

Бабій Юлія Олександрівна (канд. техн. наук, доцент кафедри зв'язку, автоматизації та захисту інформації)

Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ ЗАСОБАМИ ОХОРОНИ

Воєнно-політичні події останніх років, відсутність концептуальних поглядів на облаштування сухопутного кордону після набуття незалежності Україною, суттєва різниця у соціально-економічному стані мешканців прикордоння України і суміжних країн стали причиною появи нових загроз національній безпеці держави у прикордонній сфері на сухопутному кордоні, що робить актуальною реалізацію у засобах моніторингу таких характеристик як живучість, завадозахищеність, автоматичність функціонування, чутливість до рухомих об'єктів у різних середовищах.

Потреба у розвитку методів і моделей моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні України технічними засобами охорони становить сутність сьогодення, що потребує подолання виявлених невідповідностей між прогресом розвитку волоконно-оптичних засобів охорони і недостатньою ефективністю моделей виявлення впливу правопорушника на волоконний світловод, шляхом здійснення його рефлектометрії, із забезпеченням підвищеної завадостійкості і живучості засобів. Зазначене потребує розробки методів та моделей в галузі волоконної оптики, як теоретичної основи обґрунтування ефективного моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні з метою, у першу чергу, автоматичного виявлення і розпізнавання правопорушника при врахуванні загроз прикордонній безпеці і є підґрунтям для формулювання наукової проблеми дослідження. В статті здійснюється дослідження діючого методологічного апарату моніторингу рухомих об'єктів на сухопутному кордоні із застосуванням волоконно-оптичних засобів охорони.

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

Вступ

Концепція розвитку сектору безпеки і оборони України [1], вимоги щодо поетапного розвитку прикордонного відомства, які забезпечать адекватний сучасним загрозам національній безпеці держави моніторинг рухомих об'єктів (РО) на сухопутному кордоні (СК) України [1].

Постановка проблеми. Основу засобів охорони становлять волоконно-оптичні датчики (ВОД) з чутливим елементом (ЧЕ), тип якого визначає ефективність застосування засобу в охороні кордону. Тому, з метою аналізу сучасних засобів та визначення перспективних напрямків досліджень у даній галузі, проведемо класифікацію ВОД у такій послідовності:

- за типом чутливого елемента ВОД;
- за видом методу мультиплексування ВОД;
- за принципом дії ВОД.

Дотримання такої послідовності, при аналізі технічних рішень засобів, дозволить на якісному рівні вибрати науково-технічні рішення, які найбільш повно відповідають сучасним вимогам і

визначитись з перспективним напрямком їх розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Надзвичайно стрімкий розвиток волоконно-оптичних засобів охорони (ВОЗО) різних розподілених об'єктів може бути адаптовано для моніторингу СК [1-17]. Проте, проблемність забезпечення достатнього рівня чутливості, завадостійкості й живучості таких засобів потребує досліджень у даній галузі. З 2016 року у Державній прикордонній службі України (ДПСУ) проходить дослідну експлуатацію ВОЗО типу RaySense. Проте, недостатня живучість, що проявляється у непрацездатності при пошкодженні волоконно-оптичного ЧЕ та недостатня завадостійкість при виявленні кроків людини потребує удосконалення цих засобів.

Кількість наукових робіт і технічних розробок у зазначеній галузі неухильно збільшується. Це веде до швидкої зміни поглядів на принципи побудови ВОД, формуванню нових ідеологій побудови структури ВОЗО. Тому, дослідження розвитку ВОЗО є актуальним

завданням. Для вирішення його необхідно систематизувати ВОЗО, що потребує розгляду класифікації таких засобів.

Мета статті та постановка завдання.

Розробка методів та моделей в галузі волоконної оптики, як теоретичної основи обґрунтування ефективного моніторингу РО на СК з метою, у першу чергу, автоматичного виявлення і розпізнавання правопорушника (ПП) при врахуванні загроз прикордонній безпеці і є підґрунтям для формулювання наукової проблеми дослідження статті, тому метою роботи являється дослідження діючого методологічного апарату моніторингу РО на СК із застосуванням ВОЗО.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Автоматичне виявлення РО на ділянках СК протяжністю більше 15 км на фланг охорони, інваріантність до рельєфу і типу місцевості, необслуговуємість лінійної частини ТЗОК, цілковита маскованість ЧЕ – всім цим вимогам на сучасному етапі розвитку ТЗОК відповідають тільки ВОЗО. ЧЕ лінійної частини засобу здебільшого є розподіленим волоконним світловодом, що прокладається у ґрунті. Такі засоби знайшли досить широке застосування в охороні трубопроводів, у виявленні їх пошкоджень. Хвилі тиску, що виникають від переміщення ПП, на відміну від сейсмічних, мають радіус впливу на світловод до 1 м і є досить слабкими якщо РО є людина. Незначний вплив ПП на ЧЕ-світловод обумовлює необхідність підвищення завадостійкості виявлення ПП. На основі аналізу сучасних розробок ВОЗО охорони, поданих у [18; 19], доповнимо класифікацію ЧЕ ВОД [20], табл. 1, які можуть застосовуватися у засобах охорони, табл. 1 [20; 21].

Таблиця 1

Класифікація чутливого елемента ВОД

За розподіленістю ЧЕ	За місцем встановлення ЧЕ	За кількістю оптичних волокон	За типом модової структури оптичного волокна	За типом проходження оптичного сигналу через ЧЕ
розподілений (стандартний оптичний кабель); квазірозподілений: із сукупністю дискретних датчиків, із сукупністю сформованих датчиків	у ґрунті; у воді; на об'єкті (огорожі)	одноволоконний; багатоволоконний	багатомодовий; одномодовий	відбивний; прохідний; кільцевий

Квазірозподілений тип ЧЕ передбачає використання оптичного кабелю і масиву дискретних датчиків або спеціального кабелю із записаними бреггівськими дифракційними решітками вздовж кабелю, що приводить до нерівномірності розподілу чутливості засобу вздовж ділянки охорони і збільшує вартість засобу. Тому, доцільним слід вважати засіб з розподіленим ЧЕ. Загалом чутливість оптичного кабелю, як ЧЕ, досить низька, що потребує кріплення його на огорожі з метою забезпечення інтенсивного впливу ПП на ЧЕ. Проте, для реалізації маскованості засобу, слід віддавати перевагу ЧЕ, який розміщується у ґрунті, воді. В основному вартість протяжних ВОЗО визначається вартістю оптичного кабелю, тому одноволоконний і багатомодовий тип ЧЕ є пріоритетним.

Розглядаючи засіб з позиції живучості, доцільним типом є датчик, ЧЕ у якому реєструє відбитий сигнал. При пошкодженні такого ЧЕ засіб буде працездатним, але протяжність прикриття ділянки зменшиться. Проходження сигналу через ЧЕ визначається методом мультиплексування оптичних сигналів. Тому, сучасні дослідження в галузі створення розподілених ВОЗО направлені на вирішення проблеми мультиплексування сигналів від об'єднаних у масив датчиків [23].

Основні типи методів мультиплексування сигналів, що використовуються у ВОЗО подано на рис. 1.



Рис. 1. Методи мультиплексування сигналів ВОЗО

Використання методів волоконної оптики, пов'язаних з вимірюванням часу є перспективним, оскільки дозволяє ефективно узгоджувати роботу датчиків з цифровими засобами обробки, а також знижує експлуатаційні вимоги до ВОД, що зменшує вартість засобів охорони. Із розглянутих методів, рис. 1, метод часового розподілу сигналів використовується для квазірозподіленого ЧЕ [23], а тому слід розглядати метод імпульсно-часової рефлектометрії як перспективний метод об'єднання сигналів від масиву датчиків. Визначення доцільності застосування НТР датчиків у структурі ВОЗО потребує порівняння принципу дії різних типів датчиків, які використовуються або можуть використовуватися

у таких засобах. Принцип дії ВОД визначається параметром оптичної хвилі, який він модулює, утворюючи інформаційний сигнал.

Поділяються ВОД на [23]: амплітудні, частотні, фазові, поляризаційні. Проте, необхідність у перегляді ідеології принципів формування інформаційних сигналів у ВОД, що визначено у [12] дозволяє доповнити дану класифікацію часовим типом датчиків, для яких вимірювальним параметром є інтервал часу між імпульсами. Класифікацію датчиків за принципом дії подано у табл. 2.

Для визначення перспективного напрямку дослідження принципу дії ВОД слід зазначити, що здійснена модуляція оптичного сигналу всіма типами датчиків повинна бути адекватним чином перетворена в модуляцію інтенсивності, яку тільки і спроможні виділити фотоприймачі [12; 23]. Саме цим пояснюється наявність додаткових схем обробки інформації у датчиках: опорні плечі волоконного світловоду в фазових датчиках; фільтри у частотних датчиках; поляризатори у відповідних датчиках.

Таблиця 2

Класифікація ВОД за принципом дії

Параметр, який модулює ВОД	Фізичне явище або процес, що забезпечує модуляцію
Амплітуда (інтенсивність) світлової хвилі	реллеєвське розсіяння
Фаза світлової хвилі (інтерферометричні датчики)	– міжмодова інтерференція в одножильному волокні (поява спекл – структури); – багатопроменева інтерференція від жил оптичного волокна; – інтерференція реллеєвського розсіяння
Частота світлової хвилі	відбиття сигналу від бреггівських дифракційних решіток
Час розповсюдження сигналу	– процес впливу на решіткові датчики; – магніострикція

Перспективними є часові датчики, що не потребують додаткових схем обробки та забезпечують підрахунок інтервалу часу між імпульсами. Проте, такі датчики з розподіленим ЧЕ на сьогодні не розроблено. Тому, широко застосовуються інтерферометричні датчики, що пояснюється їх найбільшою чутливістю.

У табл. 3 приведені характеристики лише тих засобів, у яких оптичне волокно використовується як ЧЕ [24].

Порівнюючи наведені характеристики з типами ЧЕ, поданих у табл. 3, відзначимо, що пріоритетний тип ЧЕ найбільш повно реалізовано

у засобі типу «Сокіл» (Росія). Проте, використання багатомодового оптичного волокна, яке дещо дешевше ніж одномодове, принципово не доцільно через те, що не забезпечує визначення координати впливу на розподілений ЧЕ датчика, принцип дії якого базується на модуляції фази світлової хвилі. Фазові датчики на сьогоднішній день мають найбільшу чутливість, для перевищення порогу якої при зовнішньому впливі ЧЕ розміщують на огорожі або із застосуванням гнучкої сітки у ґрунті [24].

Таблиця 3

Характеристики волоконно-оптичних засобів охорони

Характеристики	Волоконно-оптичний засіб охорони: назва (країна виробник)			
	«Сокіл» (Росія)	«Ворон» (Росія)	FOIDS (ECSI International, США)	«RaySense» (Ізраїль)
Тип чутливого елементу	розподілений; одномодовий	квазірозподілений; одномодовий	розподілений одномодовий	розподілений одномодовий
Довжина ЧЕ, км	33	30	60	50
Точність ВМП, м	5	500	100	10
Принцип дії	інтерференція зворотного реллеєвського розсіяння	інтерференція	кільцевий інтерферометр	-
Установка ЧЕ	ґрунт	огорожа (ґрунт)	ґрунт	ґрунт
Основне використання	охорона територій	охорона територій	охорона територій, трубопроводів	охорона територій
Вартість	1,2 млн у.о.	-	-	-

У засобі охорони типу «Сокіл» (Росія) модуляція оптичного сигналу здійснюється за рахунок інтерференції імпульсів зворотного реллеєвського розсіяння, тобто у засобі використовується фазовий тип ВОД.

Порівняння чутливості різних типів датчиків подано у табл. 4 [25]. Згідно даних, табл. 4, фазові датчики на реллеєвському розсіюванні значно поступаються за чутливістю інтерферометру Маха-Цендера, у якого здійснюється інтерференція сигналу, що проходить через декілька оптичних волокон.

Таблиця 4

Характеристика датчиків на основі протяжного ЧЕ

Тип датчика	Чутливість датчика (відносна деформація видовження)	Кількість ділянок, що мультиплексується
Амплітудний, на основі реллеєвського розсіяння	10^{-4}	10000
Із використанням бреггівських решіток	10^{-4}	100
Фазовий, на основі реллеєвського розсіяння (інтерферометричний)	10^{-6}	10000
На основі інтерферометру Маха-Цендера	10^{-12}	1

Згідно даних табл. 4 фазові датчики на реллеєвському розсіюванні значно поступаються за чутливістю інтерферометру Маха-Цендера, у якого здійснюється інтерференція сигналу, що проходить через декілька оптичних волокон. Такий висновок співпадає з даними [23], де зазначається, що багатопроточна інтерференція щонайменше у 1000 разів чутливіша за багатомодову одноволоконну інтерференцію. Але ВОД на основі інтерферометру Маха-Цендера є квазірозподіленими і зазвичай з'єднуються паралельно у структурі ЧЕ, що значно її ускладнює.

Дещо інший підхід щодо забезпечення одночасно високої чутливості та визначення координат впливу на ЧЕ реалізовано у засобі Fols фірми FFT. Два оптичних волокна використовуються для реалізації розподіленого інтерферометру, а третє – для визначення координати впливу методом рефлектометрії [23].

Висновки й перспективи подальших досліджень. Отже, використання ВОД, принцип дії яких ґрунтується на модуляції фази світлової хвилі за рахунок інтерференції реллеєвського розсіяння сигналу, забезпечує достатню чутливість датчиків, а мультиплексування їх методом імпульсно-часової рефлектометрії дозволяє застосувати одноволоконний оптичний кабель в якості ЧЕ ВОЗО, що у сукупності вирішує невідповідність між необхідністю одержання достатньої чутливості і точності роботи засобу та зменшення його вартості.

За своїми характеристиками та потенційними

можливостями розвитку методу функціонування, російський засіб «Сокіл» – засіб віброакустичного моніторингу протяжного об'єкту, фірми «Петролайт» – є найбільш перспективним.

Подальшим дослідженням у вибраній галузі є проведення оцінки ефективності методів моніторингу рухомих об'єктів волоконно-оптичними засобами охорони.

Література

- Трембовецький О. Г. Моніторинг державного кордону на ділянці відділу прикордонної служби: навчальний посібник / О. Г. Трембовецький, О. Б. Фаріон, А. М. Білорус. – Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького, 2015. – 216 с.
- Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 року «Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України»: Указ Президента України 14 березня 2016 року № 92/2016.
- Введенский Б. С. Системы охраны периметров с волоконно-оптическими сенсорами / Введенский Б. С.; под ред. Ю. Н. Щуко. – М. : ОАО «Специальная техника», 2004. – № 4. – С. 33–36.
- Бутусов М. М. Волоконная оптика и приборостроение. – Л. : Машиностроение. 1987. – 328 с.
- Волоконно-оптическая система «Ворон» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.daily.sec.ru>. – Дата звернення: 17.11.2013. Назва з екрана.
- Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы : Сб. статей; под ред. С. А. Дмитриева, И. И. Слепова. – М. : «Connect», 2000. – 276 с.
- 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.
- Волоконно-оптическая система «Сова» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.daily.sec.ru>. – Дата звернення: 17.11.2013. Назва з екрана.
- Демьяненко П. А. Измерительные преобразователи на основе волоконно-оптических датчиков / Демьяненко П. А., Зинковский Ю. Ф., Прокофьев М. И. ; под ред. А. Г. Свинцова. – М. : «Экон Информ», 2005. – №6. – С. 181–187.
- 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.
- Звездинский С. С. Периметровые маскируемые сейсмические средства обнаружения / Звездинский С. С. ; под ред. Ю. Н. Щуко. – М. : ОАО

- «Специальная техника», 2004. – № 3. – С. 26–37.
- 12.** Звездинский С. С. Средства обнаружения и системы охранной сигнализации: учеб. пособ. для студ. высш. учеб. зав. / С. С. Звездинский, В. А. Иванов. – М.: МТУСИ, 2008. – 260 с.
- 13.** Иванченко П. Распределенные волоконно-оптические системы для охраны периметра : перспективные технологии // Алгоритм безопасности / Иванченко П., Красовский В., 2003. – № 4. – С. 48–50. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sec.ru>. – Дата обращения: 09.08.2013. Назва з екрана.
- 14.** Кульчин Ю. Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные сети / Ю. Н. Кульчин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 272 с.
- 15.** Faustini L. Bend Loss in Single-Mode Fibers / Luca Faustini, Giuseppe Martini // Journal of lightwave technology. – Vol. 15. – № 4. – 1997. – P. 571–579.
- 16.** FFT Secure Link. Future Fibre Technologies Pty. LTD. – 2006. – 10 p.
- 17.** Vdovenko V. S. Fiber optic intrusion sensing based on coherent optical time domain reflectometry [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1117/12.753355>. – Дата обращения: 2016-09-29. Назва з екрана.
- 18.** Гармаш В. Б. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении / Гармаш В. Б. и др. // Фотон-Экспрес / под ред. А. Г. Свинцова. – М. : «Экон Информ», 2005. – №6. – С. 128–140.
- 19.** Кауфман М. Практическое руководство по расчетам схем в электронике: справочник в двух томах: Т. 2. / М. Кауфман, А. Сидман. – М. : Энергоатомиздат, 1993. – 288 с.
- 20.** Козирный А. Нарушителя выдаст колебание грунта. Сейсмические средства обнаружения для охраны территорий распределенных объектов / Козирный А., Косарев А., Матвеев В. // БДИ / под ред. Ю. Лариной. – М. : ОАО «Журнал «БДИ»», 2006. – № 4, С. 74–77.
- 21.** Иванов А. Б. Современные технологии OTDR [Электронный ресурс] / А. Б. Иванов, И. В. Соколов. – Режим доступа: <http://www.Syrgus.ru> (дата обращения 19.12.2008). Назва з екрана.
- 22.** Иванов В. Обзор современного состояния магнитометрических обнаружителей несанкционированных вторжений / Иванов В., Бабешко Н., Келпи Е. // БДИ / под ред. Ю. Лариной. – М. : ОАО «Журнал «БДИ»», 2006. – № 5, С. 58–60.
- 23.** Звездинский, С. С. О сигнализационной надежности периметровых средств обнаружения / С. С. Звездинский // БДИ / под ред. Ю. Лариной. – М. : ОАО «Журнал «БДИ»», 2004. – № 2, С. 32–38.
- 24.** Звездинский С. С. Периметровые маскируемые магнитометрические средства обнаружения / Звездинский С. С., Ларин А. И.; под ред. Ю. Н. Щуко. – М. : ОАО «Специальная техника», 2001. – № 4. – С. 8–14.
- 25.** Крюков И. Н. Математико-картографическая модель территориально-распределенных радиотехнических систем охраны / Крюков И. Н., Рябец А. Я. // Радиотехника / под ред. Ю. В. Гуляева. – М. : «Радиотехника», 2003. – № 3. – С. 85–88.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ОХРАНЫ

Юлия Александровна Бабий (канд. техн. наук, преподаватель кафедры связи, автоматизации и защиты информации)

Национальная академия Государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого, Хмельницкий, Украина

Военно-политические события последних лет, отсутствие концептуальных взглядов на обустройство сухопутной границы после обретения независимости Украины, существенная разница в социально-экономическом состоянии жителей приграничья Украины и сопредельных стран стали причиной появления новых угроз национальной безопасности государства в пограничной сфере на сухопутной границе, что делает актуальной реализацию в средствах мониторинга таких характеристик как живучесть, завадозащищенность, автоматичность функционирования, чувствительность к движущимся объектам в различных сэр овицах.

Потребность в развитии методов и моделей мониторинга подвижных объектов на сухопутной границе Украины техническими средствами охраны составляет сущность настоящего, требует преодоления выявленных несоответствий между прогрессом развития волоконно-оптических средств охраны и недостаточной эффективностью моделей выявления влияния правонарушителя в волоконный световод, путем осуществления его рефлектометрии с обеспечением повышенной помехоустойчивости и живучести средств. Указанное требует разработки методов и моделей в области волоконной оптики, как теоретической основы обоснования эффективного мониторинга подвижных объектов на сухопутной границе с целью, в первую очередь, автоматического обнаружения и распознавания правонарушителя при учете угроз пограничной безопасности и является основой для формулирования научной проблемы исследования. В статье осуществляется исследование действующего

методологического аппарата мониторинга подвижных объектов на сухопутной границе с применением волоконно-оптических средств охраны.

Ключевые слова: движущийся объект; технические средства охраны; волоконно-оптические средства охраны; чувствительный элемент.

RESEARCH OF METHODS OF MONITORING A MOBILE OBJECTS BY FIBER-OPTICAL MEANS OF PROTECTION

Juliya A. Babiy (Candidate of Technical Sciences, Professor of a Department)

The National Academy of State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine

The military-political events of recent years, the lack of conceptual views on land border arrangement after Ukraine's independence, the significant difference in the socioeconomic status of residents of the border area of Ukraine and adjacent countries has caused the emergence of new threats to the national security of the state in the border area at the land border, which makes it relevant realization in the means of monitoring of such characteristics as survivability, noise immunity, automatic functioning, sensitivity to moving objects in various grades environment.

The need for the development of methods and models of monitoring of moving objects on the land border of Ukraine by technical means of protection is the essence of the present, which needs to overcome the revealed discrepancies between the progress of the development of fiber-optic means of protection and the lack of efficiency of models of detecting the influence of the offender on the fiber optic fiber, through its reflectometry, with the provision of increased noise immunity and vitality. The above requires the development of methods and models in the field of fiber optics as the theoretical basis for the justification of effective monitoring of moving objects on the land border, in the first place, the automatic detection and recognition of the offender, taking into account the threats to the border security, and is the basis for formulating the scientific research problem.

The article deals with the study of the existing methodological apparatus for monitoring moving objects on the land border with the use of fiber-optic means of protection. The essential issue is to ensure the persistence of fiber-optic means of protection and continuity of monitoring. Determination of the location of fiber damage at the present stage of the development of fiber-optic reflection is carried out with sufficient accuracy - less than 1 meter and takes several tens of minutes. However, only damaged cables may be removed from the area and only qualified personnel can weld their wires, which may take up to several days.

Ensure the operation of fiber optic devices with a damaged sensitive element is possible by combining two linear distributed sensitive elements, the transformation of the quasilinear portion of the optical fiber protective device into a quasi-linear with a ring-sensitive element.

Consequently, the distribution of the topology of elements of fiber-optic means of protection requires attention to the impedance and survivability of the system, ensuring detection and determination of the direction of movement of moving objects, which is projected to be solved on the basis of fiber-optic reflection methods and requires, first of all, formalization of the monitoring process of mobile objects by optical-optical means of protection.

Keywords: moving object; technical means of protection; fiber-optic means of protection; sensitive element.

References

1 Trembovetskyi, O. H. (2015), Monitorynh derzhavnoho kordonu na diliansi viddilu prykordonnoi sluzhby: navchalnyi posibnyk [*Monitoring of the state border at the section of the Border Guard Service*], Khmelnytskyi, 216p. **2. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 4 bereznia 2016 roku «Pro Kontseptsiiu rozvytku sektoru bezpeky i oborony Ukrainy»:** Ukaz Prezydenta Ukrainy 14 bereznia 2016 roku № 92/2016. **3. Vvedenskiy B. S. (2004),** Sistemy ohranyi perimetrov s volokonno-opticheskimi sensorami [*Systems of protection of perimeters with fiber-optic sensors*], Moscow, 33–36pp. **4. Butusov, M. M. (1987),** Volokonnaya optika i priborostroenie [*Fiber optics and instrumentation*], Lviv, 328p. **5. Volokonno-opticheskaia systema «Voron»** [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.daily.sec.ru>. – Data zvernennia: 17.11.2013. Nazva z ekrana. **6. Dmitriev, A. V. (2000),** Volokonno-opticheskaya tekhnika: istoriya, dostizheniya, perspektivy [*Fiber-optic technology: history, achievements, prospects*], Moscow, 276p. **7. E. Udda (2008),** Volokonno-opticheskie datchiki. Vvodnyi kurs dlya inzhenerov i nauchnykh

rabotnikov [*Fiber optic sensors. Introductory course for engineers and researchers*], Moscow, 518p. **8. Volokonno-opticheskaia systema «Sova»** [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.daily.sec.ru>. – Data zvernennia: 17.11.2013. Nazva z ekrana. **9. Demyanenko, P. A. (2005),** Izmeritelnye preobrazovateli na osnove volokonno-opticheskikh datchikov [*Measuring transducers based on fiber-optic sensors*], Moscow, 181–187pp. **10. Dyishlyuk, A. V. (2016),** Printsipyi sozdaniya optoelektronnykh informatsionno-izmeritelnykh sistem monitoringa bezopasnosti ekspluatatsii tehnogennykh ob'ektov [*Principles of creation of optoelectronic information-measuring systems for monitoring the safety of the exploitation of man-made objects*]: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk: 05.11.16, Vladivostok, 174p. **11. Zvezhinskiy, S. S. (2004),** Perimetrovyie maskiruemye seysmicheskie sredstva obnaruzheniya [*Perimeter masked seismic detection devices*], Moscow, 26–37pp. **12. Zvezhinskiy, S. S. (2008),** Sredstva obnaruzheniya i sistemy ohrannoy signalizatsii [*Detection and security alarm systems*], Moscow, 518p. 260p. **13. Ivanchenko, P. (2003),** Raspredeleennyie volokonno-opticheskie sistemy dlya ohranyi perimetra :

- perspektivnyie tehnologii [*Distributed fiber-optic systems for the protection of the perimeter: promising technologies*], Moscow, 48-50pp. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.ses.ru>. – Data zvernennya: 09.08.2013. **14. Kulchin, Yu. N. (2001)**, Raspredeleennyie volokonno-opticheskie izmeritelnyie seti [*Distributed Fiber Optic Measurement Networks*], Moscow, 272p. **15. Faustini L.** Bend Loss in Single-Mode Fibers / Luca Faustini, Giuseppe Martini // *Journal of lightwave technology*. – Vol. 15. – №. 4. – 1997. – P. 571–579. **16. FFT Secure Link.** Future Fibre Technologies Pty. LTD. – 2006. – 10 p. **16. FFT Secure Link.** Future Fibre Technologies Pty. LTD. – 2006. – 10 p. **17. Vdovenko V. S.** Fiber optic intrusion sensing based on coherent optical time domain reflectometry [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://dx.doi.org/10.1117/12.753355>. – Data zvernennya: 2016-09-29. **18. Garmash, V. B. (2005)**, Vozmozhnosti, zadachi i perspektivy volokonno-opticheskikh izmeritelnyih sistem v sovremenom priborostroenii [*Opportunities, tasks and prospects of fiber-optic measuring systems in modern instrument making*], Moscow, 128-140. **19. Kaufman, M. (1993)**, Prakticheskoe rukovodstvo po raschetam shem v elektronike: spravochnik v dvuh tomah [*Distributed Fiber Optic Measurement Networks*], Moscow, 288p. **20. Kozirnyiy, A. (2006)**, Narushitelya vyidast kolebanie grunta. Seismicheskie sredstva obnaruzheniya dlya ohranyi territoriy raspredeleennyih ob'ektov [*The violator will give ground oscillations. Seismic detection devices to protect the territories of distributed objects*], Moscow, 74-77pp. **21. Ivanov A. B.** Sovremennyye tehnologii OTDR [Elektronniy resurs] / A. B. Ivanov, I. V. Sokolov. – Rezhim dostupu: <http://www.Syrus.ru>. – Data zvernennya: 19.12.2008. Nazva z ekrana. **22. Ivanov, V. B. (2006)**, Obzor sovremennogo sostoyaniya magnetometricheskikh obnaruzhiteley nesanktsionirovannyih vtorzheniy [*An overview of the current state of magnetometric detectors of unauthorized intrusions*], Moscow, 58-60pp. **23. Zvezhinskiy, S. S. (2004)**, O signalizatsionnoy nadezhnosti perimetrovyyih sredstv obnaruzheniya [*About signaling reliability of perimetric detection devices*], Moscow, 32-38pp. **24. Zvezhinskiy, S. S. (2001)**, Perimetrovyye maskiruemyie magnetometricheskie sredstva obnaruzheniya [*Perimeter masked magnetometric detection devices*], Moscow, 8-14pp. **25. Kryukov, I. N. (2003)**, Matematiko-kartograficheskaya model territorialno-raspredeleennyih radiotekhnicheskikh sistem ohranyi [*About signaling reliability of perimetric detection devices*], Moscow, 85-88pp.