

Бідюк Петро Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри математичних методів системного аналізу, Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна.

ORCID: 0000-0002-7421-3565.

E-mail: pbidyuke_00@ukr.net.

Белас Андрій Олегович, аспірант кафедри математичних методів системного аналізу, Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна.

ORCID: 0000-0001-7883-2489.

E-mail: andrii.belas@gmail.com.

Belas Oleg, doctor of technical sciences, professor, professor at the department of special telecommunications systems, Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”, Kyiv, Ukraine.

Bidiuk Petro, doctor of technical sciences, professor, professor at the mathematical methods for system analysis academic department, Institute for applied system analysis of National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine.

Belas Andrii, Ph.D. student, at the mathematical methods for system analysis academic department, Institute for applied system analysis of National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine.

DOI 10.20535/2411-1031.2019.7.1.184397

УДК 621.396

ОЛЕКСАНДР ЖУК,
АНАСТАСІЯ ДНІПРОВСЬКА,
ОЛЕКСАНДР ЯРОВИЙ,
ОЛЕГ РУЩАК

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АТМОСФЕРНИХ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ

Одна з характерних рис науково-технічного прогресу початку XXI століття – зростання потреби в обробці, передачі і збереженні різних видів інформації. Широка смуга і двовимірність електромагнітних коливань оптичного діапазону, доступність візуального сприйняття, електрична нейтральність фотонів щонайкраще відповідають обробці і передачі великих масивів інформації, у тому числі представлених у зображеннях і відео. Приклади таких систем – атмосферні (відкриті) оптичні системи передачі. Відмінна риса їх – гранично великі щільності інформації в каналі і гранично високі швидкості її передачі. Для введення, обробки, ретрансляції інформації у атмосферних оптичних системах передачі потрібні пристрої – аналоги функціональних пристроїв надвисокої частоти, але працюючі в оптичному діапазоні з обсягами інформації і швидкостями її обробки. Такий же рівень техніки потрібно для обробки сигналів радіопроменевих систем, систем розпізнавання і відновлення образів і читаючих автоматів. Мережі волоконно-оптичних систем передачі інформації складаються з активних та пасивних компонентів і пристроїв (модулів), за допомогою яких здійснюється передача інформації. Остання має вигляд електричного групового

(багатоканального) сигналу у цифрових або аналогових системах передачі. Цим електричним сигналом модулюється один з параметрів (амплітуда, частота, фаза, поляризація, інтенсивність) оптичного несучого коливання, що здатне поширюватися у оптичному волокні з малими згасанням і спотворенням форми. Під компонентом волоконно-оптичної системи передачі будемо розуміти виріб оптики або оптоелектроніки, призначений для виконання однієї або декількох функцій щодо формування, передавання, розподілу, перетворення та оброблення оптичного сигналу. Насамперед компоненти за принципом дії можна поділити на активні та пасивні. Активні компоненти (модулі) потребують для своєї роботи зовнішнього джерела енергії живлення), а пасивні – ні. Прикладами активних компонентів є джерела та приймачі випромінювання, передавальні та приймальні пристрої, оптичні підсилювачі тощо. Пасивними є такі компоненти, як оптичні волокна, з'єднувачі, фільтри, хвильові мульти- та демупьтиплексори і конвертори, розгалужувачі, вентилі, атенюатори, рефлектори та інші. У статті проведено аналіз параметрів, які визначають значення можливого енергетичного потенціалу атмосферних оптичних систем передачі. Розглянуто напрямки підвищення надійності роботи атмосферних оптичних систем передачі за рахунок використання нових оптимізаційних підходів.

Ключові слова: атмосферні оптичні системи передачі; оптичні випромінювачі; електромагнітні хвилі; лазери; моделі виявлення подій.

Вступ. Атмосферні (відкриті) оптичні системи передачі (АОСП) забезпечують передачу даних модульованим випромінюванням в інфрачервоній частині спектра через атмосферу. На сьогоднішньому етапі, застосування зазначених систем отримує все більше поширення в сегменті високошвидкісного безпроводового транспортування даних. Перспективність їх використання ґрунтується на певних особливостях даної технології. Це насамперед використання випромінюючих засобів, що працюють на частотах значно більших від встановленої для радіочастотного діапазону межі (400 ГГц). Отже такі системи не використовують радіодіапазон і не створюють завад в радіочастотному спектрі. Крім того, АОСП потребує невеликого часу для розгортання та має мінімальне енергоспоживання (десятки Вт). В результаті вище зазначеного, застосування АОСП може забезпечувати реалізацію ряду технічних переваг, зокрема: відсутність чутливості до радіозавад, висока прихованість та розвід захищеність, висока швидкість передачі, прозорий механізм передачі (можливість транспортування потоків створених за різними протоколами SDH, ATM, Ethernet).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тематика цього дослідження широко зустрічається в роботах зарубіжних та вітчизняних науковців [1] - [5]. Необхідно зазначити, що на якість зв'язку в АОСП впливає цілий ряд чинників, які при певних обставинах можуть суттєво знизити позитивний ефект від їх застосування. Найбільше це стосується особливих погодних умов, таких, як дощ, сніг, туман, що можуть значно погіршити видимість і, таким, чином понизити ефективність використання діапазону інфрачервоного зв'язку [6]. Крім того, в атмосфері спостерігаються турбулентні явища, які приводять до флуктуації показника заломлення середовища, коливанням світла і спотворенням сигналу, що приймається. Деякі з зазначених чинників можуть призводити до збільшення значення показника затухання на десятки дБ. Проте найбільше зростання втрат виникають в умовах щільного туману, коли вони можуть складати до 100 дБ/км і навіть більше. Це безумовно призводить до зменшення рівня сигналу на прийомі, і, як наслідок, до збільшення коефіцієнту помилки. Реальні зразки апаратури, які на сучасному етапі пропонуються для практичного використання, гарантують дальність зв'язку до 4 км (при швидкості передачі 100 Мбіт/с і надійності зв'язку 99,9 %) [2]. Це цілком конкурентоздатні показники, але все ж такі досить скромні, якщо порівнювати їх з сучасними радіорелейними інтервалами або системами безпроводового ширококутового доступу WiMax.

Метою статті є аналіз параметрів, які визначають значення можливого енергетичного потенціалу АОСП, а також у забезпеченні відповідної дальності зв'язку.

Виклад основного матеріалу. Для збільшення енергетичного потенціалу АОСП і, відповідно, підвищення надійності їх роботи можливе використання наступних підходів:

- збільшення потужності оптичних випромінювачів (передавачів);
- збільшення чутливості оптичних детекторів (приймачів);
- звуження діаграми спрямованості передавальних антен;
- використання адаптації за довжиною хвилі;
- використання методів рознесеного прийому.

Проаналізуємо кожен з зазначених підходів. В якості оптичних випромінювачів у АОСП використовують світловипромінюючі або напівпровідникові лазери.

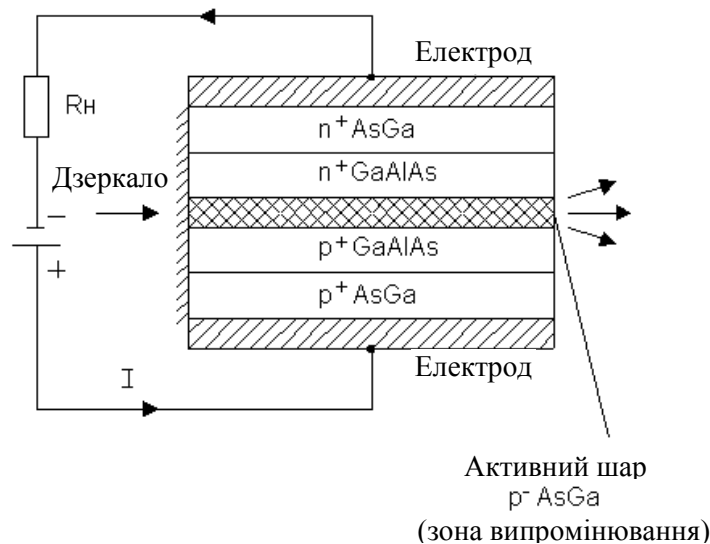


Рисунок 1 – Конструкція торцевого світловипромінюючого діода

1. Світловипромінюючий діод (СВД) є напівпровідниковим приладом з р-п переходом, протікання електричного струму через який викликає інтенсивне спонтанне випромінювання. Найбільше застосування отримали торцеві або суперлюмінесцентні СВД. У конструкції такого світлодіода передбачено виведення оптичної потужності випромінювання через один з торців (див. рис. 1). При цьому інший торець виконаний у вигляді дзеркала, яке відображає фотони в активний шар.

У приладі застосовуються додаткові шари напівпровідникового матеріалу GaAlAs, які відрізняються від активного шару показником заломлення і шириною забороненої зони. Робота світлодіодів заснована на випадковій рекомбінаційній люмінесценції надмірних носіїв заряду, які інжектують в активну область світлодіода. В результаті інжекції неосновних носіїв заряду і дрейфу основних в активному шарі відбувається накопичення і рекомбінація цих зарядів з виділенням квантів енергії (фотони світла), які приблизно відповідають ширині забороненої зони активного шару. При цьому фотони, що випадково утворилися, можуть рухатися в будь-якому випадковому напрямку, відбиватися від меж різних шарів напівпровідників, поглинатися кристалами і випромінюватися з торця. Величина випромінюваної потужності СВД приблизно лінійно залежить від величини струму інжекції. СВД називають слабокогерентними джерелами світла.

Сучасні світловипромінюючі діоди здатні забезпечувати випромінювання з потужністю декілька одиниць мВт, з кутом розходження порядку до 30° (у вертикальній площині) і до 60° (у горизонтальній) та шириною спектра випромінювання 50 нм.

2. Лазер – прилад, що генерує оптичне когерентне випромінювання на основі ефекту вимушеного, стимульованого випромінювання. Принцип роботи лазера заснований на створенні активного середовища, в якому під впливом зовнішнього поля створюються електрони, що перебувають у збудженому стані. Так же саме, як і в СВД під впливом

модулюючого струму, створюється спонтанне випромінюється. Утворений фотон потрапляє у резонансну систему, яке представляє собою дзеркальну систему, що охоплює активне середовище з двох боків (див. рис. 2). Відстань між дзеркалами та їх прозорість обирають таким чином, щоб забезпечити когерентне випромінювання лазера.

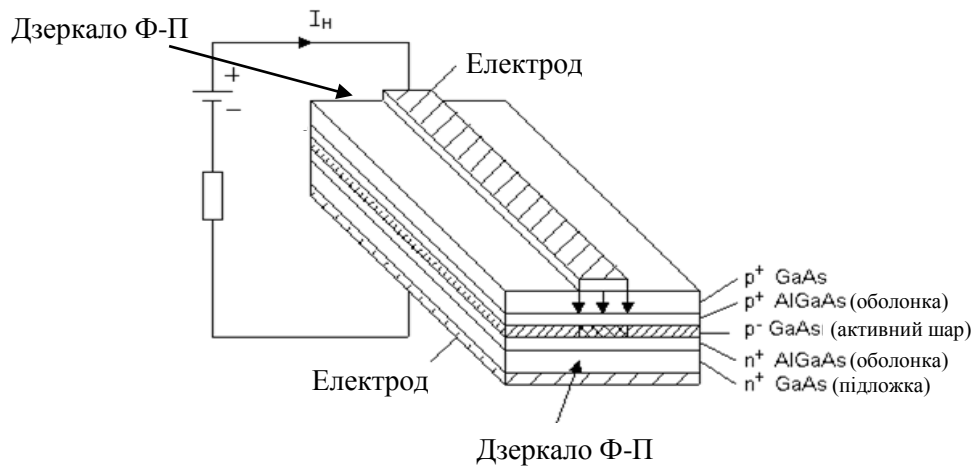


Рисунок 2 – Конструкція смужкового лазера Фабрі-Перо (Ф-П)

Електромагнітна хвиля, яка випромінюється лазером вважається когерентною, оскільки її амплітуда, частота, фаза, напрям поширення і поляризація постійні або змінюються впорядковано. Сучасні напівпровідникові лазери здатні забезпечити випромінювання з потужністю декілька сотень Вт, з кутом розходження порядку до 5° (у вертикальній площині) і до 15° (у горизонтальній) та шириною спектра випромінювання до 3 нм.

Очевидно, що з економічної (техніко-економічної) точки зору доцільне використання СВД. Однак для роботи на великі відстані, де важливо забезпечити високу потужність випромінювання та зменшити втрати пов'язані із великим кутом розходження, що призводить до невлучення частини випромінювання у приймальну антену, перевагу має застосування лазерів. Отже потенційно можливе використання, оптичного випромінювача (лазера) з потужністю до 100 Вт (зразки, що випускають серійно). Проте треба зазначити, що існують також обмеження щодо використання високопотужних оптичних джерел випромінювання, які пов'язані із встановленими вимогами до безпеки персоналу. Максимальне допустиме лазерне випромінювання залежить від типу використовуваного лазерного діода (довжини хвилі). Міжнародний стандарт ІЕС.825 визначає максимальний рівень лазерного випромінювання для кожного лазерного класу відповідно до довжини хвилі (див. табл. 1).

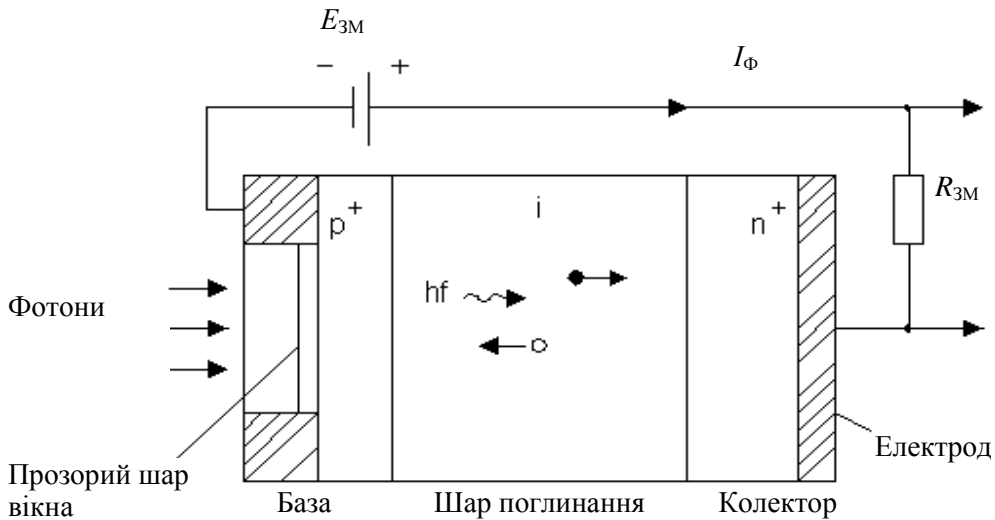
В якості приймачів АОСП використовують, як правило, фотодіоди $p-i-n$ або лавинні фотодіоди (ЛФД). Фотодіоди $p-i-n$ відрізняються простотою конструкції, високою надійністю, низкою вартістю.

Таблиця 1 – Класи лазерних пристроїв за міжнародним стандартом ІЕС 825

Клас лазера	Довжина хвилі випромінювання, нм	Максимальна потужність лазерного випромінювання, мВт
1	810	25
	830	35
	910	25
	1300	8.85
	1550	10
2	910	100

Продовження таблиці 1

3A	1300	31
	1550	50
3A*	1300	81
3B	1300	500
	1550	500

Рисунок 3 – Конструкція $p-i-n$ фотодіода

На рис. 3 наведений приклад конструкції $p-i-n$ фотодіода. В ньому між областями з провідністю $p+$ (база) і $n+$ (колектор) розміщений шар i (шар поглинання фотонів). При подачі зворотної напруги зміщення $E_{ЗМ}$ в базі та колекторі створюється підвищена концентрація носіїв заряду. При надходженні до i -шару випромінювання певної довжини хвилі утворюються пари „електрон-дірка”. На них впливає поле, яке створене напругою $E_{ЗМ}$ та зосереджене в i -шарі, воно примушує заряди дрейфувати.

Створюється фотострум дрейфу, величина якого прямо пропорційна величині потужності прийнятого оптичного випромінювання:

$$I_{\Phi} = \frac{P \cdot \lambda \cdot e}{h \cdot c} \eta, \quad (1)$$

де P – потужність оптичного випромінювання;
 λ – довжина хвилі оптичного випромінювання;
 e – заряд електрона;
 h – постійна Планка;
 c – швидкість світла;
 η – квантова ефективність фотодіода.

Чутливість фотодіода оцінюється відношенням утвореного фотоструму до потужності оптичного випромінювання, що його утворила:

$$S = \frac{I_{\Phi}}{P} = \frac{\lambda \cdot e}{h \cdot c} \eta. \quad (2)$$

Реальні приймальні оптичні модулі обладнані $p-i-n$ фотодіодами мають чутливість порядку -20 дБм [4] (для швидкості передачі сигналу 10 Гбіт/с).

У лавинному фотодіоді досягається підсилення первинного фотоструму за рахунок керованого лавинного множення числа носіїв заряду. Цьому сприяє конструкція ЛФД. Лавинне множення виникає у шарі множення (див. рис. 4).

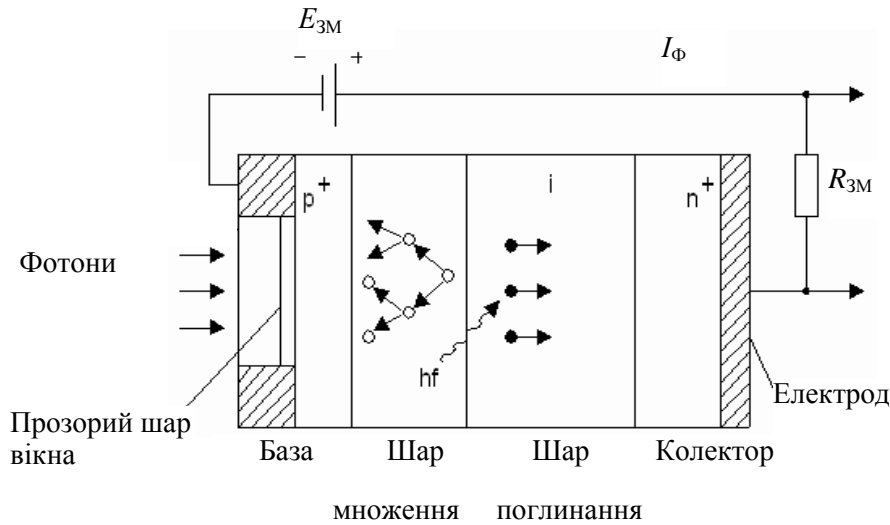


Рисунок 4 – Конструкція ЛФД

Лавинне множення досягається за рахунок збільшення напруги $E_{ЗМ}$ до величини, близької до пробійної. При цьому на $p-n$ переході встановлюється дуже сильне електричне поле причому у вузькій області. Висока швидкість приладу буде досягнута, якщо основна частина фотонів поглинається в шарі, де існує сильне електричне поле. Фотони пролітають шар множення і не встигають взаємодіяти з кристалами. Носії зарядів утворюються в шарі поглинання і дрейфують до відповідних потенціалів. Рухаючись в сильному полі, носії набувають великої кінетичної енергії і, віддаючи частину її іншим носіям, звільняють нові носії (електрони і дірки).

Процес збільшення числа носіїв зарядів розвивається лавиноподібно і характеризується відповідним коефіцієнтом, який залежить від матеріалу виготовлення і може складати від 2 (для германієвих ЛФД) до 100 (для кремнієвих ЛФД). Відповідно до (2) цей процес призводить до аналогічного збільшення чутливості. Таким чином практична чутливість ЛФД може складати до -40 дБм [4] (для швидкості передачі сигналу 10 Гбіт/с). Крім того, приймачі обладнані ЛФД мають значну швидкість, що дозволяє їхнє використання на швидкостях передачі даних вище 10 Гбіт/с.

Недоліками ЛФД прийнято вважати високу напругу зсуву (до 400 В) і складність схеми управління регульованим джерелом $E_{ЗМ}$.

Третій з факторів, що впливають на енергетичний потенціал АОСП є діаграма спрямованості або апертура передавача. Дійсно, якщо розглянути спрощену схему розповсюдження оптичного променя (див. рис. 5), то стає очевидним, що лише частина випромінюваної потужності буде потрапляти в лінзу приймальної частини.

Відповідно до рис. 5 втрати за рахунок розходження променя можна оцінити за формулою:

$$W_{\text{розх}} = 20 \log \left(\frac{L \varphi_{\text{розх}}}{d_{\text{ГП}}} \right). \quad (3)$$

При чому потужність, що зосереджена у пучку, що влучає в отвір $d_{\text{ГП}}$ може бути розрахована за виразом [5]

$$P = 1 - \exp\left[-2\left(\frac{d_{\text{ПР}}/2}{\beta L}\right)^2\right], \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі;
 β – радіус променю в найвужчому місці.

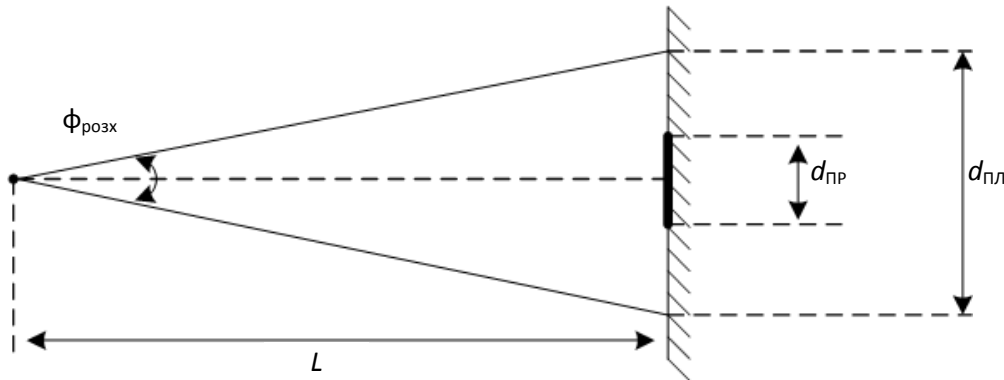


Рисунок 5 – Спрощена схема розповсюдження оптичного променя

Типове значення розходження оптичного променя без застосування систем наведення відносно велике – 2...10 мрад, що еквівалентно діаметру пучка ($d_{\text{ПЛ}}$) 2...10 м на відстані 1 км). За наявності системи наведення розбіжність променя може бути істотно знижена (зазвичай до 0,05...1 мрад, що еквівалентно розміру пучка 5...100 см на відстані 1 км) для збільшення доступності зв'язку, в тому числі і за погодними умовами. Слід мати на увазі, що вартість системи наведення досить велика. Крім того, в процесі експлуатації виникають ситуації неузгодженості (порушення юстировки) оптичних осей передавача та приймача. Такі неузгодженості пов'язані, наприклад з температурними коливаннями опор, на яких закріплюється обладнання. Отже, можуть виникати випадки, коли потрібно адаптивно змінювати діаграму спрямованості передавача для забезпечення потрапляння променя у лінзу приймальної частини. Зрозуміло, що така адаптація буде призводити до зменшення потужності P , що визначається виразом (4).

Механізм реалізації алгоритму зазначеної адаптації може бути досить складним, оскільки єдиним адекватним її критерієм є значення потужності (4). Але на цю величину впливає надто багато факторів, які мають різну природу походження, що фактично унеможливує здійснення адаптації лише за рівнем потужності прийнятого сигналу. Введення ж інших параметрів адаптації суттєво ускладнює систему.

Проте можливий інший варіант збільшення енергетичного потенціалу АОСП – шляхом використання декількох передавачів і декількох приймачів. Таке рішення дозволяє реалізувати схему рознесеної передачі, що є фактично безальтернативним заходом для боротьби із впливом турбулентності атмосфери та іншими явищами, що носять випадковий характер впливу. Одночасно збільшується сумарна площа приймальної поверхні, без збільшення апертури приймача, що дозволяє компенсувати порушення юстировки і при цьому уникнути збільшення ймовірності потрапляння до приймальної лінзи стороннього випромінювання (наприклад, сонячного світла). При певній реалізації, заходів адаптації діаграми спрямованості та рознесеної передачі можливо повністю мінімізувати втрати за рахунок неузгодженості.

Таким чином, враховуючи все вище зазначене можна порівняти характеристики типового існуючого обладнання АОСП та перспективного. Результати порівняння, які були зроблені для випадку найгірших умов передачі (щільний туман), коли втрати будуть складати порядку 100 дБ/км, наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика типового та перспективного обладнання АОСП

№ з/п	Назва параметру	Значення параметру для	
		існуючих АОСП	перспективних АОСП
1.	Потужність випромінювання	50 мВт (17 дБм)	100 Вт (50 дБм)
2.	Чутливість приймача	10 нВт (-50 дБ)	10 пВт (-80 дБ)
3.	Втрати юстировки	3 дБ	0 дБ
4.	Енергетичний потенціал	64 дБ	130 дБ
5.	Дальність зв'язку в ясну погоду/в туман	21 км / 0,64 км	43 км /1,3 км

Висновок. У роботі проведено аналіз параметрів, які визначають значення можливого енергетичного потенціалу атмосферних оптичних систем передачі. Запропоновано напрями підвищення надійності роботи атмосферних оптичних систем передачі, і відповідно, за рахунок використання нових оптимізаційних підходів: збільшення потужності оптичних випромінювачів (передавачів), збільшення чутливості оптичних детекторів (приймачів), звуження діаграми спрямованості передавальних антен, використання адаптації за довжиною хвилі, використання методів рознесеного прийому.

Найбільшу ефективність показав метод рознесеного прийому, якій дозволяє реалізувати схему рознесеної передачі, що є фактично безальтернативним заходом для боротьби із впливом турбулентності атмосфери та іншими явищами, що носять випадковий характер впливу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] О. М. Бердников, та А. В. Щирий, “Напрямки побільшування швидкостей передачі лінійних трактів телекомунікаційних транспортних систем”, на *XI Міжнародна науково-технічна конференції Проблеми телекомунікацій*, Київ, 2017, с. 75-77.
- [2] Т. М. Grynchyshyn, “Methods of digital processing of optical signals based on the randomization procedure”, in *Proc. 8-th science conference Mathematical Model of the Capacitive Accelerometer*, Lviv, Slavske, 2005, pp. 140-143.
- [3] Т. М. Grynchyshyn, “Methods of manipulation of signals in optical channels of communication”, in *Proc. science conference Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer*, Lviv, Slavske, 2004, pp. 363-366.
- [4] Т. М. Гриничишин, та Я. М. Николайчук, “Розробка диференціальних та бісигнальних методів маніпуляції оптичних сигналів в відкритих лініях зв'язку”, *Вісник Технологічного університету Поділля*, т. 1, № 3, с. 121-124.
- [5] Я. М. Николайчук, *Теорія джерел інформації*. Тернопіль, Україна: ТНЕУ, 2008.
- [6] Ю. И. Яременко, “Применение открытых оптических систем передачи в сетях связи”, *Радиоэлектроника и телекоммуникации*, № 1 (37), с. 35-42, 2005.
- [7] “Атмосферные оптические системы передачи”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.micromax.ru/catalog/comparePAV.shtml>. Дата обращения: Ноябрь. 12, 2018.
- [8] “Волоконно-оптические системы передачи”. [Электронный ресурс]. Доступно: http://ndo.sibsutis.ru/magistr/courses_work/vosp_work/lectures_index.htm. Дата обращения: Ноябрь. 12, 2018.

- [9] В. І. Корнійчук, І. Б. Барба, та Г. І. Дойжа, “Аналіз чутливості приймальних пристроїв ВОСП-СРК”, *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова*, № 2, с. 75-78, 2010.
- [10] S. Bloom, E. Korevaar, J. Schuster, and H. Willebrand, “Principles of FSO systems”, *Journal of optical networking*. vol. 2, no. 6, pp. 178-200, 2003.
doi: 10.1364/JON.2.000178.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2019

REFERENCE

- [1] O. M. Berdnikov, and A. V. Shcheryi, “Directions of increase of speeds of transmission of linear paths of telecommunication transport systems”, in *Proc. XI International Scientific and Technical Conference Problems of Telecommunications*, Kyiv, 2017, pp. 75-77.
- [2] T. M. Grynchyshyn, “Methods of digital processing of optical signals based on the randomization procedure”, in *Proc. 8-th science conference Mathematical Model of the Capacitive Accelerometer*, Lviv, Slavske, 2005, pp. 140-143.
- [3] T. M. Grynchyshyn, “Methods of manipulation of signals in optical channels of communication”, in *Proc. science conference Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer*, Lviv, Slavske, 2004, pp. 363-366.
- [4] T. M. Grinichyshyn, and Ya. M. Nikolaychuk, “Development of differential and bisignal methods for manipulating optical signals in open communication lines”, *Bulletin of Technological University of Podillya*, vol. 1, no. 3, pp. 121-124.
- [5] Ya. M. Nikolaychuk, *Theory of sources of information*. Ternopil, Ukraine: TNEU, 2008.
- [6] Y. I. Yaremenko, “Application of open optical transmission systems in communication networks”, *Radioelectronics and telecommunications*, no. 1 (37), pp. 35-42, 2005.
- [7] “Atmospheric Optical Transmission Systems”. [Online]. Available: <http://www.micromax.ru/catalog/comparePAV.shtml>. Accessed on: Nov. 12, 2018.
- [8] “Fiber optic transmission systems”. [Online]. Available: http://ndo.sibsutis.ru/magistr/courses_work/vosp_work/lectures_index.htm. Accessed on: Nov. 12, 2018.
- [9] V. I. Korniyuchuk, I. B. Barba, and G. I. Doizha, “Analysis of the sensitivity of receiving devices VOSP-IBS”, *Collection of scientific works ONAT them. O.S. Popov*, no. 2, pp. 75-78, 2010.
- [10] S. Bloom, E. Korevaar, J. Schuster, and H. Willebrand, “Principles of FSO systems”, *Journal of optical networking*. vol. 2, no. 6, pp. 178-200, 2003.
doi: 10.1364/JON.2.000178.

OLEKSANDR ZHUK,
ANASTASIYA DNIPROVSKA,
OLEKSANDR YAROVYI,
OLEH RUSHCHAK

EFFICIENCY ANALYSIS OF USE ATMOSPHERIC OPTICAL TRANSMISSION SYSTEMS

One of the scientific and technological progress characteristics at the beginning of the XXI century is the growing need for the processing, transmission, and preservation of various information types. The wideband and bimodality electromagnetic vibrations of the optical range, the visual perception availability, and the electrical neutrality of photons are best suited for the processing and transmission large amounts of information, including those presented in images and video. Examples of such systems are atmospheric (open) optical transmission systems. Their

distinctive feature is the extremely high density of information in the channel and extremely high speeds of its transmission. For entering, processing, retransmission of data in atmospheric optical transmission systems, devices are required - analogs of super-high frequency functional devices but operating in the optical range with the amount of information and processing speed. The same level of technology is required for the processing of signals from radio-frequency systems, recognition systems, image recovery, and reading machines. Fiber-optic transmission system networks consist of active and passive components and devices (modules), through which information is transmitted. The last one has the form of the electric group (multichannel) signal in digital or analog transmission systems. This electric signal modulates one of the parameters (amplitude, frequency, phase, polarization, intensity) of the optical carrier oscillation, which can propagate in an optical fiber with a slight fading and form distortion. Under the component of the fiber-optic transmission system, we mean optics or optoelectronics product, designed to perform one or more functions in the formation, transmission, distribution, transformation, and processing optical signal. First of all, the components according to the principle of action can be divided into active and passive. Active components (modules) require an external power supply for their work), and passive ones are not. Examples of active components are radiation sources and receivers, transmitting and receiving devices, optical amplifiers, etc. Passive components such as optical fibers, connectors, filters, wave multi- and dimplexelectors and converters, splitters, valves, attenuators, reflectors, and others. An analysis of the parameters that determine the value of the possible energy potential of atmospheric optical transmission systems is carried out. The directions for increasing the reliability of atmospheric optical transmission systems due to the use of new optimization approaches are considered.

Keywords: atmospheric optical transmission systems; optical emitters; electromagnetic waves; lasers; event detection models.

Жук Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри військової підготовки, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, Київ, Україна.

ORCID: 0000-0002-3546-1507.

E-mail: beetle135@ukr.net.

Дніпровська Анастасія Михайлівна, курсант, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, Київ, Україна.

ORCID: 0000-0003-1909-6359.

E-mail: dneprovskayan@ukr.net.

Яровий Олександр Володимирович, начальник навчального відділу, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

ORCID: 0000-0002-3889-5730.

E-mail: getem13@ukr.net.

Рушак Олег Андрійович, заступник завідувача кафедри теоретичних основ експлуатації засобів спеціальних інформаційно-телекомунікаційних систем, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

ORCID: 0000-0001-6504-6315.

E-mail: oruschak@gmail.com.

Zhuk Oleksandr, candidate of technical sciences, associate professor, head of the military training academic department, Military institute of telecommunications and informatics named after Heroes of the Krut, Kyiv, Ukraine.

Dniprovska Anastasiya, cadet, Military institute of telecommunications and informatics named after Heroes of the Krut, Kyiv, Ukraine.

Yarovi Oleksandr, head of the training department, Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”, Kyiv, Ukraine.

Oleh Rushchak, deputy head of the theoretically bases of operation of special means information-telecommunications systems academic department, Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”, Kyiv, Ukraine.