

## ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ АТМОСФЕРНИХ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ

**Яровий О.В., Пархомей І.Р.**

*Департамент навчальної роботи КПІ імені Ігоря Сікорського,*

*Факультет інформатики та обчислювальної техніки*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: getem13@ukr.net*

### **Energy potential of atmospheric optical transmission systems**

An analysis of the parameters that determine the value of the potential energy potential of atmospheric optical transmission systems is carried out. The directions of increasing the reliability of atmospheric optical transmission systems due to the use of new optimization approaches are considered.

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.

Атмосферні оптичні системи передачі (АОСП) забезпечують передачу даних модульованим випромінюванням в інфрачервоній частині спектра через атмосферу. На сьогодні, 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 перешкод 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 радіоперешкод, висока скритність та розвідзахищеність, висока швидкість передачі, прозорий механізм передачі (можливість транспортування потоків створених за різними протоколами *SDH, ATM, Ethernet*).

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 і т. д., що можуть значно погіршити видимість і, таким, чином понизити ефективність використання діапазону інфрачервоного зв'язку [1]. 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 широкосмугового доступу WiMax.

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 та інших.

В якості оптичних випромінювачів у АОСП використовують світловипромінюючі або напівпровідникові лазери.

*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.

*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. 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  $5^\circ$  (у вертикальній площині) і до  $15^\circ$  (у горизонтальній) та шириною спектра випромінювання до 3 нм.

Очевидно, що з економічної точки зору доцільним є 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).

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.

Фотострум дрейфу, величина якого прямо пропорційна величині потужності прийнятого оптичного випромінювання, розраховується за формулою:

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

де  $P$  – потужність оптичного випромінювання,  $\lambda$  – довжина хвилі оптичного випромінювання,  $e$  – заряд електрона,  $h$  – постійна Планка,  $c$  – швидкість світла та  $\eta$  – 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 р-і-п фотодіодами мають чутливість порядку –20 дБм [3] (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.

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 [3] (для швидкості передачі сигналу 10 Гбіт/с). Крім того, приймачі обладнані ЛФД мають значну швидкодію, що дозволяє їхнє використання на швидкостях передачі даних вище 10 Гбіт/с.

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, враховуючі 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 таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз енергетичного потенціалу 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

### Література

1. Яременко Ю.И. Применение открытых оптических систем передачи в сетях связи [Текст] / Яременко Ю.И. – Радиоэлектроника и телекоммуникации № 1 (37), 2005. – С. 35 – 42.
2. Атмосферные оптические системы передачи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.micromax.ru/catalog/comparePAV.shtml>.
3. Корнійчук В.І. Аналіз чутливості приймальних пристроїв ВОСП-СРК [Текст] / Корнійчук В.І., Барба І.Б., Дойжа Г.І. – Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова. – № 2 / 2010.