

УДК 621.398

М.І. Лисий

Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького, Хмельницький

ФОРМАЛІЗАЦІЯ СИНТЕЗУ СТРУКТУРИ ПІДСИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ТИПУ

Формалізовано синтез структури підсистеми виявлення волоконно-оптичного типу, в результаті якої розроблено загальні структури квазілінійної і площинної систем охорони волоконно-оптичного типу.

Ключові слова: структура, підсистеми виявлення, волоконно-оптичний.

Вступ

В теорії систем поняття структури визначається як організація системи з окремих елементів з їх взаємозв'язками, які визначаються розподілом функцій і цілей в системі. У процесах дослідження і проектування виникає необхідність у вирішенні комплексу, які утворюють проблему структурного синтезу, а саме: функціональної, параметричної, топологічної оптимізації, в якій рішення про кількість елементів, розподілі функцій, взаємозв'язках елементів системи необхідно приймати, виходячи з їх просторового розташування. Виявлення і визначення місцеположення (ВМП) правопорушника на державному кордоні покладається на відповідні підсистеми, які є складовими системи інженерно-технічного контролю (СІТК) [1]. Для розподілених систем, якою є підсистема виявлення, в значній мірі структурний синтез визначається саме топологією складових, дослідження якої потребує узагальнення нових технічних рішень у галузі волоконно-оптичних вимірювальних систем.

Дослідження волоконно-оптичних вимірювальних систем

З метою дослідження таких систем розроблено їх класифікацію (табл. 1), аналіз якої дозволив у подальшому формалізувати синтез структури підсистеми виявлення волоконно-оптичного типу.

Результатом функціонування підсистеми виявлення є визначення лише однієї характеристики – часу впливу на чутливу зону волоконно-оптичного датчика, а підсистеми ВМП – координати об'єкта. Зважаючи на умовність поділу СІТК на підсистеми дані характеристики у сукупності оцінюють ефективність роботи системи і можуть бути визначені неперервно або дискретно.

Саме властивість неперервності вимірювання визначає вибір топології вимірювальної системи як основу перспективної структури підсистеми виявлення. З урахуванням даних класифікації структури волоконно-оптичних вимірювальних систем (табл. 1), представимо типи їх топологій.

Таблиця 1
Класифікація структури волоконно-оптичної
вимірювальної системи

Ознака класифікації	Тип волоконно-оптичної вимірювальної системи	Характеристики, які визначаються
Топологія волоконно-оптичних датчиків	дискретний	t, x, y
	квазілінійний	t_i, x_i, y_i
	розподілений	t_i, x, y_i
Топологія зони ВМП	площинна	t, x, y
	квазілінійна	$t_i, x(x_i), y_i$
Топологія каналів мультиплексування сигналів	послідовне об'єднання датчиків	\forall
	паралельне	
	багато-волоконне	

Примітка: t, x, y – час впливу на датчик і координати, які неперервно визначаються (за умови, якщо чутливі зони датчиків перекриваються); t_i, x_i, y_i – дискретні характеристики.

Перший тип системи відрізняється серед усіх інших найбільшою протяжністю світловодів, які забезпечують мультиплексування сигналів (рис. 1).

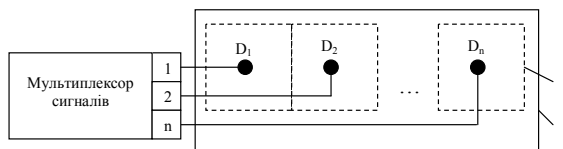


Рис. 1. Дискретна топологія ВОД з площинною зоною ВМП при багатоволоконному мультиплексуванні:
1 – чутлива зона ВОД; 2 – зона ВМП

Особливістю топології такої системи є радіальний збір даних від датчиків, а також використання такого типу дискретних датчиків, які принципово не об'єднуються одним світловодом, що широко застосовуються, наприклад, у геодезії [2]. Отже перший тип не є перспективним через значну вартість такої системи.

Другий тип має послідовне з'єднання датчиків, що розміщуються по один або два фланги від мультиплексора сигналів (рис. 2).

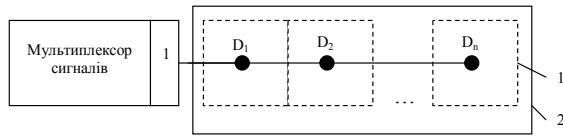


Рис. 2. Дискретна топологія ВОД з площинною зоною ВМП при послідовному мультиплексуванні

Чутливими, стосовно вимірювання сейсмосигналів, є дискретні датчики, принцип роботи яких потребує встановлення їх у розрив світловода, що не дозволяє об'єднувати такі датчики в одному світловоді. Датчики, які не потребують встановлення у розрив світловоду, наприклад макровигинні можуть послідовно об'єднуватися, проте потребують безпосереднього впливу на них об'єкта [3], що не дозволяє таку топологію системи розглядати як перспективну у найближчий час.

Запропонований спосіб паралельного об'єднання датчиків [4, 5] дозволить забезпечити неперервність вимірювання характеристик у необхідній зоні ВМП за рахунок використання множини чутливих решіткових датчиків, які паралельно під'єднують до двох світловодів (рис. 3).

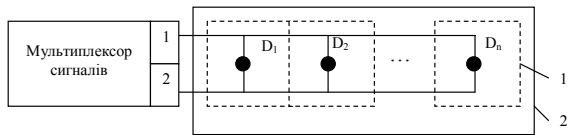


Рис. 3. Дискретна топологія ВОД з площинною зоною ВМП при паралельному мультиплексуванні

В останній час набули широкого розвитку квазірозподілені датчики, які вбудовані безпосередньо в світловод (рис. 4) [6].

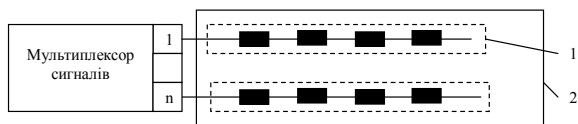


Рис. 4. Квазірозподілена топологія ВОД з квазілінійною зоною ВМП при багатоволоконному мультиплексуванні

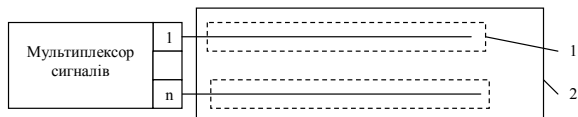


Рис. 5. Розподілена топологія ВОД з квазілінійною зоною ВМП при багатоволоконному мультиплексуванні

Проте вартість такого типу світловодів значно більша. Тому, як перспективну систему з квазілінійною зоною ВМП слід вважати зону, яка побудована

із розподілених датчиків, що представляють звичайний світловод, а корисний сигнал виділяється на основі фазочутливої імпульсно-часової рефлектометрії (рис. 5) [7].

Обґрунтування структури підсистеми виявлення

Отже перспективним типом структури волоконно-оптичної вимірювальної системи які можуть бути взяті за основу для синтезу структури підсистеми виявлення є:

1. Для отримання квазілінійної зони ВМП необхідно використати багатоволоконні (два світловоди) канали мультиплексування розподілених волоконно-оптичних датчиків.

2. Для отримання площинної зони ВМП необхідно використати паралельний канал мультиплексування сигналів з дискретними волоконно-оптичними датчиками.

Система має бути розподіленою з протяжністю L км і мінімальною шириною. Відомі системи (розподілені датчики вимірювання фізичних величин) або їх технічні рішення на основі дискретних датчиків і світловодів як датчиків. Світловод як датчик: брегівські решітки, інтерферометри Маха-Цендера, Фабрі-Перо, двухмодові. Вони чутливі, проте механічні коливання ґрунту від людини в змозі реєструватися лише при безпосередньому наступі на волокно. Дискретними датчиками є: макро, мікровигинні, проте в них той же недолік. Тому для отримання порівняно широкої зони виявлення слід використовувати дискретні датчики, які встановлюють у розрив світловоду або прокладають декілька світловодів – датчиків.

Напрямок рішення завдання обрано розробку структури системи площинного або квазілінійного типу. Квазілінійний тип системи складається із двох світловодів, які паралельно прокладаються у ґрунті, ширина γ (м), протяжність L (км). Обробка інформації повинна здійснюватися на основі фазочутливої імпульсно-часової рефлектометрії. При наступі на волокно виникає інтерференція імпульсів релеєвського 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 для контрасту інтерференційної картини [6]:

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

де V – контраст інтерференційної картини; t – час розповсюдження світлової хвилі; c – швидкість розповсюдження світлової хвилі; z_0 – координата точки впливу на світловод; Δz – роздільна здатність рефлектометра.

Через деякий час об'єкт переміститься і наступить на другий світловод. В результаті грубим прогнозом траєкторії буде вектор, який з'єднає точки (рис. 6).

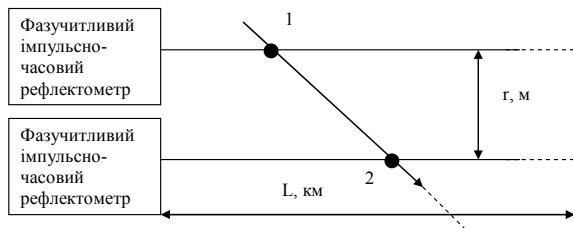


Рис. 6. Загальна структура квазілінійної системи охорони

Площинний тип системи складається із двожильного кабелю, підключеного одним світловодом до передавача, а другим до приймача, рис. 7.

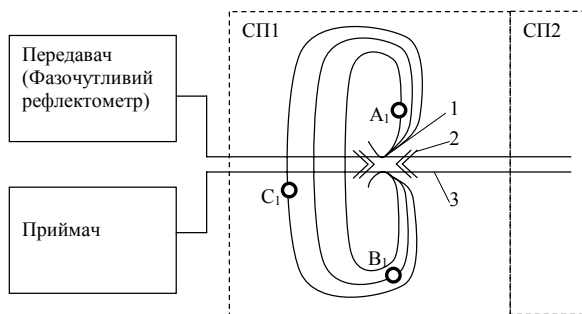


Рис. 7. Загальна структура площинної системи охорони: СП – сейсмоприймач; А, В, С – сейсмодатчики решіткові; 1 – відгалужувач; 2 – з'єднувач; 3 – кабель із двох світловодів

Через кожні 100 м до кабелю (рис. 7, поз. 3) підключається шляхом двох з'єднувачів (рис. 7, поз. 2) блок сейсмоприймача (СП). До нього входять три решіткові датчики (А, В, С), які підключаються паралельно до кабелю через два відгалужувача (рис. 7, поз. 1).

Серед різних типів дискретних волоконно-оптичних датчиків лише решітковий датчик виділяється лінійністю і періодичністю функції оптичного пропускання, що дозволяє перетворювати оптичний сигнал без викривлень. Проте на практиці використовується лише властивість лінійності, при цьому накладається обмеження на максимальний рівень сейсмічного сигналу, що робить неможливим виявлення джерела сигналу, яке знаходиться в безпосередній близькості від датчика, а також обмежує використання волоконно-оптичних датчиків для розробки засобів охорони об'єктів.

Спосіб реєстрації сейсмічного сигналу

Спосіб реєстрації сейсмічного сигналу із застосуванням волоконно-оптичного датчика решіткового типу, як амплітудного модулятора інтенсивності світлового потоку характеризується протиріччям

між необхідністю збільшення періоду решітки датчика для забезпечення реєстрації значного рівня сейсмічного сигналу і водночас необхідністю зменшення періоду для підвищення чутливості датчика.

Отже, існуючий спосіб реєстрації сигналу із застосуванням існуючих чутливих волоконно-оптичних датчиків решіткового типу в засобах охорони має низку недоліків:

1. Значення функції оптичного пропускання не перевищує 0,5, що потребує розташування приймача оптичного сигналу у безпосередній близькості від датчика. Це збільшує вартість засобу охорони, оскільки необхідно обладнувати кожний датчик оптичним приймачем.

2. Через високу чутливість решіткового датчика динамічний діапазон реєстрації амплітуди зовнішнього сигналу знаходиться на 10 – 15 дБ нижче, ніж це необхідно для реєстрації сейсмічного сигналу, наприклад, що виникає при пересуванні людини по поверхні ґрунту. Це потребує пошуку напрямку розширення динамічного діапазону в бік збільшення максимальної амплітуди виявлення сейсмічного сигналу.

В основу способу поставлено завдання щодо реєстрації сейсмічного сигналу волоконно-оптичним датчиком решіткового типу, при якій функція оптичного пропускання датчика становитиме не менше 0,8, а динамічний діапазон реєстрації амплітуди сигналу датчиком перекриватиме діапазон сейсмічного сигналу, джерелом якого є людина, що пересувається по поверхні ґрунту.

Завдання вирішується тим, що датчик решіткового типу використовують в якості імпульсного модулятора інтенсивності світлового потоку, при чому з послідовності отриманих імпульсів виділяють ті, які мають однакову максимальну амплітуду (рис. 8), проводять підрахунок цих імпульсів та визначають миттєву амплітуду сейсмічного сигналу за формулою [5]:

$$U(t_{1n}) = \frac{pn}{2},$$

де t_{1n} – середнє арифметичне значення часу реєстрації першого та n-го імпульсу однакової максимальної амплітуди інтенсивності світлового потоку; $U(t_{1n})$ – амплітуда сейсмічного сигналу; n – кількість імпульсів максимальної амплітуди на виході детектора; p – період решітки волоконно-оптичного датчика, а в подальшому проводять інтегрування і кореляцію сигналів датчиків одного сейсмоприймача.

Волоконно-оптичний датчик решіткового типу, який запропоновано застосовувати, відрізняється тим, що в його конструкції присутня лише одна решітка з лінійно-наростаючою шириною прозорих штрихів (рис. 9), що забезпечує збільшення значення функції оптичного пропускання, а також встановлення знака параметру p .

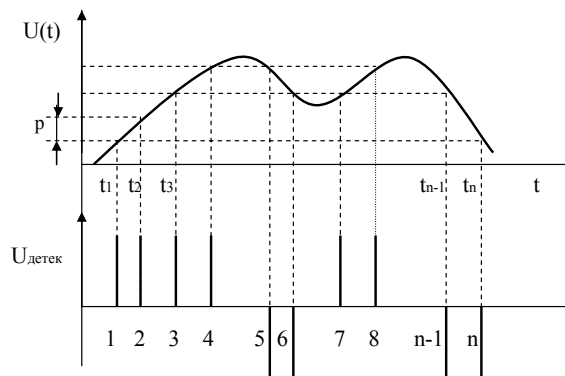


Рис. 8. Реєстрація амплітуди сейсмічного сигналу: p – період решітки; n – кількість імпульсів однакової максимальної амплітуди; $U_{\text{детек}}$ – сигнал детектування

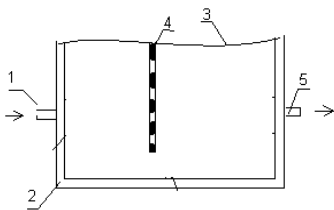


Рис. 9. Конструкція решіткового волоконно-оптичного датчика: 1 – вхідне волокно; 2 – корпус; 3 – діафрагма; 4 – рухлива решітка; 5 – вихідне волокно

За прискоренням зміни амплітуди імпульсів датчиків визначають факт впливу. Кореляція сигналів датчиків, які відносно близько знаходяться, одного СП дає змогу визначити різницю часу впливу сейсмосигналу на решіткові датчики, а отже і координати місцеположення об'єкта різницево-дальномірним методом. Екстраполяція координат поліномами 1-3 степенів забезпечує прогноз траєкторії об'єкту більш точніше ніж квазілінійна система.

Проте для функціонування площинної системи необхідно знати точно швидкість сейсмохвилі, що можливо визначити у момент наступу об'єкта на кабель. Після наступу, сейсмохвиля від місця впливу розповсюджується до решіткових датчиків. Різниця ходу хвилі між датчиками відома, якщо об'єкт впливає на кабель. Різницю часу спрацювання

датчиків визначає система, отже забезпечується визначення швидкості сейсмохвилі.

Висновок

Таким чином формалізовано синтез структури підсистеми виявлення волоконно-оптичного типу, в результаті якого розроблено загальні структури квазілінійної і площинної систем охорони.

Список літератури

1. Лисий М.І. Модель декомпозиції проблеми структурного синтезу розподіленої системи інженерно-технічного контролю державного кордону України / М.І. Лисий, В.Г. Солоніков // Труды академії: зб. наук. пр. – К.: НАОУ, 2008. – № 5 (85). – С. 130-139.
2. Сидоренко В.Д. Розробка методу та засобів для дослідження геомеханічних процесів у гірничовидобувних регіонах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.01. / Сидоренко Віктор Дмитрович. – Дніпропетровськ, 1999. – 28 с.
3. Дышлюк А. В. Принципы создания оптоэлектронных информационно-измерительных систем мониторинга безопасности эксплуатации техногенных объектов: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. – Владивосток: ДВГТУ, 2006. – 174 с.
4. Пат. 64924 UA, МПК G 08 B 13/186. Спосіб побудови структури волоконно-оптичного засобу охорони об'єктів / Лисий М.І.; Власник Нац. акад. Держ. прикордон. служби України. – № 200311203; заявл. 10.10.03; опубл. 15.03.2004, Бюл. № 9. – 4 с.
5. Пат. 77449 UA, МПК G 08 B 13/186. Спосіб реєстрації сейсмічного сигналу волоконно-оптичним датчиком / Лисий М.І., Шинкарук О.М.; Власник Нац. акад. Держ. прикордон. служби України. – № 200511205; заявл. 10.10.05; опубл. 17.03.2006., Бюл. № 9. – 5 с.
6. Одноволоконные распределенные волоконно-оптические датчики физических величин и полей / А.М. Мамедов, В.Т. Потапов, Т.В. Потапов, Е.К. Смуреєв // Фотон-экспресс – наука. – 2005. – № 6. – С. 141-151.
7. Система виброакустического мониторинга протяженных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа 17. 11. 2007: <www.petrolight.ru>.

Надійшла до редколегії 17.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. С. Катеринчук, Національна академія Державної прикордонної служби України, Хмельницький.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ ПОДСИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ТИПА

Н.И. Лысый

Формализован синтез структуры подсистемы выявления волоконно-оптического типа, в результате которого разработаны общие структуры квазилинейной и площадной систем охраны волоконно-оптического типа.

Ключевые слова: структура, подсистемы обнаружения, волоконно-оптический.

FORMALIZATION OF SYNTHESIS STRUCTURE OF SUBSYSTEM THE EXPOSURE OF FIBER-OPTIC TYPE

N.I. Lisiy

The synthesis of structure of subsystem of exposure of fiber-optic type which the general structures of the quasilinear and area systems of guard of fiber-optic type are developed as a result of is formalized.

Keywords: structure, subsystems of discovery, fiber-optic.