

## **ФОРМУВАННЯ ТА ЦИФРОВЕ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ У КОМП’ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ З ВІДКРИТИМИ ОПТИЧНИМИ КАНАЛАМИ**

© Гринчишин Т. М., 2015

**Розглянуто розвиток сучасних комп’ютерних систем з відкритими оптичними інформаційними каналами, їх архітектуру та основні засади впливу завад та загасання оптичного сигналу. Запропоновано бісигнальний метод передавання оптичних даних, що дає змогу значно підвищити дальність передавання оптичних даних.**

**Ключові слова:** оптичний канал, оптичний активний ретранслятор (OAR), розподілена комп’ютерна мережа (РКМ).

**In this article the development of modern computer systems with open optical information channels is described, considered building their architecture and basic principles of impact noise and attenuation of the optical signal were considered. A bisignal optical data transfer method that allows to significantly improve the range of optical data transmission is suggested.**

**Key words:** optical channel, optical active repeater (UAR), distributed computer network (RCM).

### **Вступ. Загальна постановка проблеми**

Відкритий атмосферний оптичний канал – це інформаційне середовище, носієм сигналів в якому є світло. Порівняно з іншими видами зв’язку оптичний канал передає дані з широкою смугою пропускання та відповідно з великими швидкостями. Перевагою FSO-технології є відсутність обмежень на придбання ліцензії для роботи лазерів в атмосфері, оскільки частота випромінювання багатьох лазерних систем знаходиться далеко поза межами 400–600 ГГц. Дальність відкритих оптичних систем безпосередньо залежить від умов розповсюдження оптичного сигналу в атмосфері та становить, за умов відсутності завад, до 7 кілометрів, при швидкості прийому-передачі до 622 Мбіт/с. Для всіх пристроїв, що використовуються в комп’ютерній мережі, до якої під’єднано оптичну систему, не вимагається додаткових протоколів зв’язку або змін/доповнень до таких протоколів. Передають сигнали по безпроводному оптичному з’єднанню так само, як волоконно-оптичними системами. Відрізняються лише середовища, у яких поширюється промінь. Деякі моделі лазерних модемів мають інтерфейси до мережі Ethernet.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Найважливіша особливість безпроводного оптичного зв’язку – високий ступінь захищеності каналу від несанкціонованого доступу. Несанкціоноване перехоплення каналу ускладнено, оскільки для цього необхідна точна спрямованість променя та застосування унікального для кожної моделі методу кодування інформації імпульсами випромінювання. Подальше вдосконалення оптичних каналів в телекомунікаційних системах визначає актуальність розроблення нових методів передавання. Сьогодні існують оптичні відкриті системи різних типів та характеристик. Найвідоміші фірми-виробники відкритих оптичних систем та технічні характеристики цього обладнання наведено в таблиці. Устаткування типу SkyCell компанії PAV Data Systems забезпечує оптичний зв’язок за умов прямої видимості до 4 км. Модель SkyNet ATM-4000 використовує трилазерний передавач з вихідною потужністю 300 мВт. При цьому швидкість передавання даних становить 155 Мбіт/с, інтерфейс ATM OC-3. У компанії LightPointe існує високошвидкісне рішення FlightSpectrum, що забезпечує передавання даних на швидкостях 52, 155, 622 Мбіт/с, 1.25 Гбіт/с.

Система забезпечує дальність передавання до 4 км. Для досягнення швидкості 1,25 Гбіт/с у пристроях застосовуються спеціальні оптичні підсилювачі EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Для організації високошвидкісних безпроводних каналів зв'язку можна використовувати устаткування SONAbeam 155M, виробника FSONA [80] (швидкості 155, 622 і 1028 Мбіт/с на відстані до 10 км), Hybrid FSO/Radio компанії AirFiber (інтегровані можливості FSO і РЛЗ і швидкості до 1,25 Гбіт/с), моделі TereScore 1000 виробника MRV (інтерфейс Gigabit Ethernet на відстані до 2 км).

### Основні виробники обладнання відкритих оптичних систем FSO

Фірма	Країна	Основна продукція
НПК "Катарсис"	Росія	БОКС-10М, БОКС-10МПД
Astroterra Corporation	США	TerraLink 1000, 2000, 3000
ATSchindler Communications	Канада	FiRLAN ET3XX; MT3XX; TR5XX;
Cablefree Solutions Ltd.	Великобританія	CableFree 500, 1000, Lite, Cell-Link
Crown-Tech Ltd.	Великобританія – Угорщина	Серії: LaserBit LB-EXXXE10, LB-EXXXE100,
Jolt Ltd.	Ізраїль	PHL 8XX, 940; UWIN4400, 3XXX, 8XX
PAV Data Systems Ltd.	Великобританія	SkyCell E1,E2,E3; SkyNet 300, 400,

### Виділення проблеми

Дослідження архітектури сучасних комп'ютерних мереж з відкритими оптичними системами показало, що такі системи мають чотири класи, які відрізняються системними параметрами та архітектурою (рис.1). На рисунку позначено: ОУ – об'єкт управління; КМ – комп'ютерна мережа; ОАР – оптичний активний ретранслятор; ОСР – оптичний сканований ретранслятор; СОМ – сканований оптичний модулятор.

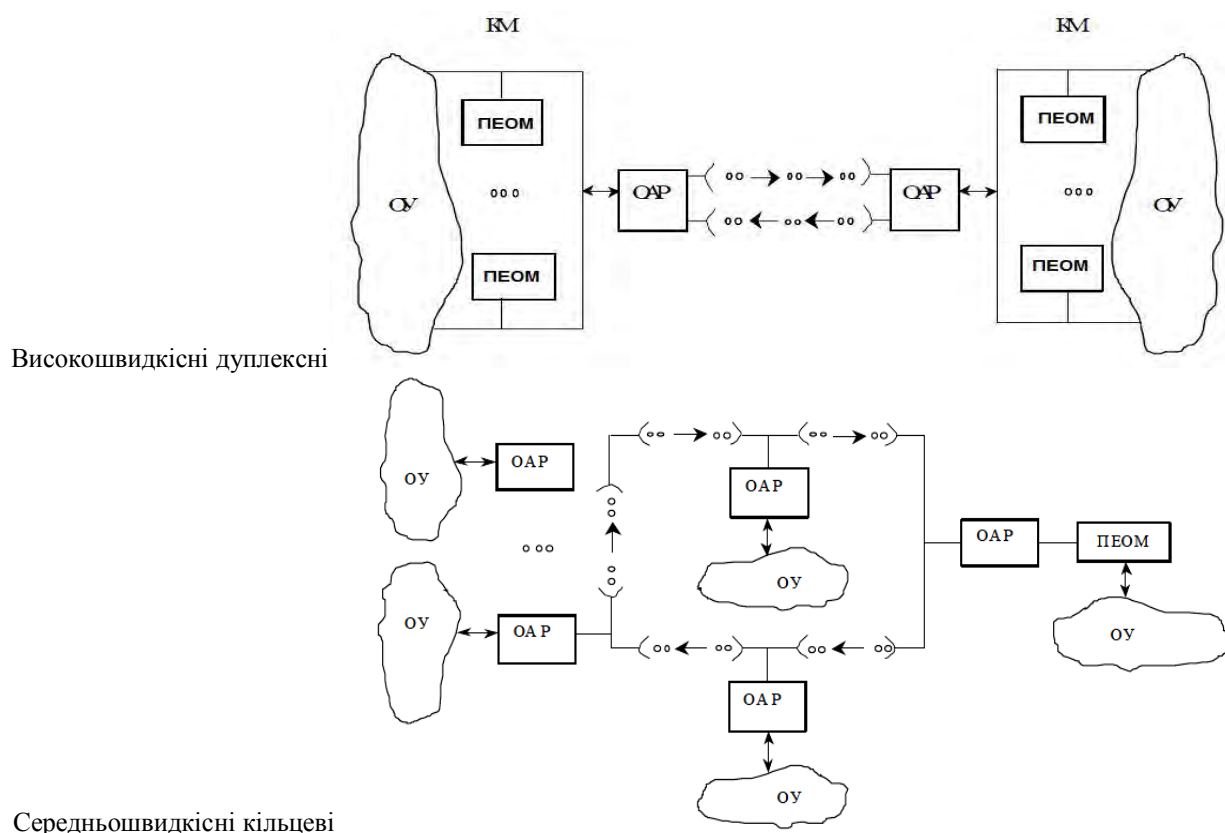


Рис.1. Архітектури відкритих оптичних мереж

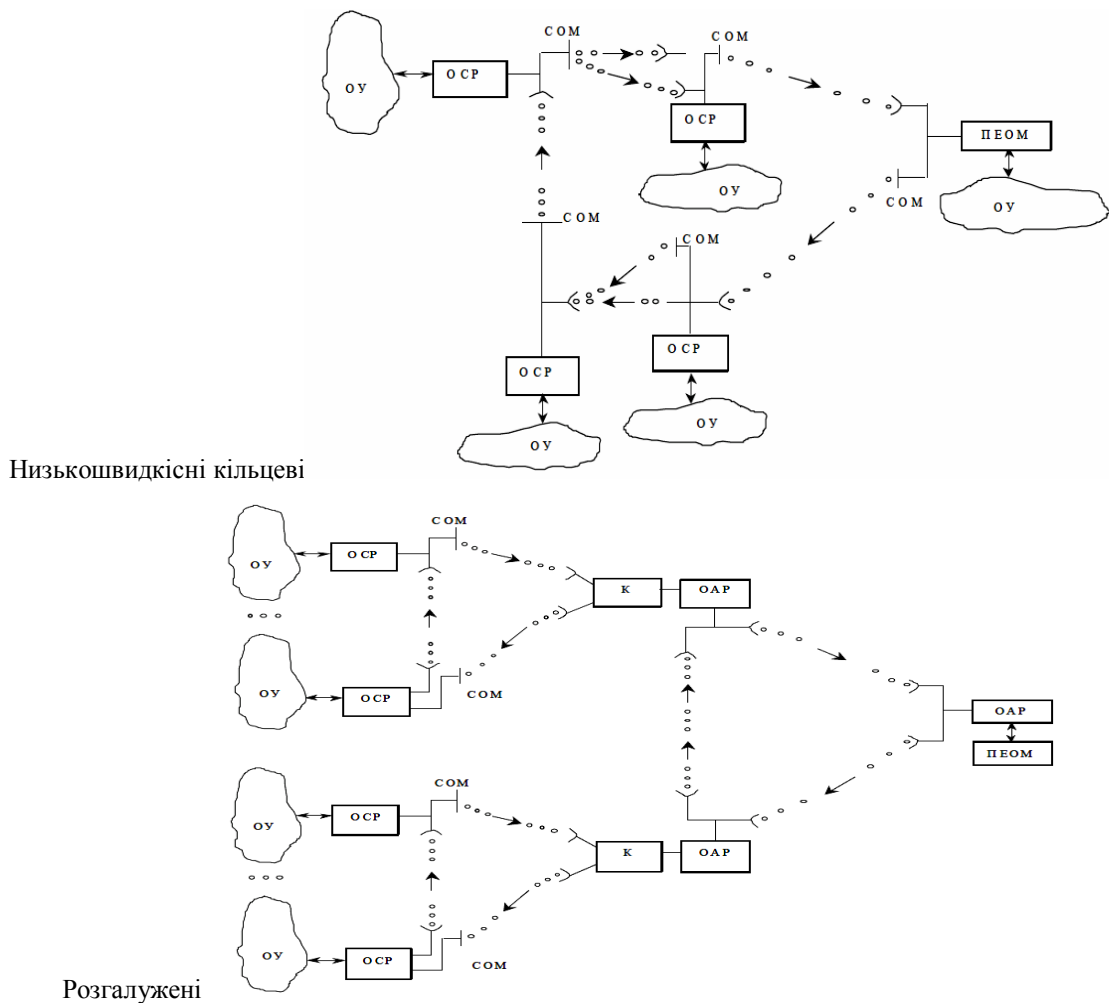


Рис. 1 (продовження). Архітектури відкритих оптичних мереж

### Виділення недоліків

Високошвидкісна розподілена комп'ютерна мережа (РКМ), як правило, використовується для об'єднання двох віддалених комп'ютерних мереж, що обслуговують окремі розподілені ОУ. Найважливіша вимога до такої РКМ – максимальна швидкість передавання даних у дуплексному режимі за відносно невеликих віддалей між ОАДМ, що не перевищують одного кілометра. Основним недоліком масового застосування та впровадження таких РКМ є висока вартість ОАДМ, оснащених потужними лазерними випромінювачами.

Середньошвидкісна РКМ, організована на базі кільцевої естафетної архітектури, є перспективною для широкого класу розподілених ОУ. Швидкість передавання даних в таких мережах може бути обмежена до 10 Мбіт/с, а віддалі між ОАДМ – до 3 км. Головним обмеженням широкого застосування таких РКМ ВОК є жорсткі кліматичні умови експлуатації ОАДМ, малі габарити та низька вартість.

Кільцева та розгалужена низькошвидкісні РКМ ВОК, організовані на основі СОМ, забезпечують самоюстування випромінювача і приймача ОСР при значних кутових та лінійних переміщеннях СОМ. Це дозволяє розміщати СОМ на висотних будинках, вишках. Недоліком вважається низька швидкодія СОМ портів.

### Формулювання мети

Головним обмеженням щодо швидкості передавання даних розглянутих архітектур є відносно невисока пропускна здатність оптичного модулятора

Перспективним є розвиток мультिकанальних методів формування та оброблювання мультисигналів. Переваги цієї оптичної архітектури в тому, що використовуючи водночас два лазери при передаванні даних, вирішується завдання усунення впливу мультиплікативних завад в

оптичних каналах. РКМ на основі відкритих оптичних каналів (ВОК) добре пристосовані для інформаційного забезпечення розподілених, територіально віддалених та спеціальних ОУ, тому при вирішенні проблем їх створення оперативно повинні вирішуватись завдання глибокого дослідження ОУ як джерел інформації та розроблення їх інформаційних моделей.

### Аналіз отриманих наукових результатів. Основна частина

Особливістю біоптичних каналів зв'язку є реалізація диференціальних принципів приймання сигналів [2–5]. Для реалізації такої оптичної системи передавання даних необхідно враховувати експоненціальний характер загасання оптичних сигналів у повітряному середовищі (рис. 2).

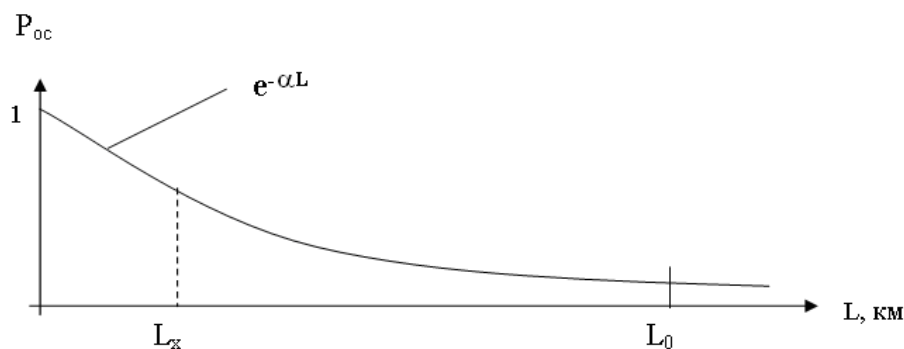


Рис. 2. Характеристика загасання оптичних сигналів у повітряному середовищі:  
 $\alpha$  – коефіцієнт загасання ( $0 < \alpha < 1$ );  $L_0$  – базова віддаль передавання оптичного сигналу із заданою швидкістю  $V_0$  із заданою заводозахисністю  $P_0$  в повітряному середовищі;  $L_x = L_0/3$  – базова віддаль передавання оптичного сигналу з параметрами  $V_0, P_0$  в умовах атмосферних завод

Нехай оптичний сигнал передається двома променями з однаковим коефіцієнтом загасання (рис. 3).

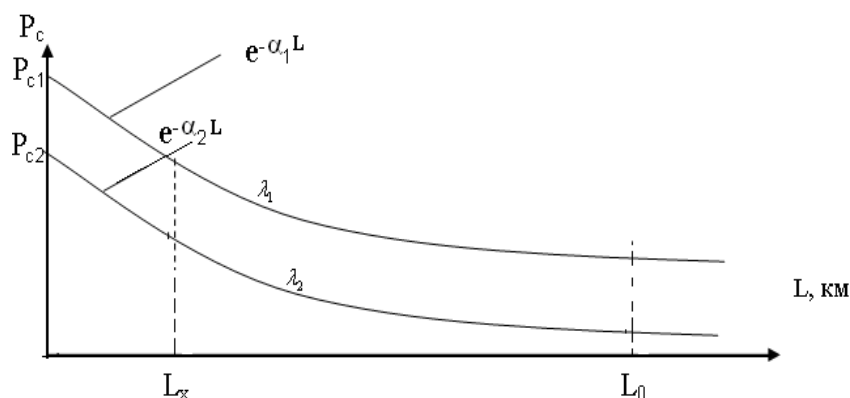


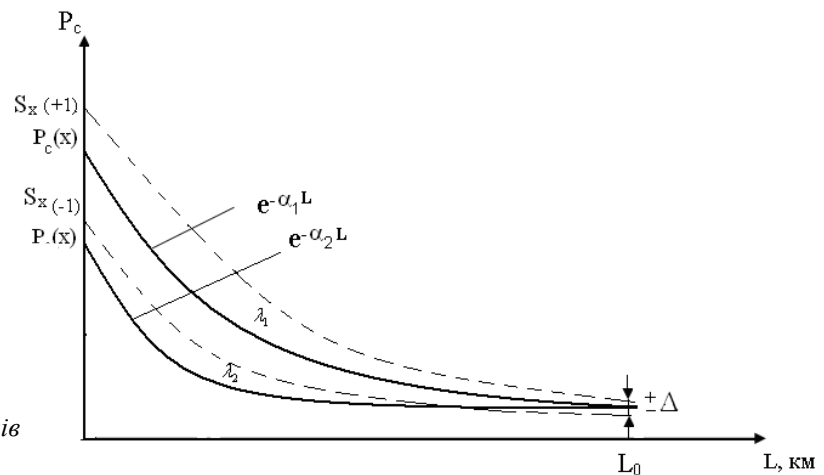
Рис. 3. Характеристика загасання двох оптичних сигналів у повітряному середовищі за однакового коефіцієнта загасання

У цьому випадку із послабленням оптичних сигналів за дії атмосферних завод та збільшенням віддалі передавання даних два оптичні промені загасають одночасно, ускладнюючи процеси компенсації впливу мультиплікативних завод.

### Отримані результати

У випадку, коли передавання оптичних даних реалізується за допомогою двох променів з різними довжинами хвиль, один з яких є опорний, а інший інформаційний, загасання променів матиме такий вигляд, як на рис. 4, де показано модель загасання біоптичних сигналів, які формуються двома джерелами світла з різними коефіцієнтами загасання.

Рис.4. Характеристики загасання біоптичних сигналів в атмосфері:  $P_c(x)$  та  $P_0(x)$  – потужність передавання інформаційного та опорного сигналів



У цьому випадку  $\alpha_c > \alpha_0$ , тоді в точці  $x=0$  функція  $P_c(0)$  відрізняється від  $P_0(0)$  на  $\Delta_0$ , і, згідно з умовою збіжності функцій  $P_c(L)$  і  $P_0(L)$  можна записати такі рівності:

$$P_c(0) = P_0(0) + \Delta_0(0), \quad P_c(L) = P_0(L) + \Delta_0(L), \quad \Delta_0(L) \rightarrow 0. \quad (1)$$

Розглянемо аналітичні вирази  $P_c(x)$  та  $P_0(x)$  у точці  $x = L_0$ :

$$P_c(L) = P_c e^{-a_c k_a L}, \quad P_0(L) = P_0 e^{-a_0 k_a L}. \quad (2)$$

Віднявши ці рівності, отримуємо:

$$P_c(L) - P_0(L) = P_c e^{-a_c k_a L} - P_0 e^{-a_0 k_a L}. \quad (3)$$

Оскільки в точці  $x=L_0$  виконується умова  $P_c(L) \rightarrow P_0(L)$ , то

$$P_c e^{-a_c k_a L} = P_0 e^{-a_0 k_a L}, \quad (4)$$

Після логарифмування виразу (4), із застосуванням основної логарифмічної тотожності та властивостей логарифмів матимемо:

$$\ln P_c - a_c k_a L = \ln P_0 - a_0 k_a L. \quad (5)$$

Використовуючи співвідношення (5) та властивість різниці логарифмів, отримуємо:

$$\ln \left( 1 + \frac{\Delta_0(L)}{P_0(L)} \right) = a_c k_a L - a_0 k_a L. \quad (6)$$

Згідно з наближенням  $\Delta_0(L) \rightarrow 0$  можна стверджувати, що ліва частина рівняння (6) прямує до нуля. Тому рівняння (5) набуде вигляду  $a_c k_a L = a_0 k_a L$ , отже, в точці  $x = L_0$  виконується рівність  $a_c = a_0$ .

Вважаємо, що модулююча складова хвилі під час передавання інформації враховується додаванням або відніманням в правій частині модулюючого доданка  $\Delta_c$ . Тоді вираз (2) трансформується:

$$P_c(L) = P_c e^{-a_c k_a L} \pm \Delta_c e^{-a_c k_a L}; \quad (7)$$

$$P_0(L) = P_0 e^{-a_0 k_a L} - \Delta_0 e^{-a_0 k_a L}. \quad (8)$$

Віднявши рівняння (7) від (8), після спрощення отримуємо:

$$P_c(L) - P_0(L) = P_c (e^{-a_c k_a L} - e^{-a_0 k_a L}) \pm \Delta_c e^{-a_c k_a L} + \Delta_0 e^{-a_0 k_a L}. \quad (9)$$

Згідно з умовою  $a_c = a_0$ , перший доданок в правій частині отриманого рівняння прямує до нуля і оскільки  $\Delta_0(L) \rightarrow 0$ , то останній доданок правої частини також прямує до нуля.

Тоді матимемо:

$$P_c(L) - P_0(L) = \pm \Delta_c e^{-a_c k_a L}. \quad (10)$$

У логарифмічному масштабі згідно з виразом отримуємо лінійні характеристики загасання сигналів залежно від віддалі  $L_0$  (рис. 5).

$$P_c(L) - P_0(L) = \pm \Delta_c e^{-a_c k_a L}. \quad (11)$$

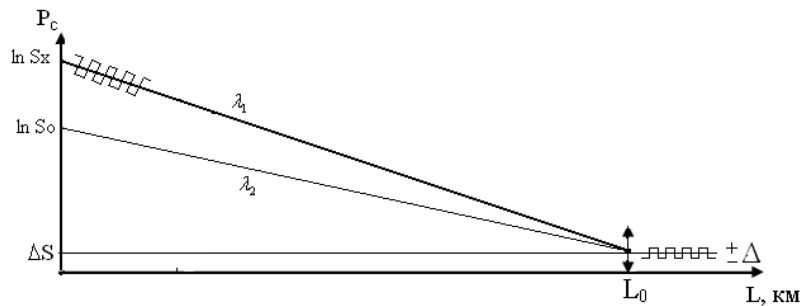


Рис. 5. Характеристики загасання біоптичних сигналів в логарифмічному масштабі

За цим методом можна побудувати структуру біотичного ретранслятора (рис. 6), що дає змогу значно збільшити відстань передавання оптичних даних.

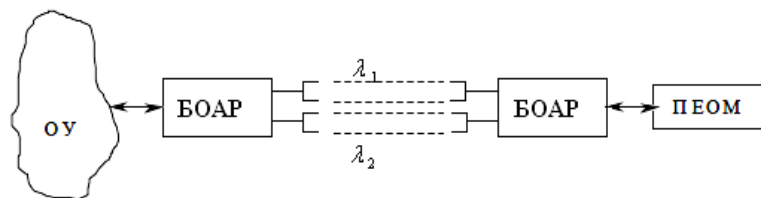


Рис.6. Структура оптичної лінії зв'язку комп'ютерних мереж з відкритим оптичним каналом на основі біполярних лазерів:  $\lambda_1, \lambda_2$  – частоти двох біполярних лазерів; БОАР – біоптичний активний ретранслятор

### Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

Залежно від параметрів завад, які виникають внаслідок дії атмосферних явищ  $k_a$  (туман, дощ, сніг, пил), а також порушення юстування лазерних випромінювачів та оптичних приймачів, функції  $P_c(L)$  і  $P_0(L)$ , більшою чи меншою мірою наближаються одна до однієї і можуть відрізнятися лише значенням модулюючої складової після відповідного загасання з ефективною компенсацією мультиплікативних завад. Викладені теоретичні основи біоптичних сигналів в однорідному атмосферному середовищі дозволяють встановити можливість компенсації мультиплікативних завад, викликаних атмосферними явищами та точністю юстування інформаційних сигналів. Virішення такого завдання дозволяє застосовувати на рівні оптичних сигналів диференціальні приймачі, що значно підвищує швидкість та дальність передавання інформації при допустимих ймовірностях виникнення помилок у каналах зв'язку.

1. Николайчук Я. М. Перспективи створення телефонних ліній на основі відкритого оптичного каналу зв'язку // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. – Т. 2, № 3. – С. 47–50.
2. Гринчишин Т. М. Розробка диференціальних та бісигнальних методів маніпуляції оптичних сигналів в відкритих лініях зв'язку // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – ТЗ Ч.1, № 2. – С. 121–124.
3. Гринчишин Т. М. Кодування даних в комп'ютерних розподілених системах з відкритим оптичним каналом зв'язку на основі рекурентних ГК-кодів // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2007. – Т. 1 Ч. 1, № 2. – С. 74–77.
4. Дослідження ефективності формування сигнальних кодів // Науковий вісник Чернівецького університету. – 2009. – Вип. 479. – С. 114–125.
5. Perspective Architecture and Components of Computer Networks // Матеріали міжнародної конференції IDAACS'2003. – Львів, 2003. – С. 408–411.
6. Grynchyshyn T. Methods of Manipulation of Signals in Optical Channels of Communications. // Матеріали міжнародної конференції TCSET'2004. – Львів–Славське, 2004. – С. 363–365.
7. Grynchyshyn T. Methods of Digital Processing of Optical Signals Based on the Randomization Procedure // Матеріали міжнародної конференції CADSM'2005. – Львів–Поляна, 2005. – С. 140–142.