Общая постановка задачи системного проектирования волоконно-оптического слоя транспортной сети телекоммуникационной системы Российской Федерации

The general formulation of the problem of system design of fiber-optical layer of the transport network of the telecommunications system of Russian Federation

Ключевые слова: волоконно-оптический слой – the fiber-optical layer, транспортная сеть – the transport network, основной оптический канал – the main optical channel.

В статье предложена общая формализованная постановка задачи синтеза волоконно-оптического слоя транспортной сети телекоммуникационной системы РФ, позволяющая минимизировать стоимость этой сети при обеспечении заданных требований по устойчивости, пропускной способности и группированию основных оптических каналов в оптические групповые тракты передачи.

The article offers a General formal problem of the synthesis of fiber-optical layer of the transport network of the telecommunications system of the Russian Federation, which allows minimizing the cost of the network while ensuring the specified requirements on stability, throughput, and grouping the main optical channels into the grouped optical transmission paths.

МАТВЕЙКИН / MATVEYKIN G.
Григорий Валерьевич
(_fenix_@mail.ru)
младший научный сотрудник,
Военная академия связи,
Санкт-Петербург

ЧУРСИН / CHURSIN I.
Игорь Николаевич
(i.chursin@minsvyaz.ru)
(ichursin@rossvyaz.ru)
заместитель руководителя,
Федеральное агентство связи,
Москва

ЯСИНСКИЙ / JASINSKI S.
Сергей Александрович
(yasinsky777@mail.ru)
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник,
Филиал ФГУП «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи»,
Санкт-Петербург

Настоящее исследование проводится с целью создания предпосылок для более благоприятного системного проектирования и строительства системы устойчивого управления субъектами РФ и организационными структурами специального назначения, территориально находящихся в суровых климатических районах Крайнего Севера, Дальнего Востока и Арктического побережья РФ. Наряду с имеющимися для этих районов проблемами управленческого, социально-экономического и экологического характера остро стоят нерешаемые до настоящего времени проблемы создания ряда инфраструктур (телекоммуникационные сети, железнодорожные сети, сети автомобильных дорог, газовые и нефтяные путепроводы и т.д.). Эти проблемы должны решаться комплексно и поэтапно в северо-восточном направлении или по принципу создания взаимно увязанных «инфраструктурных островов» с целью минимизации затрат ресурсов (материальных, людских, финансовых и др.) на их проектирование, строительство и эксплуатацию.

Транспортные сети (ТС) телекоммуникационных систем (ТКС) должны решать вопросы качественной и устойчивой транспортировки информационных потоков в интересах различного рода пользователей современными высококачественными мультимедийными услугами или услугами на выбор (интернет, телефония, IP телефония, видеосвязь, видеоконференцсвязь, Ethernet, передачу данных и др.). В настоящее время ТКС на территории РФ строятся разрозненно, что затрудняет их техниче-

ское сопряжение между собой из-за низкой взаимосвязанности и устойчивости подсистем управления, системы тактовой сетевой синхронизации и точного времени.

Следовательно, в процессе системного проектирования и строительства ТКС РФ с учетом приоритетности развития инфраструктур Крайнего Севера, Дальнего Востока и Арктического побережья РФ, необходимо учитывать накопленный опыт решения перечисленных выше проблем путем физической реализации ТС на основе волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) с аппаратурой синхронной цифровой иерархии нового поколения, позволяющей в перспективе частично конвергировать ТС с сетями доступа. Так как ВОСП должны составлять основу так называемо «оптического слоя», то остановимся на общей постановке задачи системного проектирования волоконно-оптического слоя ТС телекоммуникационной системы РФ со спектральным разделением каналов (ВОСП-СР). При этом следует отметить необходимость учитывать при постановке задачи системного проектирования волоконно-оптического слоя ТС возможность введения ступеней группообразования (объединения и разделени), то есть мультиплексирования, для обоснованно выбранной основной оптической длины волны, то есть, которую в дальнейшем будем называть основным оптическим каналом (ООК).

В процессе постановки задачи системного проектирования транспортной сети ТКС РФ на основе ВОСП-СР необходимо учитывать то, что в этой ТС все потоки информации передаются с помощью множества основных длин волн с заданными коэффициентами связности для каждой корреспондирующей пары оптических узлов (КПОУ).

В своей основе транспортную сеть ТКС РФ на основе ВОСП-СР с заданным числом λ_0 целесообразно рассматривать как многополюсную сеть, для описания которой можно использовать многопродуктовый потоковый граф [1]:

$$G_{\lambda_0}(A_{\lambda_0}, B_{\lambda_0}),\ A_{\lambda_0} = \{a_i; i = \overline{1,N}\},\ B_{\lambda_0} = \{b_{ij}; i, j = \overline{1,N}\}, \quad (1)$$

где A_{λ_0} – множество вершин графа, называемое узловой основой для передачи λ_0; B_{λ_0} – множество рёбер, называемое линейной основой для передачи λ_0, реализуемой участками одной или нескольких типов ВОСП-СР с определённой градацией скоростей передачи световых потоков информации между двумя удаленными сетевыми узлами (станциями) [2].

Пропускная способность u_{ij} ребра b_{ij} характеризуется суммой λ_0 конкретного ряда емкостей ВОСП-СР из заданного перечня, то есть характеризуется линейным ресурсом (ЛР) ТС в оптическом диапазоне [2]:

$$R_Л(B_{\lambda_0}) = \{r_\mu,\ \mu = \overline{1, Q_{\lambda_0}}\}, \quad (2)$$

где каждая из ВОСП-СР (средств каналообразования) r_μ характеризуется канальной емкостью u_μ, численно оцениваемой числом ООК, то есть числом λ_0.

На множестве A_{λ_0} определяются множество КПОУ (Z). Каждой КПОУ ставятся в соответствие потребности по образованию числа ООК v_{z_k} из множества

$$V = \{v_{z_k}\}, \quad (3)$$

где под единицей продукта многопродуктовой модели будем понимать ООК, образованный для одной КПОУ из множества:

$$Z = \{z_k;\ k = \overline{1, m}\}. \quad (4)$$

Узловая основа при построении потоковой сети (1) может быть реализуема узловым ресурсом (УР) [2]:

$$R_У(A_{\lambda_0}) = \{r_\nu,\ \nu = \overline{1, Q_{\lambda_0}}\}, \quad (5)$$

где r_ν – тип оборудования узлов связи ТС, строящихся на основе ВОСП-СР, которое закрепляется за конкретной длиной волны, то есть за конкретным ООК.

Задача системного проектирования транспортной сети ТКС РФ на основе ВОСП-СР сводится к решению двух основных взаимоувязанных подзадач: определение числа N и местоположения сетевых узлов и сетевых станций (определение узловой основы A_{λ_0}); построения структуры сети, включая расстановку многофункциональных оптических модулей на ребрах b_{ij} и определения емкостей оптических кабелей (ОК) с учётом возможности группирования в них оптических волокон (ОВ), т. е. определение линейной основы B_{λ_0}. Узловая и линейная основы реализуются, соответственно, узловым (5) и линейным (2) ресурсами ТС, что позволяет удовлетворить потребности совокупностей КПОУ в ООК с коэффициентом связности

$$k^{тр}_{св\,z_k} \in K;\ k = \overline{1, m}, \quad (6)$$

под которым следует понимать число независимых путей распределения ООК для каждой $z_k \in Z$.

Одним из ограничений в процессе расчёта волоконно-оптической ТС, которое задается в качестве исходных данных, есть необходимость соблюдения следующего условия [1]

$$k^{расч}_{св_{z_k}} \geq k^{тр}_{св_{z_k}}, \quad (7)$$

где $k^{расч}_{св_{z_k}}$ – расчетное значение коэффициента связности, которое определяет степень резервирования

по независимым путям передачи ООК для каждой $z_k \in Z$ по отношению к заданному значению требуемого коэффициента связности $k_{св_k}^{тр}$ в рамках всей структуры волоконно-оптической ТС. Кроме этого, для оптического слоя на ребрах $b_{ij} \in B_{\lambda_0}$ задаются в виде матрицы длины ребер

$$L_{\lambda_0} = \left\| l_{ij} \right\|. \qquad (8)$$

С учетом возможности образования на каждом из ребер $b_{ij} \in B_{\lambda_0}$ градации ёмкостей из m-ООК, то есть когда

$$u_{ij} = m\lambda_0, \qquad (9)$$

можно составить соответствующую матрицу пропускных способностей ребер волоконно-оптической ТС

$$U_{\lambda_0} = \left\| u_{ij} \right\|, \qquad (10)$$

для которой, на отдельных ребрах емкость может быть минимальная при m=1:

$$u_{ij} = \lambda_0. \qquad (11)$$

В случае введения иерархии ступеней мультиплексирования, градация емкостей многофункциональных оптических модулей с определенным числом ООК может быть представлена в следующем виде:

$$u(r_v) = \lambda_0 \prod_{i=1}^{I} m_i. \qquad (12)$$

После полного распределения ООК для всего множества (4) образуется топологическая структура волоконно-оптической ТС, а для обеспечения условия безинтервальности необходимо произвести перераспределение множества ООК (3) на графе (1). После этого производится группирование ООК на основе выражения (12) с целью создания условий для формирования структуры волоконно-оптических кабелей ТС, то есть структуры кабелей (К) волоконно-оптической ТС:

$$G_K\ (A_K, B_K),\ A_K = \left\{ a_i; i = \overline{1, N} \right\},$$
$$B_K = \left\{ b_{ij};\ i, j = \overline{1, N} \right\}. \qquad (13)$$

В топологическом плане структура (1) соответствует структуре (13), но в тоже время структура (13) поглощает в себя структуру (1) из-за суперпозиции путей образования составных ООК путем их группирования. Так как структура (13) образуется на основе структуры (1), то эту зависимость и переход можно представить в виде логической импликации влечения одного в другое

$$G_{\lambda_0}(A_{\lambda_0}, B_{\lambda_0}) \Rightarrow G_K\ (A_K, B_K), \qquad (14)$$

так как здесь наблюдается функциональная зависимость

$$G_K = fG_{\lambda_0}. \qquad (15)$$

Основным условием оптимизации волоконно-оптической транспортной сети ТКС РФ есть минимизация расходов сил и средств (стоимости) на проектирование, строительство и эксплуатацию. Функция стоимости структуры волоконно-оптической ТС, учитывающей состояния S, представляет собой аддитивную функцию от стоимости использованного узлового и линейного ресурсов. Для фиксированного числа узлов и известных типов участков ВОСП-СР, развернутых между ai и aj сетевыми элементами, а также для известной матрицы расстояний (8) между узлами сети и с учётом распределения узлового и линейного ресурсов в общем виде функция минимизации стоимости волоконно-оптической транспортной сети ТКС РФ, инвариантной к возможным состояниям S, имеет следующий вид [2]:

$$D_S = D_{УР} + D_{ЛР} \Rightarrow \min, \qquad (16)$$

где $D_{УР}$ и $D_{ЛР}$ – соответственно, функции стоимости реализуемого УР и ЛР в рамках всей волоконно-оптической ТС.

Таким образом, произведена общая формализованная постановка задачи системного проектирования волоконно-оптического слоя телекоммуникационной системы РФ, позволяющая минимизировать узловой и линейный ресурсы при обеспечении заданных требований по устойчивости, пропускной способности, динамике перехода в различные состояния и группированию основных оптических каналов в оптические групповые каналы или тракты передачи.

Литература

1. *Свами М., Тхуласираман К.* Графы, сети и алгоритмы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
2. *Ясинский С.А.* Унифицированные математические модели для анализа и синтеза элементов телекоммуникационных сетей. – СПб.: ВУС, 2003. – 184 с.