

## АНАЛИЗ ЗАДАЧ И МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ СТАНЦИОННОГО УЧАСТКА СЕТИ ДОСТУПА

С. Н. Бушеленков<sup>1</sup>, А. И. Парамонов<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Макрорегиональный филиал «Северо-Запад» ПАО «Ростелеком»,  
Санкт-Петербург, 191167, Российская Федерация

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: alex-in-spb@yandex.ru

**Аннотация**—В данной статье представлены результаты разработки моделей и методов организации узловой части оптической сети доступа. Объектом исследования является оптический крест GPON, а предметом исследования являются модели и методы снижения его ресурсопотребления и улучшения других параметров, характеризующих его функционирование. Предложены модели и методы выбора типа оборудования для оптической кабельной распределительной системы, а также модель и метод выбора структуры коммутационных соединений, которые решают проблему минимизации количества ресурсов.

**Ключевые слова**—Пассивная оптическая сеть доступа, оптический шлюз, минимизация ресурсов, тип шлюза, структура соединений.

### Информация о статье

УДК 621.39

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 24.03.20, принята к печати 10.04.20.

**Ссылка для цитирования:** Бушеленков С. Н., Парамонов А. И. Анализ задач и методов организации станционного участка сети доступа // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 34–41. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-34-41.

## ANALYSIS AND METHODS OF ORGANIZING NODE PART OF THE ACCESS NETWORK

S. Bushelenkov<sup>1</sup>, A. Paramonov<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Macro-regional branch "North-West" of Rostelecom, St. Petersburg, 191167, Russian Federation

<sup>2</sup>The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\*Corresponding author: alex-in-spb@yandex.ru

**Abstract**—This paper presents results of developing a models and methods for organizing a node part of an optical access network. The object of research is optical cross of the GPON, and the subject of research is models and methods for reducing its resource consumption and increasing other parameters characterizing its functioning. Models and methods are proposed for choosing the type of equipment for optical cable distribution system, as well as a model and method for choosing the structure of switching connections that solve the problem of minimizing the amount of resources.

**Keywords**—Optical Access Network, Optical Distribution Frame, Resources Minimization, Type of Distribution Frame, Interconnection Structure.

### Article info

Article in Russian.

Received 24.03.20, accepted 10.04.2020.

**For citation:** Bushelenkov S., Paramonov A.: Analysis and Methods of Organizing Node Part of the Access Network // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 1. pp. 34–41 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-34-41.

## Введение

Одним из результатов эволюции сетей связи является развитие технологий абонентского доступа. Самой массовой технологий в настоящее время можно считать беспроводный доступ, используемый операторами сетей подвижной связи и беспроводного доступа. Процесс развития технологий абонентского доступа происходил как в части обеспечения подвижности абонента, так и в части повышения пропускной способности [1, 2].

Несмотря на успехи развития технологий беспроводного доступа, безусловным лидером в части обеспечения пропускной способности в настоящее время является доступ с использованием оптоволоконна. Оптоволоконные линии связи, на сегодняшний день и обозримую перспективу, являются основной технологией, способной обеспечить стабильную гарантированную величину пропускной способности, существенно превосходящую пропускную способность, достижимую при использовании беспроводных технологий.

С учетом тенденций развития областью использования фиксированного доступа становятся приложения, требующие стабильно высокой пропускной способности и высокой надежности. Это приложения, связанные с предоставлением индивидуального или коллективного доступа в Интернет, услуг доступа к видео-контенту и других ресурсоемких услуг. В связи с тем, что использование в таких приложениях оптоволоконных кабелей дает существенный эффект по сравнению с использованием медных кабелей основной современной и перспективной технологией проводного доступа являются оптоволоконные технологии<sup>1,2</sup>, в частности, пассивные оптические сети (GPON)<sup>3,4</sup>.

<sup>1</sup> ГОСТ Р 53246-2008 Информационные технологии (ИТ). Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы. Общие требования.

<sup>2</sup> РД 45. 047-99 Техническая эксплуатация. Линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризональных первичных сетях ВСС России.

<sup>3</sup> Optical fibre, cables and systems, International Telecommunication Union Place des Nations CH-1211 Geneva 20. 324 p.

<sup>4</sup> Recommendation ITU-T G.984.1 Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. 2008. 43 p.

Эти сети обеспечивают высокую гарантированную величину пропускной способности для каждого пользователя.

Современная сеть GPON содержит несколько участков, в том числе станционный участок, на котором производится ввод и распределение оптических кабелей – кросс GPON<sup>5</sup>. Методы построения этого участка зависят от используемого оборудования, свойств оптических кабелей, требований к возможности модернизации, расширения, надежности и др.

Методы организации кросса существенно влияют на его ресурсоёмкость, параметры надежности и качества линий связи.

В данной работе приводятся результаты анализа наиболее распространенных подходов к организации данного участка сети доступа, анализ основных параметров, задач и методов повышения эффективности их решения.

### **Анализ состояния и постановка задачи**

Задачей организации оптического кросса на узле связи является получение такого технического решения, которое при минимальном расходе ресурсов позволяет обеспечить требования, предъявляемые к его основным характеристикам.

Поэтому для дальнейшего изложения и формализации задачи необходимо определить перечень основных ресурсов, которые используются при организации кросса, а также перечень параметров, характеризующих качество получаемого решения.

Основными ресурсами при построении кросса являются единицы оборудования (стойки), кабельные линии (коммутационные кабели), элементы крепления кабельных линий, занимаемая площадь или объем.

Основными показателями (параметрами) технического решения являются параметры ресурсоемкости (количество единиц оборудования, протяженность кабельных линий и т. д.), параметры надежности (коэффициент готовности линии, среднее время наработки на отказ, время восстановления), параметры качества (характеристика пропускной способности данного участка).

В рамках данной работы в качестве показателя ресурсоемкости мы используем протяженность линий связи – суммарную протяженность коммутационных кабелей; в качестве показателя надежности – время восстановления, а в качестве показателя качества – коэффициент (вероятность) снижения пропускной способности коммутационных кабелей.

Основные виды оборудования оптического кросса<sup>6,7,8</sup> приведены на рис. 1 (см. ниже). В настоящее время распространены два типа оборудования оптических кроссов: стойки закрытого типа (рис. 1а) и стойки открытого типа (рис. 1б).

---

<sup>5</sup> Recommendation ITU-T L.50. Requirements for passive optical nodes: Optical distribution frames for central office. 2010. 20 p.

<sup>6</sup> РД 45. 047-99 Техническая эксплуатация. Линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризоновых первичных сетях ВСС России.

<sup>7</sup> Optical fibre, cables and systems, International Telecommunication Union Place des Nations CH-1211 Geneva 20. 324 p.

<sup>8</sup> Recommendation ITU-T G.984.1 Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. 2008. 43 p.

Основные элементы оптического кросса 1 – ODF, 2 – шкаф с активным оборудованием, 3 – кабельрост со спуском, 4 – желоб для соединительных кабелей.

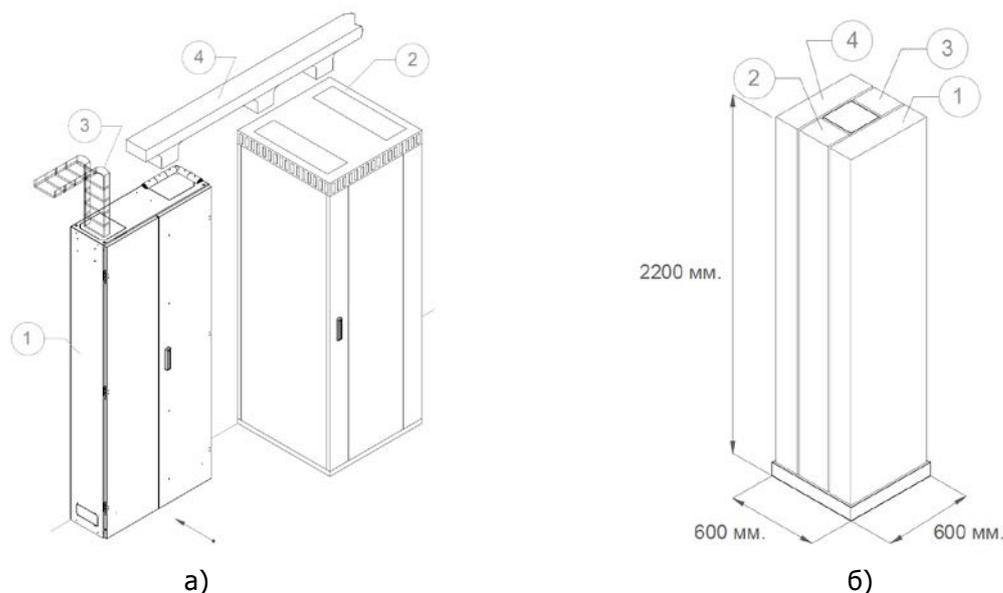


Рис. 1. Основные элементы оптического кросса:  
а) стойки закрытого типа; б) стойки открытого типа

Для описания взаимосвязи основных показателей рассмотрим типовую структуру кросса и факторы, влияющие на эти показатели.

Типовой оптический кросс состоит из одной или нескольких стоек, размещаемых в помещении и соединенных между собой оптическими кабелями. Количество стоек, количество и протяженность кабелей зависят от емкости кросса, расположения стоек и выбора длин коммутационных кабелей.

Существующая практика реализации оптических кроссов, как правило, состоит в выполнении метода, который можно описать последовательностью из трех основных операций:

- выбор типа оборудования;
- выбор и расположение несущих конструкций для прокладки соединительных кабелей;
- выбор необходимой длины коммутационных кабелей и их прокладка между стойками.

Выбор типа оборудования производится с целью минимизации ресурсоемкости с учетом ряда ограничений, определяемых спецификой оборудования, существующими требованиями к его размещению, характеристиками помещения и планами дальнейшего развития и модернизации.

Выбор и расположение несущих конструкций для прокладки соединительных кабелей предполагает выбор их емкости и конфигурации. Он также производится с целью минимизации общей ресурсоемкости. При этом также может существовать набор ограничений.

Аналогично можно охарактеризовать и операцию выбора необходимой длины коммутационных кабелей, и их прокладку между стойками. В этом случае целью является минимизация суммарного расхода кабеля. Наряду с экономией ресурса, снижение расхода (излишков) кабеля повышает качество конструкции

в целом, что в частности выражается в снижении трудоемкости ремонта и уменьшении времени восстановления.

Формально эту задачу можно описать как задачу оптимизации, в которой целевая функция выражает зависимость объема ресурсов от структурных параметров:

$$O_i = \min_{P_i} f_i(P_i), \quad P_i \in D_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (1)$$

Эта общая формулировка приемлема для каждого из названных этапов с учетом того, что на каждом из них будет иметь место своя зависимость ресурсов от своего набора структурных параметров.

Основными проблемами реализации кросса на сегодняшний день являются:

- нерациональный выбор структурных параметров, приводящий к снижению достижимой емкости из-за неравномерной загрузки или перегрузки несущих конструкций;
- снижение качества оптических линий из-за воздействия физических нагрузок при их размещении в несущих конструкциях;
- образование излишков длины соединительных кабелей, из-за использования фиксированного набора стандартных длин коммутационных кабелей, что приводит к уменьшению доступности конструкции в целом, следовательно, к снижению времени восстановления и коэффициента готовности.

Для устранения или уменьшения выраженности указанных проблем необходимо решить задачи оптимального или рационального выбора решений на каждом из перечисленных этапов. Для этой цели необходимо определить функциональные зависимости  $f_i(P)$  в выражении (1), а также выбрать метод решения соответствующей задачи оптимизации.

В данной работе предлагается формализация задачи для различных этапов построения кросса, выбор структурных параметров и методов решения.

Далее будут рассмотрены возможные модели для каждого из этапов построения кросса, которые дают возможность сформулировать целевую функцию и ограничения для задачи оптимизации.

## **Модель и методы решения**

### *Модель и метод выбора оборудования*

Сформулируем задачу в общем виде. Исходными данными для решения задачи является предельное, прогнозируемое количество портов  $n$ , определенное при планировании сети связи.

Будем полагать, что имеются  $k$  типов оборудования (кроссов), каждый из типов оборудования характеризуется набором параметров  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ . Решением задачи может быть дискретное множество  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ , где  $t_i$  – требуемое количество единиц оборудования  $i$ -го типа.

Задачу выбора в данном случае можно сформулировать, используя общую постановку задачи (1) и приведенные выше уточнения как:

$$T = \arg \min_T f(P, n, T), \quad P \in D,$$

где  $n$  – планируемая емкость кросса с учетом развития,  $P$  – множество параметров для оборудования всех типов,  $D$  – множество ограничений на количество оборудования каждого типа.

Функция  $f$  – выражает зависимость объема ресурсов от своих аргументов.

Решение в виде множества  $T$  получается путем минимизации данной функции по всем возможным вариантам построения этого множества.

Очевидно, что решение данной задачи будет зависеть от выбора вида ресурса и вида функциональной зависимости  $f$ .

Для получения частного решения данной задачи были выбраны следующие параметры. Были рассмотрены два типа применяемого оборудования, т. е.  $k = 2$  (стойки открытого и закрытого типов), в качестве параметра оборудования рассматривалась емкость стойки в количестве портов, в качестве рассматриваемого ресурса выбрана суммарная длина коммутационных кабелей.

Вид функции  $f$  – определяется решением геометрической задачи, выражающей зависимость длины соединительного кабеля для каждого типа оборудования с учетом количества единиц оборудования, его емкости и требований к его размещению.

При решении данной задачи численным методом при  $k = 2$  получено пороговое значение количества портов, равное 576.

Полученное решение показало, что при заданных параметрах оборудования при планируемом количестве портов кросса, не превышающем 576 целесообразно применение оборудования первого типа (стоек закрытого типа), а при большем планируемом количестве портов, оборудование второго типа (стоек открытого типа).

### *Модель и метод выбора несущих конструкций и способов прокладки кабеля*

Решение задачи выбора структуры несущих конструкций имеет смысл тогда, когда при решении задачи выбора оборудования выбран тип оборудования, требующий прокладки коммутационных кабелей между стойками (второй тип оборудования – стойки открытого типа).

На рис. 2 приведена условная схема расположения несущих элементов, которые могут быть использованы для прокладки соединительных кабелей между стойками.

Кабель между стойками может быть проложен некоторым конечным количеством способов, набор которых определяется максимальной структурой несущих конструкций. Каждый из элементов несущих конструкций имеет ограниченную емкость, выражаемую в максимальном количестве кабелей, которые могут быть в нем проложены.

Опишем задачу моделью графа  $G(V, E)$  в котором множество вершин  $V$  представляет собой множество портов кросса, а множество ребер  $E$  множество

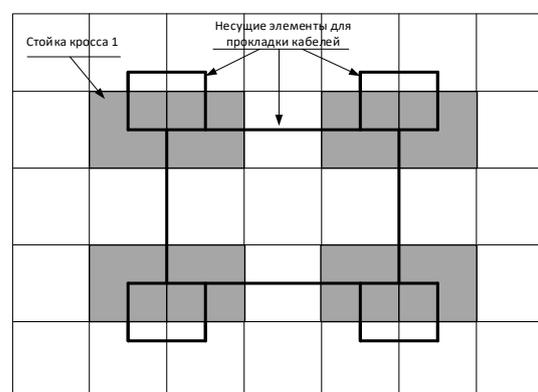


Рис. 2. Условная схема расположения несущих элементов

возможных соединений между всеми портами. В общем случае, соединения могут иметь место между любой парой портов, т. е. каждый с каждым, однако на практике используется гораздо меньшее количество вариантов соединений.

Исходными данными для решения задачи является матрица расстояний, которая описывает связи между портами  $\mathbf{R}$ . Эта квадратная матрица размера  $n \times n$ . Каждый элемент матрицы  $r_{ij}$  представляет собой расстояние между портами  $i$  и  $j$ . Элементы матрицы вычисляются на основе максимально возможной конфигурации (размещения) несущих элементов, с учетом особенностей прокладки кабелей в этих элементах. При формировании этой матрицы должны учитываться возможные варианты, для неиспользуемых вариантов соответствующее значение  $r_{ij}$  приравнивается большому числу (стремится к бесконечности).

Далее опишем метод решения задачи в виде последовательности основных этапов.

1. На основе матрицы  $\mathbf{R}$  рассчитывается матрица кратчайших путей  $\mathbf{F}$  и матрица длин кратчайших путей  $\mathbf{M}$  между всеми вершинами графа.

Для этой цели может быть использован алгоритм Флойда-Уоршелла, который позволяет решить такую задачу и имеет весьма простую реализацию [3].

$$\{\mathbf{F}, \mathbf{M}\} = A(\mathbf{R}),$$

где  $A(\mathbf{R})$  – обозначает применение алгоритма Флойда-Уоршелла к матрице  $\mathbf{R}$ .

2. Далее формируется матрица загрузки направляющих элементов  $\mathbf{Q}$ . Эта матрица также имеет размер  $n \times n$ . Количество ненулевых элементов в ней равно количеству используемых направляющих элементов.

$$\mathbf{Q} = B(\mathbf{F}, \mathbf{R}),$$

где  $B(\mathbf{F}, \mathbf{R})$  – обозначает процедуру вычисления количества кабелей, проходящих через каждый направляющий элемент, на основе исходных данных о связях между портами  $\mathbf{R}$  и данных о путях их прокладки  $\mathbf{F}$ .

Значение элемента матрицы  $q_{ij}$  – равно количеству кабелей в данном элементе.

3. Производится проверка значений  $q_{ij}$  на допустимые минимальное и максимальное значения для данных конструктивных элементов для  $i, j = 1 \dots n$ .

Возможны следующие варианты:

а)  $q_{\min} \leq q_{ij} \leq q_{\max}$ ,  $i, j = 1, \dots, n$  – в этом случае решение получено, идти к пункту 4.

б)  $q_{ij} < q_{\min}$ ,  $i, j = 1, \dots, n$  – в этом случае элемент  $i, j$  недогружен и его следует исключить. Для этого модифицируется матрица  $\mathbf{R}$ , в которой  $r_{ij}$  приравнивается большому числу (бесконечности).

Далее производится возврат к пункту 1.

в)  $q_{ij} > q_{\max}$ ,  $i, j = 1, \dots, n$  – в этом случае имеет место перегрузка элемента  $i, j$ . В этом случае необходимо разгрузить данный элемент, сделав его менее привлекательным для выбора. Для этой цели модифицируется матрица  $\mathbf{R}$ , в которой значение элемента  $r_{ij}$  увеличивается на некоторую величину  $\Delta$ ,  $r_{ij} = r_{ij} + \Delta$ .

Величина  $\Delta$  подбирается эмпирически.

Далее производится возврат к пункту 1.

4. Конец расчета. В качестве результатов выводятся матрицы **F** и **M** в которых определены пути прокладки коммутационных кабелей и их длины, соответственно.

Описанный метод реализуется как итерационная процедура в виде программы для ЭВМ.

### Выводы

Анализ методов построения оптических кроссов показал существования проблем, связанных с нерациональным выбором оборудования и его конфигурации.

Предложенные в данной статье модели и методы позволяют реализовать рациональный выбор способа построения оптического кросса.

Достоинства применения предложенного подхода дают возможность рационального выбора типа оборудования, несущих элементов для прокладки коммутационных кабелей и структуры их прокладки. В целом это дает возможность сократить объем используемых ресурсов в части суммарной длины коммутационного кабеля и несущих элементов.

Данный метод также позволяет выбирать решение с учетом допустимых нагрузок несущих элементов, что косвенно влияет на показатели надежности. В частности, устранение излишек кабеля снижает время восстановления из-за повышения ремонтпригодности конструкции в целом.

Следует также ожидать, что исключение перегрузок несущих элементов приведет к повышению качества линий доступа, за счет исключения их деформаций в случае перегрузок.

### Литература

1. Кучерявый А. Е., Парамонов А. И., Кучерявый Е. А. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта. М.: ФГУП ЦНИИС, 2008. 290 с.
2. Соколов Н. А. Задачи планирования сетей электросвязи. СПб.: Техника связи, 2012. 432 с.
3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир. 1978. 430 с.

### References

1. Kucheryavyy A. E., Paramonov A. I., Kucheryavyy E. A. Seti svyazi obshchego polzovaniya. Tendentsii razvitiya i metody rascheta. M.: FGUP TsNIIS. 2008. 290 s.
2. Sokolov N. A. Zadachi planirovaniya setey elektrosvyazi. SPb.: Tekhnika svyazi. 2012. 432 s.
3. Kristofides N. Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod. M.: Mir. 1978. 430 s.

**Бушеленков Сергей Николаевич** – главный специалист Макрорегионального филиала «Северо-Запад» ПАО «Ростелеком», bsn1980@yandex.ru

**Bushelenkov Sergey** – Chief specialist, Macro-regional branch "North-West" of Rostelecom, bsn1980@yandex.ru

**Парамонов Александр Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, alex-in-spb@yandex.ru

**Paramonov Alexandr** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, alex-in-spb@yandex.ru