

УДК 621.391

Кайдан М. В., к.т.н.; Климаш М. М., д.т.н.

(Національний університет «Львівська політехніка, м. Львів». +380 50 431 98 07. kaidan\_k@mail.ru)

## ТЕНЗОРНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ФОТОННОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

**Кайдан М. В., Климаш М. М. Тензорна модель системи зв'язку фотонної транспортної мережі.** Розглянуто структурні і функціональні властивості системи зв'язку в рамках тензорної моделі. Запропоновано тензорну модель системи зв'язку фотонної транспортної мережі. Розглянута двохволоконна односмугова однокабельна мережа, в якій передача і прийом оптичних сигналів ведуться по двох оптичних волокнах і здійснюються на одній довжині хвилі; одноволоконна односмугова однокабельна мережа з використанням одного оптичного волокна для передачі сигналів в двох напрямках на одній і тій же довжині хвилі; одноволоконна двосмугова однокабельна мережа, в якій передача в кожному напрямку ведеться на різній довжині хвилі. Представлена порівняльна характеристика фотонних транспортних мереж з різними способами організації двостороннього зв'язку. Обґрунтовано доцільність і умови використання двостороннього зв'язку між транзитними вузлами фотонної транспортної мережі на основі тензорної моделі.

**Ключові слова:** фотонна транспортна мережа, тензорна модель, вузол, система зв'язку, односмугова мережа, двосмугова мережа

**Кайдан Н. В., Климаш М. Н. Тензорная модель систем связи фотонной транспортной сети.** Рассмотрены структурные, так и функциональные свойства системы связи в рамках тензорной модели. Предложена тензорная модели систем связи фотонной транспортной сети. Рассмотрена двухволоконная однополосная однокабельная сеть, в которой передача и прием оптических сигналов ведутся по двум оптическим волокнам и осуществляются на одной длине волны; одноволоконная однополосная однокабельная сеть с использованием одного оптического волокна для передачи сигналов в двух направлениях на одной и той же длине волны; одноволоконная двухполосная однокабельная сеть, в которой передача в каждом направлении ведётся на разной длине волны. Представлена сравнительная характеристика фотонных транспортных сетей с различными способами организации двухсторонней связи. Обосновано целесообразность и условия использования двухсторонней связи между транзитными узлами фотонной транспортной сети на основе тензорной модели.

**Ключевые слова:** фотонная транспортная сеть, тензорная модель, узел, система связи, однополосная сеть, двухполосная сеть

**Kaidan M. V., Klymash M. M. Tensor model of the communication system for photonic transport network.** Both structural and functional properties of communication network are considered within the tensor model framework. The tensor model designed, system communication photonic transport network. There are considered two-fibre single-sideband one-cable network in which a transmission and reception of visual signals is conducted on two optical fibres and carried out on one wave-length; one-fibre single-sideband one-cable network with the use of one optical fibre for the transmission of signals in two directions on a the same wave-length; one-fibre dual-sideband one-cable network in which a transmission in every direction is conducted on a different wave-length. Comparative description of photonic transport networks with the different ways of organization of two-way communication is presented. The necessary duplex communication conditions between the transit nodes photonic transport network for effective tensor model implementation were proved.

**Keywords:** photonic transport networks, tensor model, node, system communication, single-sideband network, dual-sideband network

**Вступ.** При математичному моделюванні телекомунікаційних мереж, в тому числі у фотонних транспортних мережах, найбільш ефективним для розв'язання сучасних телекомунікаційних проблем є тензорний метод [1...4]. Одною з головних властивостей тензора - інваріантність вибору системи координат. Тензорний аналіз найбільш інтенсивно почав розвиватися саме останнє десятиліття [4...13]. Водночас, наприклад у фотонних транспортних мережах існує двохсторонній зв'язок між вузлами, який не враховується в існуючих тензорних моделях.

Ціль даної статті: показати можливість врахування двохстороннього зв'язку між вузлами у фотонних транспортних мережах при побудові тензорної моделі.

**Тензорна модель та метод розрахунку параметрів телекомунікаційної системи.** В тензорному аналізі всі величини можна описати тензорами, які не залежать від систем координат, хоча значення їх проєкцій у різних системах координат можуть бути різними [1...3]. Застосовуючи інваріантність тензора можна визначити параметри телекомунікаційних мереж при зміні системи координат використовуючи матриці переходу [4].

Враховуючи інваріантність для елементів мережі та мережі в цілому, незалежно від їхнього типу, приведено відому формулу Літтла в безкоординатній формі запису [6, 11, 12]:

$$\mathbf{H} = \mathbf{T} \mathbf{L}, \quad (1)$$

де кожний тензор представляє сукупність відповідних значень параметрів для вузлів та гілок мережі пропускної здатності  $\mathbf{L}$ , часу затримки  $\mathbf{T}$  та навантаження  $\mathbf{H}$ . З (1) час перебування пакету у вибраній ділянці мережі знаходять у вигляді:

$$\mathbf{T} = \mathbf{H} \mathbf{L}^{-1}.$$

Зазначений в (1) один з тензорів  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{L}$  або  $\mathbf{T}$  можна представляти у вигляді тензору другого роду, а інші два – як тензори першого роду.

Використовуючи тензорну модель досліджень телекомунікаційних мереж, розглянуто  $(n+m)$ -простір, який складається з  $(n+m)$  координат, де  $n$  – кількість гілок,  $m$  – кількість вузлів.

Враховуючи, що розглядуваний простір складається з двох підпросторів –  $n$ -простір гілок ( $\Gamma$ ) та  $m$ -простір вузлів ( $\mathbf{V}$ ), досліджувані параметри  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{L}$ ,  $\mathbf{T}$  можна розглядати окремо і представити, як  $\mathbf{H}_\Gamma$  та  $\mathbf{H}_\mathbf{V}$ ,  $\mathbf{L}_\Gamma$  та  $\mathbf{L}_\mathbf{V}$ ,  $\mathbf{T}_\Gamma$  та  $\mathbf{T}_\mathbf{V}$ , відповідно.

В [6, 8, 9] детально розглянуто тензорні моделі та методи дослідження телекомунікаційних систем, де затримка часу на транзитних вузлах не враховується, тобто

$$\mathbf{T}_\mathbf{V} = 0.$$

Така модель та методи дослідження дуже полегшують та спрощують самі розрахунки. Водночас тут не враховуються час затримки на вузлах. В наших роботах [13] запропоновано вводити додаткову гілку замість транзитних вузлів, що дозволяє враховувати час затримки на відповідних вузлах.

**Способи організації зв'язку у фотонних транспортних мережах.** За способом організації двостороннього зв'язку фотонні транспортні мережі підрозділяються на [13]:

*а)* двошвоконну односмугову однокабельну, при якій передача і прийом оптичних сигналів ведуться по двох оптичних волокнах і здійснюються на одній довжині хвилі. Кожне оптичне волокно є еквівалентом двопровідної фізичної ланки і, оскільки взаємні впливи між оптичними волокнами кабелю малі, то тракти передачі і прийому різних систем організуються по одному кабелю, тобто такі фотонні транспортні мережі є однокабельними односмуговими. Перевагою такої фотонної транспортної мережі є використання однотипного устаткування трактів передачі і прийому кінцевих і проміжних станцій, а недоліком – вельми низький коефіцієнт використання пропускної здатності оптичного волокна;

*б)* одношвоконна односмугова однокабельна, особливістю якої є використання одного оптичного волокна для передачі сигналів в двох напрямках на одній і тій же довжині хвилі;

*в)* одношвоконна двосмугова однокабельна, при якій передача в одному напрямі ведеться на довжині хвилі оптичного випромінювання  $\lambda_1$ , а в іншому –  $\lambda_2$ . Розділення напрямів передачі здійснюється за допомогою направляючих оптичних фільтрів, налаштованих на відповідні довжини хвиль оптичного випромінювання.

**Тензорна модель системи зв'язку.** З огляду на прикладі фотонної транспортної мережі легко бачимо, що між двома транзитними вузлами при передачі сигналів зв'язок може здійснюватися одночасно в різні напрямки.

Отже необхідно враховувати, що можливою є передача пакетів від одного транзитного вузла до іншого транзитного вузла і одночасна паралельна передача у зворотному напрямку, яку необхідно проаналізувати. В [13] нами досліджувалась телекомунікаційна мережа між вузлом-джерелом та вузлом-адресатом (Рис. 1(а)).

Враховуючи Рис. 1 отримано матриці переходу **C** та **A**, від системи координат гілок мережі до системи координат незалежних контурів і пар вузлів у вигляді:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

де **A**, **C** відповідає випадку, представленому на Рис.1.

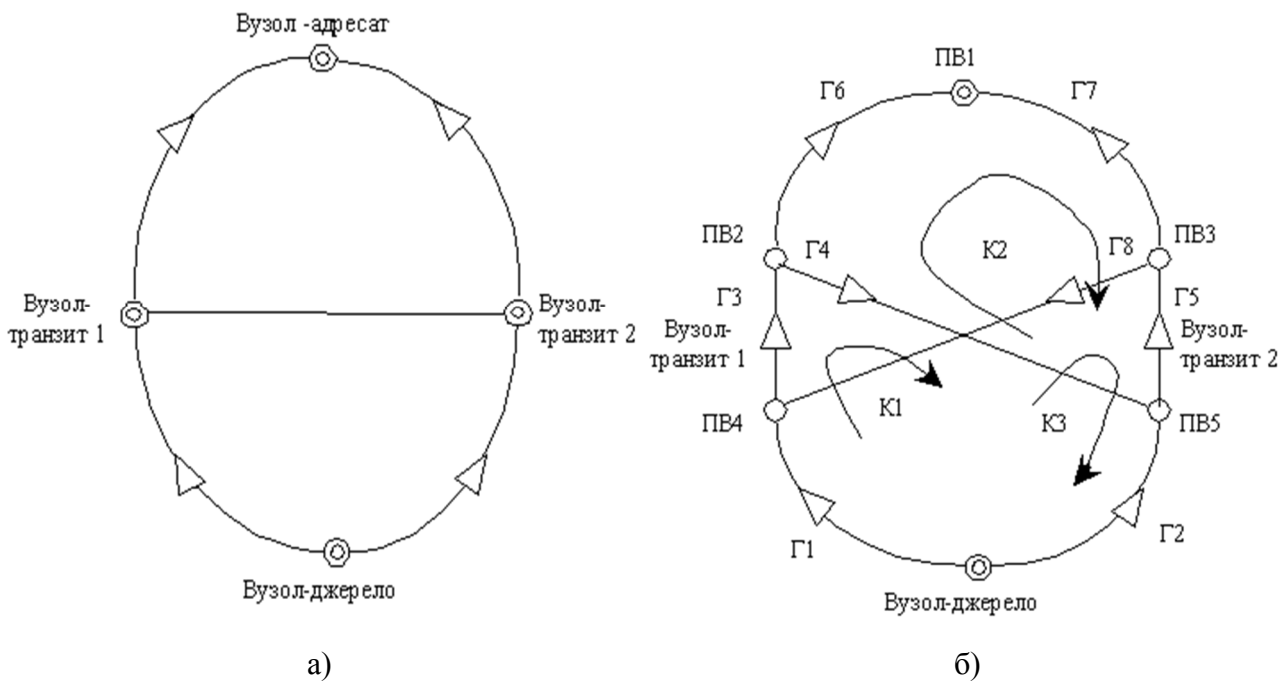


Рис. 1. Схема телекомунікаційної мережі між вузлом-джерелом та вузлом-адресатом – а) і вибір координатних шляхів – б).

За умови, що навантаження на транзитних вузлах, в нашому випадку на гілках Г4 та Г8 є від'ємними, відповідну гілку не потрібно враховувати. Тобто можливі випадки, коли необхідно знехтувати Г4, Г8 або Г4 і Г8 одночасно. Отже, не завжди доцільно враховувати зв'язок, який існує між транзитними вузлами, причому можливі випадки, коли зв'язком Г4 і Г8 краще знехтувати рис.1(б).

Представлена тензорна модель є складнішою, оскільки необхідно враховувати умову доцільності зв'язку між транзитними вузлами.

Проведене дослідження показує, що врахування двохстороннього зв'язку між транзитними вузлами дозволяє зменшити час затримок передачі даних в більшості випадків на 10-30%.

**Висновки.** Запропонована тензорна модель системи зв'язку на прикладі фотонних транспортних мереж. Використання тензорної моделі для фотонної транспортної мережі дозволяє зменшити час затримок сигналу між вузлами на 10-30 %. Визначено, що існують випадки, коли зв'язок між транзитними вузлами недоцільно враховувати.

### **Література**

1. Крон Г. Тензорный анализ сетей / Г. Крон. – Москва : Сов. радио, 1978. – 719 с.
2. Схоутен Я. А. Тензорный анализ для физиков / Я. А. Схоутен. – Москва : Наука, 1965. – 456 с.
3. Пасечников И. И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей / И. И. Пасечников. – Москва : издательство Машиностроение-1, 2004. – 216 с.
4. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / [за заг. ред. проф. В. В. Поповського]. – Харків : ТОВ "Компанія СМІТ", 2006. – 564 с.
5. Степаненко Е. В. Построение моделей информационных сетей на основе тензорной методологии / Е. В. Степаненко, И. Т. Степаненко // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – №2. – С. 44-50.
6. Поповский В. В. Тензорный анализ в задачах системного исследования телекоммуникационных систем / В. В. Поповский, А. В. Лемешко // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2002. – Вып.125. – С. 156-164
7. Лемешко А. В. Результаты исследования тензорной модели многопутевой маршрутизации с обеспечением качества обслуживания в телекоммуникационных сетях / А. В. Лемешко, О. Ю. Евсеева, С. В. Гаркуша // Вестник Южно-уральского государственного университета: Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2013. – Т.13, №4. – С. 38-54.
8. Лемешко А. В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантиями качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей / А. В. Лемешко, О. Ю. Евсеева // Проблемы телекоммуникацій. – 2012. – № 4 (9). – С.16-31.
9. Григорьева Т. И. Применение свойства инвариантности тензора при математическом моделировании телекоммуникационных систем / Т. И. Григорьева // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2005. – № 2. – С.49-53.
10. Стрихалюк Б. М. Тензорне подання топологічних структур тороїдальних мереж / Б. М. Стрихалюк, М. М. Клиماش, М. В. Кайдан // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2008. – №618. – С.138-145.
11. Клиماش М. М. Використання інваріантності тензора для моделювання телекомунікаційних мереж / М. М. Клиماش, Б. М. Стрихалюк, М. В. Кайдан // Моделювання та інформаційні технології : збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України. . – 2008. – Вип. 49. – С.72-79.
12. Клиماش М. М. Тензорна модель характеристик мультисервісного трафіку в NGN мережах / М. М. Клиماش, Б. М. Стрихалюк, М. В. Кайдан // Комп'ютерні технології друкарства : збірник наукових праць. – 2009. – №22. – С.37-43.
13. Клиماش М. М. Тензорний аналіз переходу транспортної мережі в NGN / М. М. Клиماش, Б. М. Стрихалюк, М. В. Кайдан // Комп'ютерні технології друкарства : збірник наукових праць. – 2009. – №21. – С. 126-139.
14. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебн. для ВУЗ-ов ; под ред. Гордиенко В. Н. и Крухмалева В. В. – Москва : Горячая линия–Телеком, 2004. – 510 с.