

АНАЛИЗ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Среди качественных показателей телекоммуникационных сетей (ТКС) важное место занимают характеристики надежности (ненадежности), достоверности и живучести. Живучесть сети можно определить по характеристике связности сети, под которой понимается вероятность существования хотя бы одного пути без петель для любых двух узлов a_i и a_j при заданных показателях надежности [1].

В настоящее время при реализации SDH- и ATM-технологий принято использовать кольцевые структуры на базе оптоволоконных линий, поскольку за счет огромного числа виртуальных каналов структура становится информационно полносвязной. Наряду с такими факторами, как порыв волоконно-оптического кабеля, изменение его физических свойств, а также возникновение перегрузки сети, резко сокращается число виртуальных соединений. При этом возникает задача обеспечения (сохранения) высокой надежности функционирования сети [2].

Существует ряд методов резервирования ТКС. Одним из методов повышения структурной надежности сети является резервирование с использованием “сдвоенных” колец: основного и резервного, а также различные варианты работы сети с использованием N-оптических волокон. В случае сбоя или перегрузки в одном из колец система управления сети замыкает резервное кольцо либо полностью, либо в рамках дефектного участка. Вместе с тем использование двух колец является дорогостоящим.

Другим методом повышения структурной надежности является использование перемычек. Введение дополнительной перемычки в кольцевой структуре ведет к повышению связности схемы, а следовательно, к увеличению надежности и живучести сети.

Вместе с тем, установленная перемычка приводит к образованию двух колец с общей перемычкой. Чтобы данная перемычка не оказалась самым узким звеном, ее логично сделать двойной, при этом сдвоенность может быть параллельной и перекрестной. Рассмотрим, каким образом изменяется надежность и живучесть при различной реализации перемычек.

В настоящее время известны точные и приближенные методы расчета структурной надежности сетей. Для расчета должны быть заданы структура сети и показатели надежности всех ее элементов (линий и узлов связи). Вычисления надежности сети точным методом на практике является достаточно трудоемким, поскольку решение сводится к прямому перебору всех путей для любых двух узлов a_i и a_j и определению корреляции между ними. Между тем, на практике нет необходимости в абсолютно точном расчете надежности сети, т.к. исходные данные о надежности элементов задаются, как правило, с некоторой точностью и, кроме того, проектировщикам необходимо лишь убедиться, что надежность сети, с одной стороны, не ниже заданной на разработку, с другой – не имеет экономически необоснованного запаса [2].

Будем считать, что известно множество всех путей $M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$ и всех сечений $S = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_l\}$ относительно заданной пары узлов. Обозначим вероятность того, что исправны все элементы, входящие в s-й путь, через ρ_s , а вероятность наличия хотя бы одного исправного элемента в t-м сечении — через π_t . Если отказ отдельных элементов сети можно считать независимыми, то легко выразить ρ_s и π_t через показатели p_{is} , p_{it} надежности элементов сети, входящих в s-й путь или в t-е сечение:

$$\rho_s = p_{1s} p_{2s} \dots p_{ws}, \quad (1)$$

$$\pi_t = 1 - (1 - p_{1t})(1 - p_{2t}) \dots (1 - p_{qt}). \quad (2)$$

Если бы все пути были независимы и включены параллельно, то надежность связи составила бы:

$$H_\mu = 1 - (1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \dots (1 - \rho_n). \quad (3)$$

При последовательном включении всех сечений, если они независимы, получим следующее значение надежности связи:

$$H_\sigma = \pi_1 \pi_2 \dots \pi_l. \quad (4)$$

Показано, что при расчете по формулам (3), (4) можно получить точное значение надежности и в случае зависимых путей и сечений, если при подстановке (1), (2) в (3), (4) и раскрытии скобок принимать:

$$P_{iq} \cdot P_{iq} = P_{iq} \quad (5)$$

для любых i, q . Так, аналогично (3), получим:

$$Q_{\mu} = 1 - (1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \cdots (1 - \rho_n), \quad (6)$$

где $Q_{\mu} = 1 - H_{\mu}$. (7)

Обозначим через $Q_{\mu}^{(k)}$ результат, полученный при перемножении вероятностей $(1 - \rho_i)$ отказов первых k путей. Тогда с учетом следующего $(k + 1)$ -го пути получим уточненную оценку $Q_{\mu}^{(k+1)}$:

$$Q_{\mu}^{(k+1)} = Q_{\mu}^{(k)} - \rho_{k+1} Q_{\mu}^{(k)}. \quad (8)$$

Проведем анализ кольцевых структур, изображенных на рис. 1 и рис. 2.

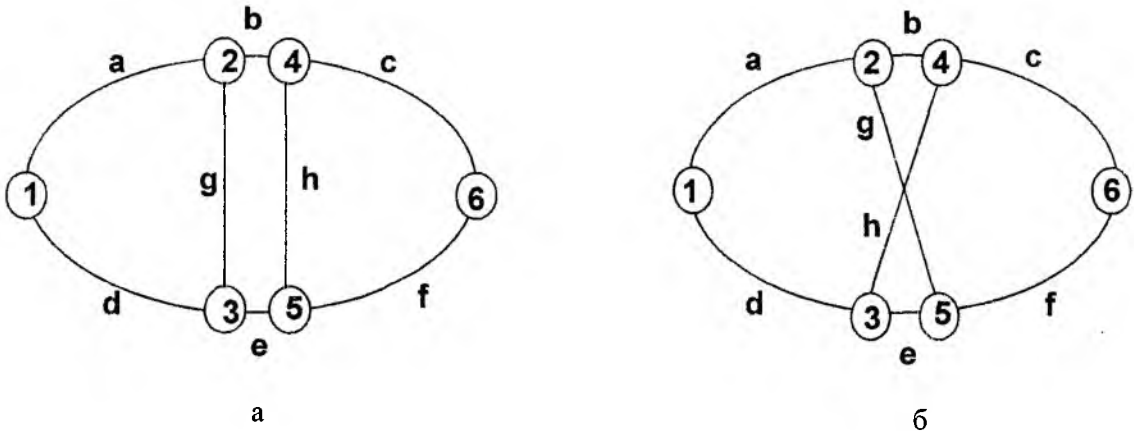


Рис. 1

На кольцевой структуре (рис. 1 а и б) надежность ребер обозначена как a,b,c,d,e,f,g,h.

На основании вышесказанного можно показать, что ненадежность на 1-м шаге выражается:

$$Q_{\mu}^{(1)} = 1 - H_{\mu}^{(1)} = 1 - abc = \overline{abc}$$

На втором - согласно (8):

$$Q_{\mu}^{(2)} = Q_{\mu}^{(1)} - \rho_2 Q_{\mu}^{(1)} = \overline{abc} - def \cdot \overline{abc} = \overline{abc} \cdot \overline{def},$$

на третьем -

$$Q_{\mu}^{(3)} = Q_{\mu}^{(2)} - \rho_3 Q_{\mu}^{(2)} = \overline{abc} \cdot \overline{def} - abhf \cdot \overline{abc} \cdot \overline{def} = \overline{abc} \cdot \overline{def} - abhf \cdot c \cdot \overline{de}.$$

В результате перебора всех путей и осуществления оптимизации выражений на каждом шаге такого вида как $aed \cdot \overline{abc} = aed \cdot \overline{bc}$ можно найти конечную (суммарную) ненадежность сети $Q_{\mu}^{(8)}$. Зная конечную (суммарную) ненадежность сети, согласно (9), конечная надежность сети выражается:

$$\begin{aligned}
H_1 = & (1 - p_a p_b p_c)(1 - p_d p_e p_f) - p_a p_b p_h p_h (1 - p_c)(1 - p_d p_e) - \\
& - p_a p_g p_e p_f (1 - p_b p_c)(1 - p_d) + p_a p_b p_g p_e p_h p_f (1 - p_c)(1 - p_d) - \\
& - p_a p_g p_e p_h p_c (1 - p_b)(1 - p_d p_f) + p_a p_g p_e p_h p_c p_f (1 - p_b)(1 - p_d) - \\
& - p_d p_g p_b p_c (1 - p_a)(1 - p_e p_f) - p_d p_g p_b p_h p_f (1 - p_a p_c)(1 - p_e) + \\
& + p_d p_g p_b p_h p_a p_f (1 - p_c)(1 - p_e) + p_d p_g p_b p_h p_c p_f (1 - p_a)(1 - p_e) + \\
& + p_d p_e p_h p_c (1 - p_a p_b)(1 - p_f) + p_d p_e p_h p_c p_a p_g (1 - p_b)(1 - p_f) + \\
& + p_d p_e p_h p_c p_g p_b (1 - p_a)(1 - p_f).
\end{aligned} \tag{9}$$

Если вероятность выхода из строя каждого ребра одинакова, то выражение (9) примет вид:

$$H_1 = (1 - p^3)^2 - 4p^4(1 - p^2)(1 - p) - 2p^5(1 - p^2)(1 - p) + 6p^6(1 - p_c)^2. \tag{10}$$

Аналогично для схемы на рис. 2 можно показать ненадежность на 1 шаге:

$$Q_\mu^{(1)} = 1 - H_\mu^{(1)} = 1 - abc = \overline{abc}$$

на втором шаге - согласно (8):

$$Q_\mu^{(2)} = Q_\mu^{(1)} - p_2 Q_\mu^{(1)} = \overline{abc} - def \cdot \overline{abc} = \overline{abc} \cdot \overline{def},$$

на третьем шаге:

$$Q_\mu^{(3)} = Q_\mu^{(2)} - p_3 Q_\mu^{(2)} = \overline{abc} \cdot \overline{def} - agf \cdot \overline{abc} \cdot \overline{def} = \overline{abc} \cdot \overline{def} - agf \cdot \overline{bc} \cdot \overline{de}.$$

Производя процедуру нахождения ненадежности на каждом пути, получим суммарную ненадежность $Q_\mu^{(8)}$. В результате выражение конечной надежности для структуры, сети представленной на рис. 2, принимает вид:

$$\begin{aligned}
H_1 = & (1 - p_a p_b p_c)(1 - p_d p_e p_f) - p_a p_g p_f (1 - p_b p_c)(1 - p_d p_e) - \\
& - p_d p_h p_c (1 - p_a p_b)(1 - p_e p_f) + p_a p_d p_h p_c p_g p_f (1 - p_b)(1 - p_e) - \\
& - p_a p_g p_e p_h p_c p_d (1 - p_b)(1 - p_f) + p_a p_g p_e p_h p_c p_f (1 - p_b)(1 - p_d) + \\
& + p_a p_g p_e p_h p_c p_d (1 - p_b)(1 - p_f) - p_d p_g p_b p_h p_f (1 - p_a p_c)(1 - p_e) + \\
& + p_a p_d p_h p_b p_g p_f (1 - p_c)(1 - p_e) + p_d p_g p_b p_h p_c p_f (1 - p_a)(1 - p_e) - \\
& - p_a p_b p_h p_e p_f (1 - p_c)(1 - p_d) + p_a p_b p_h p_g p_e p_f (1 - p_c)(1 - p_d) - \\
& - p_d p_e p_g p_b p_c (1 - p_a)(1 - p_f) + p_d p_e p_g p_b p_c p_h (1 - p_a)(1 - p_f).
\end{aligned} \tag{11}$$

Полагая, что вероятность выхода из строя каждого ребра одинакова, выражение надежности сети представленной на рис. 1, а примет вид:

$$H_1 = (1 - p^3)^2 - 2p^3(1 - p^2)^2 - 2p^5(1 - p^2)(1 - p) + 4p^6(1 - p)^2. \tag{12}$$

Далее проанализируем обе рассматриваемые структуры при различных значениях вероятности отказа перемычек. При одинаковых значениях вероятности отказа перемычек $p_g = p_h$ выражения (9),(11) примут вид:

$$H_1 = (1 - p^3)^2 - 4p^3 p_{gh}(1 - p^2)(1 - p) - 2p^3 p_{gh}^2(1 - p^2)(1 - p) + 6p^4 p_{gh}^2(1 - p)^2, \tag{13}$$

$$H_2 = (1 - p^3)^2 - 2p^3 p_{gh}(1 - p^2)^2 - 2p^5 p_{gh}(1 - p^2)(1 - p) + 4p^6 p_{gh}(1 - p)^2. \tag{14}$$

Используя (10 - 14) можно получить конечные значения надежности при различных значениях вероятности отказа перемычек для исследуемых структур. Результаты анализа приведены в таблице.

Таблица

№	Вероятность отказа ребер a,b,c,d,e,f- p_{is}	Вероятность отказа перемычек g,h- p_{gh}	Надежность структуры 1 (рис. 1, а)- H_1	Надежность структуры 2 (рис. 1, б)- H_2
1	0,9	0,6	0,9555993	0,9574491
2	0,9	0,7	0,9596227	0,9645366
3	0,9	0,8	0,9634128	0,9721782
4	0,9	0,9	0,9669361	0,980352
5	0,9	1,0	0,9702931	0,9891234

По данным таблицы построим зависимость надежности сетевых структур от вероятности отказа перемычек.

Анализ результатов таблицы и графика (рис. 2) показывает, что кольцевая структура с перекрестным построением перемычек, изображенная на рис. 1, б, имеет более высокую структурную надежность по сравнению со структурой с параллельным построением перемычек, изображенной на рис. 1, а, остается более надежной при увеличении вероятности отказа перемычек, и может быть рекомендована в качестве основной структуры для практического использования.

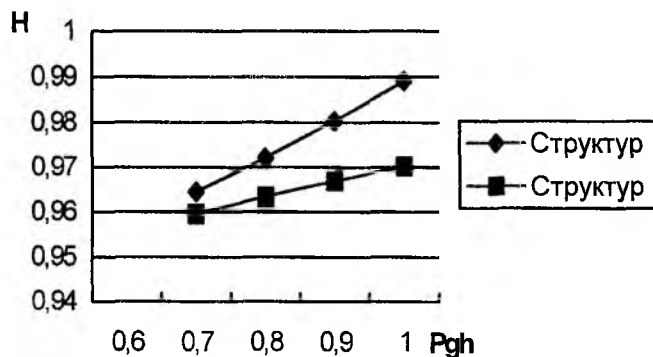


Рис. 2

Список литературы: 1. Мизин И.А. Передача информации в сетях с коммутацией сообщений. М.: Связь, 1977.
2. Татарчук С.И., Москалец Н.В. Надежность и живучесть технологических структур телекоммуникационных сетей. // Тезисы МНТК Теория и техника передачи, приема и обработки информации. Харьков–Туапсе. 2001.
3. Богатырев В.А., Рогинский В.Н. Расчет с заданной точностью надежности связи в сети передачи информации. М.: Наука, 1983. С.39-42

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьковская дирекция АО «Укртелеком»

Поступила в редколлегию 02.10.2001