

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 355.457

Ю.О. Бабій

Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, Хмельницький

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ НА СУХОПУТНОМУ КОРДОНІ УКРАЇНИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ ЗАСОБАМИ ОХОРОНИ

Автоматичне виявлення рухомого об'єкта на ділянках сухопутного кордону протяжністю більше 15 км на фланг охорони, інваріантність до рельєфу і типу місцевості, необслуговуємість лінійної частини технічних засобів охорони кордону, цілковита маскованість чутливого елемента – всім цим вимогам на сучасному етапі розвитку технічних засобів охорони кордону відповідають тільки волоконно-оптичні засоби охорони. Чутливим елементом лінійної частини засобу здебільшого є розподілений волоконний світловод, що прокладається у ґрунті. Такі засоби знайшли досить широке застосування в охороні трубопроводів, у виявленні їх пошкоджень. Хвилі тиску, що виникають від переміщення правопорушника, на відміну від сейсмічних, мають радіус впливу на світловод до 1 м і є досить слабкими, якщо рухомим об'єктом є людина. Незначний вплив правопорушника на чутливий елемент – світловод обумовлює необхідність підвищення завадостійкості виявлення правопорушника. У даній роботі у ході формалізації процесу моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні України волоконно-оптичними засобами охорони розроблено класифікацію структур волоконно-оптичних датчиків.

**Ключові слова:** рухомий об'єкт; волоконно-оптичні засоби охорони, технічні засоби охорони кордону.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Процес моніторингу рухомого об'єкта (РО) буде більш інформативним за умови визначення напрямку руху правопорушника (ПП), що спростить здійснення процесу вторинного виявлення ПП відеотепловізійними засобами спостереження. Зазначене може бути забезпечено застосуванням двох лінійних чутливих елементів (ЧЕ), прокладених паралельно на відстані декількох метрів, тобто лінійна частина волоконно-оптичних засобів охорони (ВОЗО) трансформується у квазілінійну.

Суттєвим є питання забезпечення живучості ВОЗО та неперервності моніторингу. Визначення місця пошкодження світловода на сучасному етапі розвитку волоконно-оптичної рефлектометрії здійснюється з достатньою точністю, менше 1 м і потребує декількох десятків хвилин. Проте, на місцевості вилучити пошкоджений кабель і здійснити його зварювання можуть лише кваліфіковані спеціалісти, що може зайняти декілька днів. Забезпечити функціонування ВОЗО з пошкодженим ЧЕ можливо при об'єднанні двох лінійних розподілених ЧЕ, трансформації квазілінійної частини ВОЗО у квазілінійну з кільцевим ЧЕ.

Отже, розподіленість топології елементів ВОЗО вимагає приділення уваги завадостійкості і жи-

вучості системи, забезпечення виявлення і визначення напрямку переміщення РО, що прогнозовано вирішується на основі методів волоконно-оптичної рефлектометрії та потребує, у першу чергу, формалізації процесу моніторингу рухомих об'єктів волоконно-оптичними засобами охорони.

**Мета статті та постановка завдання.** Зважаючи на вищесказане, метою даної роботи є розробка класифікації структур ВОЗО у ході формалізації процесу моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні України ВОЗО.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Для розподілених систем охорони, якими є ВОЗО, в значній мірі процес моніторингу РО визначається структурою засобу, однією з основних ознак класифікації якої є тип каналу мультиплексування сигналів ВОЗО, табл. 1.

Результати аналізу запропонованої класифікації структури ВОЗО дозволять у подальшому формалізувати процес моніторингу РО на сухопутному кордоні України при застосуванні раціональної структури ВОЗО та розробити загальні вимоги до неї.

За типом датчиків найбільш інформативними є дискретні датчика, які можуть вимірювати різні фі-

зичні величини, зокрема, волоконно-оптичні гіроскопи є найбільш чутливими датчиками реєстрації сейсмосигналів. Чутливими, стосовно вимірювання сейсмосигналів, є дискретні волоконно-оптичні датчики (ВОД), принцип роботи яких потребує встановлення їх у розрив світловоду, що не дозволяє об'єднувати такі датчики в одному світловоді [1-5].

Таблиця 1

Класифікація структури ВОЗО

Ознака класифікації структури ВОЗО	Розподіл за ознакою
Тип датчика	дискретний
	квазірозподілений (вбудований датчик у світловод)
	розподілений (датчиком є світловод)
Тип зони виявлення	площинна
	лінійна
	квазілінійна (декілька ліній)
Тип каналів мультиплексування сигналів	мультиплексування сигналів розподіленого ЧЕ
	послідовне об'єднання датчиків у ЧЕ
	паралельне об'єднання датчиків у ЧЕ
Принцип вимірювання фізичних величин	аналоговий
	дискретний

Зона виявлення при мультиплексуванні множини таких датчиків у ЧЕ є площинною, рис. 1.

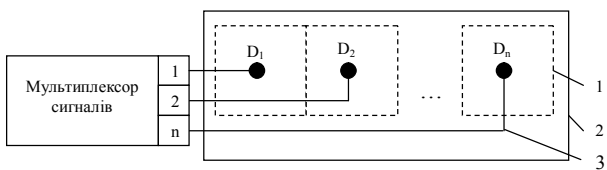


Рис. 1. Моніторинг РО при багатоволоконному мультиплексуванні дискретних датчиків з площинною зоною виявлення: 1 – чутлива зона ВОД; 2 – зона виявлення; 3 – світловоди

Також, топологія, рис. 1, характеризується паралельним збором даних від дискретних датчиків, які принципово не об'єднуються одним світловодом. Такий моніторинг застосовується, наприклад, у геодезії. Щодо ВОЗО, то для моніторингу 20-30 км ділянки кордону даний тип не є перспективним через загальну значну протяжність світловодів, а, отже, і через вартість системи.

Як сигналізаційній системі, ВОЗО достатньо визначення місцеположення точки впливу РО на ЧЕ, а також бажаною функцією є визначення напрямку.

Другий тип моніторингу РО відрізняється від першого застосуванням датчиків, що можуть мультиплексуватися послідовно, шляхом фізичного з'єднання одним світловодом, рис. 2 [6]. Це можуть бути інтерферометричні датчики.

Також датчики, які не потребують здійснення розриву світловоду, наприклад, макровигинні, можуть послідовно об'єднуватися, проте, потребують безпосереднього впливу на них об'єкта [7], що не дозволяє таку топологію системи розглядати як перспективну.

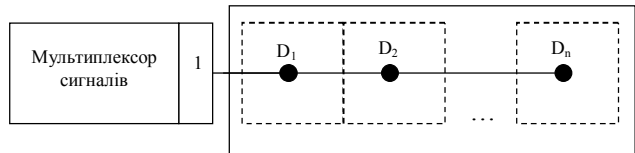


Рис. 2. Моніторинг РО при одноволоконному мультиплексуванні дискретних датчиків з площинною зоною виявлення

Відомий спосіб паралельного об'єднання дискретних відбивних датчиків [8, 9] дозволить забезпечити неперервність вимірювання характеристик у необхідній зоні виявлення за рахунок використання множини чутливих решіткових датчиків, які паралельно приєднують до двох світловодів, рис. 3.

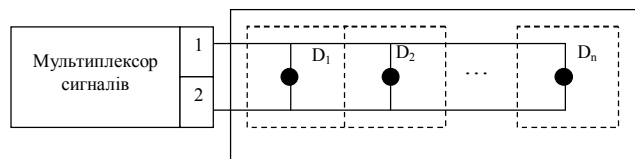


Рис. 3. Моніторинг РО при двоволоконному мультиплексуванні дискретних датчиків з площинною зоною виявлення

В останній час набули широкого розвитку квазірозподілені датчики, які вбудовані безпосередньо в світловод, наприклад, датчики на основі берегівських дифракційних решіток, рис. 4 [10, 11].



Рис. 4. Моніторинг РО дво- і більше волоконному мультиплексуванні квазірозподілених дискретних датчиків з квазілінійною зоною виявлення: 1 – зона виявлення одного ЧЕ; 2 – зона виявлення; 3 – світловоди

Проте, вартість такого типу світловоду досить велика, але він є перспективним, зважаючи на тенденцію зменшення вартості волоконно-оптичних приладів. Крім цього, даний тип вбудованих датчиків має найбільшу чутливість з розподілених ЧЕ.

Як перспективний тип моніторингу з квазілінійною зоною виявлення, слід також вважати і із застосуванням розподілених датчиків, що представляють звичайний світловод, а корисний сигнал виділяється на основі імпульсно-часової рефлектометрії і, зокрема, фазочутливої її різновидності, рис. 5 [12, 13].

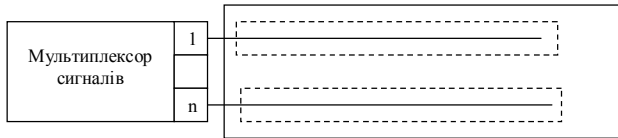


Рис. 5. Моніторинг РО при двоволоконному мультиплексуванні розподілених дискретних датчиків з квазілінійною зоною виявлення

Подано загальні вимоги до структури ВОЗО: протяжність флангу охорони не менше 10 км; інваріантність ЧЕ до типу місцевості; забезпечення функцій моніторингу як виявлення, виявлення місцеположення РО (дальності до РО і напрямку руху «від нас» або «до нас»); застосування квазірозподілених (вбудованих) або розподілених датчиків у вигляді світловоду; застосування ЧЕ у вигляді петлі (кільця); забезпечення функціонування при пошкодженні світловоду.

ВОЗО має бути з розподіленим ЧЕ з мінімальною шириною на основі світловодів як датчиків. Світловод як датчик використовується із застосуванням брегівських дифракційних решіток, інтерферометрів Маха-Цендера або Фабрі-Перо, двомодового інтерферометра, фазочутливого рефлектометра. Вони чутливі, проте, механічні коливання ґрунту від людини в змозі реєструватися лише при безпосередньому

впливі об'єкта на світловод. Це вимагає розробки додаткових методів підвищення завадостійкості.

Перспективним типом моніторингу РО є такий, при якому застосовується двоволоконне мультиплексування розподіленого датчика з квазілінійною зоною виявлення у вигляді петлі. Квазілінійний тип системи може складатися зі світловоду, який прокладається у вигляді петлі паралельно у ґрунті. Обробка інформації повинна здійснюватися на основі фазочутливої імпульсно-часової рефлектометрії. При вигині світловода виникає інтерференція імпульсів релєєвського розсіяння від різних ділянок місця впливу на волокно об'єктом. Рефлектометр визначає дальність до місця впливу з точністю до 5 м. Сигнал на виході рефлектометра змінюється при виникненні фазової модуляції. Для того, щоб оцінити залежність між зміною сигналу і місцем модуляції, використовують вираз контрасту інтерференційної картини  $V$  [10]:

$$V = \sqrt{1 - \left( \frac{ct - 2z_0}{\Delta z} \right)^2},$$

де  $t$  – час розповсюдження світлової хвилі;  $c$  – швидкість розповсюдження світлової хвилі;  $z_0$  – координата точки впливу на світловод;  $\Delta z$  – роздільна здатність рефлектометра.

Перспективну структуру моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні України ВОЗО подано на рис. 6.

Виявлення здійснюється на основі волоконно-оптичної рефлектометрії. Через 1-2 с ПП переміститься з точки А в Б і наступить на друге плече петлі світловода. В результаті є можливість прогнозувати напрям його руху, рис. 6.

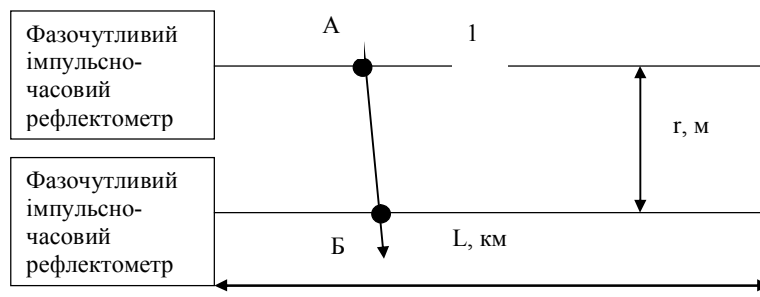


Рис. 6. Структура моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні України ВОЗО: 1 – розподілений ЧЕ, світловод

### Висновки й перспективи подальших досліджень

У ході формалізації процесу моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні України волоконно-оптичними засобами охорони розроблено класифікацію структур ВОЗО та встановлено, що доцільним є моніторинг РО при одноволоконному мультиплексуванні розподілених датчи-

ків з кільцевою зоною виявлення. Також в роботі визначено загальні вимоги до ВОЗО сухопутного кордону.

Для реалізації такої структури необхідно визначитись з функціональною структурою ВОЗО підвищеної завадостійкості та живучості, а також розробити методику підвищення завадостійкості процесу моніторингу, що є перспективою подальших досліджень.

## Список літератури

1. Бутусов М.М. Волоконная оптика и приборостроение // М.М. Бутусов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы: Сб. ст. / Под ред. С.А. Дмитриева, И.И. Слепова. – М.: Спектр, 2000. – 276 с.
3. Удда Э. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / Под ред. Э. Удда / Перевод с англ. И. Ю. Шкадиной. – М.: Техносфера, 2008. – 518 с.
4. Алексеев А.Э. Волоконная интерферометрия рассеянного излучения и ее применение для регистрации акустических воздействий: дис. ... к-та физ.-мат. наук: 01.04.03 / Алексеев Алексей Эдуардович. – Москва, 2014. – 282 с.
5. Лисий М.І. Формалізація синтезу структури підсистеми виявлення волоконно-оптичного типу / М.І. Лисий // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 3. – С. 110-113.
6. Куликов А.В. Волоконные акустооптические антенны и их применение / А.В. Куликов. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 42 с.
7. Дышлюк А.В. Принципы создания оптоэлектронных информационно-измерительных систем мониторинга безопасности эксплуатации техногенных объектов: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.11.16 / Дышлюк Антон Владимирович. – Владивосток, 2006. – 174 с.
8. Патент UA 64924, МПК G08B 13/186. Спосіб побудови структури волоконно-оптичного засобу охорони об'єктів / Лисий М.І.; власник Нац. акад. Держ. прикордон. служби України. – № и 200311203; заявл. 10.10.03; опубл. 15.03.2004.
9. Патент. UA 77449, МПК G08B 13/18, G001V 1/28. Спосіб реєстрації сейсмічного сигналу волоконно-

оптичним датчиком / Лисий М.І., Шинкарук О.М.; власник Нац. акад. Держ. прикордон. служби України. – № 20040503300; заявл. 05.05.2004; опубл. 15.12.2006.

10. Одноволоконные распределенные волоконно-оптические датчики физических величин и полей / А.М. Мамедов, В.Т. Потапов, Т.В. Потапов, Е.К. Смуреєв // Фотон-Экспрес / под ред. А. Г. Свинцова. – М.: Экон Информ, 2005. – № 6. – С. 141-151.

11. Патент 2377497 Российская Федерация МПК G01B11/16 Устройство для измерения деформаций на основе квазираспределенных волоконно-оптических датчиков на брэгговских решетках / Барышников Н.В., Тихомиров С.В., Митюрєв А.К., Карасик В.Е., Пнев А.Б., Лазарев В.А.; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений" (ФГУП "ВНИИО-ФИ"); заявл. 15.07.2008; опубл. 21.12.2009.

12. Охрана периметра объектов большой протяженности RaySense [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.klaster-plus.ua/novosti-i-sobytiya/ohrana-perimetra-obektov-bolshoy-protyazhennosti-raysense/>. – Назва з екрана.

13. Когерентный фазочувствительный рефлектометр с амплитудно-фазовой модуляцией зондирующих импульсов / А.Э. Алексеев, В.С. Вдовенко, Б.Г. Гориков, В.Т. Потапов, Д.Е. Симикин // Письма в ЖТФ. – 2015. – Т. 41, вып. 2. – С. 41-49.

Надійшла до редколегії 25.10.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА СУХОПУТНОЙ ГРАНИЦЕ УКРАИНЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ОХРАНЫ

Ю.А. Бабий

*Аннотация:* Автоматическое обнаружение движущегося объекта на участках сухопутной границы протяженностью более 15 км на фланг охраны, инвариантность к рельефу и типа местности, необслуживаемость линейной части технических средств охраны границы, полная маскированность чувствительного элемента, всем этим требованиям на современном этапе развития технических средств охраны границы соответствуют только волоконно-оптические средства охраны. Чувствительным элементом линейной части средства в основном являются распределенный волоконный световод, что прокладывается в почве. Такие средства нашли довольно широкое применение в охране трубопроводов, в выявлении их повреждений. Волны давления, возникающих от перемещения правонарушителя, в отличие от сейсмических, имеют радиус воздействия на световод до 1 м и довольно слабы, если подвижным объектом является человек. Незначительное влияние правонарушителя на чувствительный элемент - световод обуславливает необходимость повышения помехоустойчивости обнаружения правонарушителя. В данной работе в ходе формализации процесса мониторинга подвижных объектов на сухопутной границе Украины волоконно-оптическими средствами охраны разработана классификация структур волоконно-оптических датчиков.

**Ключевые слова:** движущийся объект; волоконно-оптические средства охраны, технические средства охраны границы.

## FORMALIZATION OF MONITORING OF MOBILE OBJECTS ON LAND BORDERS UKRAINE FIBER OPTIC MEANS OF PROTECTION

Yu.O. Babiy

*Abstract:* Automatically detect moving objects on land border areas stretching over 15 km flank protection, invariance to terrain type and terrain neobsluhovuyemist linear part of means border, the entire maskovanist sensor - all of these requirements at the present stage of technical means of border only the fiber-optic means of protection correspond to it. Sensitive element of the linear product are mostly distributed optic fiber that is laid in the soil. Such tools found quite widely used in the protection of pipelines, in the detection of lesions. Waves pressure arising from the movement of the offender, unlike seismic have influence on the fiber radius up to 1 m and is very weak, if a moving object is a human. Little impact on the offender sensing element - fiber necessitates improve noise immunity identifying the offender. In this paper during the formalization process monitoring moving objects on the land border Ukraine fiber-optical protection classification of structures of fiber-optic sensors.

**Keywords:** moving object; fiber-optical means of protection, technical means of guarding the border.