

МОДЕЛЬ СИНТЕЗУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ЗАСОБУ ОХОРОНИ ПІДВИЩЕНОЇ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТА ЖИВУЧОСТІ

У статті розроблено модель синтезу функціональної структури волоконно-оптичного засобу охорони підвищеної завадостійкості та живучості, яка відрізняється встановленням видів методу зворотного розсіяння оптичного сигналу, здатних забезпечити покращення зазначених характеристик. Це дозволило систематизувати способи мультиплексування сигналів і явища, на основі якого вони формуються, а також елементну базу, що в сукупності покладено в основу розробки ієрархічної моделі.

Ключові слова: рухомий об'єкт, правопорушник, чутливий елемент, моніторинг державного кордону, волоконно-оптичні засоби охорони.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Функціонування волоконно-оптичних засобів охорони (ВОЗО) повинно здійснюватися відповідно до вимог, які висуваються до системи охорони в цілому і до структури ВОЗО зокрема. Повністю таким вимогам відповідає пасивна система ВОЗО з розміщенням чутливого елемента (ЧЕ) в ґрунті. Проте її робота ускладнюється потребою вирішення низки завдань [1], а саме: забезпечення високої завадостійкості виявлення правопорушника (ПП), що досягається за рахунок збільшення часу напрацювання на хибну тривогу; створення надійних умов для працездатності системи при пошкодженні ЧЕ.

Для активних систем контролю перше завдання вирішується за рахунок підвищення енергії впливу на об'єкт локації, що принципово неможливо для пасивних, якими є ВОЗО. Друге завдання для систем, у яких ЧЕ є немаскованим, зокрема, розміщується на опорах, не є актуальним, оскільки пошук та усунення пошкоджень здійснюється оперативно і не має принципових труднощів. З метою створення перспективної структури моніторингу рухомих об'єктів (РО) ВОЗО розглянуті завдання вирішуються за рахунок обґрунтування функціональної структури. При цьому вважаємо, що топологія структури ЧЕ задана. Результатом формалізованого подання структури моніторингу ВОЗО РО є використання двох рознесених на місцевості волоконних світловодів, які виконують функції передачі інформації та розподіленого ЧЕ [2]. Об'єднання кінців світловодів трансформує два лінійні ЧЕ в кільцевий у вигляді петлі. Основою такої структури є одноволоконний одномодовий світловід, який при пошкодженні утворює два розподілені ЧЕ. Завданням створення функціональної структури ВОЗО є обґрунтування вибору методу мультиплексування сигналів розподіленого ЧЕ при його заданій топології із забезпеченням підвищеної завадостійкості та живучості ВОЗО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті аналізу відомих джерел у галузі волоконно-оптичної рефлектометрії [3–7] можна стверджувати, що єдиним методом, який забезпечує функціонування ВОЗО при пошкодженні розподіленого ЧЕ та відповідає достатньому рівню живучості системи, є метод зворотного розсіяння.

Формулювання завдання дослідження. Метою даної статті є розробка моделі синтезу функціональної структури ВОЗО підвищеної завадостійкості та живучості.

Виклад основного матеріалу. На основі результатів аналізу зазначених вище досліджень узагальнено різновиди даного методу (табл. 1).

Таблиця 1

Основні види методу зворотного розсіяння оптичного сигналу

Спосіб мультиплексування	Явище, яке лежить в основі методу	Тип волоконно-оптичного датчика	Тип волоконного світловоду
Імпульсно-часовий	Зміна поляризації випромінювання через наведене двопронезаломлення релєївського розсіяння	Розподілений поляризаційний	Спеціальний двопронезаломлювальний
Амплітудно-частотний	Відбиття інтерференційного сигналу в двопронезаломлювальному світловоді	Розподілений поляризаційний	Спеціальний двопронезаломлювальний
Імпульсно-часовий або спектрометрія	Інтерференція відбитого сигналу від датчиків	Квазірозподілений з інтерферометрами Фабрі – Перо	Спеціальний з вбудованими датчиками Фабрі – Перо
Низькокогерентна оптична рефлектометрія	Зворотне релєївське розсіяння	Розподілений інтерферометр Майкельсона	Спеціальний з вбудованими датчиками у вигляді перетяжки світловоду
Імпульсно-часовий зі спектральними фільтрами або спектрометрія	Зміна положення бреггівського максимуму в спектрі відбитого сигналу	Квазірозподілений з бреггівськими дифракційними решітками	Спеціальний із записаними датчиками на основі бреггівських дифракційних решіток
Імпульсно-часовий	Зворотне релєївське розсіяння від макровигину	Розподілений амплітудний	Стандартний з механічним деформером
Фазочутлива імпульсно-часова рефлектометрія	Інтерференція релєївського розсіяння від макровигину	Розподілений інтерференційний	Стандартний

Результати аналізу даних, наведених у табл. 1, дозволили виділити такі особливості функціонування ВОЗО:

найбільш поширеним методом мультиплексування є імпульсно-часовий, який за суттю є локаційним і забезпечує визначення дальності до місця впливу на світловід за затримкою зондувального сигналу. Фазочутлива імпульсно-часова рефлектометрія, очевидно, є найбільш перспективним способом мультиплексування сигналів, а отже, і перспективним типом ВОЗО [8];

для забезпечення достатньої чутливості до механічного впливу використовують спеціальні світловоди на основі двопронезаломлення [5], що дозволяє синтезувати

розподілений ЧЕ, або вбудовують у світловід чутливі інтерферометричні датчики [6] і датчики на основі бреггівських дифракційних решіток [4, 9];

використання стандартних світловодів як ЧЕ забезпечується при їх взаємодії з механічним деформером [5], який сприяє утворенню макровигинів уздовж світловоду, або ж аналізують інтерференцію відбитих сигналів від ділянки макровигину світловоду [10];

з метою підвищення завадостійкості застосовують двочастотну рефлектометрію;

доцільними слід вважати такі науково-технічні рішення, в основі яких лежить використання стандартного волоконного світловоду, що зумовлено його меншою вартістю, ніж спеціального зразка. Крім цього, у перспективних розробках слід враховувати здатність системи до реінжинірингу, тоді світловід як ЧЕ повинен буде виконувати функцію передачі інформації.

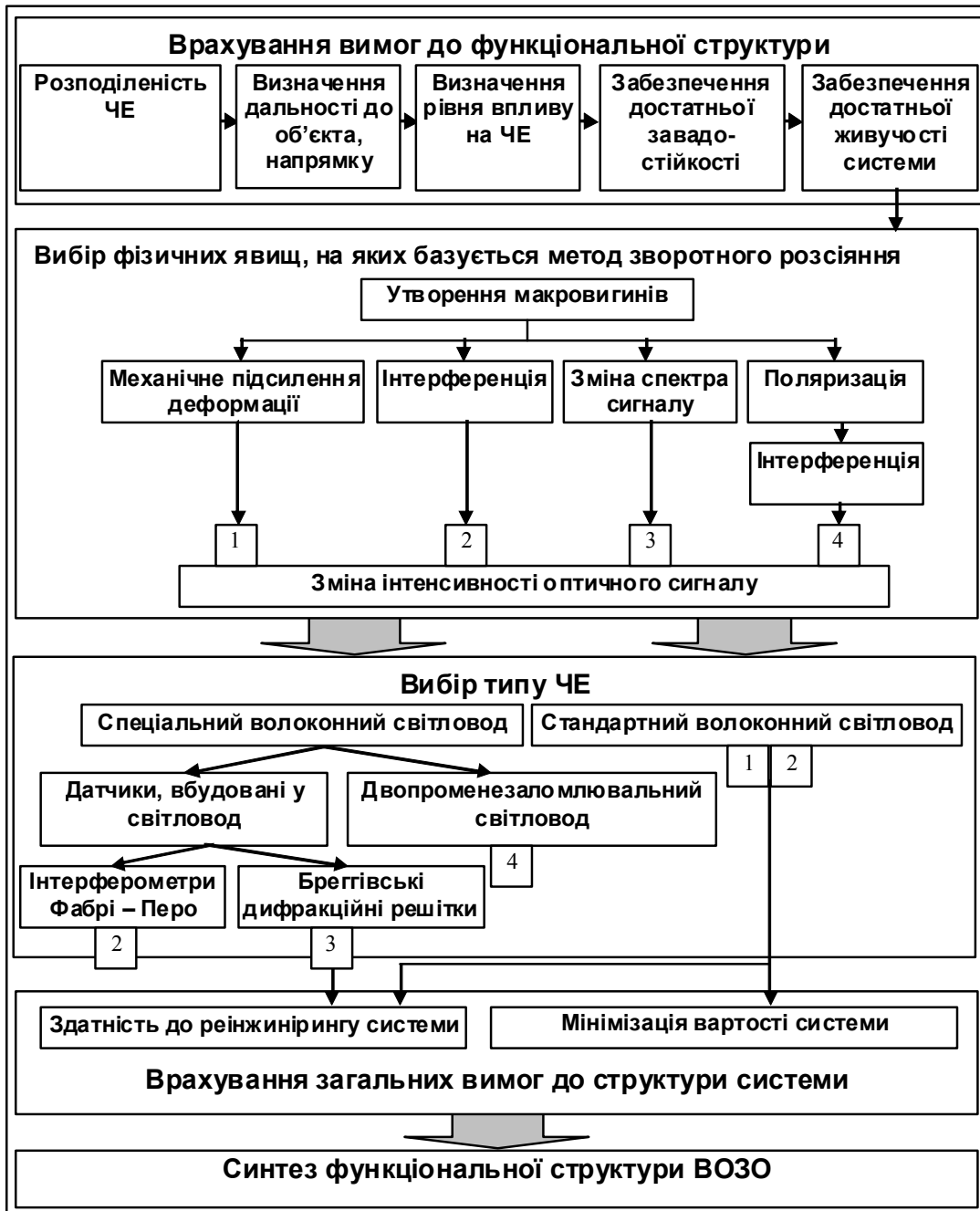


Рис. 1. Модель синтезу функціональної структури ВОЗО підвищеної завадостійкості та живучості

На основі виділених особливостей функціонування ВОЗО розроблено модель синтезу його функціональної структури підвищеної завадостійкості та живучості (деталізацію формалізованої моделі зображено на рис. 1). Її наведено відповідно до методології структурного синтезу розподілених систем [11] як множину завдань розвитку ВОЗО:

$$Task^3 = \{Task_i^3\}, i = \overline{1, 5},$$

де $Task_1^3$ – врахування вимог до функціональної структури ВОЗО;

$Task_2^3$ – вибір фізичних явищ для реалізації методу зворотного розсіяння;

$Task_3^3$ – вибір типу ЧЕ системи контролю;

$Task_4^3$ – врахування загальних вимог до структури ВОЗО;

$Task_5^3$ – побудова функціональної структури ВОЗО квазілінійного типу.

Використання будь-якого із видів методу зворотного розсіяння оптичного сигналу (табл. 1) забезпечить при пошкодженні ЧЕ функціонування лише тієї його частини, яка знаходиться між приймально-передавальною апаратурою і місцем пошкодження (рис. 2). Доцільним рішенням, спрямованим на підвищення живучості ВОЗО, є забезпечення прийомопередачі оптичного сигналу на двох кінцях світловоду, у такому разі слід розглядати двобічний метод зворотного розсіяння, відповідну йому функціональну структуру наведено на рис. 2.

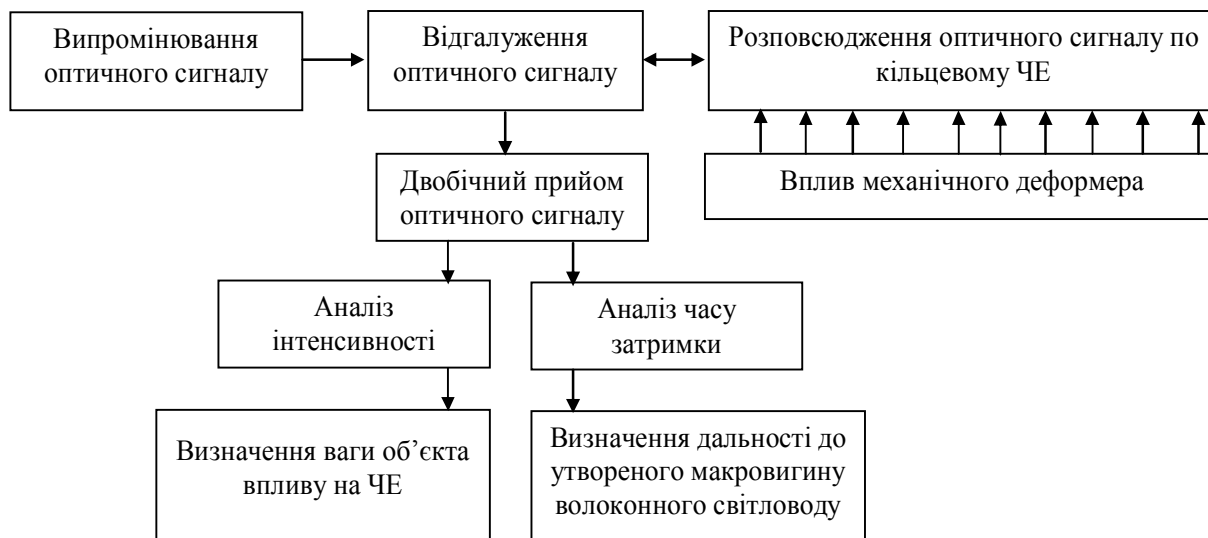


Рис. 2. Функціональна структура квазілінійного ВОЗО з кільцевим ЧЕ

Значна кількість видів методу зворотного розсіяння (табл. 1) вказує на те, що немає універсального способу вирішення завдання щодо надійного виявлення впливу ПП на розподілений датчик. Проте перспективними, відповідно до даних, наведених на рис. 1, слід вважати ті методи зворотного розсіяння, які використовують стандартні світловоди (табл. 1).

Спільним для даних видів методу зворотного розсіяння оптичного сигналу є його імпульсно-часове мультиплексування, можливість багаточастотного зондування світловоду, а також можливість використання механічного деформера для утворення макровигинів, що підвищує рівень відношення сигналу до шуму, а отже, і завадостійкість.

Таким чином, розроблено модель синтезу функціональної структури ВОЗО підвищеної завадостійкості та живучості, що дозволило встановити зв'язки між вимогами, явищами та елементною базою системи.

Досліджено види методу зворотного розсіяння, здатні забезпечити підвищення живучості і завадостійкості системи, що дозволило систематизувати способи мультиплексування сигналів і явища, на основі якого вони формуються, а також елементну базу, що в сукупності покладено в основу розробки ієрархічної моделі.

Із використанням моделі, наведеної на рис. 1, розроблено структуру квазілінійного ВОЗО з кільцевим ЧЕ (рис. 2), у якій використано двобічний метод зворотного розсіяння оптичного сигналу.

Підвищення завадостійкості (сигналізаційної надійності) моніторингу ВОЗО досягається за рахунок двобічного прийому оптичного сигналу релєвського розсіяння від макровигину кільцевого ЧЕ. Підвищення живучості ВОЗО отримуємо завдяки застосуванню кільцевого ЧЕ, оскільки при пошкодженні останній трансформується у два лінійні ЧЕ, що хоча й знижує надійність системи до нормального рівня, проте дозволяє зберегти працездатність ВОЗО в цілому.

Висновки. Розроблено модель синтезу функціональної структури ВОЗО підвищеної завадостійкості та живучості, яка відрізняється встановленням видів методу зворотного розсіяння оптичного сигналу, здатних забезпечити покращення зазначених характеристик. Це дозволило систематизувати способи мультиплексування сигналів і явища, на основі якого вони формуються, а також елементну базу, що в сукупності покладено в основу розробки ієрархічної моделі. Із використанням моделі синтезу функціональної структури ВОЗО підвищеної завадостійкості та живучості розроблено структуру квазілінійного ВОЗО з кільцевим ЧЕ, у якій використано двобічний метод зворотного розсіяння оптичного сигналу. Підвищення завадостійкості (сигналізаційної надійності) моніторингу ВОЗО досягається за рахунок двобічного прийому оптичного сигналу релєвського розсіяння від макровигину кільцевого ЧЕ. Підвищення живучості ВОЗО отримуємо завдяки застосуванню кільцевого ЧЕ, оскільки при пошкодженні останній трансформується в два лінійні ЧЕ, що хоча й знижує надійність системи до нормального рівня, проте дозволяє зберегти працездатність ВОЗО в цілому.

Перспективи подальших розробок. У подальшому розглянемо наукові положення щодо підвищення завадостійкості моніторингу ВОЗО РО та його оцінювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Звезинский С. С. Средства обнаружения и системы охранной сигнализации : учеб. пособ. для студ. высш. учеб. зав. / С. С. Звезинский , В. А. Иванов. – М. : МТУСИ, 2008. – 260 с.
2. Лисий М. І. Формалізація синтезу структури підсистеми виявлення волоконно-оптичного типу / М. І. Лисий // Зб. наук. праць Харківського ун-ту Повітряних Сил. – Х. : ХУПС, 2008. – Вип. 3 (18). – С. 110–113.
3. 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. Дышлюк А. В. Принципы создания оптоэлектронных информационно-измерительных

систем мониторинга безопасности эксплуатации техногенных объектов : дисс. на соиск. науч. степени канд. физ.-мат. наук : спец. 05.11.16 / Антон Владимирович Дышлюк. – Владивосток, 2006. – 174 с.

5. Кульчин Ю. Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные сети / Ю. Н. Кульчин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 272 с.

6. Петров Ю. С. Методы создания измерительных преобразователей для распределенных волоконно-оптических измерительных систем : автореф. дисс. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.11.16. «Информационно-измерительные и управляющие системы» / Ю. С. Петров. – Владивосток, 2006. – 19 с.

7. Vdovenko V. S. Fiber optic intrusion sensing based on coherent optical time domain reflectometry [Electronic resource]. – Mode of access : <http://dx.doi.org/10.1117/12.753355>.

8. Recognition of a Phase-Sensitivity OTDR Sensing System Based on Morphologic Feature Extraction [Electronic resource] / Qian Sun, Hao Feng, Xueying Yan, Zhoumo Zeng. – Mode of access : <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/7/15179>.

9. Варжель С. В. Волоконные брэгговские решетки / С. В. Варжель. – СПб. : Ун-т ИТМО, 2015. – 65 с.

10. Faustini L. Bend Loss in Single-Mode Fibers / Luca Faustini, Giuseppe Martini // Journal of lightwave technology. – 1997. – Vol. 15, №. 4. – P. 571–579.

11. Бескоровайный В. В. Методы анализа и синтеза решений при автоматизированном проектировании структур территориально распределенных объектов : дисс. на соиск. науч. степени д-ра техн. наук : 05.13.12 / Владимир Валентинович Бескоровайный. – Х., 2004. – 354 с.

Подано 11.09.2017

Ю. А. Бабий

МОДЕЛЬ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ

В статье разработана модель синтеза функциональной структуры волоконно-оптического средства охраны повышенной помехоустойчивости и живучести, которая отличается установлением видов метода обратного рассеяния оптического сигнала, которые способны обеспечить повышение живучести и помехоустойчивости волоконно-оптических средств охраны. Это позволило систематизировать способы мультиплексирования сигналов и явлений, на основе которых они формируются, а также элементную базу, что в совокупности положено в основу разработки иерархической модели. С её использованием разработана структура квазилинейного волоконно-оптического средства охраны с кольцевым чувствительным элементом на основе двустороннего метода обратного рассеяния оптического сигнала. Повышение помехоустойчивости (сигнализационной надежности) мониторинга волоконно-оптических средств охраны достигается за счет двустороннего приема оптического сигнала рэлеевского рассеяния от макроизгиба кольцевого чувствительного элемента. Улучшение живучести волоконно-оптических средств охраны достигается за счет применения кольцевого чувствительного элемента, при повреждении последний

трансформируется в два линейных чувствительных элемента, при этом хотя и снижается надежность системы до нормального уровня, но сохраняется работоспособность волоконно-оптических средств охраны в целом.

***Ключевые слова:** движущийся объект, правонарушитель, чувствительный элемент, мониторинг государственной границы, волоконно-оптические средства охраны.*

Y. O. Babiy

SYNTHESIS MODEL OF FUNCTIONAL STRUCTURE OF FIBER-OPTICAL MEANS OF PROTECTION OF ENHANCED CONTRIBUTION AND VITALITY

In the article a model of the synthesis of the functional structure of the fiber-optical means for the protection of increased noise immunity and survivability is developed, which is distinguished by the establishment of types of the method of inverse optical signal scattering, which can provide increased survivability and noise immunity to explosive atmospheres. This allowed to systematize the ways of multiplexing signals, the phenomenon on the basis of which signals are formed, as well as the element base, which collectively underlies the development of a hierarchical model. Using the model of the synthesis of the functional structure of the fiber-optical means for the protection of increased noise immunity and vitality, a structure of the quasilinear fiber-optic protection device with a ring-sensitive element was developed, in which the two-way method of inverse scattering of the optical signal was used. Increasing the noise immunity (signaling reliability) of the fiber-optic security monitoring is achieved due to the two-way reception of the optical signal of the Relay scatter from the macro ring of a ring-sensitive element. The increase in the survivability of fiber-optic means of protection is achieved through the use of a ring-sensitive element, when damaged, the latter is transformed into two linear sensing elements, which reduces the reliability of the system to a normal level and allows maintaining the capacity of fiber-optic means of protection as a whole.

***Keywords:** moving object, offender, sensitive element, monitoring of the state border, fiber-optic means of protection.*