

УДК 623.004.67

О.Р. Скляр, А.М. Науменко, О.В. Рєвін

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків***АНАЛІЗ АТМОСФЕРНИХ СИСТЕМ ЛАЗЕРНОГО ОПЕРАТИВНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

В статті проведений аналіз використання наземної лінії зв'язку при проходженні лазерного випромінювання в атмосфері, надана залежність параметрів лінії лазерного оперативного зв'язку від впливу атмосфери.

Ключові слова: лазерні лінії, інформація, зв'язок, оптичний канал.

Вступ

Постановка задачі. Дослідження наземної лінії зв'язку із проходженням лазерного випромінювання в атмосфері, лінії зв'язку між великими джерелами й споживачами інформації пов'язано з використанням оптичних хвиль (закриті лінії зв'язку або волоконно-оптичні системи зв'язку) і космічні системи зв'язку. Основним недоліком відкритих лазерних систем зв'язку є вплив атмосфери на поширення лазерного випромінювання. При поширенні оптичного випромінювання в атмосфері відбувається ослаблення енергії за рахунок поглинання й розсіювання на частках середовища. Тому питання використання волоконно-оптичних ліній зв'язку в локальних мережах є важливим науково-практичним завданням.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1 – 3] розглядаються методи дослідження наземної лінії зв'язку із проходженням лазерного випромінювання в атмосфері, але в цій літературі не визначаються питання, що пов'язані з дослідженням лазерного випромінювання.

Метою статті є проведення аналізу можливості побудови оптичної лінії зв'язку, які можуть використовуватися для з'єднання окремих ланцюгів локальних комп'ютерних мереж.

Основний матеріал

Розглянемо тільки відкриті атмосферні лінії лазерного оперативного зв'язку (ЛЮЗ). Лазерна атмосферна лінія зв'язку між двома пунктами складається із двох спарених приємопередаючих пристроїв, розташованих

у межах прямої видимості на двох кінцях лінії й спрямованих один на одного. Передавальний пристрій містить генератор – лазер і модулятор його оптичного випромінювання інформаційним сигналом. Модульований лазерний промінь поступає на оптичну систему для корекції розбіжності і направляється в бік приймача. У приймачі випромінювання фокусується на фотоприймач, який виступає в ролі детектора і забезпечує виділення переданої інформації. Так як лазерний промінь передається між пунктами зв'язку через атмосферу, то його поширення залежить від метеоумов, наявності диму, пилу й інших забруднень повітря. Крім того, в атмосфері спостерігаються турбулентні явища, які приводять до флуктуації показника переломлення середовища, коливанням променя, а також перекручуванням прийнятого сигналу. Однак, незважаючи на зазначені проблеми, атмосферний лазерний зв'язок виявився цілком надійним на відстанях декількох кілометрів і особливо є перспективним для рішення проблеми "останньої милі" [1].

У перших ЛЮЗ використовувався гелій – неоновий лазер типу ЛГ-36 із довжиною хвилі випромінювання 0,63 мкм і потужністю 40 мВт. Амплітуда модуляція здійснювалася модулятором типу ОЛМШ-100 на базі ефекту Поккельса, а фотоприймачем служив фотопомножувач ФЕП-51. У ті роки вважалося, що погані погодні умови (сніг, дощ, туман) роблять лазерний зв'язок ненадійним, і він був визнаний безперспективним. Сучасне широке поширення АЛЮЗ у багатьох країнах миру почалося в 1998 році, коли були створені недорогі напівпровідникові лазери потужністю в 100 мВт і більше.

Оптимальним рішенням проблеми прокладки локальної комп'ютерної мережі у важкодоступних місцях є використання бездротових ліній передачі [2, 3]. Для цих цілей найбільш підходять СВЧ або оптичний інфрачервоний діапазони випромінювань. Переваги бездротових ліній зв'язку очевидні: це економічність (тому що не потрібно рити траншеї для укладання кабелю та орендувати землю); низькі експлуатаційні витрати; висока пропускна здатність і якість цифрового зв'язку; швидке розгортання та зміна конфігурації мережі.

У той же час бездротовий зв'язок у НВЧ діапазоні обмежений перевантаженістю та дефіцитом частотного діапазону, недостатньою скритністю, схильністю перешкодам, у тому числі й навмисним, і із сусідніх каналів, підвищеним енергоспоживанням. Крім того, для НВЧ-зв'язку необхідно тривале узгодження та реєстрація із призначенням частот органами Держзв'язнагляду, орендна плата за канал, обов'язкова сертифікація радіоустаткування Державною комісією з радіочастот. На відміну від НВЧ оптичний діапазон зовсім вільний, і його використання не потребує узгодження частотного каналу. Він дозволяє забезпечити високу швидкість передачі інформації, її захист від несанкціонованого доступу, завадостійкість, низьке енергоспоживання. Тому найбільш повним рішенням проблеми "останньої милі" є передача інформації лазерним променем [5].

Розглянемо класифікацію систем лазерного оптичного зв'язку (ЛОЗ).

Існуючі ЛОЗ можна класифікувати по наступних ознаках: призначенню, виду переданої інформації, способу модуляції випромінювання, способу ущільнення каналу, способу входження у зв'язок, виконанню.

По призначенню системи ЛОЗ із рухливими об'єктами можна розділити на системи:

- а) телефонного зв'язку між стаціонарним і рухливим об'єктами або між двома рухливими об'єктами;
- б) телекерування стаціонарними й рухливими об'єктами;
- в) телевізійного зв'язку між стаціонарним і рухливим об'єктом або між двома рухливими об'єктами;
- г) телеконтролю стану об'єкта й граничних значень контрольованого параметра;
- д) телевимірювання безперервних і дискретних значень контрольованих величин;

е) виконуючі одночасно кілька перерахованих функцій.

По виду переданої інформації системи ЛОЗ можна розділити на:

- аналогові, цифрові, комбіновані.

По способу модуляції поділяються на:

- системи з використанням модуляції несучого коливання
- системи з використанням модуляції піднесучого коливання.

По способі ущільнення каналу на системи: із частотним ущільненням; тимчасовим ущільненням; просторовим ущільненням; комбінованим ущільненням. Спосіб ущільнення каналу визначає структуру оптичної схеми приймально-передавального устрою.

По способі входження у зв'язок – на системи з:

- візуальним націлюванням і пошуком;
- каналом візування;
- автоматичним націлюванням;
- автоматичним пошуком і спостереженням;
- комбіновані.

Залежно від способу входження у зв'язок системи ЛОЗ відрізняються наявністю тих або інших елементів націлювання, пошуку й спостереження.

По виконанню: портативні; переносні; напівстаціонарні системи.

Проаналізуємо структурні схеми систем ЛОЗ

Будь-яка система ЛОЗ містить у собі передавальний й прийомний устрій, зв'язані між собою оптичним каналом зв'язку. Передавальний устрій у загальному випадку складається з оптичного передавача й апаратури перетворення.

Структура апаратури перетворення визначається видом інформації, способом її передачі й, у більшості випадків, відповідає аналогічній апаратурі систем радіозв'язку.

Оптичний передавач і приймач виконують функції, аналогічні передавачу й приймачу радіосистем. Однак їхня структура відрізняється від пристроїв того ж призначення систем радіозв'язку. Це обумовлено тим, що переносником інформації в системах ЛОЗ служить когерентне світлове випромінювання. Тому при описі функціональних схем основна увага буде звернена на структурну побудову елементів оптичного каналу зв'язку.

Розглянемо устрій найпростішої однобічної системи ЛОЗ структурна схема якої наведена на рис. 1.

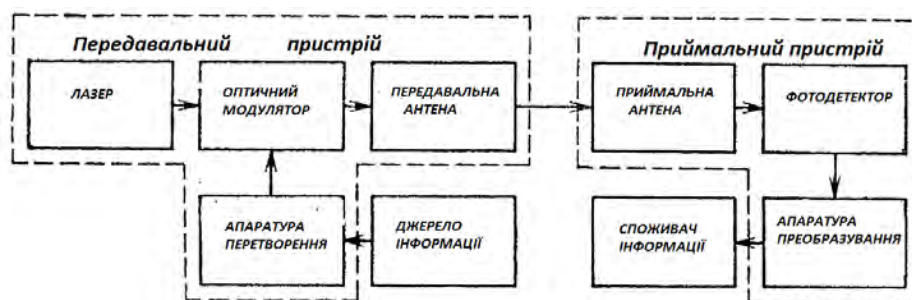


Рис. 1. Структурна схема однобічної системи ЛОЗ

До складу її передавального пристрою входять: лазер, що генерує несучі електромагнітні коливання оптичного діапазону; оптичний модулятор, управляє цими коливаннями відповідно до переданої інформації; оптична передавальна антена, що формує оптичне випромінювання каналу зв'язку, і апаратури перетворення. Приймальний пристрій складається з оптичної приймальної антени, фотодетектора й апаратури перетворення. Приймальна антена служить для фокусування оптичного випромінювання, що посиляється передавальним пристроєм на чутливу площадку фотодетектора. Останній є перетворювачем енергії лазерного випромінювання в енергію електричних сигналів. Розглянута функціональна схема може бути використана для побудови малогабаритних дешевих портативних переносних систем ЛОЗ, призначених для передачі телефонної, командної або контрольної інформації на рухливий об'єкт і назад. Дальність дії цих систем звичайно становить кілька десятків метрів.

При збільшенні відстані до декількох сотень метрів ускладнюється процес сполучення оптичних

осей передавача й приймача системи. Тоді система може доповнюватися пристроєм візування, що полегшує процес наведення оптичних антен. Широке застосування пристрої візування можуть знайти в напівстаціонарних системах, дальність дії яких від 1 до 5 км.

Якщо під час сеансу зв'язку об'єкт рухається, то передавальний і приймальний пристрої взаємно переміщуються, що затрудняє надійний зв'язок, особливо при передачі вимірювальної, контрольної й телевізійної інформації. У зв'язку із цим виникає необхідність у спеціальних пристроях пошуку й спостереження, які забезпечують орієнтацію фотоприймача на промінь і втримання його в такому положенні при переміщенні об'єкта зв'язку. Структурна схема такої ЛОЗ наведена на рис. 2. Аналіз умов роботи систем ЛОЗ, призначених для роботи з рухливими об'єктами, показує, що в більшості випадків вони повинні забезпечити двосторонній зв'язок. Такі системи можуть бути реалізовані шляхом використання двох комплектів апаратури однобічного зв'язку.

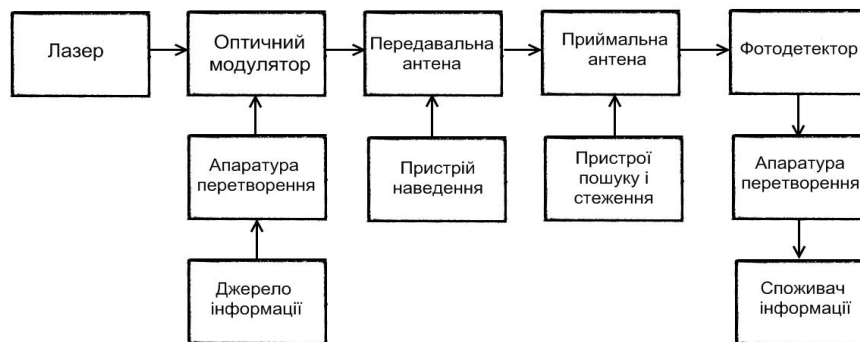


Рис. 2. Структурна схема атмосферної лінії ЛОЗ

У цьому випадку для зменшення її габаритних розмірів передавальна й приймальна антени виконуються у вигляді сполученої оптичної антени, що здійснює одночасно передачу й прийом лазерного випромінювання. Для підвищення надійності зв'язку з рухливими об'єктами системи двостороннього зв'язку також забезпечуються пристроями візування пошуку й спостереження. При роботі рухливих об'єктів на криволінійних ділянках системи ЛОЗ містять ще й пристрої спостереження й сканування.

Розглянемо основні параметри систем ЛОЗ

Будь-яка система лазерного зв'язку характеризується значним числом параметрів, основними з яких є наступні. Довжина хвилі оптичної несучої визначається частотою електромагнітних коливань, генеруючих лазером оптичного передавача. Цей параметр характеризує несуче випромінювання системи зв'язку з погляду його видимості, умов проходження через середовище й можливості його виявлення за допомогою ефективних фотоприймачів. Довжина хвилі також визначає величину кутової розходженості променя лазера і мінімальний розмір сфокусованого випромінювання. Одиницею її вимірювання є мікромметр. Для систем ЛОЗ довжину хвилі оптичної несучої звичайно

вибирають у ближньої інфрачервоної (0,8...3,0 мкм) області спектра. Смуга пропускання системи ЛОЗ Δf – це ширина спектра частот, що може бути переданий системою без переключування. Її величина визначається робочим інтервалом частот переданої інформації.

Кутова розбіжність переданого випромінювання $\theta_{\text{пер}}$ – це тілесний кут, у якому поширюється більша частина переданого випромінювання. Величина кутової розходженості переданого випромінювання визначається залежно від дальності дії системи зв'язку, її виконання й способу входження у зв'язок. У портативних і переносних системах з візуальним спостереженням вона може становити кілька градусів, а в стаціонарних системах з автоматичним пошуком і спостереженням: усього 10 – 20 секунд.

Діаметр передавальної оптичної антени $D_{\text{пер}}$ визначає робочу площу передавальної оптичної антени. Його максимальне значення обмежується вартістю виготовлення антени. Потужність випромінювання оптичного передавача пов'язана з потужністю випромінювання лазера $P_{\text{л}}$ наступним рівнянням

$$P_{\text{пер}} = P_{\text{л}} \tau_{\text{мод}} \tau_{\text{пер}}, \quad (1)$$

де $\tau_{\text{мод}}$, $\tau_{\text{пер}}$ – коефіцієнти пропускання модулятора та передавальної оптичної антени відповідно.

Потужність випромінювання різних типів лазера, використовуваних у ЛОЗ, лежить у межах від десятих часток мілівата до декількох ватів. Цей параметр визначає такі характеристики системи, як дальність її дії й завадостійкість. Для систем ЛОЗ діаметр прийомної антени вибирається від 30 до 300 мм. Максимальний розмір обмежується вартістю її виготовлення й складністю розташування на об'єкті. Кут зору оптичного приймача $\theta_{\text{пр}}$ чисельно дорівнює подвоєному максимальному куту падіння оптичного випромінювання на робочу поверхню прийомної антени, при якому все випромінювання або його частина падає на чутливу площадку фотодетектора.

Особливості систем ЛОЗ

Використання в системах оперативного зв'язку із промисловими об'єктами джерел когерентних монохроматичних електромагнітних коливань оптичного діапазону вносить цілий ряд характерних рис у процеси модуляції, передачі й прийому несучих коливань, а також в умови їхнього поширення.

Основними перевагами лазерних систем зв'язку є більша смуга пропускання, вузька ширина спектральної лінії випромінювання і його висока спрямованість. Це дозволяє використовувати в передавальних пристроях лазери щодо невеликої потужності випромінювання й передавати великий обсяг інформації, забезпечуючи при цьому задану перешкодозахищеність.

Особливістю систем ЛОЗ є також використання в них оптичних пристроїв. Дзеркала, коліматори, лінзи, телескопи, об'єктиви, волоконна оптика знаходять широке застосування в передавальній і прийомній антенах цих систем. Вони дозволяють провадити подальше колімацію лазерного випромінювання. Кут розходження променя на виході колімуруючої передавальної антени може становити всього кілька секунд і обмежуватися тільки явищами дифракції. Це дозволяє сконцентрувати енергію переданого випромінювання в дуже вузькому пучку. Порівняно невеликі розміри оптичних антенних пристроїв, великий коефіцієнт їхнього посилення, можливість одержання необхідної діаграми спрямованості є важливими перевагами цих систем.

У системах зв'язку з оптичною несучою з'являється можливість безпосередньої модуляції електромагнітного коливання, тобто можливість провадити цілеспрямовані зміни одного з параметрів випромінювання, безпосередньо впливаючи на нього.

Важливою особливістю систем ЛОЗ є вплив атмосфери на поширення лазерного випромінювання, що приводить до залежності їхньої надійності від метеорологічних умов і довжини траси. При поширенні оптичного випромінювання в атмосфері відбувається ослаблення енергії за рахунок поглинання й розсіювання газоподібними, твердими й рідкими частками. Крім ослаблення випромінювання спостерігається також тремтіння променя, зміна поляризації, флуктуації потужності й т.д. Все це утрудняє експлуатацію систем ЛОС, вимагає ретельного вивчення процесів, що відбуваються при проходженні випромінювання в атмосфері, і обов'язкового обліку їхнього впливу на параметри переданого випромінювання.

Особливістю систем ЛОЗ слід також рахувати специфіку їх шумів. У відмінності від радіозв'язку, на роботу систем ЛОЗ надають вплив зовнішні джерела оптичного випромінювання, які створюють так званий фоновий шум. Він відрізняється широкою смугою і може бути усунений або значно ослаблений вузько смуговими світлофільтрами і приймальними оптичними антенами з малим полем зору.

Висновки

1. Розглянуті основні параметри, що характеризують можливість використання лазера в системах зв'язку.

2. Вибір лазера залежить від конкретних умов застосування системи зв'язку, його розміщення, спектрального діапазону роботи, необхідної вихідної потужності, розбіжності променя, ККД передавача, терміну служби системи, видів модуляції й прийому, обліку стану атмосфери.

3. Отримана залежність порогової чутливості фотоприймача від дальності.

Список літератури

1. Шрёдер Г. *Техническая оптика* / Г. Шрёдер, Х. Трайбер. – М.: Техносфера, 2006. – 423 с.
2. Айхлер Ю. *Лазеры. Исполнение, управление, применение* / Ю. Айхлер, Г.И. Айхлер. – М.: Техносфера, 2008. – 438 с.
3. Мишура Т.П. *Проектирование лазерных систем* / Т.П. Мишура, О.Ю. Платонов. – С-П.: ГУАП, 2006. – 97 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ СИСТЕМ ЛАЗЕРНОГО ОПЕРАТИВНОГО СВЯЗИ

О.Р.Скляр, А.Н. Науменко, А.В. Ревин

В статье проведен анализ использования наземной линии связи при прохождении лазерного излучения в атмосфере представлена зависимость параметров линии лазерной оперативной связи под воздействием атмосферы.

Ключевые слова: лазерные линии, информация, связь, оптический канал.

ANALYSIS OF ATMOSPHERIC LASER OPERATIVE COMMUNICATION NETWORKS

O.R. Sklyr, A.N. Naumenko, A.V. Revin

The advent of lasers, greatly influenced the development of various branches of science and technology, including in the communication system. Optical wavelength range can significantly increase the amount of information transmitted over radio links with small dimensions at the transmitting and receiving modules.

Keywords: laser, information, communication, optical canal.