УДК 528.29

О.В. БОРОВИК, Р.В. РАЧОК, О.Ю. РУДИК, М.М. ДАРМОРОЗ
Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ВЕЖ СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

У роботі здійснено постановку задачі раціонального розміщення веж системи оптико-електронного спостереження, проведена оцінка ефективності використання системи, запропоновано підхід до раціонального розміщення веж системи на основі застосування кластерного аналізу, проведено порівняльну оцінку ефективності спостереження при використанні різних підходів щодо розміщення веж системи.

Ключові слова: система оптико-електронного спостереження, вежа, кластерний аналіз, показник ефективності, раціоналізація.

O.V. BOROVYK, R.V. RACHOK, O.YU. RUDYK, M.M. DARMOROZ
The National Academy of State Border Guard Service of Ukraine name'd Bohdan Khmelnytsky, Khmelnitsky, Ukraine

RATIONALIZATION PLACEMENT OF TOWERS OPTOELECTRONIC OBSERVATION ON THE BASIS OF CLUSTER ANALYSIS

The article is to prescribe the rational distribution system towers opto-electronic surveillance to ensure the high performance necessary cover strips overlap them. The work done The problem of rational distribution tower system opto-electronic surveillance proposed approaches to defining rational distribution towers, observation, based on the use of cluster analysis evaluated the efficiency of the system, conducted a comparative assessment of the effectiveness of the observation using different approaches to placing towers system. Considering relief during clustering possible to obtain further improve performance. Compared with existing building systems, opto-electronic surveillance greatest efficiency through rational arrangement of observation towers got small goals.

Key words: optical-electronic observation tower, cluster analysis, the rate of efficiency, rationalization.

Постановка проблеми у загальному вигляді. На сьогоднішній день ефективна охорона державного кордону України є неможливою без використання сучасних технічних засобів охорони кордону (ТЗОК). Одним з напрямів використання ТЗОК є створення вздовж державного кордону суцільної зони візуального, радіотехнічного, інфрачервоного та інших видів спостереження. У зв'язку з цим на Білгород-Дністровській ділянці кордону встановлено сучасну систему оптико-електронного спостереження (СОЕС), яка отримана в рамках проекту міжнародної технічної допомоги. Ця система включає десять веж спостереження, на яких встановлено: радіолокаційні станції EL/M-2129 ELTA, електронно-оптичні камери, обладнання передачі даних. Однак потенційні можливості цієї системи не реалізовані повною мірою. Це пов'язано з нераціональним розміщенням веж спостереження. Можливе розміщення веж, при якому забезпечується кращі значення показника ефективності прикриття необхідної смуги перекриття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. Задача раціонального встановлення веж спостереження може розглядатись як задача покриття. Дослідженню її вирішення приділяли увагу багато науковців. У ряді робіт, зокрема у працях [1–4], ця задача розглядалась з точки зору побудови систем відео-моніторингу. Так, у [1] показано оптимальність покриття кругами з однаковими радіусами при встановленні їх центрів у вершинах рівносторонніх трикутників. Інший підхід до вирішення задач такого типу, який передбачає проведення покриття кругами різних радіусів, викладений у [2]. Ще більш складна задача покриття кругами різного радіусу невипуклого багатокутника, який представляє собою лісовий масив з забороненими областями? розглянута в [3, 4]. У цих працях використаний евристичний підхід. Для вирішення задачі проводиться покриття потрібної ділянки рівносторонніми трикутниками або квадратами. Центри кругів встановлюються в центри відповідних фігур. Для урахування «заборонених» областей здійснюється коригування розміщення кругів. У [4] покриття ділянки проводиться мережею квадратів різної площі. При цьому пропонується для проведення поділу квадратів використовувати систему числення з основою 4. Однак у цих працях не повною мірою розкриті питання врахування специфічних факторів, важливих для систем відео-моніторингу, зокрема, рельєфу місцевості.

Інші дослідники розглядали питання раціональної побудови систем зв'язку. Зокрема, у [5] розглядались питання поширення радіохвиль на невеликих відстанях в умовах складного рельєфу, утвореного будівництвом у населених пунктах. У [6] розглядаються задачі оптимального розміщення телевізійних веж. У цьому дослідженні формулюються різні критерії оптимальності розміщення: максимум коефіцієнту покриття, максимум сумарної потужності. Для визначення розміщення веж у [6] використані методи циклічного покоординатного спуску та динамічного програмування. На жаль, метод циклічного покоординатного спуску в багатьох складних випадках сходиться до локального екстремуму і не дозволяє знайти оптимальний розв'язок. Як саме враховувався рельєф місцевості дослідники не вказують. При проведенні оптимізації у [6] значна увага звертається на питання електромагнітної сумісності, що для СОЕС не є актуальним.

Інші роботи присвячені ефективності ведення спостереження прикордонниками. В [7] проводились дослідження ефективності ведення спостереження прикордонниками з урахуванням рельєфу місцевості та

можливої тактики дій контрабандистів. Однак у цій праці не враховувались особливості використання різних технічних засобів спостереження (ТЗС). Окремі аспекти функціонування таких засобів аналізувались в роботах [8–10]. У цих працях увага в основному приділялася визначенню підходів до оцінки ефективності ведення спостереження з використанням окремих ТЗС. Однак використання СОЕС, в складі якої комплексно задіяні різні ТЗС, гостро ставить питання оцінки ефективності її спільного функціонування з урахуванням різних факторів, зокрема, рельєфу місцевості. При визначенні розміщення веж спостереження не потрібна їх щільна упаковка, як в [1–4], а також вирішення питання електромагнітної сумісності, як це робиться в [5]. Все це обумовлює актуальність дослідження раціональної побудови СОЕС, виходячи з максимальної ефективності виявлення цілей в межах потрібної смуги перекриття.

Мета статті. Зважаючи на це, метою даної роботи є визначення підходу до раціонального розміщення веж СОЕС для забезпечення високої ефективності прикриття необхідної смуги перекриття.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дальність дії засобів спостереження СОЕС будемо розглядати як випадкову величину, яка визначається за допомогою методів теорії ймовірностей і математичної статистики. На вежах СОЕС встановлені радіолокаційна станція, тепловізійна та телевізійна камери. Для цих засобів з використанням інтегральних законів розподілу отримані вирази визначення ймовірності виявлення цілі. При цьому враховано: дальність до цілі; тип цілі; умови, в яких здійснюється спостереження; стан засобу спостереження. Ймовірність виявлення цілі з використанням усіх трьох засобів спостереження, встановлених на одній вежі СОЕС, визначається так:

$$P_k(R) = 1 - \overline{P}_1(R) \cdot \overline{P}_2(R) \cdot \overline{P}_3(R), \tag{1}$$

де $P_1(R)$ – ймовірність виявлення цілі за допомогою РЛС;

$P_2(R)$ – ймовірність виявлення цілі за допомогою тепловізійної камери;

$P_3(R)$ – ймовірність виявлення цілі за допомогою телевізійної камери.

Для оцінки ефективності спостереження з використанням усіх веж СОЕС пропонується використовувати показник W, який враховує ефективність ведення спостереження в межах необхідної смуги перекриття різними технічними засобами охорони кордону. При цьому береться до уваги рельєф місцевості, який обмежує можливості ведення спостереження цими технічними засобами. Результати обчислення W свідчать про недостатню ефективність прикриття необхідної смуги перекриття існуючою СОЕС. Для малих цілей цей показник є меншим за 50%. Основною причиною низької ефективності є нераціональне розміщення веж СОЕС (рис. 1). Існуюча розстановка цих веж недостатньо враховує рельєф місцевості та необхідну форму області перекриття, в межах якої потрібно забезпечити високу ефективність виявлення цілей. Аналіз їх розташування показав, що окремі вежі розташовані на краю смуги перекриття. Внаслідок цього ефективне спостереження проводиться лише по малій частці смуги перекриття. Одна з веж розміщена у вузькій та продовгуватій частині смуги перекриття. Внаслідок цього значна частина ефективного спостереження здійснюється поза межами смуги перекриття і не враховується в показнику ефективності.

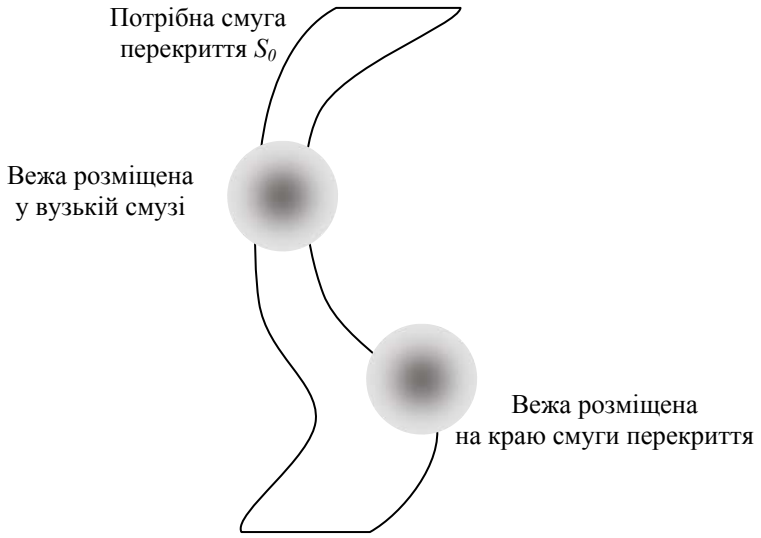

Рис. 1. Типові недоліки в розташуванні веж СОЕС

Для великих цілей ситуація дещо змінюється. Значна ефективна дальність спостереження ТЗС забезпечує перекриття зон спостереження сусідніх веж. У цьому випадку ефективність переважно обмежується негативним впливом рельєфу, що зумовлює появу недоступних для спостереження зон. Однак для рівнинного рельєфу, властивому ділянці Білгород-дністровського прикордонного загону, цей фактор є менш важливим.

У зв'язку з цим визначення раціонального розташування веж спостереження пропонується проводити на основі інформації про необхідну смугу перекриття S_0 (рис. 1), в межах якої потрібно

забезпечити граничний рівень ефективності прикриття p_0.

Розглянемо дві задачі, в яких визначена необхідна смуга перекриття S_0. У першій задачі зафіксована кількість N веж спостереження, які потрібно встановити. Необхідно визначити координати (x_i,y_i) раціонального розміщення веж спостереження V_i (рис. 2), де і приймає значення від 1 до N.

Така постановка задачі обумовлена особливостями міжнародної допомоги, в межах якої виділяється фіксована кількість комплектів обладнання (веж спостереження) для встановлення на певній ділянці. Однак теоретично більш цікавою є дещо ширша задача, яка в цілому є аналогічною попередній, проте потребує додаткового визначення кількості веж спостереження N.

Як критерій раціональності розстановки веж V_i використаємо максимізацію показника W.

$$\max W((x_i,y_i),N,S_0,R_f,U),$$

де (x_i,y_i) – координати i-ї вежі спостереження;

N – кількість веж спостереження;

S_0 – потрібна смуга перекриття;

R_f – рельєф місцевості;

U – множина умов, які впливають на обчислення W (клас цілі, погодні умови).

Визначення W є складною обчислювальною задачею, яка розв'язується з використанням алгоритмічних і чисельних методів. Все це обмежує безпосереднє використання багатьох класичних методів оптимізації.

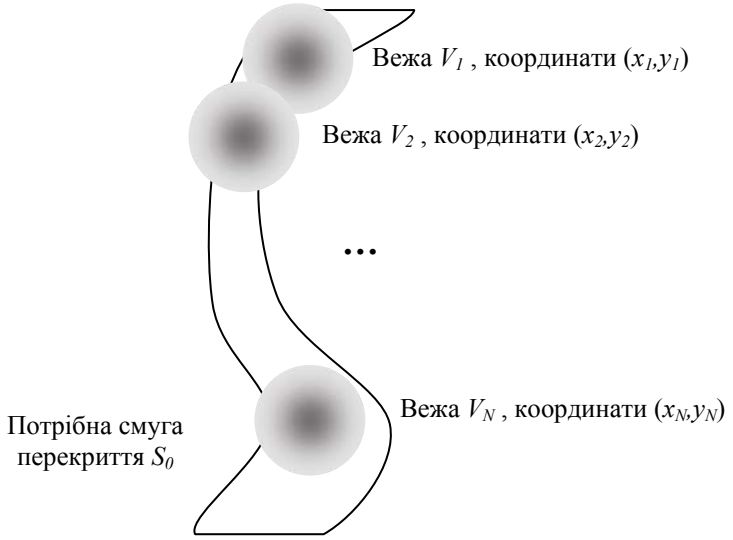

Рис. 2. Задача раціонального розміщення веж СОЕС

Тому, виходячи з аналізу особливостей показника W, з метою максимального «заглиблення» місць розташування веж та дотримання раціональної дистанції між ними, пропонується застосувати методи кластерного аналізу. Такий підхід дозволить, уникнувши безпосереднього обчислення W, здійснити розміщення веж з урахуванням закономірностей, отриманих на основі аналізу цього показника.

Кластерний аналіз вирішує задачі розбиття заданої вибірки об'єктів на підмножини. Ці підмножини називаються кластерами. Розбиття здійснюється так, щоб кожен кластер складався з близьких об'єктів, а об'єкти з різних кластерів були суттєво відмінними.

Основною метою кластерного аналізу є визначення груп близьких об'єктів. Звичайно при цьому надзвичайно важливою є міра близькості. У задачі визначення місць раціонального розташування веж СОЕС в ролі об'єктів кластеризації виступатимуть точки растру, якими описується потрібна смуга перекриття. Ці точки задаються координатами. В ролі міри близькості об'єктів зручно використати Евклідову відстань.

На сьогодні існує значна кількість методів кластеризації: K-середніх (K-means); нечітка кластеризація C-середніх (C-means); графові алгоритми кластеризації; статистичні алгоритми кластеризації; алгоритми сімейства FOREL; ієрархічна кластеризація або таксономія; нейронна мережа Кохонена; ансамбль кластеризаторів; алгоритми сімейства KRAB; EM-алгоритм; метод просіювання. Відповідно до особливостей задач ці методи мають свої області використання.

Розглянемо задачу розстановки веж СОЕС у випадку, коли їх число завчасно відоме. Для її вирішення можливе використання одного з фундаментальних і найбільш популярних методів кластеризації – K-means. Цей метод забезпечує впорядкування множини об'єктів в порівняно однорідні групи. Метою методу є проведення розподілу n спостережень на k кластерів. При цьому кожне спостереження має належати до кластера з найближчим до нього середнім значенням. Таким чином, у методі K-means здійснюється мінімізація суми квадратів відстаней між кожним спостереженням та центром його кластера

$$\sum_{i=1}^{n} d(x_i, m_j(x_i))^2 \to \min ,$$

де d – метрика;

x_i – i-й об'єкт даних;

$m_j(x_i)$ – центр кластера, якому на j-й ітерації приписаний елемент x_i.

Спрощено даний метод зводиться до наступного алгоритму:

Вказується кількість N кластерів, які потрібно знайти.

1. Випадковим чином обирається N об’єктів, які на цьому кроці вважаються центрами кластерів.
2. Кожне спостереження асоціюється з кластером, відстань до якого найкоротша.
3. Розраховуються нові центри кластерів (як середнє арифметичне ознак об'єктів, що входять у цей кластер).
4. Кроки 3-4 повторюються, поки кластерні центри стануть стійкими. Мірою стійкості вважається незмінність складу кластерів. При цьому дисперсія всередині кластера буде мінімізована, а між кластерами – максимізована.

При застосуванні методу K-means в задачі раціональної розстановки веж спостереження на основі інформації про координати об’єктів кластеризації (точок смуги перекриття) можна провести їх розбиття на вказану кількість кластерів (число веж спостереження). Додатково цей метод дозволяє визначити координати центрів цих кластерів. Координати центрів кластерів і є шуканим результатом – координатами раціонального розміщення веж спостереження.

З метою автоматизації вирішення задачі раціонального розміщення веж спостереження було розроблено програмне забезпечення мовою C# з використанням бібліотеки Accord (рис. 3). В межах даної бібліотеки реалізована значна кількість методів у галузі машинного навчання, зокрема і метод кластеризації K-means.

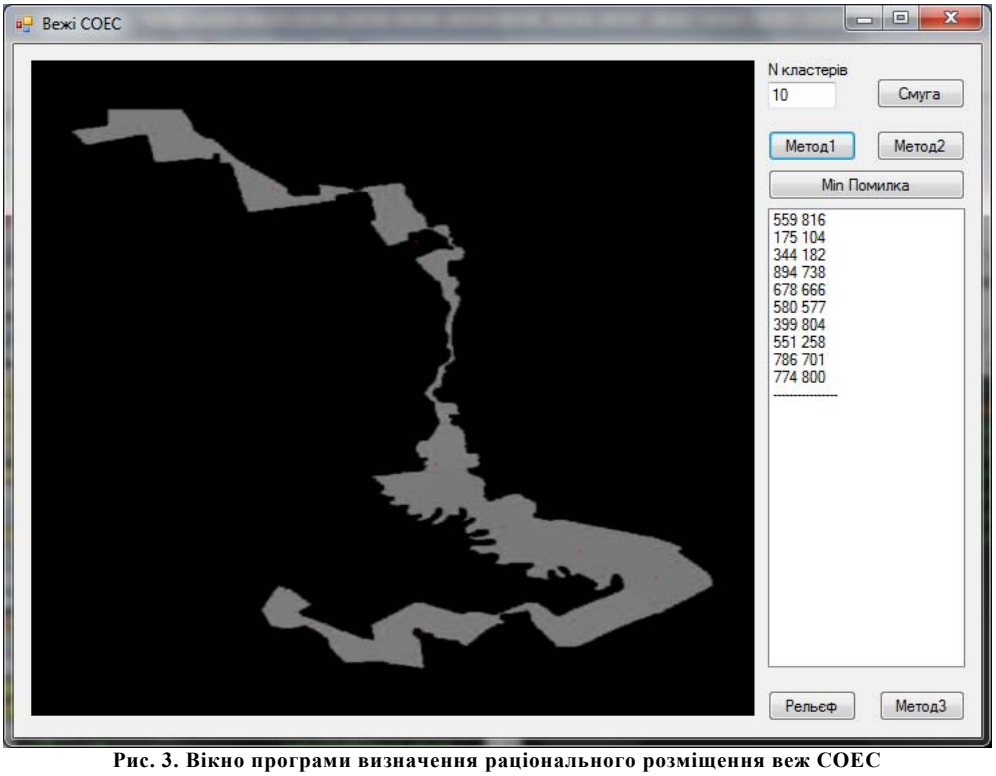

Рис. 3. Вікно програми визначення раціонального розміщення веж СОЕС

Оскільки метод K-means чутливий до початкового вибору положень кластерів, яке здійснюється випадковим чином, кінцеві результати в окремих випадках можуть не співпадати. Для часткового усунення цього недоліку пропонується неодноразово застосовувати метод K-means. Положення кластерів в окремих результатах будуть дещо відрізнятись. Внаслідок цього утворюються множини точок в околах центрів справжніх кластерів. Для остаточного визначення положення веж до отриманої множини як до множини об’єктів кластеризації знову застосовується метод K-means. Даний підхід реалізований у програмі. Проведені дослідження показали, що при 10 повторах отримується достатній для узагальнення статистичний набір.

У розробленому програмному забезпеченні реалізований також третій підхід, який ґрунтується на мінімізації помилки кластеризації. При цьому метод K-means повторюється до тих пір, поки помилка при декількох останніх його застосуваннях не перестане зменшуватись.

Для зручності результати кластеризації записуються в XML форматі, який підтримується

програмою оцінки ефективності СОЕС.

Результати дослідження ефективності *W* представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідження ефективності W

Погодні умови	Ціль	*W* початкова,%	*W* раціональна,%
ясно	мала	47,57	82,47
	середня	59,11	91,68
	велика	97,47	99,21
дощ	мала	38,67	70,12
	середня	47,57	82,47
	велика	94,87	99,21

Як випливає з наведених результатів, використання запропонованого підходу дозволяє суттєво покращити ефективність прикриття необхідної смуги перекриття у випадку малих цілей. Для середніх і великих цілей також досягається покращення, хоч і не таке значне.

З аналізу показника *W* випливає, що для середніх і великих цілей зростає ефективна дальність їх виявлення. Тому пропонується ще один підхід до раціонального розташування веж спостереження. При цьому підході кластеризацію над смугою перекриття пропонується проводити не в 2-мірному, а в 3-мірному просторі. В якості 3-ї координати використовується висота точки місцевості над рівнем моря (взята з геоінформаційної системи). Тоді кластери будуть зміщуватись в центри груп точок, близьких не лише на площині, але і з урахуванням їх висот. Близькість по висоті забезпечує зменшення негативного впливу рельєфу місцевості. Результати, наведені в табл. 2, свідчать про незначне покращення *W* при такому підході до кластеризації. Для різних класів цілей та погодних умов зростання *W* змінюється від 0.12% до 2.27% і в середньому складає 0.68%.

Таблиця 2

Інтегральні результати дослідження ефективності W

Погодні умови	Ціль	*W* початкова,%	*W* раціональна,%	*W* раціональна (з *h*),%
ясно	мала	47,57	82,47	82,83
	середня	59,11	91,68	91,79
	велика	97,47	99,21	99,61
дощ	мала	38,67	70,12	71,71
	середня	47,57	82,47	82,82
	велика	94,87	99,21	99,61

Для вирішення другої задачі, коли кількість веж спостереження завчасно є невідомою, також можна використати кластерний аналіз. Однак у цьому випадку потрібно застосувати метод кластеризації, в якому кількість кластерів не задається завчасно, а визначається в ході кластеризації (наприклад, можливе використання методу FOREL). Однак у методі FOREL потрібно визначити вхідний параметр R – радіус пошуку локальних згущень. У ролі цього параметру можна використати ефективну дальність спостереження $R_{еф}$ вежею спостереження на рівній місцевості в певних умовах по певному класу цілей. Визначимо її як максимальну відстань, при якій ймовірність виявлення цілі однією вежею буде не нижчою за граничну p_g. В результаті такої кластеризації можливо одночасно визначити кількість веж спостереження і провести їх раціональне розміщення.

Висновки. Таким чином, за результатами проведеного дослідження в роботі запропоновані підходи до визначення раціонального розміщення веж спостереження, які ґрунтуються на використанні кластерного аналізу. Проведені дослідження ефективності прикриття необхідної смуги перекриття підтвердили їх доцільність. Порівняно з існуючою побудовою СОЕС найбільше підвищення ефективності за рахунок раціональної розстановки веж спостереження отримане для малих цілей. Врахування рельєфу при проведенні кластеризації дозволило отримати додаткове покращення показника ефективності.

Напрямом подальших досліджень є проведення кластеризації з завчасно невідомою кількістю веж спостереження на основі ефективної дальності спостереження з використанням методу FOREL.

Література

1. Kershner R. The number of circles covering a set / R. Kershner // Amer. J. Mathematics. – 1939. – Vol. 61, № 3. – P. 665–671.

2. Кузнецов В.Ю. Задачи покрытия ортогональных многоугольников с запретными участками / В.Ю. Кузнецов // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2008. – Т.10, № 2 (27). – С. 177–182.

3. Кочкарь Д.А. Оптимальное размещение вышек наблюдения наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров / Д.А. Кочкарь, С.Ю. Мединцев, А.А. Орехов // Радіоелектронні і комп’ютерні системи. –

Харків, 2010. – № 7 (48). – С. 311–314.

4. Бабий С.М. Алгоритм покрытия площади лесного массива кругами видеонаблюдения и контроля / С.М. Бабий, Д.А. Кочкарь, В.В. Чмовж // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, 2010. – № 7 (48). – С. 272–277.

5. Рекомендация МСЭ-R P.1411-6. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем радиосвязи малого радиуса действия и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц [Электронный ресурс]. – Женева, 2012. – Режим доступа : http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en

6. Ščerbakov G. I. The Decision of Problems of Optimization of Territorial Arrangement of the Radio-Transmitting Stations at Design of Transmission Networks / Ščerbakov G. I., Lindval V. R., Spirina E. A., Letaiaf M.A. // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas : Technologija, 2004. – № 3 (52). – P. 47–51.

7. Franklin W. R., Inanc M., Xie Z., Tracy D. M., Cutler B., Andrade M. V. A., and Luk F. Smugglers and border guards – The GeoStar Project at RPI. In 15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS 2007), Seattle, WA, USA, Nov 2007.

8. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей / Горбунов В.А. – М. : Воениздат, 1979. – 160 с.

9. Кривошеев В.А. Эффективность охраны государственной границы СССР и основные направления ее повышения / Кривошеев В.А. – М. : Воениздат, 1988. – 256 с.

10. Система інженерно-технічного контролю органу охорони державного кордону : звіт з НДР / Стрельбіцький М.А., Лисий М.І., Міхєєв Б.М., Купрієнко Д.А. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2007. – 99 с.

Отримана/Received : 26.5.2017 р. Надрукована/Printed :11.6.2017 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Мартинюк В.В.

УДК 621

О.Є. ЗЕМЛЯНСЬКИЙ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.С. КОВАЛЬ
Хмельницький національний університет
А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ
Буковинський державний медичний університет

КОНТРОЛЬ СТАНУ ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ FDR

Одна з існуючих проблем систем контролю стану ліній зв'язку є виявляння змін в її структурах. Застосування оптичних ліній для побудови розподілених сенсорів знаходить своє застосування через відносну дешевизну конструкції, а також через наявні методи виявлення зміни внутрішньої структури лінії. Для визначення змін зазвичай використовували методив імпульсної рефлектометрії. Проте підвищення точності виявлення місць пошкоджень вимагає впровадження нових методів діагностики на базі частотних вимірювань.

Ключові слова: сенсор, OFDR, OTDR

O.E. ZEMLYANSKIY, K.L. HORIASCHENKO, V.S. KOVAL
Khmelnitsky national university
A.V. KLEPIKOVSKIY
Bukovinian state medical university

USAGE OF FDR TECHNOLOGY FOR CONTROL PURPOSE OF FIBRE CHANNEL STATE

It is known to control state and to detect faults in communication lines based on detections changes of their structures. The use of optical lines for building distributed sensor finds application due to the relative low cost of construction, as well as through existing methods for detecting changes in the internal structure of the line. To determine changes usually used metodyv pulse reflectometry. However, increasing the accuracy of detection of fault location requires new methods of diagnosis based on frequency measurements.

Keywords: sensors, OFDR, OTDR.

Вступ

Волоконно-оптичні датчики (так само часто іменуються оптичні волоконні датчики) це оптоволоконні пристрої для детектування деяких величин, зазвичай температури або механічної напруги, але іноді – зміщення, вібрацій, тиску, прискорення, обертання (вимірюється за допомогою оптичних гіроскопів на основі ефекті Саньяка), і концентрації хімічних речовин [1, 2, 3].

В даний час в ВОЛЗ використовуються багатомодові і одномодові волоконні світловоди (ВС). Багатомодові волоконні світловоди (МВС) мають наступні основні параметри:

- діаметри оболонки і хвилеведучої жили (в мкм) - 125/50, 125 / 62.5, 140/100;
- діаметр захисної оболонки волокна - 250 мкм;
- числова апертура - в межах 0.2 ÷ 0.5.

Залежно від профілю показника заломлення (ППП) і довжини хвилі випромінювання сигналу многомодові волокна мають різну смугу пропускання сигналу:

- при ступінчастому ППП - смуга пропускання 20 мГц * км (0,85 мкм)