

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ДО ОБ'ЄКТА  
СИГНАЛІЗАЦІЙНИМ ЗАСОБОМ ОХОРОНИ НА ОСНОВІ  
ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ ЧУТЛИВОГО  
ЕЛЕМЕНТУ**

*Добровольський А. Б.*

*Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна, [dob.andrey@gmail.com](mailto:dob.andrey@gmail.com)*

**METHOD OF OBJECT RANGING BY SIGNALLING SECURITY MEANS BASED  
ON MEASUREMENT OF ELECTRICAL CAPACITY OF SENSING ELEMENT**

*Dobrovolskyi A. B.*

*National Academy of State Border Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine, [dob.andrey@gmail.com](mailto:dob.andrey@gmail.com)*

**Вступ**

Аналіз досліджень у галузі сигналізаційних засобів охорони обривного типу, які розглянуті у роботах [1-3], дозволили виділити науково-технічні рішення, які розв'язують завдання щодо реалізації визначення дальності до об'єкта (під об'єктом розуміється порушник). Реалізація такої функціональної можливості, як визначення приблизної відстані до місця обриву чутливого елемента, в сигналізаційних засобах охорони буде позитивно впливати на процес виявлення об'єкту та його подальшого затримання. Так за умови впровадження зазначеної функціональної можливості інформаційна здатність сигналізаційних засобів охорони обривного типу буде зростати [4].

Однак при вирішенні зазначеного завдання, з урахуванням результату аналізу робіт [1-3], доцільно дослідити варіант щодо можливості визначати дальність до об'єкту за допомогою вимірювання електричної ємності чутливого елемента (мікрокабелю) сигналізаційного засобу охорони. Запропонований варіант потребує експериментальних досліджень в області вимірювання електричної ємності чутливого елемента (мікрокабелю) сигналізаційного засобу охорони обривного типу, що і обумовило сутність **мети роботи.**

**Результати дослідження**

В таких сигналізаційних засобах охорони обривного типу як «Краб-1», «Кувшинка-П» існує можливість визначати приблизну довжину чутливого елемента. Дана функціональна можливість реалізована на основі методу імпульсної рефлектометрії. Сутність цього методу полягає в тому, що однопровідний мідний провід (ПЕЛ, ПЕВ) та поверхня землі утворюють хви-

леводну лінію, яка розімкнена на дальньому кінці. В початковий момент подачі імпульсів вздовж хвилеводної лінії починає поширюватись електромагнітна хвиля. Коли хвиля досягає розімкненого кінця лінії, то вона відбивається і в протифазі повертається в зворотньому напрямі. В момент приходу відбитої хвилі завершується подача імпульсу струму в лінію. Таким чином тривалість імпульсу пропорційна подвійній довжині проводу:

$$t_i = \frac{2L}{V_c}, \quad (1)$$

де  $L$  — довжина проводу;

$V_c$  — швидкість поширення електромагнітної хвилі в хвилеводній лінії.

При зміні довжини проводу змінюється тривалість імпульсів та середня напруга на виході фільтру нижніх частот, що є детектором тривалості імпульсів. Рівень середньої складової напруги поступає на вимірювач дальності, яким може бути, наприклад, вольтметр зі шкалою, що зазначена в одиницях довжини проводу. Більш детально даний метод зазначено в роботі [1].

Проте даний метод володіє рядом суттєвих недоліків:

– максимальна протяжність чутливого елемента може бути не більше 500 м, так як в процесі поширення електромагнітної хвилі в хвилеводній лінії відбувається її затухання в основному в землі;

– для роботи сигналізаційного засобу необхідно заземлення в ґрунт, який в силу своїх властивостей може обмежити довжину проводу, що контролюється, наприклад, тип ґрунту – сухий або кам'янистий;

– при використанні методу імпульсної рефлектометрії сигналізаційний засіб охорони є активним, що в свою чергу призводить до зменшення тривалості його роботи при використанні автономного джерела електроживлення.

Впоратися з таким недоліком, як необхідність заземлення, можна при використанні в сигналізаційних засобах касет з мікрокабелем, а альтернативою до методу імпульсної рефлектометрії може бути запропонований варіант визначення довжини мікрокабелю на основі вимірювання його електричної ємності.

Так касети з мікрокабелем використовуються в наступних сигналізаційних засобах обривного типу — «Хмель-1», «Лиана-1», «Трос». Мікрокабель являє собою дві ізольовані жили діаметром 0,05мм. Принцип роботи сигналізаційних засобів охорони, що використовують касети з мікрокабелем, полягає в контролі цілісності мікрокабелю шляхом реєстрації зміни його опору. Електричне коло, яке контролюється 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 ви-

мірювання електричної ємності може звестись до послідууючої методики, а її сутність полягає в виконанні такої послідовності дій:

– вимірювання величини електричної ємності контрольної довжини мікрокабелю та обчислення величини погонної електричної ємності, як зазначено в формулі (2)

$$C_{\text{пог}} = \frac{C_{\text{к}}}{L_{\text{к}}}, \quad (2)$$

де  $C_{\text{к}}$  — електрична ємність контрольної довжини мікрокабелю;

$L_{\text{к}}$  — контрольна довжина мікрокабелю.

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

– вимірювання часу заряду електричної ємності мікрокабелю;

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

$$C_{\text{зал}} = \frac{t}{R \cdot \ln\left(1 - \frac{U}{U_0}\right)}, \quad (3)$$

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 (4):

$$L_{\text{зал}} = \frac{C_{\text{зал}}}{C_{\text{пог}}}. \quad (4)$$

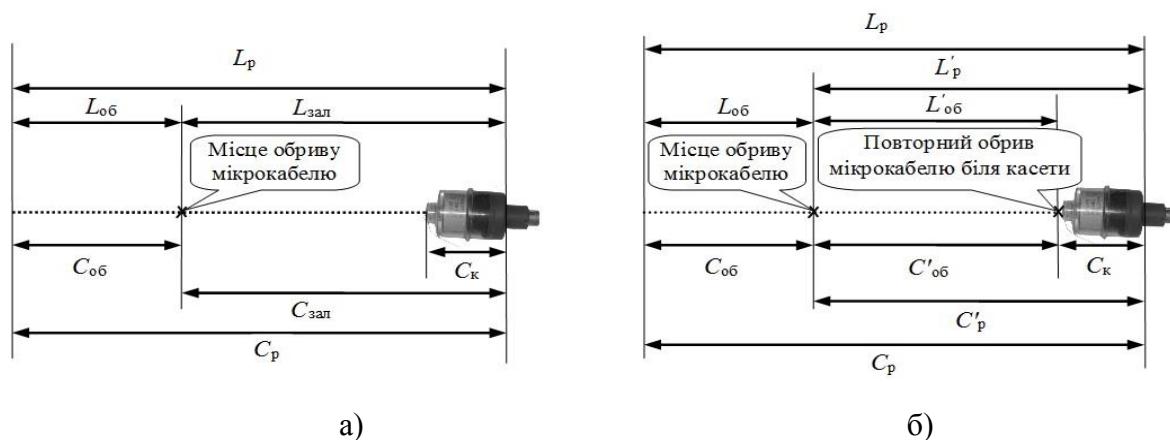


Рис. 1. Касета з розмотаним мікрокабелем

Однак дану методику вимірювання відстані до місця обриву при вико-

ристанні касет з мікрокабелем неможливо використати. Пов'язано це з тим, що погонна ємність буде сталою величиною тільки для ділянки обріваного мікрокабелю без касети ( $L_{об}$ ), як це показано на рис. 1, а.

Відповідно можливим є тільки знаходження відстані  $L_{об}$ :

$$L_{об} = \frac{C_{об}}{C_{пог}} = \frac{C_p - C_{зал}}{C_{пог}}. \quad (5)$$

Погонну ємність не можна використовувати для знаходження довжин залишку мікрокабелю ( $L_{зал}$ ) та розмотаного мікрокабелю ( $L_p$ ), так як 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. 1, б. Таким чином, відстань до попереднього місця обриву мікрокабелю дорівнює:

$$L'_{об} = \frac{C'_p - C'_{об}}{C_{пог}}. \quad (6)$$

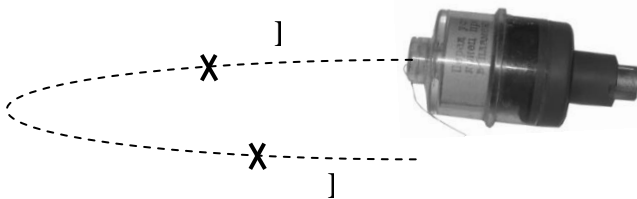


Рис. 2 Варіант розгортання мікрокабелю для визначення напрямку руху об'єкту

значення напрямку руху об'єкту в разі блокування ділянки місцевості, як це показано на рис. 2. При реєстрації двох обривів  $D_2$  та  $D_1$  — об'єкт рухається знизу вгору, а при реєстрації лише одного обриву  $D_1$  — об'єкт рухається зверху до низу.

Щоб реалізувати в сигналізаційному засобі охорони обривного типу такі функції, як визначення дальності до об'єкту та його напрямку необхідно застосовувати інший спосіб знаходження електричних ємностей мікрокабелю. Таким способом може бути обробка експериментальних даних електричної ємності касети мікрокабелю при його розмотуванні та у разі його обриву.

Так за результатами експерименту вимірювалась електрична ємність касети мікрокабелю «Трос» [5] цифровим мультиметром M890G, як показано на рис. 3.

Однак подібний спосіб не доцільно використовувати, так як це призводить до більш швидкого використання мікрокабелю, що міститься в касеті, але ще крім цього він не дає можливості реалізації тактичної переваги при застосуванні засобів подібного типу — ви-



Рис. 3 Вимірювання електричної ємності мікрокабелю касети «Трос» цифровим мультиметром M890G

Загальна довжина мікрокабелю касети «Трос» становить 2000 м. За результатами експерименту встановлено, що при розмотуванні мікрокабелю з касети електрична ємність поступово зменшується, хоча загальна довжина мікрокабелю не змінюється. В таблиці 1 зазначені експериментальні дані, що стосуються касети «Трос», а саме — значення електричної ємності при розмотуванні мікрокабелю на всю довжину в 2000 м та значення електричної ємності самої касети, коли певна довжина мікрокабелю обривалася (через 100 м).

Таблиця. 1

Експериментальні дані електричної ємності касети «Трос» з розмотаним та обірваним мікрокабелем

Електрична ємність, нФ	Довжина мікрокабелю, м										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
При розмотуванні мікрокабелю з повної касети на всю довжину	275	273,4	272,9	271,5	270,4	268,2	267	264,4	262,5	259,8	257,2
При обриві мікрокабелю з повної касети	275	264,5	253,8	243,1	232,2	221,2	210,1	198,7	187	174,9	163,1
Електрична ємність, нФ	Довжина мікрокабелю, м										
	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
При розмотуванні мікрокабелю з повної касети на всю довжину	253,1	250	245,1	241,2	234,1	231,8	225,3	221,1	214,4	209	
При обриві мікрокабелю з повної касети	150,9	136,5	120,8	103,9	89,4	62,65	46,6	28,8	10,45	0	

За експериментальними даними знайдені регресійні рівняння поліномів для двох зазначених випадків. Коефіцієнти рівнянь та ступені поліномів знайдені за допомогою програми MathCAD. Лістинг програми MathCAD для цих регресійних поліномів показано на рис. 4. Де  $n$  — ступінь поліному.  $L1$ ,  $C1$  — довжина та електрична ємність розмотаного мікрокабелю,  $L2$ ,  $C2$  — довжина та електрична ємність обірваного мікрокабелю. В векторах результатів  $v1$  та  $v2$  перші три рядки є службовими, а інші вказують на значення коефіцієнтів поліному.

```

n := 2
v1 := regress(L1, C1, n)
z := 0, 0.1.. 2000
rel(z) := interp(v1, L1, C1, z)

v2 := regress(L2, C2, n)
z := 0, 0.1.. 2000
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. 4. Лістинг програми MathCAD для двох регресійних поліномів

Так значення електричної ємності при розгортанні повної касети на всю довжину буде відповідати регресійному поліному, що має такий вид:

$$C_p(L_p) = -1.494 \cdot 10^{-5} L_p^2 - 2.902 \cdot 10^{-3} L_p + 274.144, \quad (7)$$

де  $L_p$  — довжина розмотаного мікрокабелю з касети.

Значення електричної ємності при обриві мікрокабелю з повної касети описується наступним поліномом:

$$C_{об}(L_{об}) = -2.865 \cdot 10^{-5} L_{об}^2 - 0.081 L_{об} + 271.604, \quad (8)$$

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

Вигляд функцій (7) та (8) показано на рис. 5.

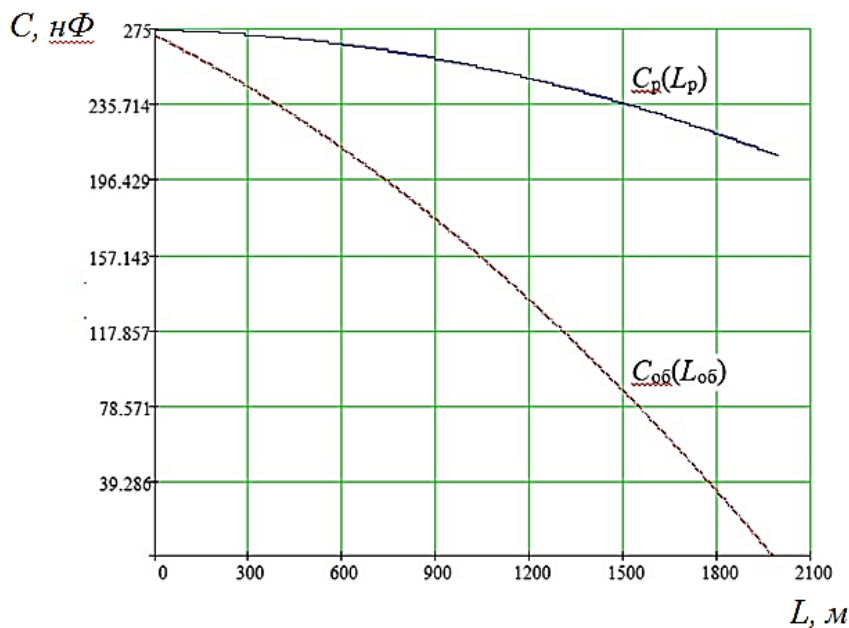


Рис. 5 Вигляд регресійних поліномів за експериментальними даними

З рівняння (7) можна визначити довжину розмотаного мікрокабелю з повної касети:

$$L_p = 33467.2 \cdot \sqrt{0.016 - 5.9 \cdot 10^{-4} \cdot C_p} - 97.12, \quad (9)$$

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):

$$L_{\text{зал}} = L_p - L_{\text{об}}. \quad (10)$$

Однак, визначати дальність до порушника за виразом (10) є недоцільним, так як кожен раз при блокуванні ділянки повинна розгортатися повна (нова) касета з мікрокабелем.

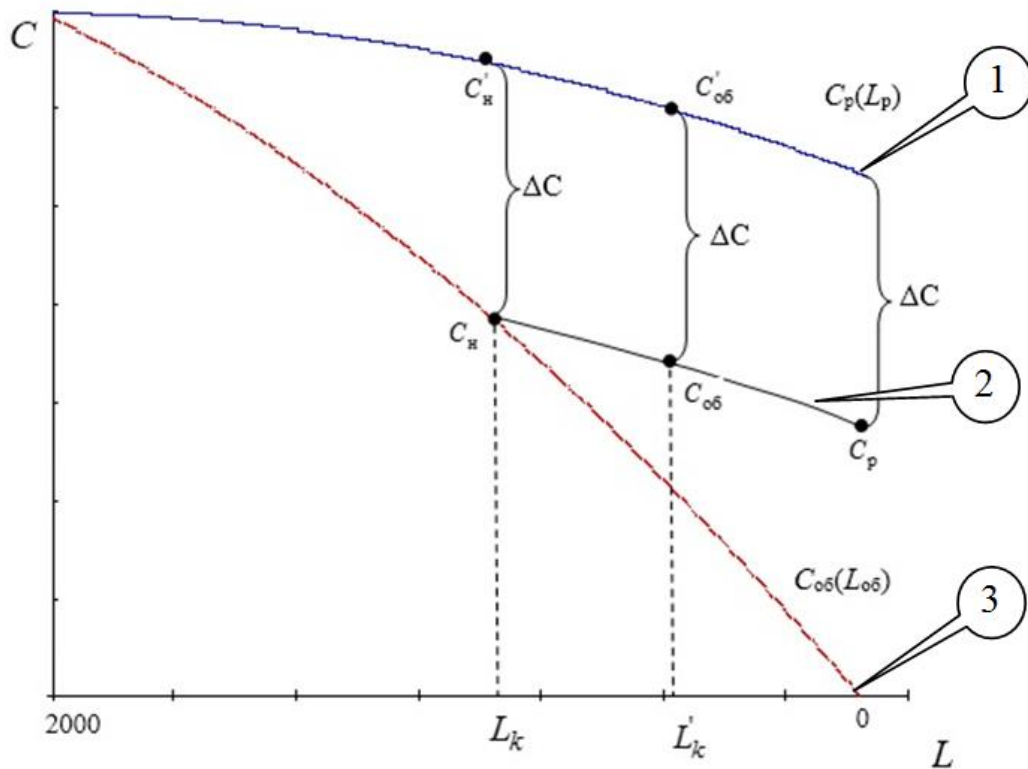


Рис. 6 Залежності електричних ємностей від довжини мікрокабелю: 1 — для повної розмотаної касети; 2 — неповної розмотаної касети; 3 — повної касети з обірваним мікрокабелем

Тому необхідною умовою щодо розробки методу визначення дальності до об'єкту (обриву мікрокабеля) є реалізація можливості використання неповної касети з мікрокабелем. Для цього треба здійснити ряд наступних дій, пояснення яких показано на рис. 6, що в свою чергу становить сутність розробленого методу:

1. Виміряти електричну ємність неповної не розмотаної касети ( $C_n$ ).
2. Визначити довжину мікрокабелю в неповній не розмотаній касеті з виразу (8):

$$L_k = 176.1 \cdot \sqrt{0.037 - 1.13 \cdot 10^{-4} \cdot C_H} - 1433.6, \quad (11)$$

де  $C_H$  — електрична ємність неповної не розмотаної касети.

3. Визначити за формулою (7) 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  $L'_k$ :

$$C'_{об} = C_{об} + \Delta C. \quad (12)$$

8. Визначити з виразу (9) довжину мікрокабелю повної розмотаної касети після обриву:

$$L'_k = 33467.2 \sqrt{0.016 - 5.9 \cdot 10^{-4} \cdot C'_{об}} - 97.12. \quad (13)$$

9. Визначити довжину мікрокабелю для неповної розмотаної касети після його обриву з урахуванням виразів (11), (13):

$$L_{зал} = L_k - L'_k - \frac{C_p - C_{об}}{C_{пог}}. \quad (14)$$

### **Висновки**

Розроблено метод визначення дальності до об'єкту на основі вимірювання електричної ємності чутливого елемента сигналізаційного засобу охорони обривного типу. Новизна методу полягає у визначенні значень електричної ємності на основі регресійного аналізу за експериментальними даними. Даний метод у порівнянні з методом імпульсної рефлектометрії відрізняється тим, що знято обмеження щодо визначення меж дальності до об'єкту, а також напрямку його руху. Використання методу дозволило підвищити ефективність контролю чутливого елемента шляхом визначення дальності до об'єкту.

### **Перелік посилань**

1. Пат. 1826788 Российская Федерация, МПК G08B 13/12. Сигнальное устройство / Ю.Н. Круглов, Л.Е. Лебедев, Н.Н. Токарев, А.В. Филипов, Е.Е. Шарамонов ; Научно-исследовательский и конструкторский институт радиотехнической техники. — № 4887358/24 ; заявл. 26.10.1990 ; опубл. 10.08.1996.

2. Пат. 2485596 Российская Федерация, МПК G08B 13/12, G08B 25/00, G08B 29/00. Способ определения направления движения нарушителя обрывными средствами / Удот С. А.; Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Калининградский пограничный институт Федеральной



службы безопасности Российской Федерации». – № 2011127033 ; заявл. 30.06.2011; опубл. 20.06.2013, бюл. № 17.

3. Пат. 17485 Україна, МПК G08B 13/02. Сигналізаційний прилад обривного типу / Б.М. Міхеєв, М.І. Лисий, О.М. Шинкарук ; Національна академія державної прикордонної служби України ; опубл. 15.09. 2006, бюл. № 9.

4. Добровольський А.Б. Модель оцінки ефективності технічних засобів охорони кордону при врахуванні інформаційних характеристик // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2012. – Вип. № 38. – с. 25-30.

5. Прибор «Трос». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Ш1ППК4ЭТ. 1990г.

### Reference

1. Kruglov Y. N., Lebedev L. E., Tokarev N. N., Filipov A. V. and Sharamonov E. E. (1996) *Signal'noe ustroistvo* [Signalling device]. Patent RU 1826788.

2. Udot S. A. (2013) *Sposob opredeleniya napravleniya dvizheniya narushitelya obryvnyimi sredstvami* [Method of infractor's direction measurement by break-away means]. Patent RU 2485596.

3. Mikheev B. M., Lysyi M. I. and Shynkaruk O. M. (2006) *Syhnalizatsiinyi pryklad obryvnoho typu* [Signalling break-away device]. Patent UA 17485.

4. Dobrovolskyi A. B. [Model of assessment of the effectiveness of technical border protection means in view of information characteristics]. *Herald of Taras Shevchenko National University of Kiev (Special Military science)*, No 38, pp. 25-30.

5. (1990) *Pribor «Tros». Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii* [“Tros” device. Technical description and operation manual].

*Добровольський А. Б. Метод визначення дальності до об'єкта сигналізаційним засобом охорони на основі вимірювання електричної ємності чутливого елементу. Сутність новизни методу полягає в визначенні дальності до об'єкту на основі регресійного аналізу експериментальних даних по вимірюванню електричної ємності мікрокабелю касети «Трос». Даний метод у порівнянні з методом імпульсної рефлектометрії не має обмежень по дальності визначення об'єкту. Використання методу дозволило підвищити ефективність контролю чутливого елементу шляхом визначення дальності до об'єкту.*

*Ключові слова: мікрокабель, електрична ємність, дальність до об'єкту.*

*Dobrovolskyi A. B. Method of object ranging by signaling security means based on measurement of electrical capacity of sensing element. Сущность новизны метода состоит в определении дальности до объекта на основе регрессионного анализа экспериментальных данных в результате измерения электрической ёмкости кассеты «Трос». Данный метод в сравнении с методом импульсной рефлектометрии не имеет ограничений по дальности определения объекта. Использование метода позволило повысить эффективность контроля чувствительного элемента путём определения дальности до объекта.*

*Ключевые слова: микрокабель, электрическая ёмкость, дальность до объекта.*

*Dobrovolskyi A. B. Method of object ranging by signaling security means based on measurement of electrical capacity of sensing element.*

*Introduction. Analysis of the researches in the field of signaling break-away protection*

*means allowed to determine scientific and technical solutions which solve tasks concerning realization of object ranging. However, these scientific and technical solutions have several disadvantages, which are proposed to be solved with a new method based on measurement of electrical capacity of sensing element.*

*Research results. The essence of the method novelty is the object ranging based on regression analysis of experimental data in measurement of electrical capacity of the “Tros” microcable tape. This method has no restrictions as for object ranging in comparison with the method of impulse reflectometry.*

*Conclusions. Used method allowed to raise the efficiency of sensing element control by object ranging.*

*Keywords: microcable, electrical capacity, distance to the object.*