

Но тогда, поскольку $b_{n_j} \sum_{k=1}^{v_n} \xi_{n_j k} \rightarrow^P 0$, то согласно рассмотренному выше случаю

получаем: $b_{n_j} \sum_{k=1}^{\dot{k}_{n_j}} \xi_{n_j k} \rightarrow^P 0$.

С другой стороны $|\bar{f}_{n_j}(1) - 1| = |f_{n_j}(b_{n_j}) - 1| = \varepsilon$ и, следовательно, $b_{n_j} \sum_{k=1}^{\dot{k}_{n_j}} \xi_{n_j k} \rightarrow 0$.

Полученное противоречие указывает на ошибочность нашего предположения о стохастической неограниченности $\sum_{k=1}^{l_n} \xi_{nk}$.

Литература

1. Гнеденко В.В. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин / В.В. Гнеденко, А.Н. Колодоморов. – М.-Л.: Гостехиздат, 1949. – 264 с.

2. Беркман Л.Н. Застосування новітніх технологій при побудові інформаційних мереж нового покоління / Л.Н.Беркман, С.В. Толюпа, С.С. Штаненко // Матер. IV Міжнар.наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та безпека в управлінні», Крим, 2007. – С. 129-132.

УДК 535.317.2

Манько О.О., к.т.н. (Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)

МОНІТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Манько О.О. Моніторинг температурних режимів волоконно-оптичних ліній зв'язку. В роботі розглянуто метод моніторингу температурних режимів волоконно-оптичних ліній зв'язку, що прокладено уздовж енергетичних ліній. Проведені розрахунки рівню імпульсного сигналу, відбитого від ділянки з підвищеною температурою. Відмічено досить високу чутливість запропонованого методу.

Ключові слова: ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЛІНІЯ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, МОНІТОРИНГ

Манько А.А. Мониторинг температурных режимов волоконно-оптических линий связи. В работе рассмотрен метод мониторинга температурных режимов волоконно-оптических линий связи, проложенных вдоль энергетических линий. Проведен расчет уровня импульсного сигнала, отраженного от участка с повышенной температурой. Отмечено достаточно высокую чувствительность предложенного метода.

Ключевые слова: ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ, ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ, МОНИТОРИНГ

Manko O.O. The monitoring of temperature of fiber-optic communication lines. This paper presents a method of temperature monitoring of fiber-optic communication lines, located along the energy lines. The calculation of the pulse level of the signal reflected from the area of high temperature is produced. Rather high sensitivity of the proposed method is pointed.

Keywords: FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES, ENERGY LINES, TEMPERATURE CONDITION, MONITORING

Вступ. На цей час на високовольтних електричних мережах використовуються інтелектуальні системи моніторингу розподілення температури вздовж енергетичної лінії [1]. В якості датчика в них застосовується оптичне волокно (ОВ), яке вмонтоване в електричний кабель. При цьому, для отримання інформації про стан волокна використовують такі нелінійні ефекти в оптичному волокні, як розсіяння Рамана та розсіяння Бріллюена. Вивчення спектральних характеристик розсіяного сигналу в цьому випадку дозволяє

визначити температуру оптичного волокна в певному місці, а також провести визначення відстані до цього місця. Разом з тим, обладнання, яке використовує наведені принципи та об'єднує спеціалізовані рефлектометричні методи поряд зі спектральним аналізом, а також використовує спеціальні математичні методи обробки сигналів, є порівняно складним та має високу вартість.

В той же час на волоконно-оптичних лініях зв'язку, в тому числі на таких, що забезпечують функціонування енергетичних мереж, має місце використання оптичних імпульсних рефлектометрів для визначення параметрів та характеристик певних ділянок лінії та її локальних характеристик [2]. Як правило, стандартні моделі рефлектометрів, призначених для вирішення цих задач, мають високу розрізнявальну здатність як за рівнем загасання (до $\pm 0,001$ дБ), так і за відстанню (до ± 1 м). Таким чином, представляє інтерес застосування більш простих та недорогих методів в поєднанні з широко розповсюдженим стандартним обладнанням для оптичного моніторингу волоконно-оптичних ліній зв'язку, прокладених уздовж високовольтних енергетичних мереж.

Постановка задачі. З метою вирішення вищевказаної проблеми необхідно провести моделювання рефлектограм, які дозволяють визначити стан волоконних світловодів і виконати оцінку температури ділянок оптичного волокна та відповідного температурного режиму енергетичної лінії.

Для визначення місця локалізації аномального режиму та значення температури в цій області необхідно визначити пов'язані з температурою параметри сигналу, що відбивається від міста аномалії. Цим параметром є рівень сигналу відбитого від місця аномалії, з урахуванням того, що коефіцієнт відбиття C_r світлових квантів на границі розділу ділянок ОВ з різною температурою є температурно-залежною величиною, яка визначається зміною показника заломлення з температурою.

Таким чином, необхідно визначити зв'язок між різницею температури звичайної та аномальної ділянок волокна та рівнем відбитого від місця аномалії сигналу, який залежить від значення коефіцієнта відбиття.

Вимірювання коефіцієнтів відбиття рефлектометричним методом. Коефіцієнт відбиття r визначається як відношення потужності хвилі, відбитої від неоднорідності – P_{ref} , до потужності падаючої хвилі – P_c [2]:

$$r = 10 \lg(P_{ref} / P_c). \quad (1)$$

За допомогою рефлектометра неможливо виміряти потужність падаючої на неоднорідність хвилі – P_c , але можна знайти величину імпульсу сигналу відбиття [2]:

$$f = 10 \lg((P_{ref} + P_{rel}) / P_{rel}) = 10 \lg((R + Q) / Q), \quad (2)$$

де P_{rel} – рівень потужності релеєвського розсіювання.

Як видно з виразу, величина імпульсу однозначно визначається величиною співвідношення $P_{ref} / P_{rel} = R/Q$, де $Q = P_{rel} / P_c$ – коефіцієнт зворотного релеєвського розсіювання; а величина $R = P_{ref} / P_c$.

Таким чином, для знаходження коефіцієнта відбиття за допомогою рефлектометра достатньо одного вимірювання (величини імпульсу сигналу відбиття f), але при цьому необхідно знати величину коефіцієнту зворотного релеєвського розсіювання $q = 10 \lg Q$.

На рис. 1 наведено приклад вимірювання величини імпульсу сигналу відбиття.

В загальному випадку коефіцієнт відбиття та висота імпульсу пов'язані між собою за допомогою нелінійного виразу. Але в багатьох випадках імпульсний сигнал є досить великим, таким що виконується умова f більше за 5 дБ. В цьому випадку маємо спрощений вираз для визначення коефіцієнта відбиття [2]:

$$r = q + 2f. \quad (3)$$

Наближений вираз має свій простий фізичний смисл. Воно визначає, що різниця між відбитою та розсіяною потужністю (в одиницях дБм) дорівнює подвоєній величині сплеску імпульсного сигналу. Подвоєній тому, що на вертикальній шкалі рефлектометра відкладається $5 \lg$, а не $10 \lg$ [2].

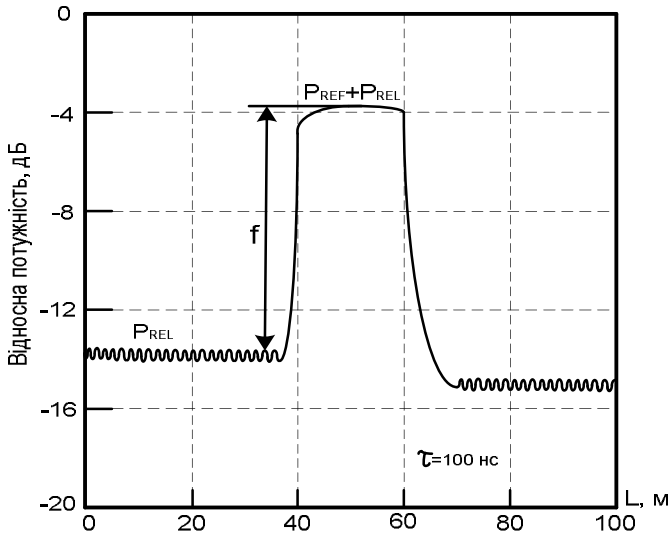


Рис. 1. Рефлектограма ділянки лінії з відбиваючою неоднорідністю

коefficient зворотного релеевського розсіювання дорівнює, приблизно, -78 дБ на довжині хвилі $\lambda=1310$ нм та -82 дБ на довжині хвилі $\lambda=1550$ нм. Для волокон різних виробників цей coefficient може відрізнитись на ± 2 дБ [2].

В подальшому будемо вважати coefficient зворотного розсіювання таким, що дорівнює 80 дБ (при $\tau = 1$ нс). В цьому випадку залежність coefficientу зворотного розсіювання від тривалості імпульсів τ можна записати у вигляді:

$$q = -80 \text{ дБ} + 10 \lg (\tau(\text{нс})/1(\text{нс})). \quad (5)$$

Залежність coefficientу зворотного релеевського розсіювання від тривалості імпульсів зображено на рис. 2. Для порівняння на цьому ж рисунку наведено значення coefficientів відбиття від оптичних конекторів Super PC ($r=-40$ дБ) та Angled PC ($r=-60$ дБ). Coefficient зворотного розсіювання зрівнюється з coefficientом відбиття від конекторів Angled PC при $\tau \sim 100$ нс, а з coefficientом відбиття від Super PC при $\tau \sim 10$ мкс.

Використовуючи діаграму на рис. 2 та вираз (3) можна оцінити величину імпульсу відбитого сигналу f . Так, наприклад, для конекторів Super PC різниця $r-q$ при $\tau=1$ мкс дорівнює приблизно 10 дБ і, відповідно, висота імпульсного сплеску f повинна дорівнювати 5 дБ на екрані рефлектометра. Та навпаки, за величиною сплеску на рефлектограмі можна визначити величину coefficientу відбиття. Наприклад, величина сплеску на рис. 1 дорівнює 10 дБ (при $\tau=100$ нс) та, відповідно, різниця $r-q$ дорівнює 20 дБ. А оскільки при $\tau \sim 100$ нс coefficient зворотного релеевського розсіювання $q = -60$ дБ (рис. 2), отримуємо $r = -40$ дБ.

Coefficient зворотного релеевського розсіювання визначається як частка потужності прямої хвилі, що розсіяна в зворотному напрямку з ділянки волокна, що дорівнює напівширині світлового імпульсу у волокні:

$$Q = S\alpha_p V\tau / 2, \quad (4)$$

де S – coefficient захоплення розсіяного випромінювання модою волокна;

$\alpha_p=0,17$ дБ/км – coefficient втрат світла в одномодовому волокні через релеевське розсіювання на довжині хвилі 1550 нм;

$V=c/n \approx 2 \cdot 10^5$ км/с – групова швидкість світла у волокні;

τ – тривалість імпульсу.

При тривалості імпульсу 1 нс

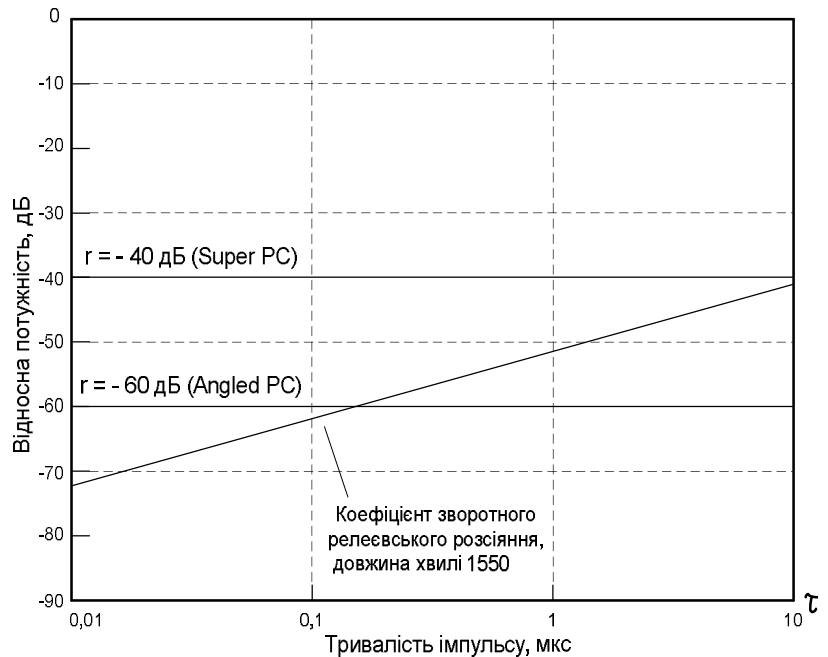


Рис. 2. Залежність частки відбитої та розсіяної у волокні потужності світла від тривалості імпульсів

Наближене значення (3) застосовуване при $f \geq 5$ дБ. При менших значеннях f залежність r від f стає нелінійною. В цьому випадку для оцінок слід застосувати повний вираз або графіки, наведені на рис. 3.

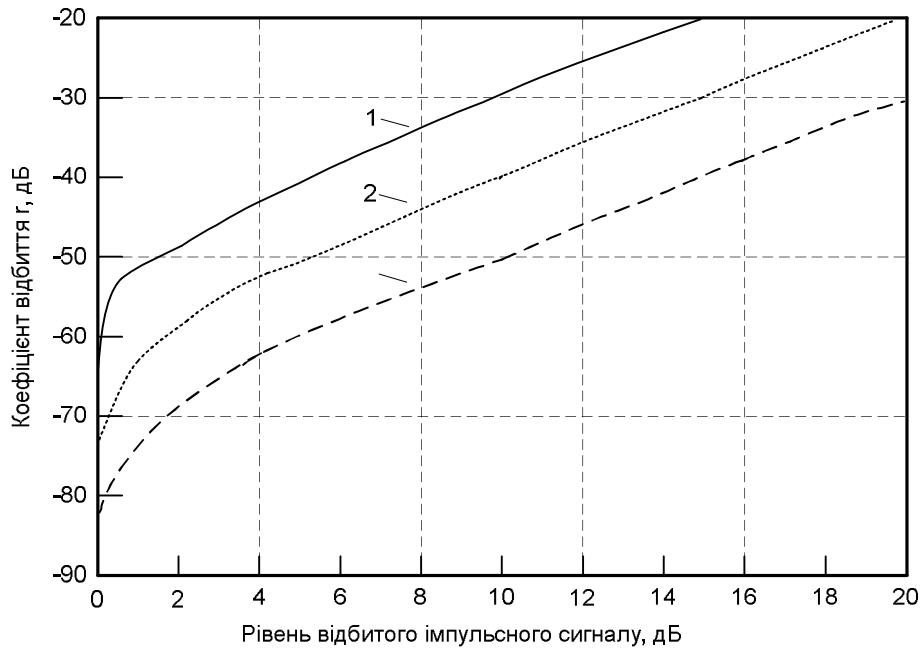


Рис. 3. Залежність коефіцієнту відбиття r від висоти імпульсного сплеску f на рефлектограмі

На рисунку крива 1 приведена для $q=-50$ дБ, $\tau=1000$ нс; крива 2 – для $q=-60$ дБ, $\tau=100$ нс; крива 3 – для $q=-70$ дБ, $\tau=10$ нс.

Як видно з рис. 3 при $f \leq 5$ дБ та $r \leq -60$ дБ висота сплеску сигналу f швидко зменшується зі збільшенням тривалості імпульсу. Наприклад, для того, щоб знайти зварне з'єднання волокон з коефіцієнтом відбиття $r=-70$ дБ, ширина імпульсу повинна бути менше 100 нс. А при коефіцієнті відбиття $r=-80$ дБ – менше за 10 нс.

Моніторинг енергетичних ліній за допомогою волоконних світловодів. Для оптичного волокна, що прокладене вздовж енергетичних високовольтних ліній, потенційно небезпечним є підвищена температура в околі енергетичного кабелю або провідника лінії. Підвищення температури, що перевищує певний пороговий рівень, свідчить про аномальний режим роботи енергетичного кабелю або лінії і повинно бути вчасно визначене та локалізоване. Для оцінки температурного режиму оптичного волокна і, відповідно, енергетичної лінії в роботі було проведено моделювання рефлектограм оптичних ліній, що містять відрізок волокна з підвищеною температурою.

Враховуючи той факт, що практично всі оптичні волокна побудовані на основі кварцового скла з невеликими домішками інших інгредієнтів (декілька процентів), визначалась зміна показника заломлення скла серцевини з температурою.

Значення підвищеної температури на протязі аномального відрізка волокна вважалось сталим, а нормальне значення температури іншої частини волокна складало величину 20°C . Для встановлення наявності аномального режиму, місця його локалізації та значення температури в цій області необхідно визначити параметри сигналу, відбитого від аномальної ділянки. Беручи до уваги той факт, що зона підвищення температури має, як правило, точковий характер, протяжність тестового імпульсу рефлектометра τ вважалась такою, що значно перевищує її довжину x . Границю розділу між «гарячою» та «холодною» частиною волокна приймалась такою, що має різкий, а не розмитий характер. В цьому випадку коефіцієнт відбиття C_r світлових квантів на границі описується виразом [3]:

$$C_r = ((n_{21} - 1)/(n_{21} + 1))^2, \quad (6)$$

де n_{21} – відносний показник заломлення оптичних середовищ з показниками заломлення n_1 та n_2 , які відповідають “гарячій” та “холодній” частині.

Крім урахування інтенсивності частини імпульсу, що відбивається від початку аномальної області, необхідно врахувати відбиття імпульсу від її кінця. Приймаючи до уваги низький ступінь когерентності імпульсного сигналу рефлектометра, вважалось, що має місце складання інтенсивності сигналів, які відбиваються від початку та кінця температурної неоднорідності ОВ. Оскільки значення довжини аномальної області невелике, як і незначні величини коефіцієнтів відбиття на її границях, можна вважати, що після відбиття оптичного імпульсу від обох границь має місце подвоєння інтенсивності відбитого сигналу.

Таким чином, моделювання рефлектометричного сигналу, відбитого від ділянки з аномальною температурою, зводиться до визначення коефіцієнтів відбиття на границях ділянки та їх залежності від температури волокна ділянки. Зміна параметру релеєвського розсіювання з температурою не приймалась до уваги. Для визначення температурної залежності коефіцієнта відбиття використовувались дані, наведені в [4]. Згідно з ними значення показника заломлення кварцового скла складає 1,4601 при температурі 20°C. Температурний коефіцієнт заломлення (ТКЗ) має значення мінус $10 \cdot 10^{-6}$ при температурі 20°C. В розрахунках припускалось, що в діапазоні температур, який було розглянуто, значення температурного коефіцієнта заломлення не змінювалось.

З метою визначення рівня відбитого імпульсного сигналу в роботі було проведено розрахунки залежності коефіцієнта відбиття від температури аномального відрізка волокна в діапазоні температур до 300° С. Тривалість тестового імпульсу складала 10 нс, що відповідало рівню релеєвського зворотного розсіювання -70 дБ. Температура нормального волокна складала 20° С. Результати розрахунків наведено на рис. 4.

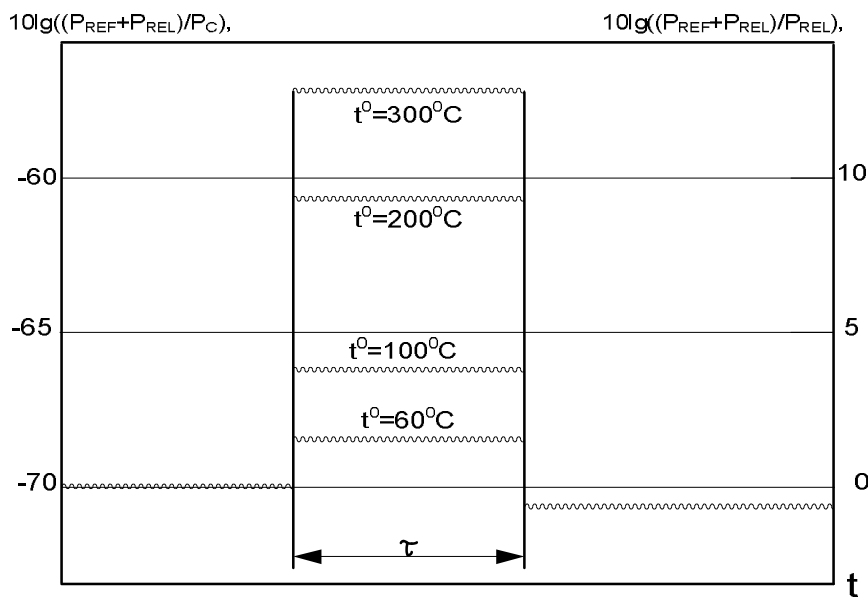


Рис. 4. Рефлектограма ділянки лінії з підвищеною температурою при різних значеннях температури ділянки

На рисунку зображено залежність рівня імпульсного відгуку від ділянки волокна з підвищеною температурою для різних рівнів температури.

Тут P_{REF} – потужність сигналу, відбитого від ділянки з аномальною температурою;

P_{REL} – потужність релеєвського розсіювання;

P_C – потужність імпульсного тестового сигналу.

Зліва наведено шкалу, що позначає рівень відбитого сигналу по відношенню до вхідного імпульсу. Справа наведено шкалу, що визначає рівень відбитого сигналу (величину сплеску f) по відношенню до рівня зворотного релеєвського розсіювання.

Як видно з графіків, користуючись рефлектометричними методами досліджень можна визначити на волоконно-оптичній лінії зв'язку місце знаходження ділянки волокна з підвищеною температурою. Крім того, завдяки зміні з температурою показника заломлення аномальної ділянки, можна оцінити температуру оптичного волокна. Так, наприклад, вже при температурі аномальної ділянки 40°C коефіцієнт відбиття від неї, згідно з розрахунками, складає 0,4 дБ, що можна визначити за допомогою рефлектометричного приладу, а при температурі 60°C – 1,4 дБ. Сучасні рефлектометричні прилади мають досить високу розрізняючу здатність (до 0,001 дБ), і тому можуть бути використані не тільки для визначення місця розташування аномальної ділянки, але й для оцінки її температури.

На рис. 5 наведено залежність величини сплеску відбитого імпульсного сигналу f від температури аномальної ділянки при тривалості імпульсу 10 нс.

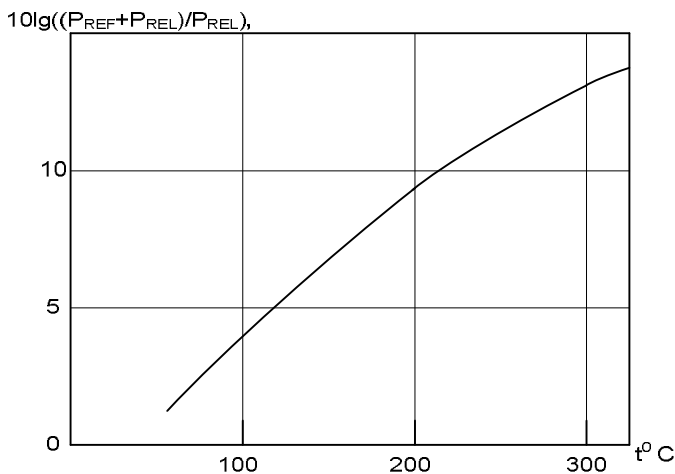


Рис. 5. Залежність величини сплеску відбитого імпульсного сигналу f від температури аномальної ділянки волокна ($\tau = 10$ нс)

штатному режимі (аномальних ділянок). Крім того, рефлектометричні методи дають можливість провести оцінку температури аномальних ділянок з досить високою точністю. Розрізнявальну здатність за відстанню та чутливість за температурою цього методу можна змінювати за рахунок вибору потрібного значення тривалості зонduючого імпульсу.

Для підвищення точності методу є доцільним перед прокладанням оптичної лінії з волокнами для моніторингу вздовж лінії електропередачі провести попереднє калібрування оптичних волокон, що застосовуються в оптичних кабелях для моніторингу, за допомогою термокамери. При цьому враховуються індивідуальні властивості конкретної партії оптичного волокна. Калібрування полягає у розміщенні відрізка волокна у термокамері та визначенні залежності коефіцієнту відбиття для аномального відрізка від його температури для різних значень тривалості зонduючого імпульсу.

Висновки. Як впливає з результатів, наведених в роботі, метод імпульсного рефлектометричного моніторингу оптичних волокон, що вмонтовані енергетичний кабель, або входять в склад оптичного кабелю, розташованого вздовж енергетичної лінії, дозволяє визначити наявність на лінії потенційно небезпечних ділянок з підвищеною температурою та місце їх розташування. Для повітряних ЛЕП можуть бути використані волокна в оптичних кабелях, розміщених у грозозахисному тросі, або у фазному проводі, а також намотаних на грозозахисний трос або лінійний провід. Висока чутливість методу дозволяє з достатньою точністю локалізувати місця на фазних провідниках та грозозахисних тросах з частково пошкодженими дротами з метою попередження аварійних подій. Велику перевагу надає методу і використання стандартних оптичних імпульсних рефлектометрів широко розповсюджених на волоконно-оптичних лініях зв'язку на відміну від спеціалізованого обладнання високої складності та вартості, яке лежить в основі існуючих методів моніторингу.

Як видно з графіків, навіть невелике, в межах норми, підвищення температури може бути зафіксоване та визначене. Для підвищення чутливості рефлектометричного методу необхідно зменшити тривалість зонduючого імпульсу. Так, наприклад, зменшення тривалості зонduючого імпульсу до 1 нс підвищує чутливість методу на 10 дБ. На додаток до цього, зменшення тривалості імпульсу підвищує розрізняючу здатність за відстанню.

Таким чином, рефлектометричні методи дозволяють визначити місце розташування на волоконно-оптичній лінії зв'язку ділянок волокна з температурою, що відрізняється від температури волокон, працюючих у

Таким чином, використання, удосконалення та розвиток імпульсних оптичних рефлектометричних методів моніторингу волоконно-оптичних ліній, прокладених уздовж енергетичних ліній, є перспективним напрямком подальшого прогресу щодо менеджменту та моніторингу енергетичних мереж України.

Література

1. Карпов К.Р. Мониторинг подземных высоковольтных кабельных сетей / К.Р. Карпов // Энергослужба предприятия. – 2007. – № 4(28).
2. Листвин А.В. Рефлектометрия оптических волокон / А.В. Листвин, В.Н. Листвин. – М.: ЛЕСАР арт, 2005. – 208 с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика: учеб. пособие для ВУЗ-ов. – [6-е изд.]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – С. 848.
4. ЗАТ «Опто-технологическая лаборатория», Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.optotl.ru/mat/SiO21>.

УДК УДК 621.391.2

Височіненко М.С., асп. (Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова)

АНАЛІТИКА ВІДВІДНОГО КАНАЛУ ТА ЇЇ СУЧАСНИЙ РОЗВИТОК

Височіненко М.С. Аналітика відвідного каналу та її сучасний розвиток. Розглянута в роботі концепція відвідного каналу дозволяє за рахунок спеціального випадкового надлишкового кодування і різниці в якості каналів для законного одержувача і аналітика досягти інформаційно-теоретичної стійкості обміну повідомленнями. При цьому допускається, що аналітикові відомо все про алгоритм кодування, про статистику каналу, тощо. Дана теорія отримала назву кодового захисту.

Ключові слова: КРИПТОГРАФІЯ, КОДОВИЙ ЗАХИСТ, ВІДВІДНИЙ КАНАЛ, НАДЛИШКОВЕ КОДУВАННЯ, ТЕОРЕТИЧНА СТІЙКІСТЬ

Высочиненко М.С. Аналитика отводного канала и ее современное развитие. Рассматриваемая в работе концепция отводного канала позволяет за счет специального случайного избыточного кодирования и разницы в качестве каналов для законного получателя и аналитика достичь информационно-теоретической устойчивости обмена сообщениями. При этом допускается, что аналитику известно все об алгоритме кодирования, о статистике канала и т.д. Данная теория получила название кодовой защиты.

Ключевые слова: КРИПТОГРАФИЯ, КОДОВАЯ ЗАЩИТА, ОТВОДНОЙ КАНАЛ, ИЗБЫТОЧНОЕ КОДИРОВАНИЕ, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Vysochinenko M.S. Analysis offtake and its modern development. Considered in the concept offtake allows by special occasional excess coding and the difference in quality channels for legitimate recipient and analytics to achieve information-theoretical sustainability messaging. It is assumed that the analyst knows all about coding algorithm, the channel statistics, and so on. This theory is called code protection.

Keywords: CRYPTOGRAPHY, CODE PROTECTION, BINNACLE, REDUNDANT CODING, THEORETICAL STABILITY

Постановка завдання. Криптограф, оцінюючи стійкість криптосистеми, як правило, імітує атаку на шифр з боку криптоаналітика противника. Для цього криптограф повинен побудувати модель криптоаналітика, в якій інтелектуальні, обчислювальні, технічні та інші можливості супротивника враховуються по максимуму або близькі до максимальних. Якщо оцінка стійкості, отримана з врахуванням екстремальних можливостей змодельованого супротивника, чимала і задовольняє вимогам, які пред'являються до даної криптосистеми, то криптограф робить висновок, що вона є практично стійкою [2]. При цьому бажано уточнити, впродовж якого терміну зроблений висновок відповідає дійсності, оскільки з часом можливості аналітика зростають. Сьогодні це перш за все відноситься до *обчислювальних* можливостей криптоаналітика в рамках заданої обчислювальної моделі та до *можливостей* переходу аналітика на нову, більше ефективну обчислювальну модель.