capacitance of unreeled microcable, $L2, C2$ – length and capacitance of broken microcable. In vectors of the results $V1$ and $V2$ first three lines are service and other indicate the values of polynomial coefficients.

```

n := 2
v1 := regress(L1,C1,n)          v2 := regress(L2,C2,n)
z := 0,0.1..2000              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 =  $\begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 2 \\ 274.144 \\ -2.902 \times 10^{-3} \\ -1.494 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$ 

```

Fig. 8. Listing of MathCAD program for two regressive polynomials

The value of the capacitance while unrolling of the cassette will correspond to regressive polynomial, that has the following form:

$$C_{unr}(L_{unr}) = -2.825 \cdot 10^{-5} L_{unr}^2 - 0.081 L_{unr} + 271.604, \quad (10)$$

where L_{unr} - length of unrolled microcable from the cassette.

The value of the capacitance, if microcable from the cassette is broken, is described by the following polynomial:

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

where L_{br} - length of broken microcable from the cassette.

Form of the functions (10) and (11) is shown in Fig. 9.

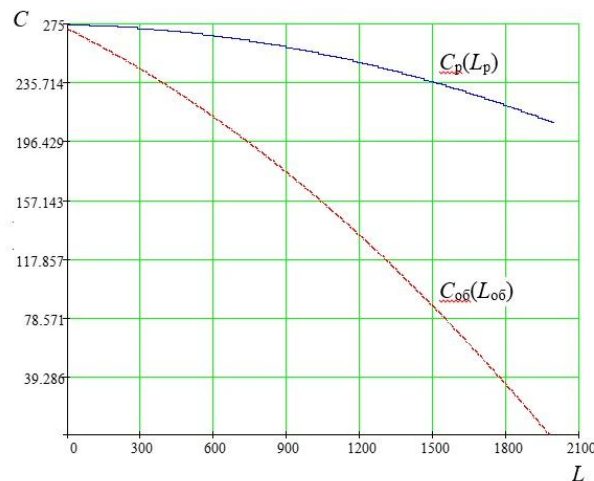


Fig. 9. View of regressive polynomials by experimental data

By means of equation (10) the length of unreeled microcable from the full cassette:

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

where C_{unr} - capacitance of the full cassette with unreeled microcable.

When the complete cassette with microcable is used the distance to the break (distance to the trespasser) can be determined by means of the expressions (5) and (9):

$$L_{rest} = L_{unr} - L_{br}. \quad (13)$$

However, it is not expedient to determine the distance to the trespasser, using the expression (12), as, every time while blocking the area complete (new) cassette with microcable must be unreeled.

That is why, the necessary precondition, regarding the development of the method of distance to the object (break of microcable) determination is the realization of the possibility of using incomplete cassette with microcable. For this purpose a number of steps must be taken, the explanation of these steps is shown in Fig. 10:

1. Measure the capacitance of incomplete non-unreeled cassette (C_{nur}).
2. Determine the length of microcable in incomplete non-unreeled cassette by the expression (11):

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

where C_{nur} - capacitance of incomplete non-unreeled cassette.

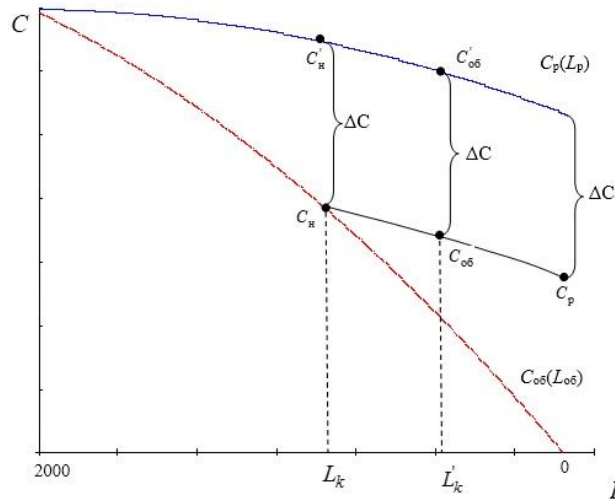


Fig. 10. Dependences of electric capacities of the complete unreeled cassette, incomplete unreeled cassette, complete cassette with broken microcable on the length of microcable

3. Determine, by the formula (12) the capacitance of the complete cassette, unreeled on the length of $2000 - L_k$ (C'_{nur}).

4. Determine $\Delta C = C'_{nur} - C_{nur}$.

5. Measure the capacitance of unreeled incomplete cassette (C_{unr}).

6. Measure the capacitance of unreeled, incomplete cassette after microcable break by the trespasser at the length L'_k (C_{br}).

7. Determine the forecast capacitance of complete, unreeled cassette after microcable break by the trespasser at the length L'_k :

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

8. Determine by the expression (12) the length of microcable of new unreeled cassette after the break:

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

9. Determine the length of microcable for incomplete unreeled cassette after its break, taking into account the expressions (14), (16):

$$L_{rest} = L_k - L'_k - \frac{C_{unr} - C_{br}}{C_{lin}}. \quad (17)$$

Conclusions

By the results of the research, carried out, the methods of enhancement of information capacity of signal devices, intended for protection of local sections of state boarder are substantiated. The development of new or improvement of existing signal devices with new functional possibilities intended for protection of local sections of state boarder is expedient.

REFERENCES

1. Быстроразворачиваемый радиолучевой комплекс «Фортеза-12» [Электронный ресурс] / Режим доступу : <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>.
4. Сигнализатор обрывного типа «Кувшинка-М» [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.ktso.ru/katalog/obrso/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 радіопробним 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 радіопробних 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/obrso/os21/os21.php>.

Dobrovolskiy Andriy – Adjunct.

Bogdan Khmelnytsiy National Academy of State Frontier Guard of Ukraine.