

ФИЗИКО-ПЛАНИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ

Усацкий В.А.¹, Селезнев А.В.², Волков В.А.³

DOI: 10.21681/3034-4050-2025-2-19-24

Ключевые слова: радиально-кольцевая структура, кольцевая структура, оптимизация, волоконно-оптический кабель.

Аннотация

Цель работы — на основе проведенного анализа базовых типовых структур оптической транспортной сети специального назначения, сформулировать предложения по практической реализуемости физико-планиметрического метода определения центра тяжести для вычисления оптимальной координаты размещения центрального оптического транспортного узла связи в пределах радиально-кольцевой структуры оптической сети с учетом динамики развития.

Метод исследования:

1. Положительно зарекомендовавший себя в транспортной логистике физико-планиметрический метод определения центра тяжести.

2. Физико-планиметрический метод определения центра тяжести предлагается по аналогии применять для определения оптимального расположения центрального транспортного узла оптической транспортной сети радиально-кольцевой структуры.

Результаты исследования: в результате проведения анализа базовых типовых структур и обоснования условий физической реализуемости оптической транспортной сети специального назначения по аналогии с физико-планиметрическим методом определения центра тяжести для масс тел на плоскости, предложен подход к введению в пределах радиально-кольцевой структуры оптической транспортной сети, центрального дополнительного транспортного узла с учетом минимизации расхода используемого волоконно-оптического кабеля.

На основе предложенного подхода произведено уточнение соответствующей математической модели, учитывающее динамику перемещения транспортных узлов, то есть динамику развития сети связи.

Практическая ценность: полученные научные результаты позволяют производить расчеты для построения оптимальных, с точки зрения минимизации расхода используемого волоконно-оптического кабеля, структур оптических транспортных сетей специального назначения радиально-кольцевого типа. При этом обеспечивается выполнение требований к структурной отказоустойчивости и минимизации времени на решение отдельных оптимизационных задач планирования и организации волоконно-оптической связи с учетом изменения обстановки по связи.

Введение

Анализ топологических структур транспортных сетей связи (ТС) Единой сети электро-связи РФ показал [1, 2], что в настоящее время их оптический слой в основном образуется на основе развертываемых волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) общего пользования и специального назначения (СН) с прокладкой волоконно-оптических кабелей (ВОК) и (или) использованием арендованного ресурса волоконно-оптической инфраструктуры (ВОИ) регио-

нальных операторов связи субъектов РФ в виде оптических волокон (ОВ) и длин волн (ДВ) в заранее проложенных стационарных ВОК.

Все ВОИ и ВОК специального назначения позволяют не только строить оси и рокады (линейные структуры) оптических ТС (ОТС), но и формировать различные отказоустойчивые типовые топологические структуры (кольцевые (КС), радиально-кольцевые (РКС) и др.) в оптическом диапазоне передачи высокоскоростных информационных потоков (ИП) [3].

¹Усацкий Владимир Анатольевич, преподаватель Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail:usvovan@yandex.ru

²Селезнев Андрей Васильевич, научный сотрудник НИО Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail:andrsel@mail.ru

³Волков Владислав Александрович, адъюнкт Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail:volkovvladik@mail.ru

Опыт построения более сложных топологических структур показывает невозможность реализовывать их с малыми затратами на прокладку дорогостоящих ВОК [4, 5], а также трудность внедрения оптического оборудования на оптических транспортных узлах связи (ОТУ) с учетом обеспечения требований к структурной отказоустойчивости и минимизации времени на решение отдельных оптимизационных задач формирования структуры ОТС с узловой основой (УО) в ходе изменения обстановки по связи.

Для повышения оперативности принятия решения по целесообразности развертывания высокоустойчивых КС, РКС и радиально-многокольцевых структур [6, 7] при формировании УО ОТС СН, возникает необходимость исследования возможности переноса методом аналогии известного решения физической задачи по нахождению центра тяжести (ЦТ) для множества координат расположения масс тел на плоскости (планиметрия) [8]. То есть, для решения подобной задачи из области электросвязи по формированию структуры ОТС с учетом введения дополнительного ОТУ, предлагается использовать физико-планиметрический метод (ФПМ) нахождения ЦТ [8], который нашел широкое применение в транспортной логистике [9, 10].

Применение такого подхода к расчетам в области электросвязи для решения задачи по нахождению ЦТ определяет новизну настоящего исследования, т.к. предлагаемый метод оптимального вычисления координаты дополнительно вводимого ОТУ с учетом минимизации суммарного расхода ВОК заимствуется из области механики в физике в область информатики по оптимизации передачи ИП с учетом:

- построения наиболее рациональной и структурно отказоустойчивой топологической структуры ОТС с коэффициентом связности три для передачи световых ИП по независимым путям;
- динамики развития ОТС за счет перемещения на местности ее отдельных ОТУ и необходимости определения очередного наиболее оптимального расположения на местности дополнительно вводимого центрального ОТУ для реконфигурации топологической структуры сети из образованной ранее КС или РКС в уточненную в ходе динамики развития новую РКС, т.е. динамики перехода РКС сети из состояния №1 (S_1) в состояние №2 (S_2).

1. Анализ базовых типовых структур и условия физической реализуемости оптической транспортной сети специального назначения

Для сравнительного анализа базовых типовых структур с позиции обеспечения требова-

ний к структурной отказоустойчивости ОТС чаще всего используют базовые типовые структуры, где [3, 11]:

- типовая радиальная структура (РС), будучи односвязной с числом ребер N , имеет центральную вершину (ОТУ), через которую передается множество ИП в световом диапазоне ДВ или ОВ, а между центральной вершиной и другими узлами из множества вершин графа (ОТУ) имеют место линейные структуры;
- типовая КС, в которой ОТУ соединены ребрами (ВОК) в кольцо, а между любыми ОТУ имеются два световых пути по ОВ, т.е. сеть — двухсвязная с числом ребер N .

Для получения возможности более обоснованного выбора предпочтительной базовой типовой топологической структуры в той или иной сложившейся ситуации построения ОТС, а также для обеспечения в дальнейшем возможности системного проектирования высокоустойчивых ОТС (с коэффициентом связности три), в научных работах проведен сравнительный анализ типовых РС и КС для их совместного использования с учетом сравнения относительных коэффициентов эффективности в среднегармоническом и среднегеометрическом представлении [11, 12].

Логично предположить, что совместное использование РС и КС в формируемой РКС может быть достигнуто путем нахождения оптимального размещения центральной вершины (центрального ОТУ) РС относительно координат расположения ОТУ из состава КС формируемой ОТС с требуемым коэффициентом связности для любого оптического транспортного направления (ОТН).

Для решения данной сетевой задачи, методом аналогии выберем положительно зарекомендовавший себя в транспортной логистике физико-планиметрический метод определения центра тяжести [9], который оказался наиболее экономически предпочтительным в сравнении с другими методами определения ЦТ (Штейнера, к-средних и др.). Однако в непосредственном представлении на практике построения логистических систем по транспортировке грузов, в соответствующих методиках и алгоритмах не отражена динамика возможного смещения (передвижения) ЦТ (базы или склады), что является существенным недостатком.

При планировании организации связи на основе ВОСП должна учитываться динамика возможного изменения топологической структуры ОТС в результате перемещения отдельных ОТУ, что требует проводить научные исследования по разработке соответствующих методик и алгоритмов реконфигурации структуры ОТС с учетом

обеспечения, следующих пяти условий физической реализуемости (УФР):

- требуемая структурная отказоустойчивость сети, оцениваемая через коэффициент связности не менее двух для КС, не должна снижаться;
- затраты времени на проведение расчетов на решение задачи по реконфигурации структуры должно быть минимальным;
- применяемый в методике и алгоритме метод реконфигурации должен обеспечивать минимизацию расхода общей длины ВОК на введение дополнительного центрального ОТС в известную УО топологической структуры сети;
- применяемые методы решения подобного класса транспортных задач должны обеспечивать необходимую точность не только для сетей малой размерности (до 4-х ОТУ), но и для ОТС большей размерности — до 10-ти и больше 10-ти;
- в разрабатываемой методике с используемым обоснованным методом должна учитываться динамика изменения структурных свойств узловой основы ОТС.

Следовательно, остановимся более подробно на применении ФПМ из транспортной логики для реконфигурации структуры ОТС путем введения дополнительного ОТУ в УО в динамике изменения топологической структуры сети, где динамика перехода из первого состояния структуры S_1 относительно исходного времени t_1 во второе состояние структуры S_2 за время Δt определяется следующим выражением:

$$t_1 + \Delta t = t_2. \quad (1)$$

2. Физико-планиметрический метод введения в структуру оптической транспортной сети дополнительного транспортного узла

Широкое заимствование из планиметрии решения задачи по определению единственного центра масс любой системы точек нашло в логистике при определении координаты ЦТ между создаваемым распределительным складом оптовой торговли и известными координатами супермаркетов (магазинами). Координаты ЦТ в виде создаваемого распределительного склада определяются следующим образом [9, 10]:

$$x_0 = \frac{\sum x_i W_i}{\sum W_i}, \quad y_0 = \frac{\sum y_i W_i}{\sum W_i}, \quad (2)$$

где:

(x_0, y_0) — неизвестные координаты ЦТ, определяющие место расположения распределительного склада оптовой торговли;

(x_i, y_i) — известные координаты для i -х магазинов (потребителей);

W_i — известные параметры ожидаемого спроса на товары i -ми магазинами, т.е. масса (тяжесть) или грузооборот товаров.

Используя метод динамических аналогий по отношению к (2), произведем замену понятий применительно к определению координаты дополнительно вводимого одного ОТУ в структуру ОТС, что позволяет получить следующую систему из двух выражений:

$$x_{2,j=1}(t_1) = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} x_{1,i}(t_1) \max V_{a_{1,i} \in A_1}(t_1)}{\sum_{i=1}^{N_1} \max V_{a_{1,i} \in A_1}(t_1)}, \quad y_{2,j=1}(t_1) = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} y_{1,i}(t_1) \max V_{a_{1,i} \in A_1}(t_1)}{\sum_{i=1}^{N_1} \max V_{a_{1,i} \in A_1}(t_1)}, \quad (3)$$

где:

$(x_{2,j=1}(t_1) \equiv x_0; y_{2,j=1}(t_1) \equiv y_0)$ — искомые координаты ЦТ, определяющие место расположения дополнительно вводимого ОТУ $a_{2,j=1}(t_1) \in A_2$;

$(x_{1,i}(t_1) \equiv x_i; y_{1,i}(t_1) \equiv y_i)$ — известные координаты ОТУ $a_{1,i}(t_1) \in A_1$;

$\max V_{a_{1,i} \in A_1}(t_1) \equiv W_i$ — известные параметры суммарного потенциально возможного (максимального) информационного веса для каждого $a_{1,i}(t_1) \in A_1$, который может выражаться в количестве ОБ в ВОК, числе ДВ во всех ОБ или в суммарных значениях групповых скоростей передачи (Гбит/с) в соответствующих коммутационных устройствах ОТУ.

В качестве примера №1 (состояние S_1) произведем расчеты координат с помощью (3) для дополнительно вводимого $a_{2,1}(t_1) \in A_2$ в узловой основе $A = A_1 \cup A_2$ при следующих заданных координатах в километрах для $a_{1,i=1,5}(t_1) \in A_1$: $a_{1,1}(t_1) = (5; 20)$, $a_{1,2}(t_1) = (30; 35)$, $a_{1,3}(t_1) = (40; 25)$, $a_{1,4}(t_1) = (45; 15)$, $a_{1,5}(t_1) = (20; 10)$. Также заданы следующие информационного веса для каждого из $a_{1,i=1,5}(t_1) \in A_1$: $\max V_{a_{1,1} \in A_1}(t_1) = 60$ Гбит/с, $\max V_{a_{1,2} \in A_1}(t_1) = 50$ Гбит/с, $\max V_{a_{1,3} \in A_1}(t_1) = 10$ Гбит/с, $\max V_{a_{1,4} \in A_1}(t_1) = 20$ Гбит/с, $\max V_{a_{1,5} \in A_1}(t_1) = 30$ Гбит/с.

В результате расчетов по формулам (3) для дополнительно вводимого $a_{2,1}(t_1) \in A_2$ с точностью до одного знака после запятой получены следующие координаты: $x_{2,1}(t_1) = 21$ км; $y_{2,1}(t_1) \approx 22,9$ км.

3. Реконфигурация оптической транспортной сети на основе физико-планиметрического метода с учетом динамики перемещения транспортных узлов в кольцевой структуре

Для учета динамики перемещения (реконфигурации) ОТУ при переходе из состояния S_1 в

состояние S_2 за время Δt в соответствии с формулой (1) преобразуем выражение (3) в следующий вид:

$$x_{2,j=1}(t_2) = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} x_{1,i}(t_2) \max_{a_{1,j} \in A_1}(t_2)}{\sum_{i=1}^{N_1} \max_{a_{1,j} \in A_1}(t_2)}, \quad y_{2,j=1}(t_2) = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} y_{1,i}(t_2) \max_{a_{1,j} \in A_1}(t_2)}{\sum_{i=1}^{N_1} \max_{a_{1,j} \in A_1}(t_2)}. \quad (4)$$

В качестве примера №2 (состояние S_2) произведем расчеты координат с помощью (4) для дополнительно вводимого $a_{2,1}(t_2) \in A_2$ в узловой основе $A = A_1 \cup A_2$ при следующих заданных координатах в километрах для $a_{1,i=1,5}(t_2) \in A_1$: $a_{1,1}(t_1, t_2) = (5; 20)$, $a_{1,2}(t_2) = (25; 45)$, $a_{1,3}(t_2) = (50; 35)$, $a_{1,4}(t_1, t_2) = (45; 15)$, $a_{1,5}(t_1, t_2) = (20; 10)$. Также заданы следующие информационного веса для каждого из $a_{1,i=1,5}(t_2) \in A_1$ $\max V_{a_{1,i} \in A_1}(t_2) = 40$ Гбит/с, $\max V_{a_{1,2} \in A_1}(t_2) = 50$ Гбит/с, $\max V_{a_{1,3} \in A_1}(t_2) = 10$ Гбит/с, $\max V_{a_{1,4} \in A_1}(t_2) = 20$ Гбит/с, $\max V_{a_{1,5} \in A_1}(t_2) = 10$ Гбит/с.

В результате расчетов по формулам (4) для дополнительно вводимого $a_{2,1}(t_2) \in A_2$ с точностью до одного знака после запятой получены следующие координаты: $x_{2,1}(t_2) \approx 23,5$ км; $y_{2,1}(t_2) \approx 29,2$ км.

Для наглядности на рисунке 1 приведены рассчитанные с помощью (3) и (4) координаты, предлагаемые с целью дополнительного введения в радиальную структуру ОТУ $a_{2,1}(t_1) \in A_2$ и $a_{2,1}(t_2) \in A_2$ с учетом:

- динамики перехода за время Δt с сохранением структурной отказоустойчивости с коэффициентом связности два для КС в процессе перехода из состояния S_1 в состояние S_2 ;
- обеспечения структурной отказоустойчивости с коэффициентом связности три для РКС в стационарном S_2 , который был обеспечен изначально в состоянии S_1 .

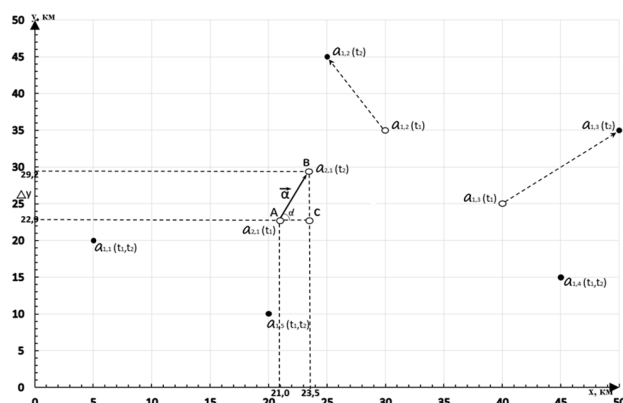


Рис. 1. Координаты предлагаемых для дополнительного введения в структуру транспортной сети ОТУ $a_{2,1}(t_l) \in A_2$ и $a_{1,2}(t_l) \in A_1$

Из рисунка 1 выделим проекции на оси координат полученные координаты ОТУ $a_{2,1}(t_1) \in A_2$ и $a_{2,1}(t_2) \in A_2$, образующие прямоугольный треугольник $\triangle ABC$ (рисунк 2) с гипотенузой в виде вектора $\vec{a}$, а также катетами: $\Delta x = 2,5$ км и $\Delta y = 6,3$ км.

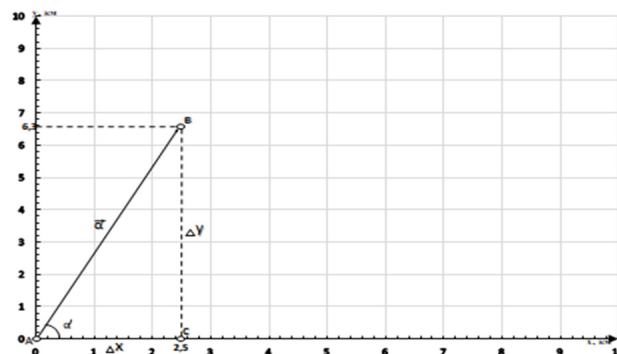


Рис. 2. Проекции полученных координат ОТУ $a_{2,1}(t_1) \in A_2$ и $a_{2,1}(t_2) \in A_2$, образующие прямоугольный треугольник $\triangle ABC$

Используя теорему Пифагора, произведем вычисление расстояния между $OTU_{a_{2,1}}(t_1) \in A_2$ и $a_{2,1}(t_2) \in A_2$:

$$a = |a| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{2,5^2 + 6,3^2} \approx 6,8 \text{ км},$$

которое в соответствующей методике будет определять длину расхода ВОК при переходе центрального ОТУ из одного состояния в другое в процессе реконфигурации структуры ОТС.

Заключение

На основе применения принципа аналогии с позиции использования в транспортной логистике ФПМ произведена разработка соответствующей математической модели для реконфигурации узловой основы ОТС.

Разработанные математические модели (3) и (4) предлагается использовать для разработки методик и алгоритмов формирования отказоустойчивой топологической структуры ОТС специального назначения, что позволит из-за низкой вычислительной сложности решаемой задачи сократить время на принятие решения по реконфигурации сети и обеспечить реализацию требований к структурной отказоустойчивости за счет повышения коэффициента связности от двух до трех независимых путей передачи высокоскоростных ИП в световом диапазоне ОВ и (или) ДВ в ВОК применительно к каждому из ОТН.

Литература

1. Гавлиевский, С.Л. Принципы построения мультисервисной сети ПАО «Ростелеком» / С.Л. Гавлиевский, В.Г. Карташевский, Д.В. Проскура и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 228 с.
2. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Олифер, Н.Олифер. – СПб.: Питер, 2024. – 1008 с.
3. 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.
4. Ермаков, А.В. Использование технологии «тройная звезда» для модернизации телекоммуникационной системы высокотехнологичной компании / А.В. Ермаков // НТЖ «Информация и Космос», – СПб.: ООО «Типографский комплекс «Девиз», 2024. №4. – С.43–47.
5. Ермаков, А.В. Эволюция концепции W+W для развития телекоммуникационной системы при переходе к цифровой экономике / А.В. Ермаков, К.Ю. Коломенский, Н.А. Соколов // Электросвязь, 2022. – №2. – С. 42–46.
6. Ясинский С. А. Моделирование радиально-двухкольцевой типовой структуры транспортной сети методом стягивания узлов связи / С.А. Ясинский // НТЖ «Телекоммуникации и транспорт». М.: ООО «ИД Медиа Паблишер», 2023. №4. Том 17. С. 42–47.
7. Ясинский С. А. Моделирование радиально-многокольцевой типовой структуры транспортной сети методом стягивания узлов связи / С.А. Ясинский, П.Г. Романенко, А.Н. Зюзин // НТЖ «Научные технологии в космических исследованиях Земли», – М.: ООО «Издательский дом Медиа Паблишер», 2023. – №5. – Том 15. – С. 11–17.
8. Прасолов, В.В. Задачи по планиметрии / В.В. Прасолов. – М.: МЦНМО, 2022. – 640 с.
9. Гаджинский, А.М. Проектирование товаропроводящих систем на основе логистики (5-е издание) / А. М. Гаджинский. – М.: Дашков и К, 2024. – 322 с. [Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование: <https://profspo.ru/books/144196>]. Дата обращения: 29.12.2024.
10. Баланов, А.Н. Транспорт и логистика. Автоматизация и оптимизация процессов / А.Н. Баланов. – СПб.: Лань, 2024. – 404 с.
11. 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.
12. Ясинский, С.А. Графический метод определения области допустимой эффективности радиально-кольцевой типовой структуры / С.А. Ясинский, А. Н. Зюзин // Электросвязь, 2022. – №7. – С. 62–66.
13. Ермаков, А.В. Принципы развития телекоммуникационной системы, предназначенной для высокотехнологичной компании / А.В. Ермаков, Н.А. Соколов // НТЖ «Информация и Космос». СПб.: ООО «Типографский комплекс «Девиз». 2020. №1. – С. 6–11.
14. Ясинский, С.А. Обоснование выбора топологической структуры волоконно-оптической сети связи общего пользования / С.А. Ясинский, А. Н. Зюзин // Электросвязь, 2021. – №3. – С. 43–47.

PHYSICO-PLANIMETRIC METHOD OF FORMATION OF THE STRUCTURE OF THE OPTICAL TRANSPORT NETWORK OF SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF DEVELOPMENT

Usatsky V.A.¹, Seleznev A.V.², Volkov V.A.³

Keywords: radial-ring structure, ring structure, optimization, fiber-optic cable.

Abstract

The purpose of the work is to formulate proposals for the practical feasibility of the physico-planimetric method for determining the center of gravity for calculating the optimal coordinate of the location of the central optical transport communication center within the radial-ring structure of the optical network, taking into account the dynamics of development, based on the analysis of the basic typical structures of a special-purpose optical transport network.

¹Vladimir A. Usatsky, Lecturer at the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail:usvovan@yandex.ru

²Andrey V. Seleznev, Researcher, Research Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail:andrsel@mail.ru

³Vladislav A. Volkov, adjunct of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail:volkovvladik@mail.ru

Research method:

1. The physico-planimetric method of determining the center of gravity, which has proven itself in transport logistics.
2. The physico-planimetric method for determining the center of gravity is proposed to be used by analogy to determine the optimal location of the central transport hub of the optical transport network of the radial-ring structure.

Results of the study: as a result of the analysis of the basic typical structures and substantiation of the conditions for the physical feasibility of a special-purpose optical transport network by analogy with the physico-planimetric method of determining the center of gravity for the masses of bodies on the plane, an approach is proposed to the introduction of a central additional transport hub within the radial-ring structure of the optical transport network, taking into account the minimization of the consumption of the used fiber-optic cable.

On the basis of the proposed approach, the corresponding mathematical model is clarified, taking into account the dynamics of the movement of transport hubs, that is, the dynamics of the development of the communication network.

Practical value: the scientific results obtained make it possible to make calculations for the construction of optimal, from the point of view of minimizing the consumption of the fiber-optic cable used, structures of special-purpose optical transport networks of the radial-ring type. At the same time, the requirements for structural fault tolerance and minimization of time for solving individual optimization problems of planning and organizing fiber-optic communication taking into account changes in the communication situation are ensured.

References

1. Gavlievsky, S.L. Principles of building a multiservice network of PJSC Rostelecom / S.L. Gavlievsky, V.G. Kartashevsky, D.V. Proskura et al. – M.: Hotline – Telecom, 2021. – 228 p.
2. Olifer, V. Computer networks. Principles, technologies, protocols / V. Olifer, N.Olifer. – St. Petersburg: Peter, 2024. – 1008 p.
3. Yasinsky S. A. Comparative analysis of basic standard structures for building cable local area computing, telecommunications and access networks // NTZ "Information and Space", St. Petersburg: OOO "Typographic complex "Motto", 2020. – №4. – pp. 32-38.
4. Ermakov, A.V. The use of technology "triple star" for the modernization of the telecommunications system of a high-tech company / A.V. Ermakov // NTZ "Information and Space", St. Petersburg: LLC "Printing complex "Motto", 2024. – No. 4. – pp.43-47.
5. Ermakov, A.V. The evolution of the W+W concept for the development of a telecommunications system during the transition to the digital economy / A.V. Ermakov, K.Y. Kolomenskiy, N.A. Sokolov // Telecommunications, 2022. – No. 2. – pp. 42-46.
6. Yasinsky S. A. Modeling of a radial-two-ring typical structure of transport networks by the method of tightening communication nodes / S.A. Yasinsky // NTZ "Telecommunications and Transport", Moscow: ID Media Publisher LLC, 2023. – No. 4. – Volume 17. – pp. 42-47.
7. Yasinsky S. A. Modeling of a radial-multi-ring typical structure of a transport network by the method of tightening communication nodes / S.A. Yasinsky, P.G. Romanenko, A. N. Zyuzin // NTZ "High-tech technologies in space exploration of the Earth", Moscow: OOO "Publishing House Media Publisher", 2023. – No. 5. – Volume 15. – pp. 11-17.
8. Prasolov, V.V. Problems of planimetry / V.V. Prasolov, Moscow: ICNMO, 2022, – 640 p.
9. Gadzhinsky, A.M. Designing commodity distribution systems based on logistics (5th edition) / A.M. Gadzhinsky. Moscow: Dashkov and K, 2024. – 322 p. [Electronic resource of the digital educational environment of vocational education: <https://profspo.ru/books/144196>]. Date of reference: 12/29/2024.
10. Balanov, A.N. Transport and logistics. Automation and optimization of processes / A.N. Balanov. St. Petersburg: Lan Publ., 2024, 404 p.
11. Yasinsky S. A. Comparative analysis of basic standard structures for building cable local area computing, telecommunications and access networks // NTZ "Information and Space", St. Petersburg: OOO "Typographic complex "Motto", 2020. – №4. – pp. 32-38.
12. Yasinsky, S.A. Graphical method Definitions of the area of permissible efficiency of a radial-ring typical structure / S.A. Yasinsky, A. N. Zyuzin // Telecommunications, 2022. – No. 7. – pp. 62-66.
13. Ermakov, A.V. Principles of development of a telecommunication system designed for a high-tech company / A.V. Ermakov, N.A. Sokolov // NTZ "Information and Space", St. Petersburg: OOO "Typographic complex "Motto", 2020. – No. 1. – pp. 6-11.
14. Yasinsky, S.A. Yasinsky, A.N. Zyuzin, Substantiation of the choice of the topological structure of a fiber-optic communication network for general use, Telecommunications, 2021, No. 3, – pp. 43-47.

