

Выбор типовой структуры по результатам сравнительного анализа суммарной длины волоконно-оптических кабелей для построения сети связи

С. А. Ясинский, А. В. Селезнев, А. Н. Зюзин, А. В. Смолеха

Военная академия связи
yasinsky777@mail.ru

Современные сети связи (СС), строящиеся на основе волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) с направляющей средой в оптическом диапазоне в виде волоконно-оптических кабелей (ВОК), могут состоять из различных типовых структур (ТС). К основным видам волоконно-оптических ТС для построения СС относятся: полносвязная ТС; радиально-узловая ТС; кольцевая ТС; решетчатая ТС.

Однако определение для реальной СС вида ТС не всегда решает проблему правильного выбора наилучшей структуры по одному из чаще всего используемых на практике для упрощения формализации критериев оптимизации [1–3]:

- максимизация структурной живучести или устойчивости при заданных в ограничениях требованиях к стоимости на строительство СС и пропускной способности ВОСП;
- минимизация стоимости на строительство СС при заданных в ограничениях требованиях к структурной устойчивости и пропускной способности, которая может сводиться к минимизации использования для прокладки ВОК.

Учитывая то, что математические модели и методики максимизации структурной живучести (устойчивости) при заданных в ограничениях требования к стоимости на строительство СС и пропускной способности ВОСП в настоящее время частично исследованы [1, 2], остановимся на обосновании выбора базовых ТС из множества видов ТС для проведения корректного их сравнения по минимуму использования ВОК для построения СС на основе ВОСП.

Для анализа и синтеза структур СС в основном используют ММ известные из теории графов, в которых задаются [2]:

- узловая основа $A = \{a_i; i = \overline{1, N}\}$ – множество вершин графа, то есть узлов связи (УС) СС;
- сетка ребер графа $B = \{b_{ij}; i, j = \overline{1, N}; i \neq j\}$ – множество ребер графа, то есть линий передачи из ВОСП.

Из перечисленных выше четырех основных видов ТС полносвязная структура на практике используется очень редко из-за больших затрат на ее строительство при росте числа УС. Радиально-узловыми называют ТС, в которых между любой корреспондирующей парой узлов (КПУ) имеется один путь, т. е. сеть – односвязная. Частными случаями радиально-узловой ТС являются радиальная и линейная ТС. Если в линейной структуре все узлы соединяются между собой ребрами в одну цепочку, то радиальная имеет центральную вершину (ЦВ), через которую образуются все возможные КПУ, а между ЦВ и другими УС имеют место простые линейные структуры. Кольцевыми ТС называют структуры, в которых узлы связи соединены ребрами в кольцо, а между любой КПУ имеется один путь. При удалении одного из ребер в этой ТС, свойства кольца теряются и образуется составная линейная структура. Решетчатая ТС напоминает собой форму сетку линий, в которой каждый УС соединен ребрами со смежными УС.

Структурный анализ четырех основных ТС позволяет в каждой из них выделить наличие двух блочных структур в виде радиальной ТС (РТС) на рис. 1 и кольцевой ТС (КТС) на рис. 2, из-за чего эти две ТС предлагается отнести к базовым (БТС). В каких случаях из двух БТС подходит лучше та или иная структура можно определить только по результатам их сравнительного анализа. Для обеспечения чистоты сравнения делаем допущение о регулярности и однородности этих структур в плане обеспечения требований к пропускной способности, что не противоречит возможности их физической (потокковой) реализуемости в случае инвариантных построений с использованием ВОК.

Для проведения сравнительного анализа двух БТС в виде радиальной (рис. 1) и кольцевой (рис. 2) по минимуму длин ребер (минимизация стоимости) с учетом того, что все смежные вершины $N_{рад} = N_{кол} = N$ равноудаленные между собой, воспользуемся известной из математики формулой для определения радиуса $R_{рад} = R_{кол} = R$ окружности, описанной около правильного n -угольника со стороной (ребром) a длиной $l_{ij} = const$ [2, 3]:

$$R = a / 2 \sin \frac{180^\circ}{n}. \quad (1)$$

С целью упрощения результатов вычислений с помощью тригонометрических функций выразим радиус окружности, описанной около правильного n -угольника, через условную единицу меры длины, например, взяв за эту единицу меры $R = 1$ км. Преобразуем формулу (1) для нахождения стороны a длиной $l_{ij} = \text{const}$ [2]:

$$l_{ij} = a = 2R \sin \frac{180^\circ}{n} = 2 \sin \frac{180^\circ}{n}, \quad (2)$$

где в случае, когда $R \neq 1$, то R становится коэффициентом масштабирования для выбранной в условную единицу меры длины (у нас условно принято, что $R = 1$ км).

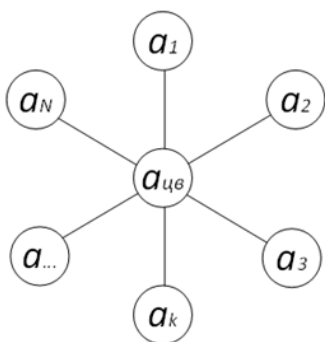


Рис. 1. Радиальная БТС

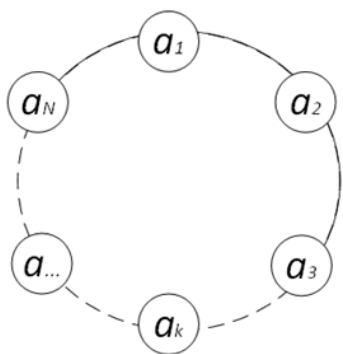


Рис. 2. Кольцевая БТС

Результаты расчетов длин сторон $l_{ij} = a$ для базовой КТС (рис. 2) с использованием формулы (2) для правильных n -угольников, при $n=3, \dots, 10$, приведены в табл. 1 [2].

ТАБЛИЦА I. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ДЛИН СТОРОН $l_{ij} = a$ ДЛЯ БАЗОВОЙ КТС

| n - угольни ки | $n=3$ | $n=4$ | $n=5$ | $n=6$ | $n=7$ | $n=8$ | $n=9$ | $n=10$ |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $l_{ij} = a$, [км] | $\approx 1,73$ | $\approx 1,41$ | $\approx 1,18$ | 1,0 | $\approx 0,87$ | $\approx 0,77$ | $\approx 0,68$ | $\approx 0,62$ |

Следует отметить, что при $n=10$, полученное точное решение соответствует обратному значению «золотого» сечения $1/\Phi = \bar{\Phi} = 0,618033988... \approx 0,62$, так как

$$l_{ij} = 2 \sin \frac{180^\circ}{n} = 2 \sin \frac{180^\circ}{10} = 2 \sin 18^\circ = 0,618033988... \approx \bar{\Phi},$$

где $\Phi = 1,618033988... \approx 1,62$ – «золотое» сечение.

Суммарные длины всех ребер для двух БТС с равным числом вершин, при $n=3, \dots, 10$, приведены в табл. 2, а их графики – на рис. 3. Расчет проводился с помощью следующих выражений, при $R = 1$ км [2, 3]:

для радиальной структуры

$$L_{\text{рад}} = nR = n, \quad [\text{км}]; \quad (3)$$

для кольцевой структуры

$$L_{\text{кол}} = n l_{ij}, \quad [\text{км}]; \quad (4)$$

для определения разности между радиальной и кольцевой структурой

$$\Delta L = L_{\text{рад}} - L_{\text{кол}}, \quad [\text{км}]. \quad (5)$$

ТАБЛИЦА II. СУММАРНЫЕ ДЛИНЫ ВСЕХ СТОРОН ДЛЯ ДВУХ БТС (РАДИАЛЬНОЙ И КОЛЬЦЕВОЙ), ПРИ $n=3, \dots, 10$

| n - угольни ки | $n=3$ | $n=4$ | $n=5$ | $n=6$ | $n=7$ | $n=8$ | $n=9$ | $n=10$ |
|--------------------------------------|----------------|----------------|---------------|-------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| $L_{\text{рад}}$, [км] из (3) | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10,0 |
| $L_{\text{кол}}$, [км] из (4) | $\approx 5,19$ | $\approx 5,64$ | $\approx 5,9$ | 6,0 | $\approx 6,09$ | $\approx 6,16$ | $\approx 6,12$ | $\approx 6,2$ |
| ΔL , [км] из (5) | -2,19 | -1,64 | -0,9 | 0 | +0,91 | +1,84 | +2,88 | +3,8 |

Следует отметить, что при $n=10$, полученное точное решение соответствует возведенному в квадрат обратному значению «золотого» сечения $\bar{\Phi} = 0,618033988... \approx 0,62$ и умноженному на десять, то есть $\Delta L = 10(1 - \bar{\Phi}) = 10\bar{\Phi}^2$.

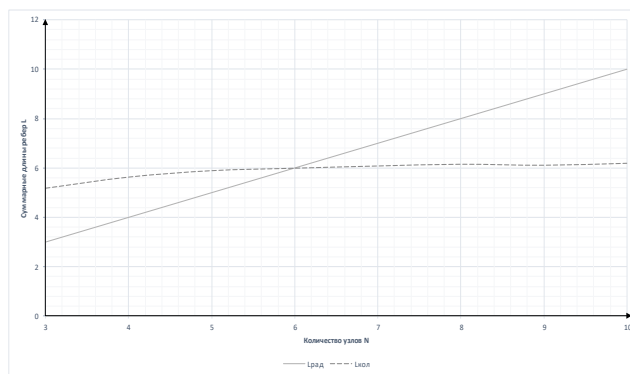


Рис. 3. Графики суммарных длин всех сторон для двух БТС, при $n=3, \dots, 10$

Анализ результатов расчетов, приведенных в табл. 2 и на рис. 3 с учетом $N = n$, позволяет сделать следующие выводы [2, 3]:

- при $N = 6$, наблюдается равенство суммарных длин всех ребер для двух БТС с равным числом вершин, однако предпочтение по стоимости в выборе между радиальной и кольцевой структурами можно будет в случае обоснования отдать КТС, так как в РТС требуются дополнительные затраты на физическую реализуемость ЦВ;
- при $N \leq 5$, предпочтение в выборе между двух БТС может быть отдано РТС;
- при $N \geq 7$, предпочтение в выборе между двух БТС может быть отдано КТС;
- суммарная длина всех ребер для КТС по мере роста числа узлов стремится к двум «пи», т. е. $L_{\text{кол}} \approx 6,283... \leq 2\pi$.

Для предварительного обоснования выбора подходящей БТС при построении СС на основе ВОСП, полученные результаты исследования могут быть полезными на этапе системного проектирования. Для реально развертываемых СС с использованием ВОК предлагается использовать подход по определению относительных коэффициентов эффективности для кольцевых и радиальных структур [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ухлимов Л.Н. Приближенный анализ однокольцевых и многокольцевых локальных сетей // Передача информации. М.: ВИНТИ. 1990. № 19. С. 12–27.
- [2] 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.
- [3] Ясинский С.А. Сравнительный анализ эталонных базовых типовых структур по максимуму структурной живучести и суммарной длине кабелей для построения локальных вычислительных сетей и сетей доступа телекоммуникационных систем с учетом особого периода / С.А. Ясинский, А.Н. Зюзин // Труды ЦНИИС. СПб.: ЛО ЦНИИС. 2021. Том 1 (11). С. 101–111.
- [4] Ясинский С.А. Выбор типовой структуры по результатам сравнительного анализа относительных коэффициентов эффективности радиальных и кольцевых типовых структур для построения волоконно-оптической сети связи (статья) / С.А. Ясинский, А.В. Селезнев, А.Н. Зюзин, В.М. Соколов // 77-я НТК СПб-го НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио: Сб. докладов СПбГЭТУ. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. С. 115-117.