

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНО-ДВУХКОЛЬЦЕВОЙ ТИПОВОЙ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ МЕТОДОМ СТЯГИВАНИЯ УЗЛОВ СВЯЗИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-5-42-47

Manuscript received 04 April 2023;

Accepted 08 April 2023

Ясинский Сергей Александрович,
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза
С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия,
yasinsky777@mail.ru

Ключевые слова: радиально-двухкольцевая
типовая структура, метод стягивания узлов
связи, транспортная сеть, телекоммуникационная
сеть, фрактальное самоподобие

В статье приведены результаты обоснования подхода к выбору радиально-двухкольцевой типовой структуры на основе ее математического моделирования с применением метода стягивания узлов связи в эквивалентный узел, в результате чего образуется эквивалентная радиально-однокольцевая типовая структура, для обоснования выбора которых используются известные методики и алгоритмы. В основу предложенного подхода к выбору радиально-двухкольцевой типовой структуры наряду с методом стягивания узлов связи положены методы динамических аналогий и фрактального самоподобия. С учетом динамических аналогий между всеми транспортными составляющими разнородных сетей (автомобильных, железнодорожных, телекоммуникационных и др.) исследования проводились применительно к транспортной составляющей телекоммуникационной сети, но с учетом того, что полученные результаты исследования могут быть использованы в иных транспортных сферах транспортной логистики.

Информация об авторах:

Ясинский Сергей Александрович, Профессор Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, доктор технических наук, доцент, г. Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования:

Ясинский С.А. Моделирование радиально-двухкольцевой типовой структуры транспортной сети методом стягивания узлов связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №5. С. 42-47.

For citation:

Jasinskii S.A. (2023) Simulation of a radial-two-ring typical structure of the transport network by the method of tightening communication nodes. T-Comm, vol. 17, no. 5, pp. 42-47. (in Russian)

Введение

Рассматривая постановки задач математического моделирования и оптимизации топологии различного рода транспортных сетей (автомобильных, железнодорожных, телекоммуникационных и др.) с учетом динамики развития, оказывается, что очень часто используют теорию развития динамических систем [1, 2], отражающую процессы и иерархические уровни (этапы) структурной эволюции в виде множества S .

Если учесть, что фрактальные объекты самоподобны [3], то подход к моделированию любого рода транспортных сетей, включая транспортную составляющую и сети доступа телекоммуникационной сети (ТКС), может быть обоснован с позиции моделирования самоподобных фрактальных структур в виде наиболее оптимально или рационально вложенных одна в другую изначально двух типовых структур (ТС) одинакового вида с порядковым номером $s = \overline{1, S}$, где в нашем случае для двух колец $S = 2$.

С учетом динамических аналогий между всеми транспортными составляющими разнородных сетей (автомобильных, железнодорожных, телекоммуникационных и др.) остановимся более конкретно на транспортной составляющей ТКС, с учетом того, что полученные результаты исследования могут быть использованы в иных транспортных сферах транспортной логистики. например, применительно к многокольцевой структуре московского метро или колец автомобильных дорог.

В данном случае, когда $S = 2$, очень важно находить не только внутренние аналогии для каждого из двух этапов эволюции системы, но и внешние аналогии между этими уровнями, в виде самоподобных динамических ТС для построения кольцевых структур (КС). Исходя из этого, предлагается радиально-двухкольцевую ТС (Р-ДКТС) моделировать в виде фрактальной структуры, используя алгоритм обратной рекуррентной связи с добавлением в каждом цикле итерации некоего нелинейного значения c и учитывая, что:

все полученные в работах [4-11] научно-практические результаты исследований по обоснованию выбора наиболее оптимальных радиально-однокольцевых типовых структур (Р-ОКТС) применительно к построению ТКС могут быть методом динамических аналогий применены к обоснованию выбора Р-ДКТС;

переход от исходной (внутренней) Р-ОКТС, состоящей из радиальной ТС (РТС) с центральным (Ц) узлом связи (УС) $a_{U_{s=1}}$ и кольцевой ТС (КТС) под №1, к целостной Р-ДКТС не должен противоречить процедуре самоорганизации динамической системы с наиболее рациональной ее вложенностью во вторую (наружную) КТС, образуя очередную (вторую) потокоэквивалентную (ПЭ) Р-ОКТС в виде центральной вершины графа под №2, то есть в виде центрального УС $a_{U_{s=2}}$.

Обоснование подхода к выбору Р-ДКТС

Для простейшего описания фрактального самоподобия применительно к моделированию динамической структуры ТКС в виде Р-ДКТС воспользуемся итерационной процедурой, когда полученное значение для некой итерации берется за начальное значение X_s для следующей итерации X_{s+1} , а

зависимость между этими итерациями нелинейная и характеризуется параметром c , т. е. должен выполняться признак динамического закона самоподобия [3]:

$$X_{s+1} = f(X_s; c), s = \overline{1, 2}. \quad (1)$$

Анализ системного проектирования ТКС показал [3, 12, 13], что признаку самоподобия (1) соответствуют ТС радиального и кольцевого вида, то есть РТС, КТС и радиально-кольцевые (Р-КТС), которые при увеличении числа колец могут моделироваться как фрактальные структуры, с использованием алгоритма с обратной рекуррентной связью и добавлением в каждом цикле итерации некоего нелинейного параметра c .

Выбор той или иной базовой ТС (РТС или КТС), или их комбинации в виде Р-КТС, определяется:

- требуемыми пропускными способностями синтезируемой сети с учетом образования необходимого числа каналов передачи (КП) для множества телекоммуникационных направлений (ТКН);
- выполнением требований по структурно-поточковой устойчивости (СПУ);
- наличием разного рода ресурсов и минимизацией затрат на физическую реализуемость проектируемой ТКС;
- выполнением требований по технической надежности и живучести сети.

В результате исследования Р-ОКТС разработан эффективный математический аппарат (МА) для обоснования оптимального выбора конкретной ТС применительно к решаемой транспортной сетевой задаче. Основу этого МА составляют математические модели (ММ) для расчета средних значений относительных коэффициентов эффективности [6-11]: среднего гармонического (СГ); среднего геометрического; среднего разностного (СР).

Для эффективного использования ранее наработанных научных результатов применительно к Р-ОКТС, предлагается, используя методы динамической аналогии и оптимальной вложенности однотипных структур обеспечивать эквивалентный переход от 2-х кольцевой ТС к однокольцевой ТС, так как эти ТС могут быть представимы в виде матроидов [14, 15], что позволяет:

- применять приближенный градиентный алгоритм оптимизации для получения точного решения, но с малой вычислительной сложностью в сравнении с точными алгоритмами – оптимизации ТКС большой размерности;
- применять результаты полученных предшествующих исследований сравнительного анализа Р-ОКТС по СГ и СР значениям ОКЭ, путем их переноса на моделирование Р-ДКТС и многокольцевых ТС;
- декомпозицию Р-ДКТС на Р-ОКТС в виде $a_{U_{s=2}}$ и наружной КТС, а также обратную их композицию [16];
- применять метод стягивания (отождествления, слияния, замыкания) вершин графа для моделирования ТКС [3, 17].

Графовая модель Р-ДКТС

Для моделирования Р-ДКТС предлагается граф

$$G_s(A_s, B_s) = \bigcup_{s=1}^S G_s(A_s, B_s), s = \overline{1, S} = \overline{1, 2}, \quad (2)$$

состоящий из:

множества вершин графа, то есть множества УС

$$A_s = \{a_{i_s}\} \cup a_{u_{s=1}}; i = \overline{1, N_s}; s = \overline{1, 2}; \quad (3)$$

множества ребер графа, то есть множества линий связи (ЛС)

$$B_s = \{b_{ij_s}\} \cup \{b_{a_{u_{s=1}}i}\}; i, j = \overline{1, N_s}; i \neq j; s = \overline{1, 2}. \quad (4)$$

В уточненном обобщающем виде модель Р-ДКТС (2) с учетом (3) и (4) представляется как

$$G_s(A_s, B_s) = \{a_{i_s}\} \cup a_{u_{s=1}} \cup \{b_{ij_s}\} \cup \{b_{a_{u_{s=1}}i}\}, s = \overline{1, 2}. \quad (5)$$

Из модели (5) видно, что Р-ДКТС состоит из внутренней Р-ОКТС и наружного кольца, то есть состоит из $a_{u_{s=1}}$ с инцидентными ребрами и двух колец $C = \{r_j; j = \overline{1, 2}\}$ (внутреннего r_1 и наружного r_2) с инцидентными между их УС ребрами, то есть линиями связи (ЛС).

Предыдущие исследования по обоснованию выбора Р-ОКТС для построения ТКС проводились исключительно для r_1 , то есть для Р-КТС с одним кольцом в структуре. Однако еще на этапе системного проектирования ТКС полученные результаты исследований для обоснования выбора Р-ОКТС могут быть перенесены методом стягивания УС (СУС) для обоснования выбора Р-ДКТС. Следовательно, остановимся на возможности применения метода стягивания УС в Р-ОКТС для обоснования выбора Р-ДКТС.

Применение метода СУС для моделирования Р-ДКТС

В методе СУС нет ограничения на выбор стягиваемой пары УС или подмножества стягиваемых УС, а также допускается условное удаление инцидентных ЛС, что позволяет применять этот метод для построения потокоэквивалентных ТКС. Применительно к построению Р-ДКТС, если известны $a_{i_{s=1}} \in A_{s=1}$ и $a_{u_{s=1}}$ в графе $G_{s=1}$, то после каждого очередного цикла стягивания УС создаем новый граф $G_{s=1}^*$ путём отождествления одной из $a_{i_{s=1}} \in A_{s=1}$ с $a_{u_{s=1}}$ в новую вершину, а стягиваемые емкости ЛС суммируются.

Алгоритм СУС включает в себя N циклов, где N – количество УС в ОКТС. После каждого цикла стягивания двух смежных УС ($a_{i_{s=1}} \in A_{s=1}$ с $a_{u_{s=1}}$) получается ПЭ и менее сложная в размерах структура.

Каждый цикл алгоритма СУС состоит из трех шагов.

На первом шаге в рамках Р-ОКТС определяются смежный с центральным узлом РТС $a_{u_{s=1}}$ узел связи внутренней КТС $a_{i_{s=1}} \in A_{s=1}$, который подлежит стягиванию по заранее определенному признаку идентификации (например, по порядковому номеру УС или по мере уменьшения емкостей ЛС между смежными УС.

На втором шаге производится стягивание заранее определенных на первом шаге двух смежных УС ($a_{i_{s=1}} \in A_{s=1}$ с $a_{u_{s=1}}$).

На третьем шаге суммируются емкости инцидентных к стянутому УС ребер, которые объединяются в ПЭ ребра (ЛС).

Отличительной особенностью последнего $N - 1$ цикла по отношению ко всем предшествующим $N - 1$ циклам является определение интегральной емкости Р-ОКТС в виде ПЭ структуры очередного центрального УС $a_{u_{s=2}}$ применительно к наружному (второму) кольцу в Р-ДКТС.

Методом СУС получаем ПЭ граф, относительно исходного ТКС, моделируемая на основе ПЭ графа, сохраняет физические свойства исходного графа по обеспечению:

- передачи заданных информационных потоков по КП для множества ТКН в рамках ТКС;

- требований к технической и структурной устойчивости.

Для демонстрации применения метода СУС в ходе системного проектирования структуры транспортной составляющей ТКС рассмотрим фрагмент Р-ОКТС, моделируемой в виде графа $G_{s=1}(A_{s=1}, B_{s=1})$ на рисунке 1, где в соответствии с (2),..., (4) имеет место:

$$A_{s=1} = \{a_{i_{s=1}} = a_i\} \cup a_{u_{s=1}}; i = \overline{1, N_{s=1}} = \overline{1, 4};$$

$$B_{s=1} = \{b_{ij_{s=1}}\} \cup \{b_{a_{u_{s=1}}i}\}; i, j = \overline{1, N_{s=1}} = \overline{1, 4}; i \neq j.$$

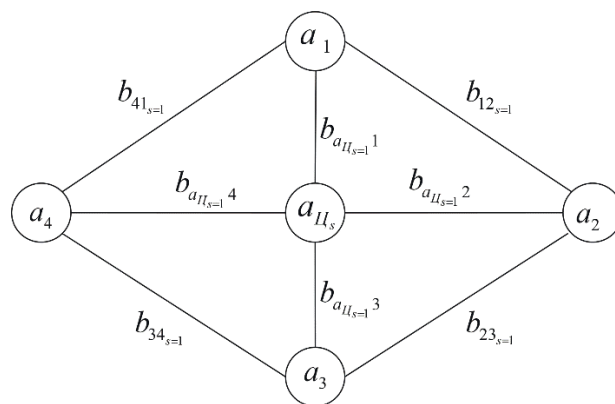


Рис. 1. Фрагмент Р-ОКТС для проектирования ТКС

С целью упрощения демонстрации метода СУС третий шаг в циклах алгоритма вынесем в ограничения, так как он не отражает существо метода и сводится к элементарному суммированию емкостей ИП в стягиваемых ребрах графа (ЛС). Так как КТС состоит из четырех УС, то и число циклов соответствует $N_{s=1} = 4$. Если применить четыре раза алгоритм СУС для фрагмента Р-ОКТС (рис. 1), то получим ПЭ центральный УС $a_{u_{s=2}}$. Поцикловое применение алгоритма СУС приведено на рисунках 2-5.

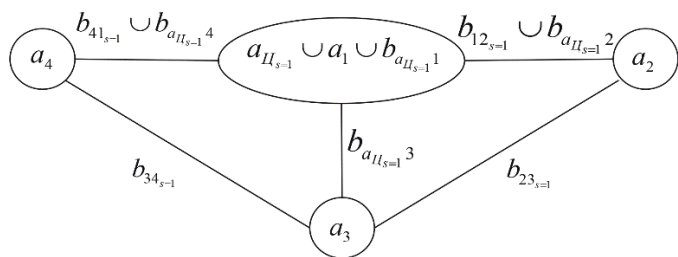


Рис. 2. Цикл 1 стягивания $a_{1_{s=1}}$ с $a_{\Pi_{s=1}}$

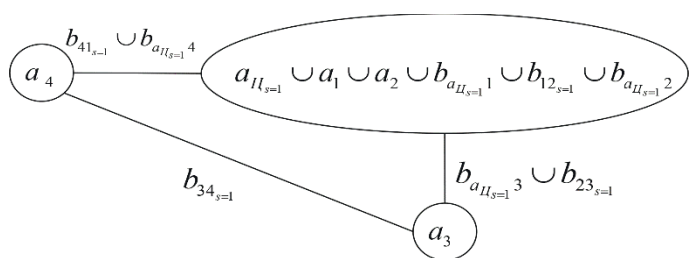


Рис. 3. Цикл 2 стягивания $a_{2_{s=1}}$ с $a_{\Pi_{s=1}}$

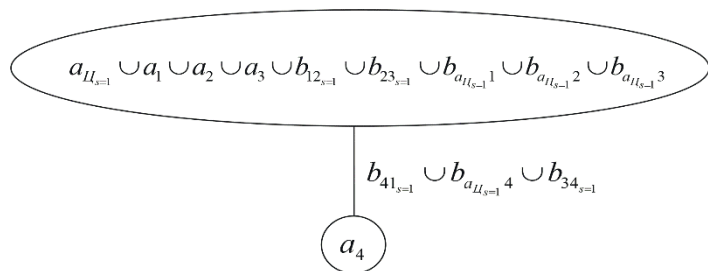


Рис. 4. Цикл 3 стягивания $a_{3_{s=1}}$ с $a_{\Pi_{s=1}}$

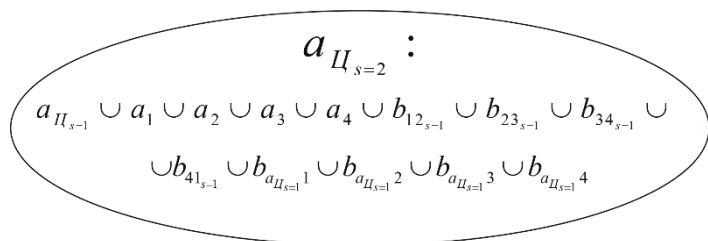


Рис. 5. Цикл 4 стягивания $a_{4_{s=1}}$ с $a_{Ц_{s=1}}$

В результате четырех-циклового применение алгоритма СУС, приведенного на рисунках 2-5, получен ПЭ центральный УС

$$a_{U_{s-1}} \Leftrightarrow G_{s=1}(A_{s=1}, B_{s=1}) \quad (6)$$

для формирования Р-ДКТС методом динамических аналогий и с учетом фрактального самоподобия.

Пример одного из возможных вариантов обоснованного выбора Р-ДКТС на основе определенного выше ПЭ центрального УС (6) приведен на рисунке 6.

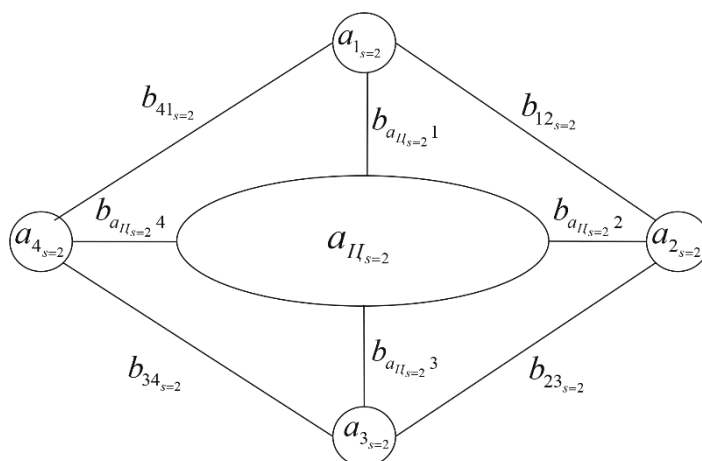


Рис. 6. Вариант Р-ДКТС после сжатия ее внутренней Р-ОКТС (рис.1) до вида $a_{\mu-\omega}$ (рис. 5)

На рисунке 7 приведен уточненный вариант модели для фрагмента Р-ДКТС (рис. 6) с раскрытой до сжатия УС внутренней Р-ОКТС (рис. 1).

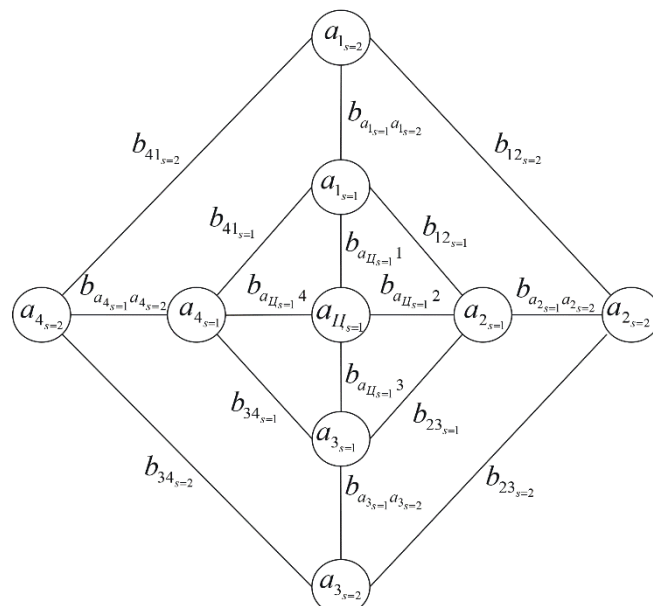


Рис. 7. Уточненный вариант модели для фрагмента Р-ДКТС (рис. 6)

После каждого цикла сжатия УС суммируются емкости систем передачи совместно стягиваемых ЛС, а коэффициенты готовности пересчитываются в соответствии с методикой оценки соответствия сети электросвязи заданным требованиям обеспечения устойчивости ее функционирования [18].

По завершению всех циклов сжатия УС для Р-ОКТС образуется ПЭ очередной центральный УС, который в себе воплощает все характеристики исходной структуры с интегральными показателями устойчивости (живучести, надежности) и пропускной способности ТКС [19, 20].

В соответствии с доказанной в работе [14] теоремой «О сумме степеней вершин графа G равной $2m$, где m – число ребер графа G » и с учетом регулярности Р-ДКТС возникает возможность учитывать не только валентность, но и однозначно определиться с коэффициентами связности по независимым путям передачи информационных потоков (ИП) для

каждого из возможно образуемого ТКН в рамках транспортной составляющей ТКС. В свою очередь, проходящие зависимые пути через центральную вершину (УС) для каждого из ТКН в случаях образования мостиковой схемы всегда можно представить в виде независимых (параллельных) путей и рассчитывать в соответствии с методикой учета показателей устойчивости для ТКН с интегральными показателями устойчивости, совместно учитывающих зависимые и независимые пути передачи ИП [12, 19].

Заключение

Применение метода СУС для обоснования выбора наиболее рациональной Р-ДКТС в процессе системного проектирования динамически развивающейся ТКС позволяет:

- получать из более сложной по структурной размерности Р-ОКТС менее сложную ПЭ структуру в виде центрального УС для проектируемой Р-ДКТС;
- применять научно-практические результаты исследований по обоснованию выбора наиболее оптимальных Р-ОКТС к обоснованию выбора построения Р-ДКТС методом динамических аналогий и фрактального самоподобия [1-3];
- применять результаты полученных предшествующих исследований сравнительного анализа Р-ОКТС с использованием моделей для расчета значений относительных коэффициентов эффективности (СГ и СР) применительно к определяемым областям допустимой эффективности и значениям динамических уровней физической реализуемости (построения) ТКС на основе Р-ДКТС [6-11, 21].

Литература

1. Ольсон Г. Динамические аналогии: Пер. с англ. М.: ГИИЛ, 1947. 224 с.
2. Ясинский С.А. Основы динамических аналогий в исследовательской деятельности. СПб.: Военный университет связи, 2004. 164 с.
3. Пайтген Х.Ю., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1993. 176 с.
4. Ясинский С.А. Анализ структурной живучести кольцевой локальной сети // Вторая всесоюзная конференция по информационным системам множественного доступа. Минск: БелНИИИТИ, Тезисы докладов часть 2, 1991. С. 142-145.
5. Ясинский С.А. Сравнительный анализ базовых типовых структур для построения кабельных локальных вычислительных, телекоммуникационных сетей и сетей доступа // НТЖ «Информация и Космос», – СПб.: ООО «Типографский комплекс «Девиз», 2020. №4. С. 32-38.
6. Ясинский С.А., Зюзин А.Н. Обоснование выбора радиально-кольцевых типовых структур по результатам анализа среднегармонических значений относительных коэффициентов эффективности для минимизации стоимости структурно устойчивых кабельных сетей связи // НТЖ «Информация и космос». СПб.: ООО «Типографский комплекс «Девиз», 2021. №1. С. 6-10.
7. Ясинский С.А., Зюзин А.Н. Сравнительный анализ базовых типовых структур по относительным коэффициентам эффективности для построения радиально-кольцевых внутризоновых и сельских волоконно-оптических сетей связи // Труды ЦНИИИС. Санкт-Петербургский филиал. Том 1(11), 2021. СПб.: ФГУП ЦНИИИС. С. 112-120.
8. Ясинский С.А., Зюзин А.Н., Ходунов А.А., Селезнев А.В. Обоснование выбора и определение среднегеометрического значения относительных коэффициентов эффективности радиально-кольцевых типовых структур для построения внутризоновых и сельских телекоммуникационных сетей с учетом особого периода // Труды ЦНИИИС. Санкт-Петербургский филиал. Том 2(12), 2021. СПб.: ФГУП ЦНИИИС. С. 34-40.
9. Ясинский С.А., Зюзин А.Н., Ходунов А.А., Селезнев А.В. Определение среднегармонических относительных коэффициентов эффективности радиально-кольцевых типовых структур для построения внутризоновых и сельских телекоммуникационных сетей с учетом особого периода управления // Труды ЦНИИИС. Санкт-Петербургский филиал. Том 2(12), 2021. СПб.: ФГУП ЦНИИИС. С. 41-48.
10. Jasinski S.A., Sokolov V.M. Generalizing Mathematical Model for Evaluating the Efficiency of Choosing a Radial-ring Standard Structure for a Fiber-optic Telecommunications Network. Webology. Vol. 19, Number 1, January, 2022, pp. 5600-5610.
11. Ясинский С.А., Зюзин А.Н., Селезнев А.В., Соколов В.М. Выбор типовой структуры по результатам сравнительного анализа относительных коэффициентов эффективности радиальных и кольцевых типовых структур для построения волоконно-оптической сети связи // 77-я НТК СПб-го НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио: Сборник докладов СПбГЭТУ. СПб.: СПбГЭТУ, 2022. С. 115-117.
12. Ясинский С.А. Унифицированные математические модели для анализа и синтеза элементов телекоммуникационных сетей. СПб.: Военный университет связи, 2003. 184 с.
13. Ясинский С.А. Основы логико-математического моделирования систем «человек-машина-среда». СПб.: Военная академия связи, 2002. 212 с.
14. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 455 с.
15. Гордеев Э.Н. Задачи выбора и их решение // Компьютер и задачи выбора. М.: Наука, 1989. С. 5-48.
16. Ясинский С.А., Столяров В.И. Упрощение математических моделей проектируемых динамических сетей связи и анализ возможности применения методов декомпозиции к построению региональных цифровых первичных сетей связи // Сборник рефератов депонированных рукописей – справка №8804, серия В, выпуск №39. М.: ЦВНИИ МО РФ, 1997. 13 с.
17. Демчук Д.А. и др. Военные системы многоканальной электро-связи. СПб.: Военная академия связи, 1992. 232 с.
18. ГОСТ Р 53111-2008 «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Термины и определения». М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2009. 16 с.
19. Ясинский С.А., Зюзин А.Н. Уточненная математическая модель для расчета структурной устойчивости направления связи телекоммуникационной // Электросвязь, 2021. №11. С. 55-58.
20. Ясинский С.А., Зюзин А.Н. Формирование телекоммуникационных направлений с высокой структурно-поточковой устойчивостью // Электросвязь, 2022. №1. С. 43-46.
21. Ясинский С.А., Зюзин А.Н. Обоснование выбора топологической структуры волоконно-оптической сети связи общего пользования // Электросвязь, 2021. №3. С. 43-47.

SIMULATION OF A RADIAL-TWO-RING TYPICAL STRUCTURE OF THE TRANSPORT NETWORK BY THE METHOD OF TIGHTENING COMMUNICATION NODES

Sergei A. Jasinskii, *Military Communications Academy, St. Petersburg, Russia*, jasinsky777@mail.ru

Abstract

The article presents the results of the substantiation of the approach to the choice of a radial-two-ring typical structure based on its mathematical modeling using the method of tightening communication nodes into an equivalent node, resulting in the formation of an equivalent radial-single-ring typical structure, to justify the choice of which well-known techniques and algorithms are used. The proposed approach to the choice of a radial-two-ring typical structure, along with the method of tightening communication nodes, is based on the methods of dynamic analogies and fractal self-similarity. Taking into account the dynamic analogies between all the transport components of heterogeneous networks (automobile, railway, telecommunications, etc.), the research was carried out in relation to the transport component of the telecommunications network, but taking into account the fact that the obtained research results can be used in other transport areas of transport logistics.

Keywords: radial-two-ring typical structure, method of tightening communication nodes, transport network, telecommunication network, fractal self-similarity.

References

1. Olson G. (1947) Dynamic analogies. Translated from English. Moscow: GILL. 224 p.
2. Yasinsky S.A. (2004) Fundamentals of dynamic analogies in research activity. St. Petersburg: Military University of Communications. 164 p.
3. Paytgen H.Y., Richter P.H. (1993) The beauty of fractals. Images of complex dynamic systems: Trans. from English. Moscow: Mir. 176 p.
4. Yasinsky S.A. (1991) Analysis of the structural survivability of a ring LAN. *The Second All-Union Conference on Multiple Access Information Systems*. Minsk: BelNIINTI, Abstracts of reports part 2, pp. 142-145.
5. Yasinsky S.A. (2020) Comparative analysis of basic standard structures for the construction of cable local area computing, telecommunication networks and access networks. NTZH "Information and Space", St. Petersburg: LLC "Typographic complex "Motto". No. 4, pp. 32-38.
6. Yasinsky S.A., Zyuzin A.N. (2021) Justification for the choice of radial-ring typical structures based on the results of the analysis of the average harmonic values of relative efficiency coefficients to minimize the cost of structurally stable cable communication networks. *Scientific and Technical Journal "Information and Space"*, St. Petersburg: OOO "Printing Complex "Deviz". No. 1, pp. 6-10.
7. Yasinsky S.A., Zyuzin A.N. (2021) Comparative analysis of basic typical structures by relative efficiency coefficients for the construction of radial-ring intra-zone and rural fiber-optic communication networks. *Trudy TSNIIIS*. St. Petersburg branch. Vol. 1(11). St. Petersburg: FSUE TSNIIIS, pp. 112-120.
8. Yasinsky S.A., Zyuzin A.N., Khodunov A.A., Seleznev A.V. (2021) Justification of the choice and determination of the average geometric value of the relative efficiency coefficients of radial-ring typical structures for the construction of intra-zone and rural telecommunication networks, taking into account of a special period. *Proceedings of the Central Research Institute*. St. Petersburg branch. Vol. 2(12). St. Petersburg: FSUE TSNIIIS, pp. 34-40.
9. Yasinsky S.A., Zyuzin A.N., Khodunov A. A., Seleznev A.V. (2021) Determination of the average harmonic relative efficiency coefficients of radial-ring typical structures for the construction of intra-zone and rural telecommunication networks taking into account a special management period. *Proceedings of the central research institute. St. Petersburg branch*. Vol. 2(12), 2021. St. Petersburg: FSUE Central Research Institute, pp. 41-48.
10. Jasinskii S.A., Sokolov V.M. (2022) Generalizing Mathematical Model for Evaluating the Efficiency of Choosing a Radial-ring Standard Structure for a Fiber-optic Telecommunications Network. *Webology*. Vol. 19, Number 1, January, pp. 5600-5610.
11. Yasinsky S.A., Zyuzin A.N., Seleznev A.V., Sokolov V.M. (2022) The choice of a typical structure based on the results of a comparative analysis of the relative efficiency coefficients of radial and ring typical structures for the construction of a fiber-optic communication network. *77th STK SPb-go NTO RES named after A.S. Popov, dedicated to the Radio Day: A collection of reports of SPbSETU*. St. Petersburg: SPbSETU, pp. 115-117.
12. Yasinsky S.A. (2003) Unified mathematical models for analysis and synthesis of elements of telecommunication networks. St. Petersburg: Military University of Communications. 184 p.
13. Yasinsky S.A. (2022) Fundamentals of logical and mathematical modeling of "man-machine-environment" systems. St. Petersburg: Military Academy of Communications. 212 p.
14. Swami M., Thulasiraman K. *Graphs (1984) Networks and algorithms*. Translated from English. Moscow: Mir. 455 p.
15. Gordeev E. N. (1989) Problems of choice and their solution. Computer and problems of choice. Moscow: Nauka, pp. 5-48.
16. Yasinsky S.A., Stolyarov V.I. (1997) Simplification of mathematical models of projected dynamic communication networks and analysis of the possibility of applying decomposition methods to the construction of regional digital primary communication networks. Collection of abstracts of deposited manuscripts - reference No. 8804, series B, issue No. 39. Moscow: Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation. 13 p.
17. Demchuk D.A. et al. (1992) Military multichannel telecommunication systems. St. Petersburg: Military Academy of Communications. 232 p.
18. GOST R 53111-2008 "Stability of the functioning of the public communication network. Terms and definitions". Moscow: FSUE "STANDARTIN-FORM", 2009. 16 p.
19. Yasinsky S.A., Zyuzin A.N. (2021) A refined mathematical model for calculating the structural stability of the telecommunication communication direction. NTZH "Telecommunication. Moscow: LLC "MEDIACOLOR". No. 11, pp. 55-58.
20. Yasinsky S.A., Zyuzin A.N. (2022) Formation of telecommunication directions with high structural and streaming stability. NTZH "Telecommunication. Moscow: MEDIACOLOR LLC. No. 1, pp. 43-46.
21. Yasinsky S.A., Zyuzin A.N. (2021) Justification of the choice of the topological structure of fiber-optic public communication networks. NTZH "Telecommunication. Moscow: LLC "MEDIACOLOR". No. 3, pp. 43-47.

Information about author:

Sergei A. Jasinskii, *Military Communications Academy Professor, Doctor of Science, Associate Professor, St. Petersburg, Russia*