

О.В. ІВАНОВ, А.Ю. НЕСТЕРЕНКО, В.В. КАЛЮЖНИЙ  
Хмельницький національний університет

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

*Метою цієї статті є аналіз процесу моніторингу пасивних оптичних мереж. Враховуючи актуальність використання пасивних оптичних мереж, показано, що задача збору даних з пасивних оптичних мереж є актуальною і в цьому напрямку працюють фахівці у всьому світі задля забезпечення своєчасного виявлення та попередження несправностей. У статті розглянуто автоматизований моніторинг пасивних оптичних мереж і ранньої діагностики пошкоджень оптичного кабелю.*

*Ключові слова: пасивна оптична мережа (PON), сплітер, рефлектометр, оптичний кабель (ОК), оптичне волокно (ОВ), волокно-оптичні лінії передачі (ВОЛП), автоматизована система моніторингу.*

O.V. IVANOV, A.Y. NESTERENKO, V.V. KALIUZHNYI  
Khmelnitskyi National University

### ANALYSIS OF METHODS OF AUTOMATED MONITORING OF PASSIVE OPTICAL NETWORKS

*The purpose of this article is, basically, analysis of the process of monitoring of passive optical networks, consideration of the features of the information gathering process from passive optical networks. Given the active use of passive optical networks in the means of information transmission, there is a problem of control of passive optical networks, ensuring their uninterrupted operation, monitoring the state of the network and instantaneous response in the event of a failure in the passive optical network, and therefore this task is very relevant today. Accordingly, there is a need for research in methods and means of collecting information from passive optical networks in order to ensure effective monitoring of networks, which in turn will lead to faster troubleshooting or warning and network continuity, which is a very important task for all network participants, first of all for end users of the network. The method of automated monitoring of passive optical networks, the main task of which is to provide remote control of passive optical networks, timely detection of failures, to determine the exact location of the malfunction and timely notification, is analysed. The collection of information can be done either on a free network, which at the time of the collection of information does not transmit any data, and the network in which the traffic is transmitted. In the second case, other frequencies are used to collect information in order not to interfere with the flow of data users on the network. The presented system includes a remote testing module, a test access module, a monitoring system monitoring device based on a personal computer. The network monitoring system uses the principle of operation of the reflectometer, sending signals to the network at the required frequency, and receiving them back - calculations are carried out.*

*Keywords: Passive Optical Network (PON), splitter, reflectometer, optical cable (OC), optical fiber (OF), fiber optic transmission lines (AVLP), automated monitoring system.*

### Вступ

Розвиток мережі Internet, в тому числі поява нових послуг зв'язку, сприяє зростанню переданих мережею потоків даних і змушує операторів шукати шляхи збільшення пропускної спроможності транспортних мереж.

Розподільна мережа доступу PON, заснована на деревовидній волоконній кабельній архітектурі з пасивними оптичними сплітерами на вузлах, можливо, є найбільш економічною і здатна забезпечити широкопasmову передачу різноманітних додатків. Головна ідея PON — забезпечити високу пропускну здатність для ліній передач інформації. Для безперебійної роботи PON необхідно проводити моніторинг стану оптичних пасивних мереж.

З врахуванням вище сказаного, аналіз методу моніторингу пасивних оптичних мереж є актуальним науково-технічним завданням, вирішенню якого присвячена дана магістерська робота.

### Постановка задачі

Існуючі, на даний момент, методи моніторингу пасивних оптичних мереж, вимагають аналізу та подальшого розвитку в аспектах, що стосуються автоматизації процесу збору інформації щодо стану мережі.

У результаті проведеного огляду доведено актуальність завдання моніторингу PON, яке потребує розбудови семантичних моделей, а також інформаційно-пошукових алгоритмів.

Для подальшої роботи була сформульована мета розробки автоматизованого моніторингу пасивних оптичних мереж.

### Основна частина

Незалежно від методу контролю оптичних волокон (ОВ) системи моніторингу повинні забезпечувати дистанційний контроль пасивних і активних оптичних кабелів (ОК), точне і своєчасне документування, автоматичне виявлення несправностей з вказанням їх точного місця знаходження, контроль і керування процесом сповіщення про пошкоджені ОК.

Найбільш ефективно перераховані задачі можуть бути розв'язані за допомогою систем автоматичного моніторингу волоконно-оптичних ліній передачі (ВОЛП), включаючи систему віддаленого контролю ОВ, програму прив'язки топологій мережі до електронної географічної карти місцевості, а також бази даних оптичних компонентів, критеріїв і результатів контролю. Дистанційний контроль ОВ здійснюється оптичним імпульсним рефлектометром (OIP), діагностуючим стан ОК по зворотному розсіюванню світлової хвилі при введенні в ОВ зондуючих імпульсів. При цьому системи можуть проводити

моніторинг як вільних, так і зайятих ОВ.

В першому випадку виконується моніторинг вільних резервних ОВ, стану яких відповідає справність всього ОК.

В другому випадку проводиться моніторинг ОВ, через який передається трафік систем передачі. Для реалізації даного метода тестування використовується робоча довжина хвилі рефлектометра, відмінна від робочої довжини хвилі систем передачі, а в схему мережі моніторингу вводиться ряд пасивних оптичних компонентів для мультиплексування і розподілу інформаційних сигналів рефлектометра.

Для забезпечення довголітньої роботи необхідні відповідні умови, і головна з них – відсутність механічної напруги у волокні. Підвищений натяг волокна в кабелі викликає деградацію його цілісних характеристик, що врешті-решт призводить до обриву волокна. Навіть незначний натяг волокна може призвести до багатократного скорочення строку служби. Звичайні ОІР не в стані визначити натяг волокна, оскільки величина оптичних втрат при виникненні натягу в ОВ, як правило, залишається в межах норми аж до моменту виникнення незворотних змін у волокні. Для розв'язання цієї задачі були розроблені брілюєновські рефлектометри, які не тільки вимірюють оптичні властивості, а й на їх основі дозволяють прогнозувати обрив волокна.

Автоматизовані системи моніторингу, як правило складаються з системи віддаленого контролю ОВ (Remote Fiber Test System – RFTS – ядро системи), програми прив'язки топології мережі до географічної карти місцевості, бази даних оптичних компонентів, критеріїв і результатів контролю.

Основу архітектури системи RFST в загальному випадку складають наступні функціональні елементи:

1. Віддалений модуль тестування ОВ (Remote Test Unit – RTU)
2. Модуль доступу для тестування ОВ (Optical Test Access Unit – OTAU)
3. Пристрій керування системою моніторингу на базі персонального комп'ютера (Test System Control – TCS)
4. В системах RFTS виділяють наступні функціональні елементи (рис. 1):
5. Апаратна частина (центральный блок керування TCS, станції контролю мережі (Optical Network Terminal – ONT), блоки дистанційного тестування волокон RTU, OTAU і т.д.);
6. Системи керування;
7. Геоінформаційна система прив'язки топологій мережі до карти місцевості;
8. Бази даних ОК, обладнання мережі, критеріїв і результатів тестування ОК ВОЛП.

В склад віддаленого модуля тестування входять один чи два оптичних модуля рефлектометра, набір інтерфейсних плат для забезпечення зв'язку між компонентами системи, плата комп'ютера для зберігання і обробки даних в процесі моніторингу.

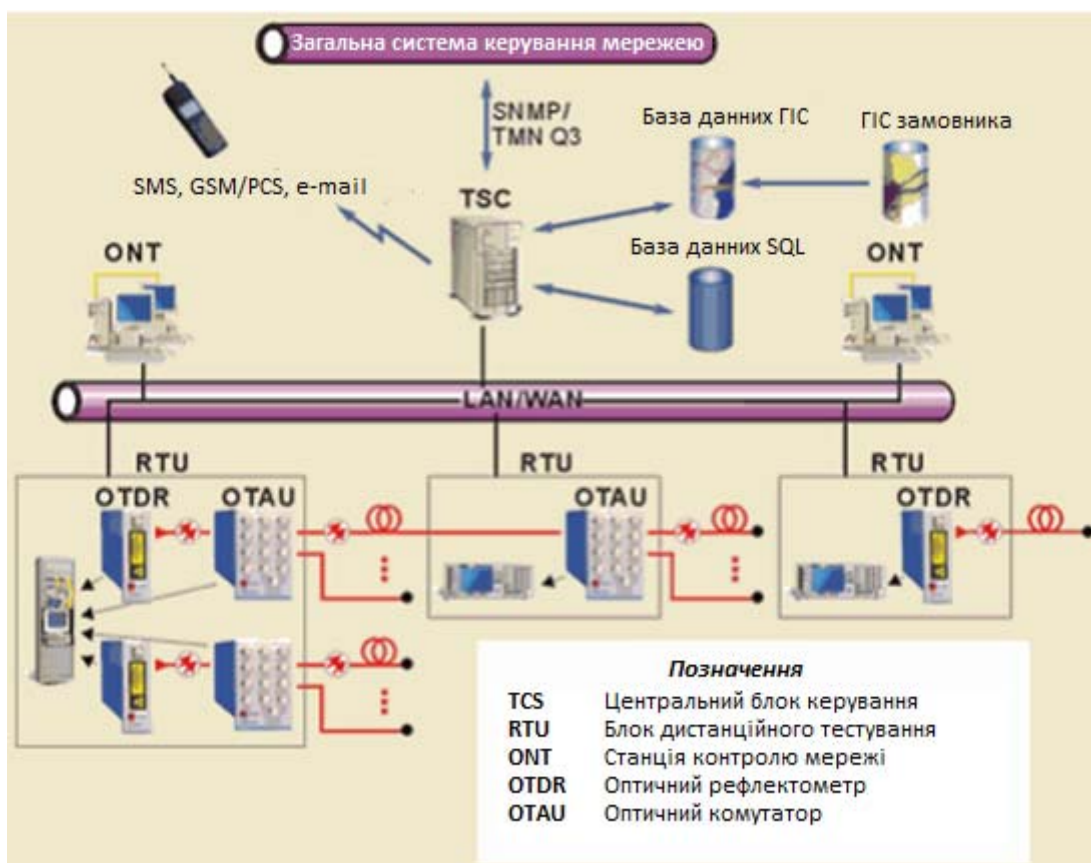


Рис. 1. Архітектура системи RFST

ОІР оперативно надає наглядну інформацію, що дозволяє судити про якість ВОЛП, дає можливість виявити і локалізувати підозрілі ділянки. Враховуючи можливі джерела помилок і прийнявши заходи з їх усунення, за допомогою ОІР можна проводити вимірювання втрат на з'єднувачах і на інших ділянках ВОЛП.

Оптичний рефлектометр періодично знімає дані по загасанню з підключених до нього оптичних волокон мережі. Кожна отримана рефлектограма порівнюється з еталонною, що відбиває зазвичай початковий стан волокна. Якщо відхилення від норми перевищує певні, заздалегідь встановлені пороги (попереджувальний або аварійний), то відповідний блок RTU автоматично посилає на центральний сервер системи попередження або повідомлення про несправності. Усі рефлекторами також надходять на центральний сервер, який зберігає їх в базі даних для подальшої обробки. Центральний сервер системи забезпечує доступ до всіх результатів тестування волокон для будь-якої станції контролю мережі і автоматично розсилає повідомлення про несправності в залежності від рівня серйозності події на заздалегідь задані IP- або електронні адреси, пейджери і телефони, вузли обслуговування ВОЛП. Формула потужності світлової хвилі на вході ОІР має вигляд :

$$P(t) = 0,5P_0\Delta t S\alpha v_g \exp(-\alpha v_g t), \quad (1)$$

а якщо виразити через відстань, то

$$P(x) = 0,5P_0\Delta t S\alpha v_g \exp(-2\alpha x), \quad (2)$$

де  $P_0$  і  $\Delta t$  – відповідно, значення потужності і тривалості імпульсу випромінювання на вході ОВ;  $S$  – параметр розсіювання ОВ;  $\alpha$  – коефіцієнт затухання ОВ;  $v_g$  – групова швидкість розповсюдження випромінювання по ОВ.

З формул (1) і (2) слідує, що потужність зворотно розсіяної світлової хвилі прямо пропорційне потужності  $P_0$  на вході ОВ, тривалості  $\Delta t$  імпульса потічного випромінювання і параметрам  $S$  і  $\alpha$  ОВ, а також залежить від функції, пропорційній затуханню і груповій швидкості  $v_g$ .

Якщо коефіцієнт затухання і коефіцієнт зворотно розсіювання залишаються постійними по всій довжині ОВ, то  $P(x)$  спадає від початку ОВ експоненціально. Через стрибки показника повідомлень (ПП), в початку і в кінці ОВ відносно невелика частина світлової потужності в цих місцях розсіюється назад, що зумовлює присутність піків в початку та кінці рефлектограми.

По часовому інтервалу  $\Delta t$  між двома піками, а також провалинами, відповідним зосередженням втратам, можна розрахувати довжину хвилі ОВ, і координати вказаних вище неоднорідностей:

$$L = \frac{\Delta t c_0}{2 n_g}, \quad (3)$$

де  $c_0$  – швидкість світла в вакуумі,  $n_g$  – груповий ПП в серцевині ОВ.

Крім виявлення нерегулярностей, ОІР дозволяє оцінювати втрати в з'єднаннях і на ділянках ВОЛП (рис. 1).

Коефіцієнт втрат ВОЛП розраховуються за формулою (4)

$$a[\text{дБ}] = 5 \cdot 1g(P_2 / P_1), \quad (4)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – рівні оптичної потужності на рефлектограмі, відповідні початку і кінцю зондуєчій ВОЛП.

Внаслідок того, що світло проходить вперед і назад, тут використовується коефіцієнт 5, замість коефіцієнта 10, використовуваного в аналогічному рівнянні для метода світлопропускання.

Подальшим вдосконаленням методики виміру являється калібровка вертикальної шкали пристрою безпосередньо в одиницях вимірюваних втрат. При цьому втрати  $\alpha_{1-2}$  для будь-якої ділянки між точками  $L_1$  і  $L_2$ , визначаються за формулою:

$$\alpha_{1-2}[\text{дБ}] = \alpha(L_2) - \alpha(L_1), \quad (5)$$

де  $\alpha(L_1)$  і  $\alpha(L_2)$  – втрати ВОЛП від початку координат  $L_2$  і  $L_1$  відповідно.

В цілях зменшення впливу власних шумів ОІР на похибку вимірювань використовується математичний апарат регресивного аналізу – апроксимація фрагментів рефлектограми лінійної регресивної залежності методом найменших квадратів (рис. 2)

$$y = \alpha + bx \quad (6)$$

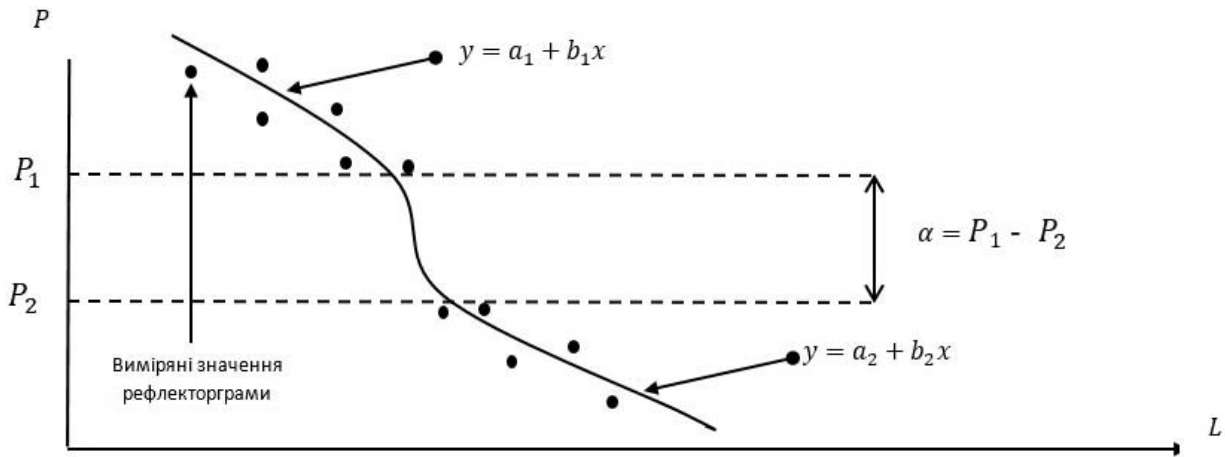


Рис. 2. Апроксимація рефлектограми за методом найменших квадратів

Параметри апроксимації  $\alpha i b$  визначаються за формулами:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i' \sum_{i=1}^n (X_i')^2 - \sum_{i=1}^n X_i' \sum_{i=1}^n X_i' Y_i'}{n \sum_{i=1}^n (X_i')^2 - (\sum_{i=1}^n X_i')^2}, \quad (7)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i' Y_i' - \sum_{i=1}^n X_i' \sum_{i=1}^n Y_i'}{n \sum_{i=1}^n (X_i')^2 - (\sum_{i=1}^n X_i')^2}, \quad (8)$$

де  $X_i$  – оцінка математичних очікувань вимірюваних координат  $L_i$ ;  $Y_i$  – оцінка математичних очікувань вимірюваних значень втрат в координатах  $L_i$ ;  $n$  – кількість відліків на ділянці апроксимації.

Застосування регресії лінійного рівня забезпечує достатню точність апроксимації, так як відповідає поведінці згасання світла в ОВ.

Для автоматичного заміру затухання з'єднання ОВ в ОІР найбільше застосування знайшов спосіб п'яти точок, реалізований в рефлектометрах країн СНГ. Згідно з цим способом, оператор в режимі «Вимірювання затухання на стиках ОВ» розташує п'ять маркерів (рис. 3): два (1 і 2) – на монотонно спадаючій ділянці характеристики одної довжини, два маркери (4 і 5) – на монотонно спадаючій ділянці другої довжини і один маркер (3) – в місці стику.

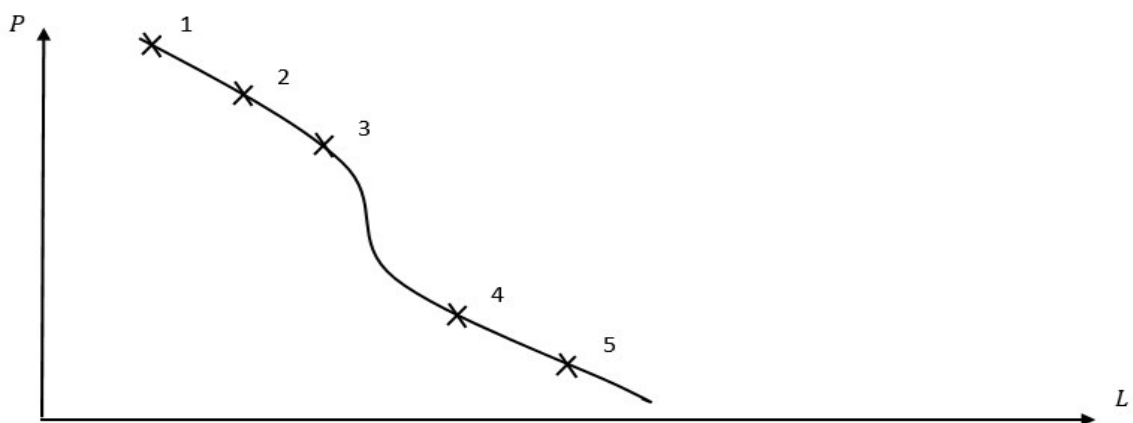


Рис. 3. Розміщення п'яти маркерів при замірі затухання на стиках ОВ

Маркери 1, 2 і 4, 5 не повинні попасти на провали характеристики. В режимі лінійної апроксимації по звіту рефлектограми між межами 1–2 і 4–5 вираховуються параметри  $\alpha i b$  лінійної регресії. Відстань по осі координат між цими прямими в точці установки маркера 3 пропорційна шуканому значенню затухання в місці стику.

#### Висновок

Враховуючи той факт, що пасивні оптичні мережі, наразі, активно розвиваються і набувають все більш широкого використання, є актуальною розробка системи моніторингу і ранньої діагностики

пошкоджені ОК зв'язку, що дозволить обслуговуючому персоналу в масштабі реального часу (практично миттєво) визнавати, де стався збій і який рівень втрат у волокні ОК ВОЛП. Це в десятки разів скорочує час пошуку несправностей і спрощує проведення профілактичного обслуговування ВОЛП. Враховуючи розміри сучасних цифрових волоконно-оптичних мереж, важливість і об'єми передаваної ними інформації, економічну ефективність застосування системи моніторингу важко переоцінити.

### Література

1. Некрасов С. Е. Системи дистанційного моніторингу ОК / С. Е. Некрасов // Технологии и средства связи. – 2006. – № 5. – С. 28–32.
2. Богачков И. В. Импульсно-рефлектометрические методы измерения параметров волоконно-оптических линий передачи : монография / И. В. Богачков, Горлов Н. И. ; Омский гос. техн. ун-т, Сибирский гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. – 136 с. – ISBN 5-8149-0515-8.
3. Богачков И. В. Измерение характеристик волоконно-оптических линий связи с помощью импульсно-рефлектометрических методов : монография / И. В. Богачков, Н. И. Горлов ; Омский гос. техн. ун-т, Сибирский гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2008. – 188 с. – ISBN 978-5-8149-0623-6.
4. Богачков И. В. Новые задачи технической эксплуатации разветвленных волоконно-оптических сетей / И. В. Богачков, В. А. Масйтренко, Н. И. Горлов ; Омский гос. техн. ун-т, Сибирский гос. ун-т телекоммуникаций и информатики // Тр. IX Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТТТ-2008. – Казань : Изд-во КГТУ, 2008. – С. 282–283. – ISBN 978-5-7579-1196-0.
5. Горлов Н. И. Методы и средства измерений параметров волоконно-оптических линий передачи : монография / Н. И. Горлов, И. В. Богачков ; Омский гос. техн. ун-т, Сибирский гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. – М. : Радиотехника, 2009.
6. Гроднев И. И. Волоконно-оптические линии связи / Гроднев И. И. – М. : Радио и связь, 2007. – 224 с.
7. Алексеев Е. Б. Оптические сети доступа / Алексеев Е. Б. – М. : ИПК при МТУ СИ, 2007. – 140 с.
8. Крухмалев В. В. Основы проектирования и технической эксплуатации цифровых волоконно-оптических систем передачи / В. В. Крухмалев, В. Н. Гордиенко, А. Д. Моченов. 2009. – 510 с.

### References

1. Nekrasov S. E. Sistemi distancionnogo monitoringa OK / S. E. Nekrasov // Tehnologii i sredstva svyazi. - 2006. - № 5. - S. 28-32.
2. Bogachkov I. V. Impulsno-reflektometricheskie metody izmereniya parametrov polokonno-opticheskikh linij peredachi : monografiya / I. V. Bogachkov, Gorlov N. I. ; Omskij gos. tehn. un-t, Sibirskij gos. un-t telekommunikacij i informatiki. - Omsk : Izd-vo OmGTU, 2007. - 136 s. - ISBN 5-8149-0515-8.
3. Bogachkov I. V. Izmerenie harakteristik volokonno-opticheskikh linij svyazi s pomoshyu impulsno-reflektometricheskikh metodov : monografiya / I. V. Bogachkov, N. I. Gorlov ; Omskij gos. tehn. un-t, Sibirskij gos. un-t telekommunikacij i informatiki. - Omsk : Izd-vo OmGTU, 2008. - 188 s. - ISBN 978-5-8149-0623-6.
4. Bogachkov I. V. Novye zadachi tehnicheckoj ekspluatatsii razvetvlennykh volokonno-opticheskikh setej / I. V. Bogachkov, V. A. Masjtrenko, N. I. Gorlov ; Omskij gos. tehn. un-t, Sibirskij gos. un-t telekommunikacij i informatiki // Tr. IX Mezhdunarod. nauch.-tehn. konf. «Problemy tehniki i tehnologij telekommunikacij» PTiTT-2008. - Kazan : Izd-vo KGTU, 2008. - S. 282-283. - ISBN 978-5-7579-1196-0.
5. Gorlov N. I. Metody i sredstva izmerenij parametrov volokonno-opticheskikh linij peredachi : monologiya / N. I. Gorlov, I. V. Bogachkov ; Omskij gos. tehn. un-t, Sibirskij gos. un-t telekommunikacij i informatiki. - M. : Radiotehnika, 2009.
6. Grodnev I. I. Volokonno-opticheskie linii svyazi / Grodnev I. I. - M. : Radio i svyaz, 2007. - 224 s.
7. Alekseev E. B. Opticheskie seti dostupa / Alekseev E. B. - M. : IPK pri MTU SI, 2007. - 140 s.
8. Kruhmaliev V. V. Osnovy proektirovaniya i tehnicheckoj ekspluatatsii cifrovyyh volokonno-opticheskikh sistem peredachi / V. V. Kruhmaliev, V. N. Gordienko, A. D. Mochenov. 2009. - 510 s.

Рецензія/Peer review : 6.5.2019 р. Надрукована/Printed : 2.6.2019 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Говорущенко Т.О.