

Трубчанінова К. А., д.т.н., доцент,  
Ткаченко Є. М., Зіненко О. В., студенти  
(УкрДУЗТ)

## МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ

Досліджуються методи компенсації нелінійних спотворень в волоконно-оптичних лініях зв'язку. До першого типу можна віднести різні формати модуляції і кодування, які формують сигнали таким чином, щоб при проходженні по оптичному каналу вони були менше схильні до нелінійних ефектів. До другого підходу можна віднести цифрову обробку сигналу, виконувану в приймачі лінії зв'язку і компенсуючу нелінійні спотворення шляхом чи лінійних або нелінійних операцій над прийнятими символами [1].

Проведено аналіз впливу нелінійності на статистику символних помилок при передачі 16-QAM сигналів по оптичних лініях зв'язку. Була реалізована схема адаптивної модуляції, яка за поточним розподіленням помилок змінює ймовірність попадання символів на кожен з кіл сигнального сузір'я так, щоб зменшити число переданих помилок. Для даної схеми знайдена залежність між ступенем зниження коефіцієнта символних помилок і надмірністю в потоці даних [2]. Для схеми адаптивної модуляції продемонстровано значне підвищення якості передачі даних при збільшенні надмірності повідомлення. Також показана можливість збільшення дальності поширення сигналів при збереженні того ж рівня помилок у разі використання адаптивного модулятора. Обґрунтована низька ефективність компенсації нелінійності схем на основі статичних нейронних мереж. Продемонстровано підвищення якості передачі оптичних сигналів в порівнянні з іншими методами компенсації нелінійних спотворень в разі використання схеми обробки сигналів на основі динамічних нейронних мереж [3].

### Список використаних джерел

1. Трубчанінова К. А. Розрахунок впливу нелінійних ефектів в системах DWDM на енергетичні характеристики сигналу / К. А. Трубчанінова, Ю. Д. Юр'єва, А. С. Панченко. *Інформаційно-керуючі системи на заліз. транспорті*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. – № 3. – С. 44–49.
2. Optical Fibers and Fiber-Optic Communications. URL: <http://what-when-how.com/fiber-optics/optical-fibers-and-fiber-optic-communications-part-1/> (дата звернення: 19.06.2022).
3. Кайдан М. В. Напрямні системи телекомунікаційних мереж / М. В. Кайдан, М. М. Климаш, Б. М. Стрихалюк. – Львів: Львівська політехніка, 2021. – 488 с.

Трубчанінова К. А., д.т.н., доцент,  
Дрогалев М. М., магістрант (УкрДУЗТ)

## МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОМОДОВИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Досліджуються основні чисельні методи рішення рівнянь поширення оптичних сигналів у багатомодових волокнах. Приведений опис симетричного методу розщеплювання по фізичних процесах з використанням перетворення Фур'є на лінійному кроці [1]. За рахунок того, що цей метод простий в реалізації, швидкий і має високу точність по часовій змінній, він є найбільш поширеним методом рішення рівнянь волоконної оптики. Проте при рішенні рівняння поширення сигналів у багатомодових волокнах в проміжних режимах зв'язку метод розщеплювання вимагає обчислення матричної експоненти на кожному кроці по  $z$ , що є дуже трудозатратною операцією. Для подолання цієї труднощі була запропонована компактна схема підвищеного порядку точності для вирішення нелінійного рівняння Манаківа з першою похідною за часом, поширення сигналів, що описує, у багатомодових волокнах, що рухаються з різною груповою швидкістю [2]. Ця схема має високу ефективність розпаралелювання і не має недоліків методу розщеплювання, хоча і поступається йому в точності розрахунку на фіксованій сітці по часовій змінній.

Також представлені результати чисельних розрахунків для розглянутих методів. Чисельні рішення, отримані за допомогою методу розщеплювання і компактної схеми, порівнювалися з точними рішеннями скалярного нелінійного рівняння Шредингера [3]. В ході тестових розрахунків був підтверджений загальний порядок точності схем. Також проведено порівняння часу розрахунків запропонованої схеми з методом розщеплювання по фізичних процесах і показано, що до компактна схема потребує менше обчислювальних затрат при використанні великого числа мод в проміжних режимах зв'язку.

### Список використаних джерел

1. Puttnam Benjamin J. Space-division multiplexing for optical fiber communications / Benjamin J. Puttnam, Georg Rademacher, and Ruben S. Luís. – *Optica*. – 2021. – Vol. 8, Issue 9. – P. 1186–1203.
2. Talat Körpınar. Maxwellian evolution equations along the uniform optical fiber / Talat Körpınar, Ridvan Cem Demirkol, Zeliha Körpınar, Vedat Asil. – *Optica*. – 2020. – Vol. 217. – Article 164561.
3. Hayat Rezgui. An Overview of Optical Fibers / Hayat Rezgui. – *Global Journal of Science Frontier Research*. – 2022. – Vol. 21(6). – P. 14–20.