

УДК: 621.3.063.8 (07)

EDN: QLVFJJ

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2023-2-3-0101-0111>



Особенности применения многомерного тензорного анализа при исследовании сетей интегрального обслуживания

М. Н. Петров¹, О. В. Колмаков¹, М. Ф. Иконникова²

¹Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются особенности применения многомерного тензорного анализа при исследовании сетей интегрального обслуживания. Отмечается, что в таких сетях в зависимости от нагрузки и от числа источников информации осуществляется выбор оборудования узла коммутации, учитываются его качественные и количественные характеристики, а также все затраты на установление и эксплуатацию. В работе в качестве основного инвариантного уравнения при анализе нагрузки сети взята формула интенсивности нагрузки и предложен тензор, учитывающий стоимость узла коммутации. Особенности применения метода отражаются в приведенных примерах расчетов для конкретных топологий сети. Показано, что метод позволяет анализировать сети интегрального обслуживания одновременно по нескольким характеристикам, а также обеспечивает возможность синтеза структуры сети по заранее заданным характеристикам.

Ключевые слова: сеть, интегральное обслуживание, тензорный анализ, топология, структура.

Для цитирования: Петров, М. Н., Колмаков, О. В., & Иконникова, М. Ф. Особенности применения многомерного тензорного анализа при исследовании сетей интегрального обслуживания. Информатика. Экономика. Управление - Informatics. Economics. Management, 2(3), 0101–0111. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2023-2-3-0101-0111>

Features of the application of multidimensional tensor analysis in the study of integrated service networks

M. N. Petrov¹, O. V. Kolmakov¹, M. F. Ikonnikova²

¹Krasnoyarsk Rail Transport Institute, Krasnoyarsk, Russia

²Reshetnev Siberian State University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The paper considers the features of the application of multidimensional tensor analysis in the study of integrated service networks. It is noted that in such networks, depending on the load and the number of information sources, the switching node equipment is selected, its qualitative and quantitative characteristics are taken into account, as well as all the costs of installation and operation. In the paper, the load intensity formula is taken as the main invariant equation in the analysis of the network load and a tensor is proposed that takes into account the cost of the switching node. The features of the application of the method are reflected in the examples of calculations for specific network topologies. It is shown that the method allows one to analyze integrated service networks simultaneously by several characteristics, and also provides the possibility of synthesizing the network structure according to predetermined characteristics.

Keywords: network, integral service, tensor analysis, topology, structure.

For citation: Petrov, M. N., Kolmakov, O. V., & Ikonnikova, M. F. Features of the application of multidimensional tensor analysis in the study of integrated service networks. Informatics. Economics. Management, 2(3), 0101–0111. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2023-2-3-0101-0111>

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос анализа нагрузки на сетях связи всегда вызывал повышенный интерес, особенно в последние годы [1-3]. Это вызвано тем, что на сетях общего пользования наряду с традиционными видами возрастают другие виды информации (факсимильная, передача данных, интернет, видеотелефония и другие), превращая их, фактически, в сети интегрального обслуживания [4].

В таких сетях в зависимости от нагрузки, от числа источников информации осуществляется выбор оборудования узла коммутации, учитываются его качественные и количественные характеристики и, безусловно, все затраты на установление и эксплуатацию.

Вопросам применения тензорной методологии для анализа сетей посвящено достаточно много работ. В частности, в работе [5] представлены результаты исследования тензорной модели многопутевой маршрутизации с обеспечением качества обслуживания в телекоммуникационных сетях. Работа [6] посвящена оптимизации цифровой сети интегрального обслуживания с конечным числом пользователей и блокировками. В [7] исследуются характеристики пакетных сетей узловым методом тензорного анализа. В работе [8] в качестве основного инвариантного уравнения при анализе нагрузки сети взята формула интенсивности нагрузки. В данной статье предлагается тензор, учитывающий стоимость узла коммутации S . Если обобщить предлагаемые тензоры и использовать многомерный матричный подход, тогда можно записать

$$B = N \cdot A \quad (1)$$

В этом случае матрица B одновременно содержит данные матрицы интенсивности нагрузки Y и матрицы стоимости узла коммутации S ; матрица A - данные удельной нагрузки y и удельной стоимости u ; N - число источников узла коммутации.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АНАЛИЗА

Рассмотрим особенности применения многомерного тензорного анализа к решению вопросов на сетях интегрального обслуживания на конкретном примере. Для постановки задачи возьмём сеть связи, состоящую из пятнадцати узлов.

Каждый коммутационный узел имеет соответствующие параметры:

- интенсивность нагрузки Y ;
- стоимость S узла коммутации;
- N - число источников узла коммутации;
- удельная нагрузка y одного источника информации;
- удельная стоимость u одного источника информации.

Необходимо найти соотношение между нагрузкой, числом абонентов и удельной нагрузкой, а также соотношение между суммарной стоимостью, числом источников и удельной стоимостью в сети для дальнейшего анализа с целью создания оптимальной топологии.

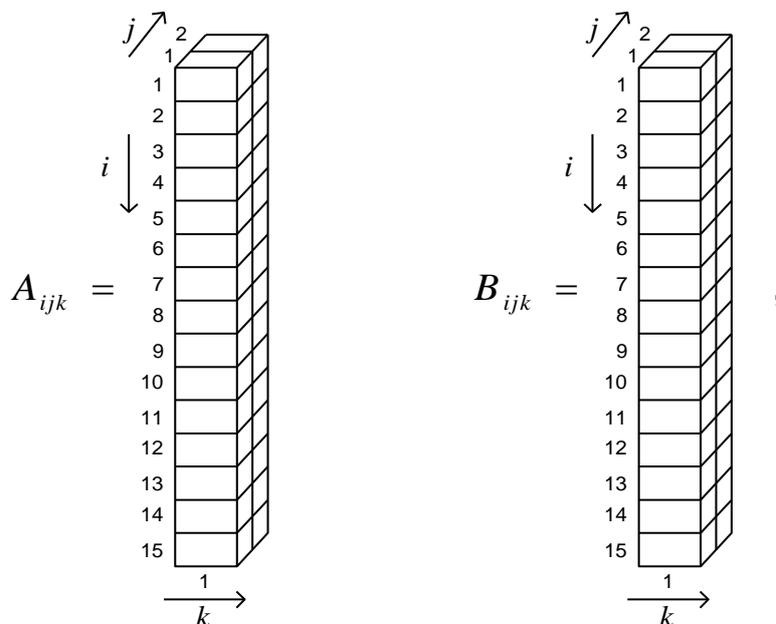
Задачу можно формулировать и иначе: при заданной топологии найти оптимальные распределения нагрузки для повышения эффективности работы в сети и одновременно предусмотреть затраты на оборудование узлов коммутации и самой сети.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Следуя методу Г. Крона [9-11], приведем более простую проекцию этой же 15-ти узловой сети, так как представленная в [8] проекция сложна для исследования. Согласно методу тензорного анализа, под пятнадцатилузовой сетью понимается группа возможных комбинаций соединения узлов. Между различными проекциями существуют матрицы перехода. Поэтому можно получить решение для любой проекции, а затем с помощью известных формул перенести полученные результаты

на другие проекции. При этом для получения результатов можно выбрать удобную (примитивную) проекцию, где меньше решений или они значительно проще.

Для такой проекции имеется решение, оно простое и может быть представлено в виде матриц для всей сети в целом.



где

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \\ y_9 \\ y_{10} \\ y_{11} \\ y_{12} \\ y_{13} \\ y_{14} \\ y_{15} \end{matrix} & A_{i1k} = & \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \\ u_8 \\ u_9 \\ u_{10} \\ u_{11} \\ u_{12} \\ u_{13} \\ u_{14} \\ u_{15} \end{matrix} & A_{i2k} = & ; & \begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \\ Y_9 \\ Y_{10} \\ Y_{11} \\ Y_{12} \\ Y_{13} \\ Y_{14} \\ Y_{15} \end{matrix} & B_{i1k} = & \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \\ S_{14} \\ S_{15} \end{matrix} & B_{i2k} = & .
 \end{matrix}$$

Матрица для числа источников N будет иметь следующий вид:

$$N = \begin{pmatrix} N_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & N_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & N_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{13} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{15} \end{pmatrix}$$

При этом сохраняются основные соотношения:

$$Y = N \cdot y \text{ и } S = N \cdot u.$$

Косвенное влияние между узлами коммутации отсутствует, поэтому в данном примере все недиагональные элементы матрицы N равны нулю.

Тогда можно перейти к решению первоначальной проекции. Достаточно найти матрицу перехода. Для этого в исследуемой сети задаются новые удельные интенсивности и удельные стоимости, число которых равно числу контуров в сети.

Если обратиться, к примеру, рассмотренному в предыдущей статье [12], то становится понятно, что соотношения между удельными интенсивностями и, соответственно, удельными стоимостями различных сетей идентичны.

Таким образом, можно считать, что матрица перехода одна, но применима она будет к разным удельным характеристикам.

Тогда, пользуясь операцией умножения многомерных матриц, переходим к контурам исходной системы:

$$B' = C_T \cdot B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{array}{c} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \\ Y_9 \\ Y_{10} \\ Y_{11} \\ Y_{12} \\ Y_{13} \\ Y_{14} \\ Y_{15} \end{array} \left| \begin{array}{c} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \\ S_{14} \\ S_{15} \end{array} \right. =$$

$$= \left\| \begin{array}{c|c} Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_6 & S_1 + S_3 + S_4 + S_6 \\ Y_2 - Y_4 + Y_5 + Y_7 & S_2 - S_4 + S_5 + S_7 \\ -Y_6 - Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} & -S_6 - S_7 + S_8 + S_9 + S_{10} \\ Y_9 + Y_{10} - Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} & S_9 + S_{10} - S_{11} + S_{12} + S_{13} \\ Y_{12} + Y_{13} + Y_{14} + Y_{15} & S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} \end{array} \right\|.$$

На рисунке 1 представлена структурная модель трехмерной матрицы B' :

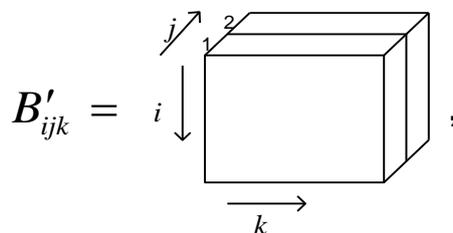


Рисунок 1. Структурная модель матрицы B' .

Figure 1. Structural model of matrix B' .

$$\text{где } Y' = \|B'_{i1k}\| = \begin{vmatrix} Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_6 \\ Y_2 - Y_4 + Y_5 + Y_7 \\ -Y_6 - Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} \\ Y_9 + Y_{10} - Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} \\ Y_{12} + Y_{13} + Y_{14} + Y_{15} \end{vmatrix} ;$$

$$S' = \|B'_{i2k}\| = \begin{vmatrix} S_1 + S_3 + S_4 + S_6 \\ S_2 - S_4 + S_5 + S_7 \\ -S_6 - S_7 + S_8 + S_9 + S_{10} \\ S_9 + S_{10} - S_{11} + S_{12} + S_{13} \\ S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} \end{vmatrix} .$$

Матрица числа источников в контурах исходной системы, имеем вид:

$$N' = C_T \cdot N \cdot C =$$

$$= \begin{vmatrix} N_1 + N_3 + N_4 + N_6 & -N_4 & -N_6 & 0 & 0 \\ -N_4 & N_2 + N_4 + N_5 + N_7 & -N_7 & 0 & 0 \\ -N_6 & -N_7 & N_6 + N_7 + N_8 + N_9 + N_{10} & N_9 + N_{10} & 0 \\ 0 & 0 & N_9 + N_{10} & N_9 + N_{10} + N_{11} + N_{12} + N_{13} & N_{12} + N_{13} \\ 0 & 0 & 0 & N_{12} + N_{13} & N_{12} + N_{13} + N_{14} + N_{15} \end{vmatrix}$$

Согласно постулату второго обобщения, уравнение состояния исходной сети, записанное в матричной форме, имеет тот же вид, что и уравнение состояния простейшей сети, то есть:

$$B' = N' \cdot A' \quad (2)$$

Эквивалентная система уравнений состояния исходной сети:

- для интенсивности нагрузки

$$\begin{cases} Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_6 = (N_1 + N_3 + N_4 + N_6) \cdot y_a - N_4 \cdot y_b - N_6 \cdot y_c \\ Y_2 - Y_4 + Y_5 + Y_7 = -N_4 \cdot y_a + (N_2 + N_4 + N_5 + N_7) \cdot y_b - N_7 \cdot y_c \\ -Y_6 - Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} = -N_6 \cdot y_a - N_7 \cdot y_b + (N_6 + N_7 + N_8 + N_9 + N_{10}) \cdot y_c + (N_9 + N_{10}) \cdot y_d \\ Y_9 + Y_{10} - Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} = (N_9 + N_{10}) \cdot y_c + (N_9 + N_{10} + N_{11} + N_{12} + N_{13}) \cdot y_d + (N_{12} + N_{13}) \cdot y_e \\ Y_{12} + Y_{13} + Y_{14} + Y_{15} = (N_{12} + N_{13}) \cdot y_d + (N_{12} + N_{13} + N_{14} + N_{15}) \cdot y_e \end{cases}$$

- для стоимости узла коммутации

$$\begin{cases} S_1 + S_3 + S_4 + S_6 = (N_1 + N_3 + N_4 + N_6) \cdot u_a - N_4 \cdot u_b - N_6 \cdot u_c \\ S_2 - S_4 + S_5 + S_7 = -N_4 \cdot u_a + (N_2 + N_4 + N_5 + N_7) \cdot u_b - N_7 \cdot u_c \\ -S_6 - S_7 + S_8 + S_9 + S_{10} = -N_6 \cdot u_a - N_7 \cdot u_b + (N_6 + N_7 + N_8 + N_9 + N_{10}) \cdot u_c + (N_9 + N_{10}) \cdot u_d \\ S_9 + S_{10} - S_{11} + S_{12} + S_{13} = (N_9 + N_{10}) \cdot u_c + (N_9 + N_{10} + N_{11} + N_{12} + N_{13}) \cdot u_d + (N_{12} + N_{13}) \cdot u_e \\ S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} = (N_{12} + N_{13}) \cdot u_d + (N_{12} + N_{13} + N_{14} + N_{15}) \cdot u_e \end{cases}$$

В итоге получаем системы из пяти уравнений и пяти неизвестных. Решение таких систем не представляет большого труда.

Таким образом, тензорный метод позволяет проводить многомерный анализ сетей интегрального обслуживания. Все результаты содержатся в одной трехмерной матрице, которая представляет собой «хранилище» данных.

Можно легко рассмотреть и извлечь данные из многомерной структуры в применении к собственным задачам (рисунок 2).

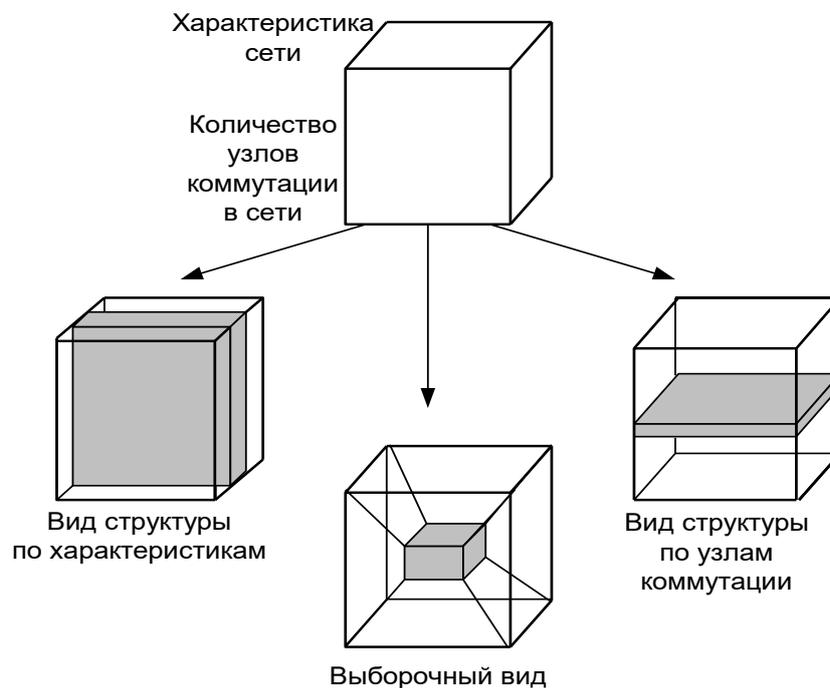


Рисунок 2. Структурная модель многомерной матрицы.

Figure 2. Structural model of a multidimensional matrix.

Использование многомерного тензорного анализа позволяет производить анализ одновременно по нескольким характеристикам, а также синтезировать структуру сети интегрального обслуживания по нескольким критериям одновременно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе рассмотрены особенности применения тензорного анализа при исследовании сетей интегрального обслуживания и разработан оригинальный метод многомерного тензорного анализа сетей интегрального обслуживания. Для представленной постановки задачи выведены и обоснованы основные соотношения для расчета. Отметим, что разработанный метод многомерного тензорного анализа применим для анализа сетей с интеграцией служб на основе диакоптики. Особенности применения метода многомерного тензорного анализа отражены в приведенных примерах расчетов и полученных результатах на конкретных топологиях сетей. Подтверждено, что многомерный тензорный метод позволяет анализировать сети интегрального обслуживания одновременно по нескольким характеристикам. Более того, на основе многомерного тензорного анализа можно осуществлять синтез структуры сети по заранее заданным характеристикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Самуйлов К.Е., Сопин Э.С. К анализу методов балансировки нагрузки несущей в системах LTE-Advanced. Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. 2011; 7: 136-139.
- [2] Петров М.Н., Михайлов Д.Г. Анализ нагрузки на сотовой сети стандарта GSM в г. Красноярске. Сибирский аэрокосмический журнал. 2009; 1-1: 17-19.
- [3] Давыдов А.Е., Смирнов П.И., Парамонов А.И. Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Раздел Коммутируемые сети связи. Расчет параметров сетей связи и анализ трафика. СПб: Университет ИТМО; 2016. 47.
- [4] Гулиян Г.Б. ISDN - цифровая сеть интегрированных служб. Прикладная информатика. 2008; 2: 93-117.
- [5] Лемешко А.В., Евсева О.Ю., Гаркуша С.В. Результаты исследования тензорной модели многопутевой маршрутизации с обеспечением качества обслуживания в телекоммуникационных сетях. Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2013; 13: 38-54.

- [6] Меликов А. З., Пономаренко Л. А. Оптимизация цифровой сети интегрального обслуживания с конечным числом пользователей и блокировками. Автоматика и телемеханика. 1992; 6: 86-92.
- [7] Пономарев Д.Ю. Исследование характеристик пакетных сетей узловым методом тензорного анализа. Программные продукты и системы. 2009; 4: 65-69.
- [8] Вережкина Е.В., Захарченко М.О., Петров М.Н. Тензорная методология в информационных сетях. Красноярск: НИИ СУВПТ; 2001. 158.
- [9] Крон Г. Тензорный анализ сетей. М.: Сов. Радио; 1978. 719.
- [10] Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика. М.: Наука; 1972. 542.
- [11] Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей для расчета сложных систем по частям. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017; 3: 168-192.
- [12] Петров М.Н., Треногин Н.Г. Тензорный метод анализа эффективности информационных систем управления бизнес-компаний телекоммуникационной отрасли. Сибирский аэрокосмический журнал. 2007; 4: 25-27.

REFERENCES

- [1] Samujlov K.E., Sopin E.S. K analizu metodov balansirovki nagruzki nesushchej v sistemah LTE-Advanced. T-Comm - Telekommunikacii i Transport. 2011; 7: 136-139.
- [2] Petrov M.N., Mihajlov D.G. Analiz nagruzki na sotovoj seti standarta GSM v g. Krasnoyarske. Sibirskij aerokosmicheskij zhurnal. 2009; 1-1: 17-19.
- [3] Davydov A.E., Smirnov P.I., Paramonov A.I. Proektirovanie telekommunikacionnyh sistem i setej. Razdel Kommutiruemye seti svyazi. Raschet parametrov setej svyazi i analiz trafika. SPb: Universitet ITMO; 2016. 47.
- [4] Guliyani G.B. ISDN - cifrovaya set' integrirovannyh sluzhb. Prikladnaya informatika. 2008; 2: 93-117.
- [5] Lemeshko A.V., Evseeva O.Yu., Garkusha S.V. Rezul'taty issledovaniya tenzornoj modeli mnogoputevoj marshrutizacii s obespecheniem kachestva obsluzhivaniya v telekommunikacionnyh setyah. Vestnik YuUrGU. Seriya «Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika». 2013; 13: 38-54.
- [6] Melikov A. Z., Ponomarenko L. A. Optimizaciya cifrovoj seti integral'nogo obsluzhivaniya s konechnym chislom pol'zovatelej i blokirovkami. Avtomatika i telemekhanika. 1992; 6: 86-

92.

- [7] Ponomarev D.YU. Issledovanie harakteristik paketnyh setej uzlovym metodom tenzornogo analiza. Programmnye produkty i sistemy. 2009; 4: 65-69.
- [8] Verevkina E.V., Zaharchenko M.O., Petrov M.N. Tenzornaya metodologiya v informacionnyh setyah. Krasnoyarsk: NII SUVPT; 2001. 158.
- [9] Kron G. Tenzornyj analiz setej. M.: Sov. Radio; 1978. 719.
- [10] Kron G. Issledovanie slozhnyh sistem po chastyam – diakoptika. M.: Nauka; 1972. 542.
- [11] Petrov A.E. Tenzornyj metod dvoystvennyh setej dlya rascheta slozhnyh sistem po chastyam. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). 2017; 3: 168-192.
- [12] Petrov M.N., Trenogin N.G. Tenzornyj metod analiza effektivnosti informacionnyh sistem upravleniya biznes-kompanij telekommunikacionnoj otrasli. Sibirskij aerokosmicheskij zhurnal. 2007; 4: 25-27.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Петров Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Системы обеспечения движения поездов», Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия
e-mail: mnp_kafaes@mail.ru

Mikhail Petrov, Doctor of Technical Sciences, Professor, the Department of Train Traffic Support Systems, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk, Russia

Колмаков Олег Витальевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы обеспечения движения поездов», Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия
e-mail: kolmakov_ov@krsk.irgups.ru

Oleg Kolmakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Train Traffic Support Systems, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk, Russia

Иконникова Мария Федоровна, аспирант кафедры Системного анализа и исследования операций Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
e-mail: mk_6f@bk.ru

Maria Ikonnikova, Postgraduate Student, the Department of System Analysis and Operations Research of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation

Статья поступила в редакцию 19.06.2023; одобрена после рецензирования 10.07.2023; принята к публикации 11.07.2023.

The article was submitted 19.06.2023; approved after reviewing 10.07.2023; accepted for publication 11.07.2023.