

## РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.391.052

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/08>

**Сотніченко Ю.О.**

Київський коледж зв'язку

### МЕТОД ДИНАМІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ НА ОПТИЧНИХ ЛІНІЙНИХ СПОРУДАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

У роботі розглянуто новий метод захисту інформаційних потоків, що передаються лініями оптичного зв'язку. В основі його лежить формування спеціальних лінійних кодів з підвищеною кількістю одиниць, яка може бути значно збільшена порівняно з кількістю одиниць основного коду на вході в лінію. При цьому для формування лінійних кодів та зворотної операції використовуються винятково пасивні оптичні елементи, а саме: волоконні розгалужувачі та лінії затримки на певну частину тактового інтервалу. Використання спеціального лінійного коду значно підвищує захищеність інформації при несанкціонованому доступі до лінійних споруд. Проте під час використання постійного типу коду виникає небезпека його перехоплення під час несанкціонованого доступу та подальшого аналізу з розробленням відповідних заходів протидії. З огляду на це в роботі передбачено регулярну зміну лінійних кодів за псевдовипадковим законом під час використання таких активних пристроїв, як оптичні комутатори, які відрізняються практично нехтовно малим часом переключення, і за рахунок цього можуть бути застосовані при усіх можливих, в тому числі і найвищих швидкостях передавання. Запропоновано відповідну побудову лінійного оптичного тракту для переключення двох типів кодів з визначенням місць підключення пасивного та активного обладнання. Як базові коди для подальшого формування лінійних кодів запропоновано використання оптичних кодів з поверненням до нуля. З метою подальшого рівня захищеності в роботі пропонуються динамічні переключення трьох типів сформованих лінійних кодів. Застосування запропонованого методу з високою швидкістю переключення ряду типів кодових комбінацій значно підвищує захищеність такої критичної інфраструктури, як оптична мережа зв'язку, від несанкціонованого доступу до інформації на рівні лінійних споруд.

Використання пасивних та активних елементів дозволяє створити ефективні принципи динамічного захисту інформації на лінійних спорудах оптичних мереж зв'язку. Ці принципи поєднують як формування ряду типів захищених лінійних кодів, так і регулярне швидке переключення їх у випадкові моменти часу. Це значно підвищує рівень захисту.

Додатковою перевагою є можливість виконання пасивних та активних оптичних елементів в інтегрально-оптичному виді.

**Ключові слова:** оптичне волокно, несанкціонований доступ, захист інформації, оптичний розгалужувач, оптичний комутатор.

**Постановка проблеми.** На цей час обсяг конфіденційної інформації, що передається оптичними мережами зв'язку, постійно зростає. Це ставить виклик щодо захисту такої критичної інфраструктури, як мережі зв'язку, від несанкціонованого доступу, зокрема, на рівні лінійних споруд, які здебільшого розташовані за межами приміщень.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження застосування методу динамічного захисту інформації на оптичних лінійних спорудах критичної інфраструктури.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Волоконно-оптичні лінії зв'язку, через особли-

вості розповсюдження електромагнітної енергії в оптичному волокні, мають підвищену захищеність від доступу до інформації, що передається лінійним трактом [1, с. 39]. Проте існують ситуації, за яких процес зняття інформації стає можливим, і це призводить до необхідності розробки заходів для протидії таким спробам.

Захисна оболонка, броньовий покрив й інші елементи конструкції оптичного кабелю (ОК) настільки сильно послаблюють можливе випромінювання поза волоконним світловодом (ВС), що воно практично не проникає за межі оболонки. Отже, перехоплення інформації може бути лише

внаслідок порушення цілісності зовнішньої оболонки та інших захисних покриттів кабелю з метою безпосереднього доступу апаратури перехоплення до оптичних волокон (ОВ). Але навіть у цій ситуації без додаткових дій над волокном перехоплення оптичного сигналу є неможливим, оскільки випромінювання за межі ОВ практично відсутнє.

Для забезпечення випромінювання за межі ВС у цій ситуації формується вигин ОВ. У місці такого вигину порушується закон повного внутрішнього відбиття і спостерігається випромінювання енергії світлового сигналу за межі ВС [2, с. 18]. Через це в точці перехоплення інформації волокно характеризується підвищеним рівнем втрат [3, с. 12], що можна визначити методом оптичної рефлектометрії [4, с. 17] або за рахунок збільшення коефіцієнта помилок у лінії [3, с. 13]. При цьому від моменту зняття інформації до моменту виявлення несанкціонованого підключення минає деякий час, який залежить від принципів організації моніторингу лінії та апаратури, застосованої для контролю. Якщо для зняття інформації використовується спеціалізована високочутлива апаратура, то випромінювання на вигині ВС, необхідне для її функціонування, може бути доволі незначним. У цьому разі за допомогою апаратури контролю лінії нелегко встановити сам факт та визначити місце підключення. Існує метод визначення моменту та місця порушення броньових покриттів кабелю у процесі несанкціонованого підключення до лінії [5, с. 33], але він дозволяє проводити контроль на порівняно невеликих відстанях від пункту контролю. Існує метод визначення моменту несанкціонованого доступу до оптичних лінійних муфт на всій довжині регенераційної дільниці [6, с. 84]. Він дозволяє точно визначити розміщення муфти та сам момент доступу, але при цьому лінійні споруди між муфтами залишаються непідконтрольними. Таким чином, для запобігання несанкціонованому доступу до потоків інформації на оптичних лініях необхідно, поряд з методами визначення наявності доступу, застосувати додаткові методи, які унеможливають адекватну інтерпретацію інформації до моменту визначення факту доступу та його ліквідації. З цією метою в роботах [7, с. 92; 8, с. 74; 9, с. 144] запропоновано застосування постійного додаткового кодування (маскування) оптичних лінійних кодів типу RZ за допомогою пасивних оптичних пристроїв.

#### **Формування лінійних кодів за допомогою пасивних елементів**

На цей час на оптичних мережах зв'язку має місце використання лінійного коду типу RZ

(з поверненням до нуля) [10, с. 22; 13, с. 81]. Основна відмінність цього коду полягає в тому, що величина сигналу, яка відповідає передачі одиничного символу, повертається до нульового значення до закінчення тактового інтервалу. При цьому тип коду з поверненням до нуля на половині тактового інтервалу  $T$  позначається, як RZ-0,50, а на чверті тактового інтервалу позначається як RZ-0,25. Тип коду, тривалість одиничного символу якого становить повний тактовий інтервал  $T$ , позначається як NRZ (без повернення до нуля).

Як показують дослідження, під час використання оптичною системою передавання лінійного коду RZ-0,25 існує можливість, використовуючи виключно такі пасивні оптичні елементи, як оптичні лінії затримки та оптичні розгалужувачі, провести додаткове кодування (маскування) сигналу на вході в лінію з метою захисту інформації, що передається по лінійному тракту [7, с. 92].

На рис. 1 наведено метод маскування оптичного сигналу з метою захисту його від несанкціонованого доступу до лінійного тракту та подальшого його декодування на приймальному кінці. На рис. 2 показано побудову лінійного тракту, що використовує цей принцип. Як видно з рисунку, вихідний сигнал системи передавання, який водночас є вхідним сигналом для лінійного тракту, на базі коду RZ-0,25, позначений як  $I_{\text{вх}}$ , подається на оптичний розгалужувач (РО). Оптичний розгалужувач працює як дільник оптичної потужності навпіл. Після чого на входи другого дільника, що працює в режимі суматора, подається та частина сигналу, що пройшла через оптичну лінію затримки (ОЛЗ) з часом затримки  $T/2$  ( $I_{\text{вх}(T/2)}$ ), та незатримана частина сигналу. В результаті цього на виході другого дільника формуються кодові комбінації, що відрізняються від вихідних подвійною кількістю одиниць ( $I_2$ ), які і передаються лінійним трактом. На виході лінійного тракту включено дільник оптичної потужності навпіл. При цьому на другий дільник, що працює в режимі суматора, подається незатримана частина сигналу, та частина сигналу, що пройшла через лінію затримки (ОЛЗ) з часом затримки  $T/4$  ( $I_{\text{вх}(T/4)}$ ). Після складання цих частин формується оптичний сигнал, відповідний початковому, тільки в коді NRZ ( $I_{\Sigma\text{вхNRZ}}$ ).

Подвійна кількість одиниць в оптичному лінійному тракту під час передавання робить неможливим адекватне відновлення сигналу при спробах несанкціонованого доступу до інформації. Таким чином, забезпечується захист інформації, що передається.

Запропонований метод можна розвинути, удосконалити і поширити його на інші види коду RZ. Так, наприклад, на рис.3 зображено метод маскування лінійних кодових комбінацій оптичного сигналу з метою захисту його від несанкціонованого доступу до лінійного тракту та подальшого його декодування на приймальному кінці при використанні оптичного коду RZ-0,125 [7, с. 92; 8, с. 74; 9, с. 144]. На рис.4 показано побудову лінійного тракту, що використовує цей принцип. Побудова лінійного тракту в цьому разі містить на одну ступінь оптичної затримки більше, ніж у попередньому випадку.

Оптичний сигнал, що використовує код RZ-0,125, подається на дільник  $PO_1$  та лінію затримки  $ОЛЗ_1$  на чверть тактового інтервалу ( $T/4$ ). Після чого складові частини сигналу складаються, і на виході оптичного розгалужувача в режимі суматора ( $PO_2$ ) утворюється кодовий сигнал з подвійною кількістю одиниць ( $I_{\Sigma 1}$ ). Цей сигнал подається на розгалужувач  $PO_3$ . Одна зі складових частин після виходу з дільника проходить через оптичну лінію затримки  $ОЛЗ_2$  (час затримки  $T/2$ ) та складається з незатриманою частиною у суматорі  $PO_4$ . Кількість одиниць після такого процесу формування в лінійній кодовій комбінації

буде в чотири рази більше, ніж у вихідній. Сформований та захищений сигнал  $I_{\Sigma 2}$  з виходу  $PO_4$  подається у лінійний тракт. На виході з лінійного тракту сигнал подається на оптичний розгалужувач  $PO_5$  який розділяє його на дві складові частини.

Одна з цих частин проходить через оптичну лінію затримки  $ОЛЗ_3$  (час затримки  $T/8$ ) і складається з незатриманою частиною кодової комбінації у оптичному суматорі  $PO_6$ . При цьому на виході  $PO_6$  утворюється оптичний сигнал з кодовими комбінаціями, що адекватні початковим кодовим комбінаціям, тільки в коді NRZ ( $I_{\Sigma \text{вихNRZ}}$ ).

Цей метод можна узагальнити для коду RZ- $(1/2^{n+1})$ , де  $n$  – ціле додатне число. Випадки, коли  $n = 1$ , та  $n = 2$ , були розглянуті вище. Побудова лінійного тракту з ростом числа  $n$  буде зводитись на приймальному кінці до підключення певної кількості ланок, що виконують розділення сигналу навпіл, затримку одного зі складників на відповідну частину тактового інтервалу та подальше їх складання. На приймальному кінці функцію переводу лінійного коду в код NRZ буде виконувати така ж ланка з використанням оптичної лінії затримки на час  $T/2^{n+1}$ . Кількість одиниць у кодових комбінаціях оптичного лінійного тракту буде в  $2^n$  раз більше, ніж у початкових комбінаціях.

Використання досить недорогих пасивних оптичних елементів для маскування оптичних лінійних кодів значно підвищує надійність процесу захисту інформації, порівняно з використанням активного обладнання.

Динамічний захист інформації на оптичних мережах

Враховуючи той факт, що системи несанкціонованого доступу можуть бути адаптовані до певного фіксованого варіанту лінійних кодів, у роботі запропоновано динамічну систему перемикавання варіантів лінійних кодів за псевдовипадковим законом.

Блок-схема такого пристрою наведена на рис. 5. В цьому разі використано дві системи формування лінійних кодових комбінацій, що перемикаються за псевдовипадковим законом. З цією метою в роботі пропонується використовувати дві системи формування лінійних кодів на базі вхідних кодів (наприклад, RZ-0,25, RZ-0,125), як це

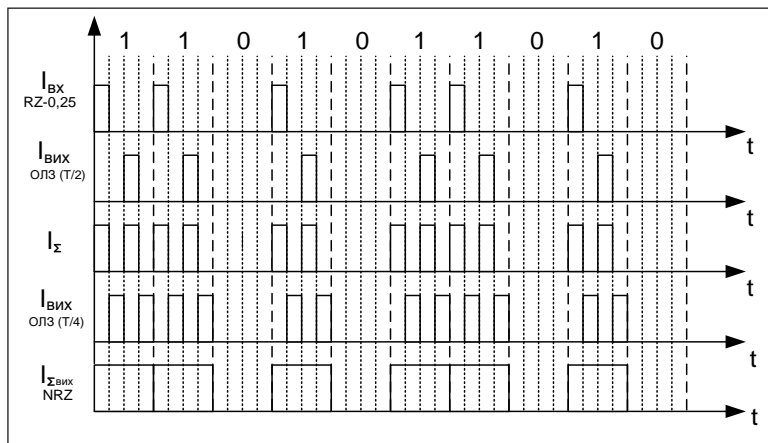


Рис. 1. Метод формування лінійного коду для оптичного сигналу в коді RZ-0,25 при передачі його по лінійному тракту та відновлення вихідного сигналу в коді NRZ

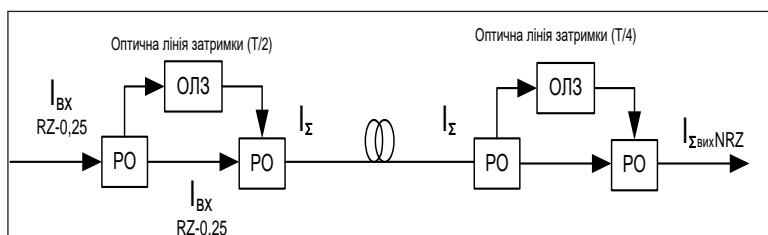


Рис. 2. Побудова лінійного тракту, що використовує лінійне кодування та декодування оптичного сигналу в коді RZ-0,25 за допомогою пасивних елементів

показано на рис. 5. В цьому разі на передавальному кінці в систему формування лінійних кодів (ФЛК) надходять сигнали системи передавання в кодах RZ-0,25 та RZ-0,125 відповідно. В лінійний тракт надходять сигнали у вибраному коді згідно з сигналами з генератору псевдовипадкових часових інтервалів (ГПВЧІ). Сигнал з виходів 1,2 генератору подається на вхід оптичних комутаторів  $K_1$  та  $K_2$ , що працюють у ключовому у режимі. Вихідний сигнал ГПВЧІ з виходу 3 подається в систему передавання для формування пілот-сигналу у разі зміни лінійного коду. Враховуючи той факт, що сигнали на виходах 1,2 генератора повинні бути взаємно інвертовані, на вхід лише одного з формувачів лінійного коду (ФЛК $_1$  або ФЛК $_2$ ) подається відповідний сигнал. Після формування лінійної кодової комбінації вона надходить до розгалужувача оптичного РО $_1$ , що працює в режимі об'єднання сигналів, і далі спрямовується в оптичний лінійний тракт. На приймальному кінці лінійна кодова комбінація надходить у розгалужувач оптичний РО $_2$  та на входи оптичних комутаторів  $K_3$  та  $K_4$ , що працюють у ключовому у режимі. На керуючі входи комутаторів при цьому надходить сигнал з керуючого пристрою (КП), що формується на приймальному кінці після надходження пілот сигналу з передавального кінця. Сигнал з КП забезпечує проходження лінійного сигналу на відповідний формувач коду NRZ (ФКNRZ $_{1,2}$ ) та подальше подання коду в форматі NRZ через розгалужувач оптичний РО $_3$ , що працює в режимі об'єднання сигналів, на вхід оптичного приймача. Таким чином, здійснюється захист інформаційних потоків від несанкціонованого доступу на рівні лінійних споруд оптичного зв'язку. За необхідності підвищення рівня захисту можна додатково до вхідних кодів RZ-0,25 та RZ-0,125 використовувати код RZ-0,0625 та відповідний формувач лінійних кодів. При цьому побудова захисту ускладнюється за рахунок появи додаткових елементів. Швидкодія переключення варіантів лінійних кодів визначається часом переключення оптичних комутаторів, серед яких слід відзначити комутатори на основі інтерферометра Маха-Цендера (ІМЦ) та електрооптичні комутатори (ЕОК) [11, с. 277; 12, с. 169].

Електрооптичні комутатори також використовують спрямовані розгалужувачі для формування світлового потоку на одному з вихідних портів. Але це робиться за рахунок зміни коефіцієнту зв'язку між оптичними хвилеводами. Зміна зв'язку здійснюється шляхом зміни коефіцієнта заломлення матеріалу розгалужувача в зоні оптичного зв'язку.

На рис. 7 представлена схема оптичного комутатора на основі спрямованого розгалужувача X – типу.

Світловоди 1 та 2 на ділянках MN та DF виконані з електрооптичного матеріалу. З зовнішніх сторін між світловодами наявні прозорі електроди. За рахунок прикладеної напруги можна змінювати показники заломлення світловодів, змінюючи коефіцієнт спрямованості розгалужу-

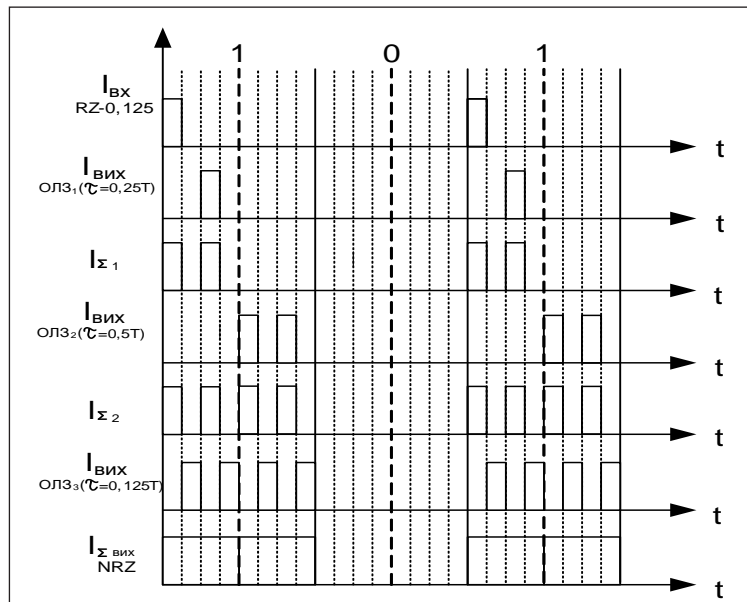


Рис. 3. Метод формування лінійного коду для оптичного сигналу в коді RZ-0,125 під час передачі його по лінійному тракту та відновлення вихідного сигналу в коді NRZ

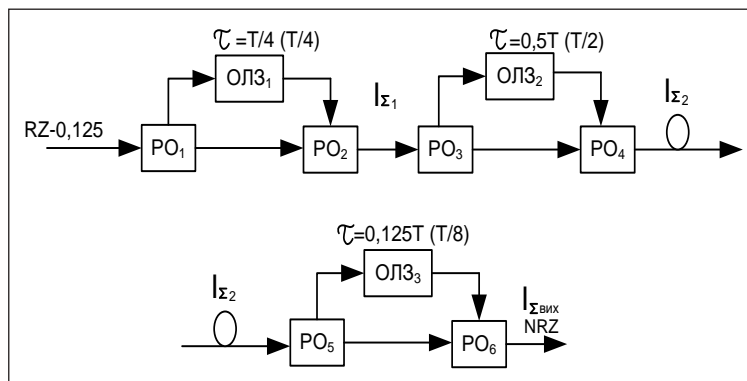


Рис. 4. Побудова лінійного тракту, що використовує лінійне кодування та декодування оптичного сигналу в коді RZ-0,125 за допомогою пасивних елементів

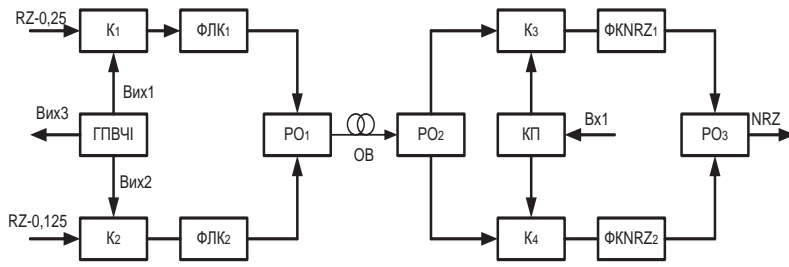


Рис. 5. Побудова лінійного тракту, що використовує динамічний захист інформації

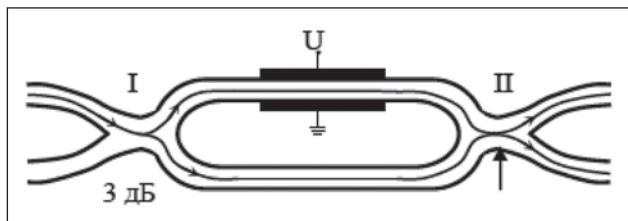


Рис. 6. Комутатор на основі інтерферометра Маха - Цендера

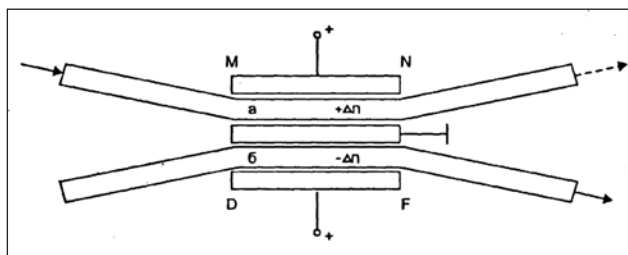


Рис. 7. Комутатор на основі спрямованого розгалужувача X – типу

Комутатор на основі ІМЦ побудований на базі двох послідовно об'єднаних оптичних розгалужувачів ( коефіцієнт відгалуження 3 дБ), які пов'язані між собою двома оптичними хвильоводами різної оптичної довжини для створення на виході II різниці фаз шляхом зміни напруги U, що подається на одне з плечей інтерферометра рис. 6.

Враховуючи той факт, що оптичний хвильовод, до якого прикладене електричне поле, виконаний з електрооптичного матеріалу, наприклад, з ніобату літія ( $\text{LiNbO}_3$ ), його показник заломлення змінюється зі зміною напруги. При цьому змінюється різниця фаз між сигналами, що надходять до виходу II і відбувається перерозподіл потужностей сигналу між виходами інтерферометра таким чином, що він може бути спрямований повністю на один з двох виходів інтерферометра. При використанні лише одного виходу комутатор може працювати в ключовому режимі.

Електрооптичні комутатори мають велику перевагу, що проявляється у швидкодії, яка досягає величини порядку 10–100 пс [10, с. 327], а також у малих величинах керуючих напруг – 2,5–3 В. Перевагою електрооптичних комутаторів є також можливість інтегрально-оптичного виконання.

Таким чином, використання пасивних (розгалужувачі та лінії затримки) та активних елементів (комутаторів) дозволяє створити ефективні принципи динамічного захисту інформації на лінійних спорудах оптичних мереж зв'язку. Ці принципи поєднують як формування ряду типів захищених лінійних кодів, так і регулярне швидке переключення їх у випадкові моменти часу. Це значно підвищує рівень захисту, оскільки робить практично неможливим адекватне та своєчасне простежування та визначення конкретного типу у реальному часі.

**Висновки.** Запропонований у роботі новий метод динамічного захисту інформації на лінійних спорудах критичної інфраструктури, якими є мережі оптичного зв'язку, дозволяє підвищити захищеність оптичних мереж від несанкціонованого доступу. Головною перевагою методу є швидке переключення за псевдовипадковим законом ряду лінійних кодів, що сформовані за спеціальним алгоритмом за допомогою пасивних оптичних елементів. При цьому кількість одиниць у лінійних кодових комбінаціях може значно перевищувати кількість одиниць основного коду. Завдяки цьому адекватне сприйняття основного коду стає неможливим. Проте в разі постійного застосування певного типу лінійного коду є можливість, в результаті аналізу, прийняття заходів до його адекватного сприйняття. З метою недопущення такої ситуації в роботі запропоновано динамічний принцип захисту, що полягає в швидкому переключенні типів лінійних кодів за псевдовипадковим законом. Враховуючи високу швидкість переключення, або малий його час, та псевдовипадковий закон переключення в часі, адекватне сприйняття інформації стає практично неможливим.

Додатковою перевагою методу є можливість виконання усіх елементів, які він включає, в інтегрально-оптичному вигляді.

## Список літератури:

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. Москва : Техносфера, 2003. 440 с.
2. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. Москва : ЛЕСАРарт, 2003. 288 с.
3. Яковлев А.В. Волоконно-оптическая система передачи конфиденциальной информации. *Электросвязь*. 1994. № 10. С. 11–13.
4. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон. Москва : ЛЕСАРарт, 2005. 208 с.
5. Гордієнко С.С., Манько О.О., Гордієнко С.Б. Моніторинг лінійних споруд ВОЛЗ із метою захисту інформації від несанкціонованого доступу. *Зв'язок*. 2012. №1(97). С. 32–34.
6. Манько О.О. Захист лінійних споруд ВОЛЗ від несанкціонованого доступу з використанням металевих елементів оптичного кабелю. *Сучасний захист інформації*. 2012. № 3. С. 84–86.
7. Манько О.О. Використання маскування оптичних лінійних кодів для захисту інформації на ВОЛЗ. *Сучасний захист інформації, спеціальний випуск*. 2012. С. 90–92.
8. Manko O. Using Passive Optical Devices for the Protection of Information in the Optical Communication Lines. 2016 Third International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T'2016) October 4-6, 2016, Kharkiv, Ukraine, Conference Proceedings, P. 73–74.
9. Манько О., Шматок О., Петренко А. Використання пасивних оптичних пристроїв для захисту інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку та мережах. *Захист інформації*. Т. 19. №2, квітень – червень 2017, С. 143–147.
10. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. 2-е исправл. изд. Москва : Радио и связь, 2003. 468 с.
11. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. Москва : ЭКО-ТРЕНДЗ, 2001. 262 с.
12. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2010. 272 с.
13. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. Москва : ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. 576 с.

#### Sotnichenko Yu.O. METHOD OF DYNAMIC PROTECTION OF INFORMATION ON OPTICAL LINEAR STRUCTURES OF CRITICAL INFRASTRUCTURE

*This paper describes a new method of protecting the information flows transmitted by optical links. It is based on the formation of special linear codes with an increased number of units, which can be significantly increased compared to the number of units of the main code at the entrance to the line. At the same time, only passive optical elements are used to form linear codes and reverse operations, namely: fiber splitters and delay lines for a certain part of the clock interval. Using a special linear code significantly increases the security of information in case of unauthorized access to linear structures. However, when using a constant type of code, there is a risk that it will be intercepted during unauthorized access and further analyzed to develop appropriate counter-measures. Taking into account this, regular change of linear codes by pseudorandom law is envisaged in the use of active devices such as optical switches, which differ in almost negligible switching time, and at the expense of which they can be applied at all possible including the highest transmission rates. An appropriate construction of a linear optical path is proposed for switching two types of codes with determining the connection points of passive and active equipment. The use of optical codes with a return to zero is proposed as the base codes for the further formation of linear codes. For the sake of further level of security in the work dynamic switches of three types of generated linear codes are offered. The application of the proposed method with a high rate of switching of several types of code combinations significantly increases the security of such critical infrastructure as the optical communication network from unauthorized access to information at the level of linear structures.*

*The use of passive and active elements allows you to create effective principles for the dynamic protection of information on linear structures of optical communications networks. These principles combine both the formation of a number of types of secure line codes and the regular rapid switching of them at random times. This greatly increases the level of protection.*

*An additional advantage is the ability to perform passive and active optical elements in integral-optical form.*

**Key words:** optical fiber; unauthorized access, information security, optical splitter; optical switch.