

УДК 355.457

Ю. О. БАБІЙ¹

УДОСКОНАЛЕННЯ КРИТЕРІЇВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВПЛИВУ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ НА ВОЛОКОННИЙ СВІТЛОВИД

*Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького,
29000, вул. Шевченка, 46, Хмельницький, Україна,
Тел.: +380979345345, E-mail: julscorpio@gmail.com*

Анотація. В даній роботі удосконалено критерії ідентифікації впливу рухомого об'єкту на волоконний світловод, новизною яких є врахування застосування рефлектометрії оптичного сигналу з метою ідентифікації утворення макро вигину волоконного світловоду під впливом ваги правопорушника.

Ключові слова: волоконно-оптичні засоби охорони, рухомий об'єкт, світловод, макро вигин, рефлектометрія, коефіцієнт ослаблення, оптичний сигнал.

Аннотация. В данной работе усовершенствованы критерии идентификации влияния движущегося объекта на волоконный световод, новизной которых является учет применения рефлектометрии оптического сигнала с целью идентификации образования макроизгиба волоконного световода под воздействием веса правонарушителя.

Ключевые слова: волоконно-оптические средства охраны, движущийся объект, световод, макроизгиб, рефлектометрия, коэффициент ослабления, оптический сигнал.

Abstract. In this paper the criteria for identifying the effect of a moving object on a fiber optical fiber have been improved, the novelty of which is the consideration of the use of the reflectometry of the optical signal in order to identify the formation of the macro-bend of the fiber optical fiber under the influence of the offender's weight.

Keywords: fiber-optical means of protection, moving object, fiber optic, macro control, reflectometry, attenuation coefficient, optical signal.

ВСТУП

Автоматичне виявлення рухомих об'єктів (РО) на ділянках сухопутного кордону протяжністю більше 15 км на фланг охорони, інваріантність до рельєфу і типу місцевості, необслуговуємість лінійної частини технічних засобів охорони кордону (ТЗОК), цілковита маскованість чутливого елемента – всім цим вимогам на сучасному етапі розвитку ТЗОК відповідають тільки волоконно-оптичні засоби охорони (ВОЗО). Хвилі тиску, що виникають від переміщення правопорушника (ПП), на відміну від сейсмічних, мають радіус впливу на світловод, який виконує роль чутливого елемента (ЧЕ) ВОЗО, до 1 м і є досить слабкими якщо РО є людина. Незначний вплив ПП на світловод обумовлює необхідність підвищення завадостійкості виявлення ПП. Характерною ознакою впливу ваги об'єкта-ПП на ЧЕ є утворення вигинів світловода. Єдиним методом реєстрації вигинів, що забезпечує працездатність підсистеми при пошкодженні ЧЕ, є метод рефлектометрії оптичного сигналу (ОС), який базується на аналізі зворотного розсіяння ОС внаслідок приросту його затухання при вигині світловода [1].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою дослідження даного методу розробити критерії ідентифікації впливу рухомого об'єкту (РО) на волоконно-оптичні засоби охорони, зокрема на волоконний світловод.

¹ © Ю. О. БАБІЙ, 2017

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі [2] запропоновано використовувати рефлектометрію волоконного світловода для визначення ваги РО. Залежність ваги РО впливу на світловод від коефіцієнта ослаблення ОС макровигином визначається за формулою [2]:

$$F_{R/i} = \frac{k_F \sqrt{\alpha_{R/\lambda}} \exp(q_2 \alpha_{R/\lambda})}{q_1}, \quad (1)$$

де $F_{R/i}$ – еквівалентна вага об'єкта впливу на світловод; $\alpha_{R/\lambda}$ – коефіцієнт ослаблення оптичного сигналу макровигином; R – радіус макровигину світловода; q_1, q_2 – коефіцієнти, які визначаються характеристиками світловода; k_F – коефіцієнт механічного перетворення зусилля.

Формула є математичною моделлю впливу РО на світловод, який виконує роль розподіленого лінійного ЧЕ. Для підвищення завадостійкості доцільно здійснювати зондування на декількох довжинах хвиль. При зміні довжини хвилі ОС і фіксованих інших параметрах приріст коефіцієнта ослаблення сигналу на макровигині буде різним, що покладемо в основу розробки критеріїв ідентифікації впливу РО на волоконний світловод. Зі збільшенням ваги РО зменшується радіус вигину світловода, що приводить до збільшення коефіцієнта ослаблення, а отже, збільшуються втрати потужності на вигині, які реєструються приймачем ОС. Фіксованому значенню еквівалентної ваги об'єкта (радіусу макровигину) відповідають два різних значення коефіцієнта, причому на більшій довжині хвилі ОС значення коефіцієнта буде більшим. З наближенням до критичного значення радіусу макровигину, максимізуються значення коефіцієнта ослаблення ОС.

Якщо двом різним значенням коефіцієнта ослаблення ОС для двох довжин хвиль не відповідає одне значення еквівалентної ваги згідно з (1), тоді розсіяння сигналу здійснюється не макровигином, а отже, причиною прийнятого сигналу не є вплив РО на світловод. Зазначене узагальнено в описі критеріїв ідентифікації впливу об'єкта на світловод. У табл. 1 подано ознаки ідентифікації і відповідні їм критерії, а їх опис наведено у табл. 2.

Таблиця 1.

Ознаки ідентифікації впливу РО на волоконний світловод

Ознака ідентифікації	Критерії ідентифікації
Рівень амплітуди сигналу і завади ($i = 1$)	Основний критерій діючого методу рефлектометрії
Рівність амплітуд сигналів на двох довжинах хвиль ($i = 2$)	Критерій ідентифікації макровигину
Величина різниці амплітуд сигналів однієї довжини хвиль для різних моментів часу ($i = 3$)	Критерій ідентифікації впливу РО на світловод
Тривалість сигналу ($i = 4$)	Критерій тривалості впливу РО на світловод
Одночасність виявлення сигналів на різних ділянках або періодичність виявлення сигналу на визначеній ділянці ($i = 5$)	Критерій ідентифікації впливу завад на світловод

Визначення ваги РО, вплив якої на світловод приводить до виникнення макровигину, здійснюється при розрахунку значень коефіцієнтів ослаблення на двох довжинах хвиль ОС згідно з критерієм ідентифікації макровигину, табл. 2.

Об'єктом впливу на світловод є ПП, якщо встановлено за критерієм ідентифікації макровигину, що причиною макровигину на час t_1 є вплив ваги РО FR/t_1 (можливе нульове значення) і на час t_2 є вплив ваги РО FR/t_2 , а їх різниця визначена відповідно до критерію ідентифікації впливу ПП на світловод (2.2), табл. 2.

Значення FR/\max , FR/\min , k_F уточнюються в ході налагодження системи, а управління ними відповідно до обставин забезпечить моніторинг РО ВОЗО за амплітудою та часом надходження сигналу.

Адаптація контролю параметрів за тривалістю процесу вимірювання здійснюється за критерієм тривалості впливу ПП на світловод (2.3), табл. 2. При перетині людиною ділянки із укладеним у ґрунт розподіленим ЧЕ система зареєструє 2...4 сигнали, тривалість впливу людини на ґрунт складає 0,2...1 с

[3]. Тоді для людини – правопорушника межі нормативних значень становитимуть $t_{\max} \approx 0,4$; $t_{\min} \approx 4$ с.

Таблиця 2.

Критерії ідентифікації впливу РО на волоконний світловод

№	Параметри опису	Опис критерію
1	Назва критерію	Критерій ідентифікації макровигину
	Лінгвістичний опис критерію	Прийняті сигнали відповідають макровигину із радіусом R , причиною якого є вплив ваги РО $F_{R/t}$ на момент часу t_1 за умови рівності розрахункових значень ваги РО для оптичних сигналів на двох довжинах хвиль $\lambda_{1,5}$; $\lambda_{1,6}$
	Формула	$F_{R/t_1} = F_{R/t} (\alpha_{R/\lambda_{1,5}}) = F_{R/t} (\alpha_{R/\lambda_{1,6}}) \quad (2.1)$
	Прийняті позначення	F_{R/t_1} – вага РО впливу на світловод для моменту часу t_1 ; $\alpha_{R/\lambda}$ – коефіцієнт ослаблення оптичного сигналу макровигином радіуса R на довжині хвилі λ ; $\lambda_{1,5}$; $\lambda_{1,6}$ – довжина хвилі ОС 1,53 мкм і 1,63 мкм, відповідно
2	Назва критерію	Критерій ідентифікації впливу ПП на світловод
	Лінгвістичний опис критерію	Об'єктом впливу на світловод є ПП за умови, якщо встановлено наявність макровигину для двох моментів часу t_1 , t_2 , у які різниця ваги відповідає нормативному значенню
	Формула	$F_{R/\max} > F_{R/t_2} - F_{R/t_1} > F_{R/\min} \quad (2.2)$
	Прийняті позначення	$F_{R/\max}$, $F_{R/\min}$ – межі зміни нормативного значення еквівалентної ваги ПП для визначеної ділянки світловоду із врахуванням природнокліматичних умов (коефіцієнт k_F)
3	Назва критерію	Критерій тривалості впливу ПП на світловод
	Лінгвістичний опис критерію	Об'єктом впливу на світловод є ПП за умови, якщо тривалість впливу відповідає нормативному значенню
	Формула	$\tau_{\max} > t_2 - t_1 > \tau_{\min} \quad (2.3)$
	Прийняті позначення	τ_{\max} , τ_{\min} – межі зміни нормативного значення тривалості впливу ПП на світловод; t_1 , t_2 – моменти часу проведення вимірювання
4	Назва критерію	Критерій ідентифікації впливу завад на світловод
	Лінгвістичний опис критерію	1) реєстрація макровигинів одночасно на значній протяжності світловода; 2) періодичність реєстрації макровигинів на визначеній ділянці

Управління параметром нормативного значення тривалості впливу ПП на світловод дозволить адаптувати роботу системи відповідно до типу ПП, а сам параметр є класифікаційною ознакою ПП як РО.

Збільшення часу напрацювання на хибну тривогу забезпечується використанням критерію ідентифікації впливу завад на світловод, наприклад, коливання коренів дерев через дію вітру на них, при цьому ознакою порівняння є протяжність і періодичність виникнення макровигинів, табл. 2.

Сутність розроблених критеріїв ідентифікації впливу РО на волоконний світловод полягає в тому, що у світловод одночасно випромінюється два сигнали на двох довжинах хвиль $\lambda_{1,5}$; $\lambda_{1,6}$ і здійснюється рефлектометрія сигналу, рішення щодо впливу ПП на світловод приймається двічі у моменти часу t_1 , t_2 , причому в кожний момент часу розраховують вагу РО впливу, яка повинна бути однаковою для двох сигналів у визначений момент часу на різних довжинах хвиль. Із застосуванням запропонованих критеріїв ідентифікації впливу на світловод здійснюють окремо обробку і порівняння сигналів у два моменти часу, на основі чого приймають рішення про наявність впливу ПП і проводять його класифікацію.

Оцінку ефективності розробленого методичного апарату будемо проводити за показником сигналізаційної надійності. Сигналізаційна надійність виявлення сигналу враховує імовірнісні показники хибної тривоги $P_{\gamma m}$ і пропуску сигналу P_{nc} . Одночасне врахування цих показників для оцінки ефективності засобів виявлення або сукупності ознак ідентифікації сигналу складає окрему проблемну задачу, дослідження якої проведено в роботах [4; 5].

Показником, який дозволяє оцінити значимість окремої ознаки виявлення сигналу і враховує P_{nc} , $P_{\chi m}$ аналогічно до [4; 5], є коефіцієнт:

$$g_i = \lg \frac{1}{P_{nc/i} P_{\chi r/i}}, \quad (2)$$

де g_i – коефіцієнт сигналізаційної надійності виявлення сигналу за i -ю ознакою; $P_{\chi m/i}$ – імовірність хибної тривоги за i -ю ознакою; $P_{nc/i}$ – імовірність пропуску сигналу за i -ю ознакою.

За своєю фізичною сутністю коефіцієнт (2) визначає значимість i -ї ознаки [4]. Відповідно до (2) критерієм надійності виявлення сигналу є вираз:

$$g_i > g_{i\min}, \quad (3)$$

де $g_{i\min}$ – мінімальний рівень сигналізаційної надійності виявлення сигналу.

Перевагою показника (2) є простота, адитивність, відносність, що коректно враховує основні ТТХ системи [4]. Сигналізаційну надійність сукупності M сигналів з урахуванням властивості адитивності показника (2) будемо оцінювати аналогічно до [5] сумою:

$$S_M = \sum_{i=1}^M g_i, \quad (4)$$

де S_M – коефіцієнт сигналізаційної надійності виявлення сигналу за сукупністю M ознак.

Показник (4) дозволяє розрахувати абсолютне значення сигналізаційної надійності. Більш наглядним є відносне значення, яке дається, із врахуванням (2) і (4) формулою:

$$S_H = \left(1 - \frac{g_1}{\sum_{i=1}^M \lg \frac{1}{P_{nc/i} P_{\chi r/i}}} \right) \cdot 100 \% , \quad (5)$$

де S_H – відносний коефіцієнт сигналізаційної надійності виявлення сигналу за сукупністю ознак ідентифікації рухомого об'єкту; M – загальна кількість ознак, за якими оцінюється сигнал, $M \geq 1$; g_1 – коефіцієнт сигналізаційної надійності виявлення сигналу за основною ознакою.

Значення g_i уточнюється в процесі випробувань ВОЗО. Наближено ефективність розглянутого методу оцінимо за умови, що $g_1 = g_2 = \dots = g_i$, тобто, вважатимемо, що ознаки ідентифікації рівнозначні і не корельовані. Тоді, з урахуванням (5) і $M = 5$ відповідно до даних табл. 1, 2, отримаємо підвищення сигналізаційної надійності на 50–80 %, залежно від кількості ознак ідентифікації, що враховуються при прийнятті рішення щодо визначення впливу ПП на світловод.

Аналогічно до процесу оцінки сигналів у радіолокації наявність додаткових ознак ідентифікації сигналу можна трактувати як паралельне виявлення кожного із i -сигналів за відповідною ознакою. Отже, структура алгоритму обробки ОС із врахуванням визначених критеріїв ідентифікації та значимості i -х ознак ідентифікації (2), складатиметься із множини $M - 1$ паралельних каналів-ідентифікаторів сигналів за i -ю ознакою, рис. 1.

Згідно з рис. 1, амплітудний детектор виділяє сигнал з надійністю g_1 , джерелом якого є макро- і мікровигини, перешкоди, що аналогічно до діючого методу рефлектометрії світловоду. Додаткові канали обробки включають ідентифікатори за ознаками $i = \overline{2, 5}$, у яких відповідно до критеріїв табл. 1, 2 здійснюється виявлення сигналу з надійністю g_i , $i = \overline{2, 5}$. На виході ідентифікаторів присутні логічні сигнали $X_i = \{1, 0\}$ наявності корисного оптичного сигналу i -ї ознаки.

Підвищення сигналізаційної надійності здійснюється за рахунок сумування сигналів, отриманих за всіма ознаками відповідно до (5), і порівняння суми з мінімальним рівнем $S_{M\min}$, аналогічно до (3). Якщо рівень $S_M \geq S_{M\min}$, видається сигнал про виявлення об'єкта, тобто наявності впливу ПП на світловод $Y = 1$, в іншому випадку – $Y = 0$, рис. 1.

Розглянута структура алгоритму обробки, рис. 1, може бути доповнена зворотним зв'язком, що робить алгоритм адаптованим до впливу завад. При цьому з логічних сигналів детектора та ідентифікаторів X_i , $i = \overline{1, M}$, рис. 1, формуються логічні комбінації $\{X_1, X_2, \dots, X_M\}$, $j = 2^M - 1$ у блоці логічної обробки. Набір всіх j -комбінацій не завжди оптимальний для забезпечення найвищого рівня сигналізаційної надійності. Тому в блоці логічної обробки можливо логічно „АБО” підсумовувати (виконати диз'юнкцію імплікант) комбінації з j можливих, для яких нормується імовірність пропуску

сигналу і мінімізується імовірність хибної тривоги. Зазначене оптимізує процес обробки сигналів, відповідно до методики [4].

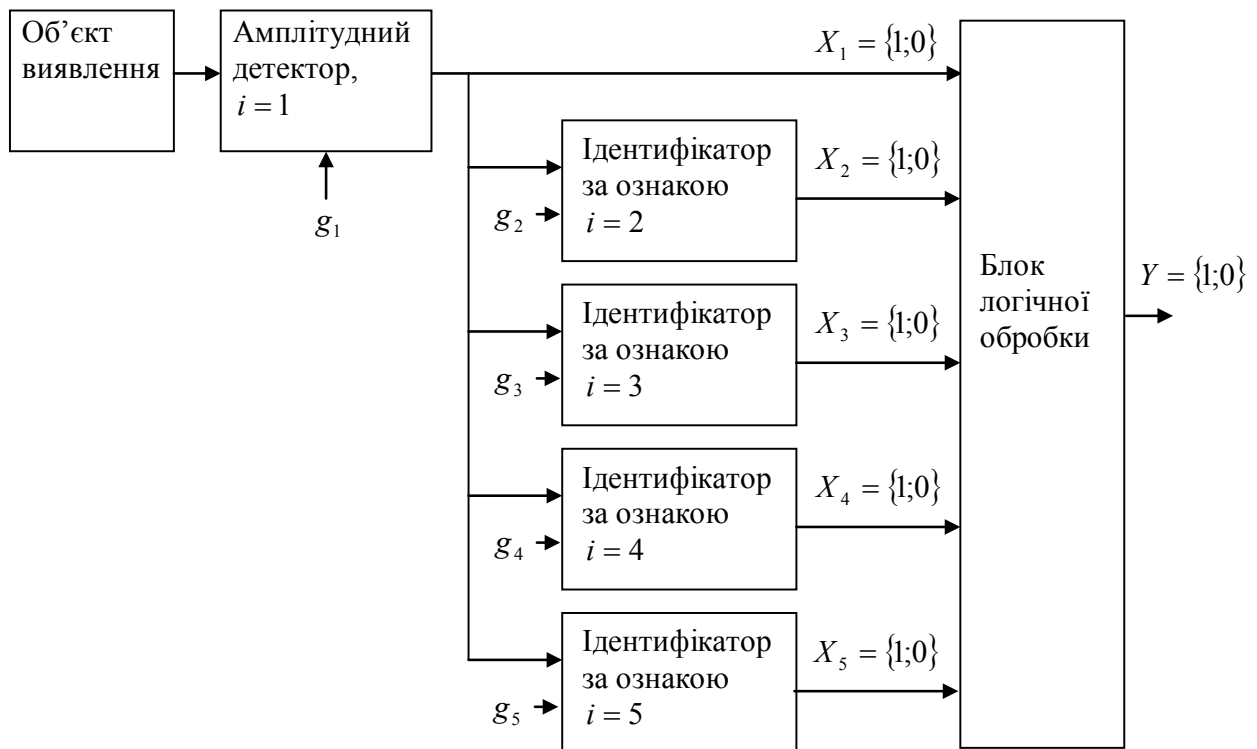


Рис. 1. Структура алгоритму обробки оптичного сигналу

ВИСНОВКИ

В даній роботі удосконалено критерії ідентифікації впливу рухомого об'єкту на волоконний світловод. Новизною критеріїв є врахування застосування одночасної двочастотної рефлектометрії оптичного сигналу з метою ідентифікації утворення макровигину волоконного світловоду під впливом ваги правопорушника. Критерії відрізняються врахуванням змін коефіцієнта ослаблення оптичного сигналу через утворення макровигину світловода, а також врахуванням відповідності від нормативного значення різниці ваги правопорушника для двох моментів часу, відповідності нормативного значення тривалості впливу правопорушника на світловод та розрізненню впливу завод на світловод. Застосування критеріїв дозволило підвищити завадостійкість виявлення правопорушників.

Удосконалено моделі оцінки завадостійкості моніторингу рухомих об'єктів волоконно-оптичними засобами охорони. Новизною моделі є врахування кількості і значимості ознак ідентифікації рухомого об'єкту як правопорушника, а також врахування імовірнісний показника хибної тривоги і пропуску сигналу.

На основі цього отримано збільшення відношення сигналу до шуму у 15 разів, тобто отримано підвищення завадостійкості виявлення на 50–80 % за показником відносного коефіцієнта сигналізаційної надійності, шляхом аналізу оптичного сигналу за розробленими критеріями ідентифікації впливу рухомого об'єкту на світловод.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кульчин, Ю. Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные сети / Ю. Н. Кульчин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 272 с.
2. Боровик О. В. Застосування функції Ламберта для обґрунтування технічного рішення щодо ідентифікації макровигину волоконного світловоду при його двочастотній рефлектометрії / О. В. Боровик // Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2011. – Вип. № 30. – С. 6-13.
3. 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.

4. Бутусов М. М. Волоконная оптика и приборостроение // М. М. Бутусова. – Л.: Машиностроение. – 1987. – 328 с.
5. 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. – № u 200311203; заявл. 10.10.03; опубл. 15.03.2004.

REFERENCES

1. Kulchin, Yu. N. Raspredeleennyie volokonno-opticheskie izmeritelnyie seti / Yu. N. Kulchin. – М.: FIZMATLIT, 2001. – 272 s.
2. Borovyk O. V. Zastosuvannia funktsii Lamberta dlia obgruntuvannia tekhnichnoho rishennia shchodo identyfikatsii makrovihynu volokonnoho svitlovodu pry yoho dvochastotnii reflektometrii / O. V. Borovyk // Zb. nauk. pr. Viisk. in-tu Kyiv. nats. un-tu im. T. Shevchenka. – К.: VIKNU, 2011. – Вур. № 30. – S. 6-13.
3. Zvezhinskiy S. S. Sredstva obnaruzheniya i sistemy ohrannoy signalizatsii: ucheb. posob. dlya stud. vyssh. ucheb. zav. / S. S. Zvezhinskiy, V. A. Ivanov. – М.: MTUSI, 2008. – 260 s.
4. Butusov M. M. Volokonnaya optika i priborostroenie // М. М. Butusova. – Л.: Mashinostroenie. – 1987. – 328 s.
5. Patent UA 64924, МПК G08B 13/186. Sposib pobudovy struktury volokonno-optychnoho zasobu okhorony obiektiv / Lysyi M. I.; vlasnyk Nats. akad. Derzh. prykordon. sluzhby Ukrainy. – № u 200311203; zaiavl. 10.10.03; opubl. 15.03.2004.

Надійшла до редакції 6.09.2017 р.

БАБІЙ ЮЛІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА – к.т.н., доцент кафедри зв'язку, автоматизації та захисту інформації, Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького, м. Хмельницький, Україна.