

Формирование структуры транспортной сети СВЯЗИ

С.П. Ковальский, Н.И. Фокин, Р.М. Абдуразаков, М.В. Никитин

Аннотация - В статье обсуждается и обосновывается общая методология решения задачи синтеза структуры региональной транспортной сети связи. Задача синтеза формулируется как многокритериальная, поскольку конструктивное решение данной задачи в общем виде не представляется возможным. Рассматривается один из подходов решения, заключающийся в декомпозиции задачи на ряд взаимообусловленных сравнительно слабосвязанных подзадач синтеза взаимовложенных топологической, потоковой и физической структур региональной транспортной сети связи.

Ключевые слова - транспортная сеть, многопродуктовая сеть, оптимизация структуры, многокритериальная оптимизация, квазиоднородная структура.

I. ВВЕДЕНИЕ

Эффективное управление регионом в современных условиях, обладающих высокой динамичностью, невозможно без соответствующего развития инфокоммуникационной инфраструктуры региона, сосредоточенного и распределенного решения возникающих задач, формирования информационных баз и банков данных, центров стратегических исследований. Это обуславливает создание мощной региональной автоматизированной системы управления и ее материального носителя региональной системы связи (РСС), которая создается как единое инфокоммуникационное пространство в интересах всех систем управления функционирующих на данной территории.

Решение задач синтеза системы связи G_p в рамках региона определяется его сравнительной административной и географической самостоятельностью, существенной замкнутостью решаемых задач, информационных, транспортных, товарных и финансовых потоков.

В регионе существуют объективно сложившиеся центры деловой, экономической, производственной и информационной активности, к которым естественно тяготеют государственные (федеральные и муниципальные) органы систем управления различного уровня, корпоративные, производственные и органы управления специального назначения. В окрестностях данных центров образуются зоны региона $G_\xi, \xi = \overline{1, E}$.

Окончательный облик зон формируется с использованием математического аппарата кластерного анализа по критериям подчиненности и близости. РСС строятся по единому плану совместными усилиями всех операторов связи, министерств и ведомств, расположенных в данном регионе. При этом организационно-технические принципы, системно сетевые решения по построению и развитию РСС должны быть взаимоувязанными, согласованными и соответствовать концепциям совершенствования Единой сети электросвязи (ЕСЭ) Российской Федерации и принципам формирования единого информационного пространства России [1].

Ковальский Сергей Петрович, кандидат технических наук, Академия ФСО России, metal_forever@inbox.ru
 Фокин Николай Игоревич, кандидат технических наук, Академия ФСО России, sky79@mail.ru
 Абдуразаков Рустам Магомедович, Академия ФСО России, 05_4us@mail.ru
 Никитин Михаил Викторович, Академия ФСО России, artur.korostelev.1990@mail.ru

II. СТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Основой РСС являются региональная транспортная сеть связи (РТСС), включающая ряд подсистем поддержки, базовое ядро, обеспечивающее каналами заданного качества многочисленные направления связи по различным маршрутным схемам, а также канальный ресурс для взаимодействующих подсистем (системы связи с подвижными объектами, специальные системы связи, навигации, различного рода распределенные информационно вычислительные системы).

В состав системы связи региона войдут зональные сети G_{ξ}^z , множественные внутризональные сети доступа $G_{\xi\tau}^d, G_{\xi\tau}^d \subset G_{\xi}, \xi = \overline{1, \Xi}, \tau = \overline{1, T}$ и

транспортная сеть $G_{РТСС}$

$$\square_p(A, B) = \bigcup_{\xi=1}^{\Xi} \{G_{\xi} \bigcup_{\tau=1}^{T_{\xi}} G_{\xi\tau}^d\} \bigcup G_{РТСС};$$

$A = \{a_i\}, i = \overline{1, N}, B = \{b_{ij}\}, i, j = \overline{1, N}, i \neq j, |A| = N, |B| = n.$

с существующими построенными и планируемыми к построению линиями

$B = \{b_{ij}\}, i, j = \overline{1, N}, i \neq j$ и узлами связи

$A = \{a_i\}, i = \overline{1, N}$ операторов, силовых министерств и ведомств и собственно ЕСЭ России.

Одной из важнейших подсистем РТСС является система тактовой сетевой синхронизации (СТСС), представляющая собой совокупность ведущих и ведомых генераторов тактовой частоты (ГТЧ) и сигналов синхронизации, образуя сеть тактовой сетевой синхронизации, которая обеспечивает когерентность колебаний ГТЧ на множестве пространственно разнесенных узлов цифровой сети. Кроме того, СТСС обеспечивает синхронизацию системно сетевых процессов РТСС: взаимодействие системы сигнализации и маршрутизации, процессов восстановления, оперативного переключения, контроля и управления.

В ряде работ [2,3] показано, что структуры РТСС должны быть квазиоднородными, так как они имеют близкие к минимальным значения диаметра, среднего расстояния, обладают максимальной мощностью минимальных сечений и максимальным числом остовных деревьев распределенных по определенному закону, при удержании функции стоимости в области минимума. Максимизация числа остовных деревьев обеспечивает эффективное восстановление системы синхронизации при отказах ее элементов. В этом случае при использовании на сетевых узлах и узлах связи пунктов управления генераторов в виде синтезаторов частот на астатической ФАПЧ, а в центрах сети эталонных генераторов, обеспечивается требуемая надежность передачи сигналов синхронизации, которая должна быть выше надежности передачи информационных сигналов [2, 3].

Задача синтеза региональной транспортной сети заключается в аппроксимации непрерывной или дискретной информационной среды региона некоторой макроструктурной моделью, наиболее полно удовлетворяющей предъявляемым требованиям к информационному обмену в регионе со стороны функционирующих в нем систем управления и условиям функционирования транспортной сети, с последующей реализацией данной метамоделю конкретными системно-сетевыми шаблонами, инфокоммуникационными технологиями и системами передач. Требования, предъявляемые к сети связи могут быть реализованы при условии выполнения требований к подсистеме переноса РТСС, а также обеспечивающим и взаимодействующим подсистемам.

В организационно-техническом плане РТСС включает узловую основу $A = \{a_i\}, i = \overline{1, N}$, сетку линий $B = \{b_{ij}\}, i, j = \overline{1, N}, i \neq j, |B| = n$, обеспечивающие подсистемы управления и

сигнализации, синхронизации, систему связи с подвижными объектами (ССПО). На узловой основе А РТС выделяются полюсы сети, которые представляют собой совокупность корреспондирующих пар узлов $Z = \{z_k\}, z_k = (a_{pk}, a_{gk}), k = \overline{1, m^{ss'}}$.

Характеристики РТСС должны быть сформированы таким образом, чтобы имелась возможность выделения из ее состава двухполюсных сетей, предоставляющих корреспондирующей паре узлов (КПУ) требуемую пропускную способность, которая поддерживалась требуемой структурной надежностью, а характеристики цифровых каналов РТСС обладали качеством необходимым для обеспечения услуг электросвязи, предоставляемых сетью. Кроме того, должны обеспечиваться потребности в пропускной способности и требуемой надежности обеспечивающих подсистем и системы связи с подвижными объектами.

Совокупность КПУ РТС $Z' = \{z_{k'}\}$ представляет собой объединение перечисленных корреспондирующих пар узлов пунктов управления, обеспечивающих подсистем и ССПО

$$Z' = Z^{уд} \cup Z^y \cup Z^c \cup Z^{ССПО} \cup Z^{СТСС}. \quad (1)$$

Такое представление КПУ сети позволяет на ранних этапах синтеза определить особенности морфологического описания РТСС и количественные требования к сетевым характеристикам: пропускной способности, устойчивости и приведенной стоимости.

Каналы требуемого качества, определяются компонентами вектора:

$$V_{\Sigma} = [V_1, \dots, V_k, \dots, V_{m^{ss'}}; V_{\Sigma}^y, V_{\Sigma}^c, V_{\Sigma}^{ССПО}]^T \quad (2),$$

где $V_{\Sigma}^y, V_{\Sigma}^c, V_{\Sigma}^{ССПО}$ – суммарное количество каналов заданного качества, необходимое для обеспечения потребностей подсистем управления, сигнализации, связи с подвижными объектами, соответственно; V_k –

потребность в каналах k -ой КПУ. Общее количество каналов:

$$V_{\Sigma} = \sum_{k=1}^m V_k + V_{\Sigma}^y + V_{\Sigma}^c + V_{\Sigma}^{ССПО} \quad (3)$$

Требования к надежности задаются для каждого направления связи $H_{z_k^{ss'}}^{TP}, k = \overline{1, m^{ss'}}$, а также для обеспечивающих подсистем $H_y^{TP}, H_c^{TP}, H_{СТСС}^{TP}$, подсистемы связи с подвижными объектами $H_{ССПО}^{TP}$:

$$\overline{H^{TP}} = [H_1^{TP}, \dots, H_k^{TP}, \dots, H_m^{TP}; H_y^{TP}, H_c^{TP}, H_{\Pi}^{TP}, H_{\Sigma}^{TP}]^T. \quad (4)$$

Согласно Рекомендациями МСЭ-Т серии G (G.701, G.810, G.820, G.821, G.822, G.823) требования к качеству цифровых каналов (ЦК) РТСС задаются вектором:

$$\overline{Q^{TP}} = [K_{\text{ош}}^{TP}, J_{\text{вых}}^{TP}, t_{\text{кп}}^{TP}, P_{\lambda}^{TP}, \tau_{\Pi}^{TP}, \delta_V^{TP}]^T, \quad (5)$$

где $K_{\text{ош}}$ – коэффициент ошибки; $J_{\text{вых}}$ – дрожание фазы цифрового сигнала на выходе ЦК; $t_{\text{кп}}$ – относительное время действия импульсных помех и кратковременных прерываний в ЦК; P_{λ} – проскальзывания цифрового сигнала; τ_{Π} – время прохождения сигнала по ЦК; δ_V – допустимое отклонение скорости передачи цифрового сигнала на выходе ЦК.

Для решения задачи оценки качества ЦК необходимо определить информативность параметров, произвести их ранжирование и ограничение перечня с обеспечением глубины контроля не меньше заданной. Решение данной задачи показало [2], что для различных услуг электросвязи, при глубине контроля 90...95% достаточно ограничиться двумя наиболее информативными параметрами $J_{\text{вых}}$ и $K_{\text{ош}}$. Рассматриваемая сеть реализуется с использованием узлового R_y и линейного $R_{\text{л}}$ ресурсов. Данные ресурсы целесообразно представить в виде:

$$\begin{aligned}
R_\mu &= \{r^\mu : \alpha_{ij}^\mu, \beta_{ij}^\mu, \gamma_{ij}^\mu, U_\mu, \overline{L}_\mu, \overline{a}_\mu, \overline{H}_\mu\}, \\
r &= \overline{1}, \overline{Q}_r, \mu = \overline{1}, \overline{Q}_\mu; \\
R_\psi &= \{r^\psi : \alpha_i^\psi, \beta_i^\psi, \gamma_i^\psi, U_\psi, \overline{H}_i\}, \\
r &= \overline{1}, \overline{Q}_r, \psi = \overline{1}, \overline{Q}_\psi,
\end{aligned} \quad (6)$$

где r^μ – тип системы передачи, r^ψ – тип сетевого узла, $\alpha_{ij}^\mu, \beta_{ij}^\mu$ и $\alpha_i^\psi, \beta_i^\psi$ – нормированные коэффициенты аппроксимации приведенных затрат на развертывание и эксплуатацию μ -го линейного и ψ -го узлового средства, соответственно; γ_{ij}^μ и γ_i^ψ – стоимость одного канало-километра ij -ой линии μ -ой системы передачи и стоимость одной точки коммутации i -го узла ψ -го узлового средства, соответственно; U_μ, U_ψ – количество каналов и трактов, образуемых r^μ и коммутируемых r^ψ средствами, соответственно, $\overline{H}_\mu, \overline{H}_i$ – векторы эксплуатационных надежностей для r^μ и r^ψ оборудования, соответственно; \overline{L}_μ – вектор параметров структуры r^μ системы передачи (длины регенерационных участков, секций дистанционного питания и т. п.); \overline{a}_μ – вектор эксплуатационных норм на характеристики каналов и трактов.

Оптимизация РТСС как сложной распределенной системы осуществляется на основе экономико-математических моделей, что связано с высокой стоимостью построения и эксплуатации таких сетей. Для решения задачи синтеза РТСС целесообразно использовать теоретическую модель многополюсной многопродуктовой сети. В задачах синтеза многопродуктовая сеть, как математический объект, представляется в виде взвешенного неориентированного связанного графа $G(A, B, U, H)$, где A – множество вершин графа, соответствующее сетевым узлам и сетевым станциям, B – множество ребер, представляющих собой линии связи, H

– структурная надежность РТСС. Каждому ребру b_{ij} графа сети ставится в соответствие два числа: u_{ij} – пропускная способность ребра, то есть величина максимального потока, передаваемого по ребру $U = \{u_{ij}\}, i, j = \overline{1}, \overline{N}, i \neq j, b_{ij} \in B; h_{ij}$ – надежность ребра сети (вероятность исправной работы, коэффициент готовности r^μ -ой системы передачи).

В данной работе задача синтеза структуры РТСС формулируется как многокритериальная. Поэтому при синтезе цифровых транспортных сетей целесообразно рассматривать только допустимые пути $r^{\text{доп}}(\pi_k^t)$:

$$r(\pi_k^{r,t}) \leq r^{\text{доп}}(\pi_k^t), t = \overline{1}, \overline{h_{cb}}, k = \overline{1}, \overline{m}. \quad (7)$$

Задача оптимизации РТСС допускает конкретизацию, если рассматривать покрывающие и приведенные покрывающие множества допустимых путей между КПУ $Z = \{z_k\}, k = \overline{1}, \overline{m^{\text{сс}}}$.

Пропускные способности минимальных покрывающего $C_{\min}(\overline{P}_k)$ и приведенного покрывающего $C_{\min}(\overline{P}_Z)$ множеств определяются по емкости компонентов, вошедших в состав соответствующих множеств [3, 4]:

$$\begin{aligned}
C(\overline{P}_k) &= \sum_{b_{ij} \in \overline{P}_k} u_{ij}; \\
C_{\min}(\overline{P}_k) &= \arg \min_{\overline{P}_k^\rho} \sum_{b_{ij} \in \overline{P}_k^\rho} u_{ij}, i \neq j, k = \overline{1}, \overline{m^{\text{сс}}}, \rho = \overline{1}, \overline{R_G}; \\
C(\overline{P}_Z^\lambda) &= \sum_{b_{ij} \in \overline{P}_Z^\lambda} u_{ij}; C_{\min}(\overline{P}_Z^\lambda) = \arg \min_{\overline{P}_Z^\lambda} \sum_{b_{ij} \in \overline{P}_Z^\lambda} u_{ij}, i \neq j, \lambda = \overline{1}, \overline{\Lambda_G}.
\end{aligned} \quad (8)$$

Для многопродуктовых сетей нахождение приведенных покрытий осуществляется методом минимизации булевых функций [5, 6, 7]. Матрица путей принимается за импликантную таблицу, в процессе преобразования которой выделяются

простые импликанты являющиеся доставляющих минимум функции приведенными покрытиями. Далее осуществляется их анализ, нахождение пропускных способностей и надежностей. В качестве целевых функций многокритериальной задачи оптимизации структуры РТСС выбираются функции: структурной надежности сети:

$$H = f_1(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{НОМ}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{ТР}}, \overline{Q}^{\text{ТР}}) = f_1(\alpha) \quad (9)$$

пропускной способности

$$C = f_2(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{НОМ}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{ТР}}, \overline{Q}^{\text{ТР}}) = f_2(\alpha) \quad (10)$$

качества канального ресурса сети

$$Q = f_3(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{НОМ}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{ТР}}, \overline{Q}^{\text{ТР}}) = f_3(\alpha) \quad (11)$$

приведенной стоимости на построение, эксплуатацию и развитие РТСС

$$W = f_4(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{НОМ}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{ТР}}, \overline{Q}^{\text{ТР}}) = f_4(\alpha). \quad (12)$$

Задача синтеза структуры РТСС состоит в выборе морфологической структуры сети G^* – эффективной альтернативы $\alpha \in A$, характеризующейся такими совокупностями путей $\overline{P}_Z^\lambda = \{\overline{P}_k\}$, $k = \overline{1, m^{SS'}}$, $\lambda = \overline{1, \Lambda_G}$ и покрывающих множеств $C_{\min}(\overline{P}_k)$, $C(\overline{P}_Z^\lambda)$, при которых отклонения целевых функций от своих оптимальных значений минимальны.

$$\alpha \in A : \begin{cases} \overline{P}_Z^\lambda = \{\overline{P}_k\}; \\ C(\overline{P}_Z^\lambda), C_{\min}(\overline{P}_k). \end{cases} \quad (13)$$

При целевых функциях:

$$\begin{cases} H = f_1(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{НОМ}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{ТР}}, \overline{Q}^{\text{ТР}}) = f_1(\alpha); \\ C = f_2(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{НОМ}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{ТР}}, \overline{Q}^{\text{ТР}}) = f_2(\alpha); \\ Q = f_3(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{НОМ}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{ТР}}, \overline{Q}^{\text{ТР}}) = f_3(\alpha); \\ W = f_4(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{НОМ}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{ТР}}, \overline{Q}^{\text{ТР}}) = f_4(\alpha), \end{cases}$$

доставляющих минимум функции

$$\min_a \Delta f_i(\alpha) = \begin{cases} f_i^0 - f_i(\alpha), \forall i \in I_1; \\ f_i(\alpha) - f_i^0, \forall i \in I_2; \end{cases} \quad (15)$$

$$i = \overline{1, 4}, \lambda = \overline{1, \Lambda}, \mu = \overline{1, Q_\mu}, \psi = \overline{1, Q_\psi}, r^\psi = \overline{1, Q_r}, r^\mu = \overline{1, Q_r},$$

где f_i^0 – оптимальное значение i -ой функции цели на множестве допустимых альтернатив, I_1, I_2 – множества индексов максимизируемых и минимизируемых функций цели, соответственно [8].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструктивное решение многокритериальной задачи оптимизации структуры РТСС в общем виде (13)...(15) не представляется возможным. Одним из подходов является структурный метод решения данной задачи, связанный с ее декомпозицией на ряд взаимообусловленных сравнительно слабосвязанных подзадач синтеза взаимовложенных топологической $G_T(A, B)$, потоковой $G_T(A, B, U, H)$ и физической структур $G_T(A, B, U, H, R_y, R_\lambda)$ региональной транспортной сети связи.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1]. Крухмалев В. В., Гордиенко В. Н. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 540 с.
- [2]. Лебедев А. Т., Лебедев И. А., Тумановский В. В. Построение региональных первичных цифровых сетей связи. Научно-технический сборник. Телекоммуникационные технологии. Выпуск 1. – СПб.: ГУП НИИ «Рубин», 2000. – С. 132-139.
- [3]. Лебедев А. Т., Муравцов А. А. Оптимизация топологической структуры РТСС // Мобильные системы. – 2007. – № 2. – С. 40-44.
- [4]. Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.
- [5]. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука.

Главная редакция физико-математической
литературы, 1982. –286с.

Formation of the transport network structure

S.P. Kovalskiy, N.I. Fokin, R.M. Abdurazakov, M.V. Nikitin

Abstract - The article discusses and substantiates the general methodology of solving the problem of synthesis of the regional transport communication network structure. The synthesis problem is formulated as a multi criteria since a constructive solution of the problem in general terms is not possible. It is considered one of the solutions approach, consisting in decomposition of the problem into a series of mutually relatively loosely coupled synthesis sub-problem of interleaved topological, streaming and physical structures of the regional transport communication network.

Keywords - transport network, multiproduct network, structure optimization, multi-criteria optimization, quasi-homogeneous structure.