

УДК 004.02

О.А. ПОПЛАВСЬКИЙ<sup>1</sup>, А.А. ПОПЛАВСЬКА<sup>2</sup>, І.А. КОРОТУН<sup>1</sup>

## ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ЛАЗЕРОМ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ ДЛЯ РОЗРОБКИ МЕТОДІВ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОБРАЖЕНЬ СИГНАЛУ

<sup>1</sup>Державний економіко-технологічний університет транспорту<sup>2</sup> Вінницький національний технічний університет  
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна

**Анотація.** В даній статті проаналізовано та детально розглянуто особливості організації передачі інформації лазером через атмосферу для розробки методів та програмно-апаратних засобів прогнозування поведінки характеристик зображень сигналу.

**Аннотация.** В данной статье проанализированы и подробно рассмотрены особенности организации передачи информации лазером через атмосферу для разработки методов и программно-аппаратных средств прогнозирования поведения характеристик изображений сигнала.

**Abstract.** The paper is devoted to analysis and detailed consideration the features of the information transmitting through the atmosphere for the purpose of laser signal behavior forecasting.

**Ключові слова:** атмосферний лазерний зв'язок, лазерне випромінювання, простір, інформаційні системи.

### ВСТУП

Оптичний зв'язок, передача інформації за допомогою електро-магнітних хвиль оптичного діапазону, досі вважається одним з найперспективніших методів для інформаційних систем передачі. Світло завжди вважалося чи не найзагадковішим і найінформаційнішим природним явищем, яке і в найближчому майбутньому наврядчи буде повністю вивчене. Говорячи про особливості сучасних оптичних інформаційних систем слід відзначити їх велику пропускну здатність, обумовлену високим значенням несучої частоти і, відповідно, можливістю передачі великих обсягів інформації з великою швидкістю. Мала кутова розбіжність лазерних променів забезпечує просторову прихованість і високу енергетичну стійкість передачі інформації по оптичному каналу зв'язку при відносно малих габаритах приймально-передавальних пристроїв.

Фізична модель системи оптичного зв'язку полягає в тому, що інформаційний сигнал в кодуєчому пристрої перетворюється у вигляд, зручний для модуляції, після чого надходить у модулятор-підсилювач і далі в ланцюг збудження модулятора. За допомогою зовнішнього або внутрішнього модулятора здійснюється модуляція амплітуди, інтенсивності, частоти, фази або поляризації сигналу несучої частоти відповідно до інформаційного сигналу. Потім модульований лазерний промінь обробляється оптичною системою і надсилається на об'єкт. За допомогою прийомної оптичної системи сигнал фокусується на фотоприймач, вихідний електричний сигнал якого обробляється далі з метою виділення інформаційного сигналу [1].

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Фокусування сигналу зазвичай достатньо складна задача. Враховуючи сучасні вимоги оптичних систем передачі до відстані передавання сигналу, який в свою чергу має проходити через низку неоднорідних середовищ, розробка нових програмно-апаратних засобів створює ряд додаткових задач які мають бути вирішені для створення якісних та стабільних систем. Однією з таких задач є застосування алгоритмів прогнозування поведінки сигналу, оскільки оптичні лінії зв'язку в атмосфері сильно залежать від метеоумов, наявності пилу, диму та інших завад, а турбулентні явища в атмосфері призводять до флуктуацій показника заломлення середовища і, отже, до спотворень променя і флуктуацій кута приходу випромінювання на фотоприймач.

Схему одного з варіантів приймально-передавального пристрою атмосферної системи зв'язку з

напівпровідниковим лазером подано на рис.1. [2]:

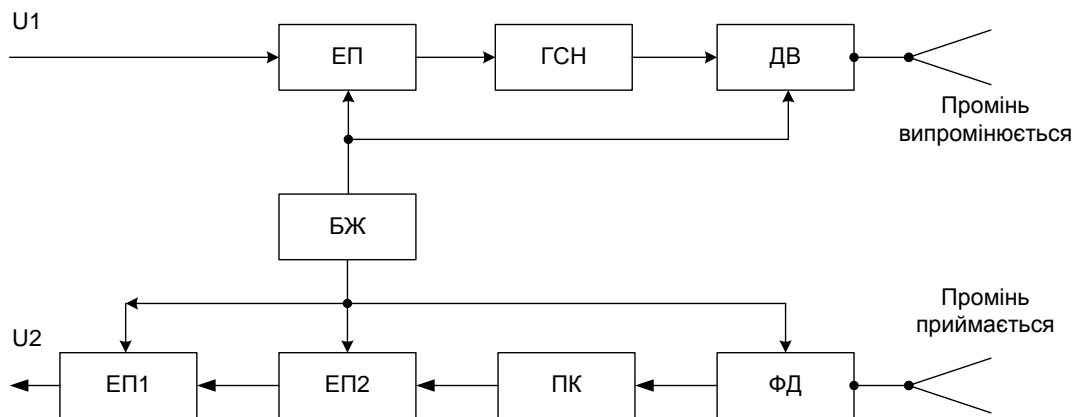


Рис.1. Схема приймально-передавального пристрою атмосферної системи зв'язу: ЕП, ЕП1, ЕП2 – електричні підсилювачі; ГСН – генератор струму накачування; ДВ – джерело випромінювання; БЖ – блок живлення; ПК – погоджувальний каскад; ФД – фотодіод

Передавальна частина системи містить підсилювач електричних сигналів ЕП, генератор струму накачування ГСН, що виконує роль перетворювача напруги в струм і каскаду джерела випромінювання (лазера) ДВ. Приймальна частина містить антену, фокушуючу випромінювання на приймальну площадку фотодіода. Каскад з фотодіодом ФД через погоджувальний каскад ПК підключений до підсилювачів ЕП1, ЕП2. Живлення передавального і приймального пристрою здійснюється від блоку живлення БЖ. Оптичне випромінювання фокусується за допомогою антени [2].

Приймальна частина містить антену, яка фокусує випромінювання на приймальну площадку фотодіода. Проте антена не здатна вказати на напрямок зміщення від центру приймальної лінзи або фотоприймальної матриці і в інтелектуальних системах передачі інформації в яких сприймаються такі характеристики, як форма лазерного пучка, його площа, центр та ін. часто не достатньо фокусувати лише за рівнем сигналу. В цьому випадку використовуються різноманітні методи прогнозування поведінки плям лазерних пучків в т.ч. [2]. Такі методи дозволяють заздалегідь попередити систему про можливі проблеми фокусування та адекватно на них відреагувати.

Живлення передавального і приймального пристрою здійснюється від блоку живлення БЖ. Як джерела випромінювання можуть використовуватися лазери газові, на основі твердого тіла і напівпровідникові.

Детектування оптичного сигналу може здійснюватися за допомогою звичайних і лавинних фотодіодів, а також фотоелектронних помножувачів.

В оптичних системах може застосовуватися стабілізація потужності оптичного випромінювання. Цифрові системи зв'язу містять також, як правило, порогові пристрої для регенерації прямокутних імпульсів з метою відновлення форми імпульсів [3].

Окрім зазначених основних вузлів, станція атмосферного лазерного зв'язу (АЛЗ) може бути забезпечена системами термостабілізації, самодіагностики, індикації робочих параметрів тощо.

Високий ступінь когерентності лазерного випромінювання дозволяє використовувати перешкодостійкі методи модуляції: частотну, фазову і поляризаційну модуляцію. Відомі системи ОЗ із застосуванням поляризаційної модуляції випромінювання безперервних газових лазерів (лазер He - Ne з  $\lambda = 0,03 \mu\text{м}$  і  $\text{CO}_2$  - лазер з  $\lambda = 10,6 \mu\text{м}$ ) для передачі як аналогової, так і цифрової інформації. Для передачі останньої, наприклад, зручна імпульсна модуляція інтенсивності напівпровідникових лазерів струмом накачування.

Серед відкритих ліній зв'язу перспективні лінії зв'язу Земля - космос і космос - космос, де на великих відстанях (напр.,  $1,6 \times 10^8$  км до планети Марс) необхідно передавати великий обсяг інформації з великою швидкістю ( $10^6$  біт/с).

Параметром для оцінки можливостей високошвидкісної передачі інформації є добуток швидкості передачі інформації на відстань. Для ОЗ на довжині хвилі випромінювання  $\lambda = 1,55 \mu\text{м}$  цей параметр може перевищувати 200 (Гбіт / с) км.

Специфічною особливістю систем ОЗ в порівнянні з радіотехнічними системами є обмежена величина енергетичного потенціалу - відношення потужності джерела випромінювання до потужності оптичного сигналу, який надходить з виходу волоконної лінії в фотоприймач та

необхідної для реєстрації сигналу з необхідною імовірністю помилки (не більше  $10^{-9}$ ).

Для виділення інформаційного сигналу на приймач має надходити певне число фотонів. При збільшенні швидкості передачі інформації та збереження при цьому однією і тією ж ймовірності помилки повинна зростати оптична потужність, яка детектується фотоприймачем.

Лазери, пристрої для генерування або підсилення когерентного, монохроматичного і вузькоспрямованого електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, здатного поширюватися на великі відстані без розсіювання і створювати винятково велику густину потужності випромінювання при фокусуванні ( $10^8$  Вт/см<sup>2</sup> для високоенергетичних лазерів), застосовуються для передачі даних у волоконно-оптичних системах передачі даних. Для утворення головного елемента лазера, активного середовища, використовують: вплив світла, електричний розряд у газах, хімічні реакції, бомбардування електронним пучком та інші методи «накачування».

Поширення лазерного променя в атмосфері значною мірою залежить від метеоумов, від наявності диму, пилу й інших забруднень повітря. Крім того, в атмосфері спостерігаються турбулентні явища, що приводять до флуктуації показника переломлення середовища, коливань променя і перекручень прийнятого сигналу. Однак, незважаючи на зазначені проблеми, атмосферний лазерний зв'язок виявився цілком надійним на відстанях декількох кілометрів і особливо перспективним для розв'язання проблеми «останньої милі» [3].

Окрім молекулярного поглинання поширенню променя заважає молекулярне розсіювання променистої енергії мікрогустками молекул повітря, що мають різну щільність і різні показники заломлення.

Атмосфера являє собою механічну суміш з газів, пару, крапель рідини і твердих частинок. У ній завжди в змінній кількості присутні пил, дим, кристалики льоду. Тому атмосфера є аерозолем, склад якого безупинно змінюється через перемішування.

Усі типи атмосферних аерозолей можна об'єднати в такі основні класи: хмари, тумани, димки, наморозь і опади — дощ чи сніг. У хмарах і туманах найбільш імовірне значення радіуса частинок складає 5—6 мкм, а в димках на 1—2 порядки менше. Тому ослаблення мікронного випромінювання в димках нижче. При цьому характерно, що ослаблення оптичного сигналу при дощі та снігопаді менше, ніж при тумані (табл.1) [4]:

Таблиця 1.

**Ослаблення випромінювання в діапазоні 0,85 мкм залежно від погодних умов**

Погодні умови	Загасання, дБ/км
Ясна погода	0—3
Слабкий дощ	3—6
Сильний дощ	6—17
Сніг	6—26
Легкий туман	20—30
Густий туман	50—100

У перших АЛЗ використовувався гелій-неоновий лазер з довжиною хвилі випромінювання 0,63 мкм і потужністю декілька десятків міліват. Амплітудна модуляція здійснювалася модулятором на базі ефекту Поккельса, а фотоприймачем служив фотоперемножувач.

Сучасне значне поширення АЛЗ у багатьох країнах світу почалося, коли були створені недорогі напівпровідникові лазери потужністю в 100 мВт і більше. У цей же час виникла потреба в лазерному зв'язку, оскільки почали стрімко розвиватися інформаційні технології. Різко збільшується кількість абонентів, що вимагають надання таких телекомунікаційних послуг, як Інтернет, IP-телефонія, кабельне телебачення з великою кількістю каналів, комп'ютерні мережі тощо.

На відміну від НВЧ оптичний діапазон цілком вільний, і його використання не вимагає узгодження частот. Він дозволяє забезпечити високу швидкість передачі інформації, її захист від несанкціонованого доступу, завадостійкість, низьке енергоспоживання. Тому найбільш повним розв'язанням проблеми «останньої милі» є передача інформації лазерним променем [5].

Поширення лазерного випромінювання в атмосфері супроводжується цілою низкою явищ лінійної і нелінійної взаємодії світла із середовищем. При цьому жодне з цих явищ не спостерігається окремо. За суто якісними ознаками зазначені явища можна поділити на три основні групи: поглинання і розсіювання молекулами газів повітря, ослаблення на аерозолях (пил, дощ, сніг, туман) і флуктуації випромінювання на турбулентностях атмосфери. Поглинання світлового потоку видимого й інфрачервоного діапазонів визначається, насамперед, молекулярним поглинанням, у край нерівномірним за частотою. Воно максимальне на резонансних частотах молекул повітря, води, вуглекислого газу, озону

й інших компонентів атмосфери.

Існують ділянки спектра, де поглинання незначне. Вони називаються *вікнами прозорості*.

Якщо лазерне випромінювання потрапляє в центр сильної лінії спектра, то воно поглинається атмосферою на 100 % навіть на невеликій відстані. Тому для АЛЗ слід брати лазери з випромінюванням, що знаходиться на ділянках спектра атмосфери, зайнятих широкими вікнами прозорості чи в проміжках між слабкими лініями поглинання, у мікрівікнах прозорості.

### ВИСНОВКИ

Таким чином, передача даних за допомогою лазерного променя через атмосферу на сьогодні вже забезпечує передачу великих обсягів інформації з високою надійністю на відстанях в одиниць кілометрів у земних умовах, а у космічному просторі на десятки тисяч кілометрів, проте методи та програмно-апаратні засоби передачі потребують суттєвого вдосконалення. Враховуючи особливості проходження лазера через атмосферу та вплив різного роду завад на корисний сигнал, потрібно чітко встановлювати напрямки та межі зміни геометричних характеристик зображень сигналу в системах штучного інтелекту для якісної та стабільної передачі даних використовуючи сучасні методи їх прогнозування.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hecht, Jeff, Understanding Fiber Optics, 4th ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA 2002 (ISBN 0-13-027828-9).
2. Телекомунікаційні системи та мережі [Електронний ресурс]: Педагог.навч.засіб для вищих навч.закладів // Под ред. ХНУР., [2011 р. –] Том 1. URL: <http://www.znanius.com/3640.html>. (дата звернення 05.06.2014).
3. Телекомунікаційні системи та мережі [Електронний ресурс]: Педагог.навч.засіб для вищих навч.закладів // Под ред. ХНУР., [2011 р. –] Том 2. URL: <http://www.znanius.com/3640.html>. (дата звернення 05.06.2014).
4. П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко Телекомунікаційні та інформаційні мережі/Під ред. САММІТ-Книга, м. Київ, 2010 – 592 с.
5. Основы импульсной лазерной локации: Учебное пособие / В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.М. Орлов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. –512 с.

Надійшла до редакції 15.06.2014р.

**ПОПЛАВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ** – к.т.н., старший викладач кафедри телекомунікаційних технологій та автоматики, Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ, Україна.

**ПОПЛАВСЬКА АННА АНАТОЛІЇВНА** – студентка 1 курсу магістратури, кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

**КОРОТУН ІВАН АНАТОЛІЙОВИЧ** - студент 4 курсу, кафедри автоматики та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ, Україна.