

Влияние задержки T в распознавании помехи S_i действующей в интервале t_i, t_{i+1} , на частный показатель эффективности W_{ij} определяется следующим образом.

$$W_{ij}(T) = \frac{W_{i,j-1}T + W_{ij}(t_i, t_{i+1} - T)}{t_i, t_{i+1}} = W_{ij} - \frac{(W_{ij} - W_{i,j-1})T}{t_i, t_{i+1}} = W_{ij} \left[1 - \frac{[(W]_{ij} - W_{i,j-1})T}{W_{ij} t_i, t_{i+1}} \right] =$$

Зависимости позволяют определить оптимальное значение T , при котором достигается максимум \bar{W} , решением уравнения

$$\frac{\partial \bar{W}}{\partial T} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M P_i \left[\frac{\partial Q_j(\mathbf{T})}{\partial T} W_{ij}(T) + \frac{\partial W_{ij}(T)}{\partial T} Q_j(\mathbf{T}) \right] = 0$$

В заключение отметим, что задержка как в распознавании полезного, так и помеховых сигналов имеет место не только при оценке статистических характеристик, но и при использовании в качестве признаков различных временных характеристик сигналов, применении принципов накопления и т.д.

Литература

1. Комиссаров Ю.А. Помехоустойчивость и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Ю.А. Комиссаров, С.С. Родионов. – К.: Техніка, 1978. – 208 с.
2. Родионов С.С. Идентификация возмущающих воздействий на входе приемного устройства / С.С. Родионов, В.А. Удовикин. – К.: Знание. 1979, – 35 с.
3. Горелик А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин. – М.: Высшая школа, 1977. – 222 с.

УДК 621.395.74

Ненов А. Л., асп. (Одесская национальная академия пищевых технологий)

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ СЕТИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ЕЁ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ненов О.Л. Оцінка структурної надійності мережі зв'язку на основі урахування її структурних характеристик. У статті показана можливість застосування методу оцінки структурної надійності мережі, заснованого на урахуванні базових структурних характеристик мережі, для розрахунку структурної надійності мережі фіксованої структури. Виконана оцінка точності методу урахування структурних характеристик.

Ключові слова: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, НАДІЙНІСТЬ, СТРУКТУРА, ЗВ'ЯЗНИЙ ГРАФ

Ненов А.Л. Оценка структурной надежности сети связи на основе учета её структурных характеристик. В статье показана возможность применения метода оценки структурной надежности сети, основанного на учете базовых структурных характеристик сети, для расчета структурной надежности сети фиксированной структуры. На основе выполненного расчета сети радиорелейной связи выполнена оценка точности метода учета структурных характеристик.

Ключевые слова: ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, СТРУКТУРА, СВЯЗНОЙ ГРАФ

Nenov O.L. An assessment of the structural reliability of the communication network on the basis of its structural characteristics. The applicability of the network structural reliability evaluation method based on the taking into account of basic structural characteristics of the network to calculate the structural reliability of the fixed structure network is showed in this paper. The assessment of accuracy of the method accounting structural characteristics is performed on the basis of microwave transmission network's calculation.

Ключевые слова: TELECOMMUNICATION NETWORK, RELIABILITY, STRUCTURE, LIAISON GRAPH

Постановка проблемы в общем виде. Задачи анализа структурной надежности вновь и вновь возникают в работе исследователей, инженеров-проектировщиков и эксплуатационников сетей связи. Это обусловлено неизменной актуальностью, а также все

возрастающей практической важностью исследований, расчетов и оценок надежности в сфере телекоммуникаций.

На сегодня методический аппарат анализа структурной надежности достаточно хорошо разработан: известно множество методов и моделей оценки структурной надежности сетей. Среди них можно выделить универсальные, пригодные для анализа произвольных сетевых структур, и специализированные, учитывающие определенные особенности анализируемой сети и за счет этого позволяющие получить для них более точные оценки. Большая часть этих методов рассчитана на применение в задачах анализа сетей заданной, фиксированной структуры. Однако нередки случаи, когда структура сети постоянно изменяется либо еще не сформирована в ходе проектирования, и эти методы оказываются малоприспособленными или вообще неприменимыми. В таких случаях более предпочтительным может оказаться подход, предполагающий получение оценок структурной надежности сети на основании учета одних лишь базовых структурных характеристик – размерности сети, степени ее связности, максимально допустимого ранга путей, организующих каналы связи, и, возможно, ряда других.

В работах [1...3] представлен один из подходов к решению задачи оценки структурной надежности сетей на основе указанных структурных характеристик, а также предложен метод получения данных оценок с использованием модели неориентированного случайного графа $G(n, L)$. Применимость данного метода к реальным задачам оценки надежности телекоммуникационных сетей определяется рядом факторов, в первую очередь — степенью адекватности используемой модели свойствам анализируемой сети. Однако даже при наличии такого соответствия остается открытым вопрос количественной оценки потребительских качеств предложенного метода – его точности, оперативности, технической реализуемости и трудоемкости. В данной работе осуществлена такая оценка для сети фиксированной структуры на примере сети радиорелейной связи Государственного предприятия «Одесский ОРТПЦ» [4].

Постановка задачи. Представим анализируемую сеть (рис. 1) в виде неориентированного связного графа, n вершин которого моделируют пункты сети, а L ветвей (ребер) — прямые связи (участки РРЛ), соединяющие пары пунктов. Все участки РРЛ являются двунаправленными, поэтому моделирующий граф является неориентированным. Связность между парами пунктов обеспечивается путями в виде последовательностей ветвей без циклов и петель (маршруты в графе). Степень связности между парой пунктов характеризуется числом путей (в общем случае зависящих), реализующих соответствующую связь. Ранг r пути соответствует числу входящих в него ветвей; при рассмотрении связей пар пунктов будем учитывать пути всех рангов.

В качестве показателя структурной надежности отдельных ветвей, связей и сети в целом используем коэффициент готовности K_G , который может рассматриваться как вероятность связности в произвольный момент времени. Известны значения коэффициента готов-

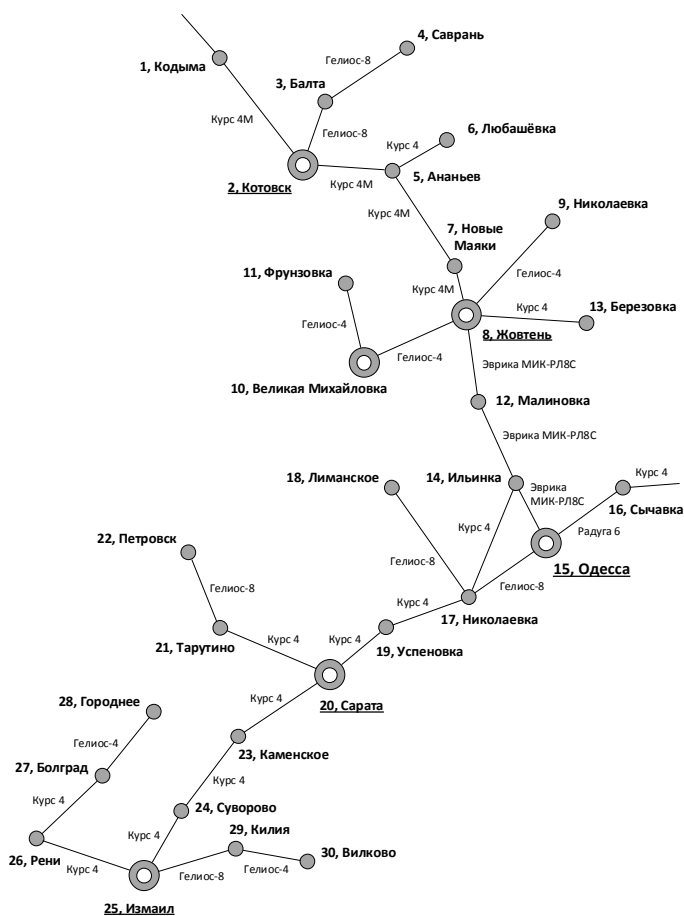


Рис. 1. Структура сети радиорелейной связи ГП «Одесский ОРТПЦ»

ности для разнотипных участков РРЛ (ветвей) (табл. 1). Задана также относительная мера административной значимости отдельных пунктов связи (табл. 2). Примем, что в сети могут задействоваться все возможные направления связи.

№ п/п	Комплекс оборудования участка РРЛ	Коэффициент готовности, $K_{г\ x}$
1	Эврика МИК-РЛ8С	0,999769
2	Курс 4	0,999884
3	Курс 4М	0,999931
4	Радуга-6	0,999942
5	Гелиос-4, Гелиос-8	0,999884

Уровень административной значимости пункта	Населенные пункты
Государственный	Одесса
Областной	Измаил, Сарата, Котовск, Жовтень, Великая Михайловка
Районный	остальные

Пункты сети в модели будем считать абсолютно надежными, при этом показатели надежности узлового оборудования, используемого для организации каналов связи, будем учитывать в показателях надежности соответствующих каналов (ветвей).

Задача состоит в том, чтобы: *оценить* структурную надежность сети классическим методом учета путей [5]; *оценить* структурную надежность сети методом учета базовых структурных характеристик сети, предложенным в работах [1...3]; *сравнить* результаты оценок и сделать вывод о применимости метода учета структурных характеристик к анализу сетей фиксированной структуры.

Изложение основного материала. Расчет структурной надежности некоторого направления связи между пунктами i и j известным методом учета путей (см, например, [5]) предполагает отыскание множества путей m_{ij} , обеспечивающих связь по данному направлению, получение выражения для вычисления верхней границы соответствующего целевого показателя надежности, раскрытие скобок, понижение степеней при множителях до 1 и, наконец, вычисление точного значения искомого показателя надежности. Окончательная формула для расчета коэффициента готовности, имеющего смысл вероятности связности, по

направлению связи ij имеет вид:

$$K_{г\ ij} = \mathbf{E} \left\{ 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^k \in m_{ij}} \left(1 - \prod_{\forall b_{xy} \in \mu_{ij}^k} K_{г\ b_{xy}} \right) \right\}, \quad (1)$$

где $K_{г\ b_{xy}}$ — коэффициент готовности ветви b_{xy} , напрямую соединяющей пункты x и y ;

μ_{ij}^k — k -й путь из множества путей m_{ij} , связывающих пункты i и j ;

\mathbf{E} — операция понижения степени при множителях $K_{г\ b_{xy}}$ до 1 после раскрытия скобок, которая обеспечивает устранение многократного учета надежности ветвей, входящих в несколько путей одной связи.

Отметим, что операция \mathbf{E} является достаточно трудоемкой, требующей использования больших вычислительных ресурсов даже при расчете сетей относительно небольшой размерности (порядка десятков пунктов связи), что существенно ограничивает возможность ее использования на практике.

Обобщенный показатель надежности по всей сети связи с учетом относительной значимости направлений связи можно получить как усредненный коэффициент готовности

по всем направлениям связи:

$$K_{г\ ij} = \frac{\sum_{\forall ij \in T} \zeta_{ij} \cdot K_{г\ ij}}{\sum_{\forall ij \in T} \zeta_{ij}}, \quad (2)$$

где T — множество всех используемых направлений связи в сети;

ζ_{ij} — коэффициент значимости направления связи ij .

Для вычисления коэффициента значимости направления связи ij предложено выражение:

$$\zeta_{ij} = \frac{X_i \cdot X_j}{R_{ij\min}} \cdot \frac{D_i \cdot D_j}{D_{\max}^2}, \quad (3)$$

где X_i, X_j — уровни административной значимости пунктов i и j , соответственно (табл. 2); $R_{ij\min}$ — ранг кратчайшего пути, обеспечивающего связь по данному направлению (наличие коротких путей говорит о большей значимости направления связи), $R_{ij\min} \geq 1$; D_i, D_j — степени пунктов i и j , соответственно, определяемые числом присоединенных ветвей (большая степень пункта говорит о большей его значимости); D_{\max} — максимальная степень пункта в сети (для рассматриваемого примера $D_{\max} = 5$ (Жовтень)).

При отсутствии путей (и, следовательно, связи) между двумя пунктами сети $R_{ij\min} = 0$, в этом случае принимаем соответствующий коэффициент значимости $\zeta_{ij} = 0$.

Для расчета примем следующие значения уровней административной значимости пунктов: государственный — 1; областной — 0,75; районный — 0,5.

Использование отношения степеней пунктов к максимальной степени пункта в рассматриваемой сети обеспечивает изменение данной составляющей коэффициента (3) в диапазоне (0; 1]. Отношение $\frac{1}{R_{ij\min}}$ также изменяется в диапазоне (0; 1] и равно 1 при

наличии прямой связи между пунктами.

Таким образом, все составляющие коэффициента значимости направления связи оказываются нормированными, что обеспечивает возможность учета соответствующего вклада каждого из них в итоговое значение коэффициента.

На рис. 2 показана матрица, содержащая значения коэффициентов значимости для всех направлений связи, вычисленные по формуле (3). Поиск путей и расчет коэффициента готовности по всем направлениям связи методом учета путей был осуществлен с использованием разработанной автором программы.

В результате расчета по формуле (2) получено значение $K_{Tij} \approx 0,999628$. Следует заметить, что это значение является заниженным по сравнению с фактической надежностью сети радиорелейной связи, поскольку в данном исследовании не учтено резервирование линий связи на участках.

Метод учета структурных характеристик использует для оценки структурной надежности сети ряд параметров, количественно характеризующих ее структурные особенности. Анализируемая сеть РРЛ Одесского региона характеризуется следующими структурными характеристиками: число узлов (пунктов связи) $n = 30$; число ветвей $L = 30$; средний

коэффициент готовности ветвей $K_{rij\text{ ср.}} = \frac{1}{L} \sum_{y=1}^L K_{ry}$, где K_{ry} — коэффициент готовности y -й ветви сети (одно из значений табл. 1); $K_{rij\text{ ср.}} \approx 0,999881$; максимальный ранг используемых путей $R_{\max} = 29$.

Сущность подхода, основные положения с их обоснованием, а также некоторые рекомендации относительно практического использования метода учета структурных характеристик представлены в работах [1...3]. Приведем здесь лишь основные расчетные формулы. В соответствии с предложенным методом вероятность связности произвольной пары узлов i и j в сети с неопределенной структурой определяется выражением:

$$K'_{rij} = 1 - \prod_{R=1}^{n-1} \left(1 - K_{r\text{ ср.}}^R\right)^{\frac{M_R}{n(n-1)}}, \quad (4)$$

где M_R — среднее число путей ранга R в сети.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	0	0,045	0,0100333	0,01500333	0,00670,0188	0,002	0,0360,0017	0,004	0,002	0,0050,0386	0,0013	0,0057	0,0013	0,0025	0,005	0,002	0,00309	0,002	0,0018	0,00335	0,0015	0,0014	0,0007	0,0015	0,0007	0,0015	0,0007	0,0015	0,0007	0,0015	0,0007	
2	0,045	0	0,090,0225	0,1350,0225	0,0450,1125	0,0113	0,0333	0,0090,0225	0,0113	0,027	0,0450,0064	0,030,0064	0,0129	0,0253	0,01	0,0045	0,01	0,0090,0184	0,0075	0,0069	0,0032	0,0075	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	
3	0,01	0,09	0	0,02	0,030,0067	0,0133	0,0375	0,004	0,012	0,0033	0,008	0,004	0,01	0,0171	0,0025	0,0114	0,0025	0,005	0,01	0,0040,0018	0,004	0,0036	0,0075	0,0031	0,0029	0,0013	0,0031	0,0014	0,0031	0,0014		
4	0,0033	0,0225	0,02	0	0,010,0025	0,005	0,0150,0017	0,0050,0014	0,0033	0,0017	0,0043	0,0075	0,0011	0,0050,0011	0,0022	0,0045	0,0018	0,0008	0,0018	0,0017	0,00335	0,0014	0,0013	0,0036	0,0014	0,0007	0,0014	0,0007	0,0014	0,0007		
5	0,015	0,135	0,03	0,01	0	0,03	0,060,1125	0,01	0,030,0075	0,02	0,010,0225	0,036	0,005	0,024	0,0095	0,010,0193	0,0075	0,0033	0,0075	0,0067	0,0135	0,0055	0,005	0,0023	0,0055	0,0025	0,0055	0,0025	0,0055	0,0025		
6	0,0033	0,0225	0,0067	0,0025	0,03	0	0,010,025	0,0025	0,0075	0,002	0,0050,0025	0,006	0,010,0014	0,0067	0,0014	0,0029	0,0056	0,0022	0,001	0,0032	0,002	0,0041	0,0017	0,0015	0,0007	0,0017	0,0008	0,0017	0,0008	0,0017	0,0008	
7	0,0067	0,045	0,0133	0,005	0,06	0,01	0	0,15	0,01	0,030,0087	0,02	0,010,02	0,03	0,004	0,02	0,030,004	0,008	0,0150,0057	0,0025	0,0057	0,005	0,01	0,0040,0036	0,0017	0,004	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	
8	0,0188	0,1125	0,0375	0,015	0,125	0,025	0,15	0	0,075	0,225	0,0375	0,15	0,075	0,1125	0,15	0,0188	0,1	0,0188	0,0375	0,0675	0,025	0,0107	0,025	0,0214	0,0422	0,0167	0,015	0,0068	0,0167	0,0075	0,0075	
9	0,002	0,0113	0,004	0,0017	0,010,0025	0,01	0,0025	0,01	0,075	0	0,0150,0033	0,01	0,005	0,01	0,015	0,002	0,01	0,002	0,0040,0075	0,0029	0,0013	0,0029	0,0025	0,005	0,002	0,0018	0,0008	0,002	0,0009	0,0009	0,0009	
10	0,006	0,0338	0,012	0,005	0,030,0075	0,03	0,225	0,015	0	0,03	0,03	0,015	0,03	0,045	0,006	0,030,006	0,03	0,006	0,0120,0225	0,0036	0,0038	0,0036	0,0075	0,015	0,006	0,0055	0,0025	0,006	0,0027	0,0027	0,0027	
11	0,0017	0,009	0,0033	0,0014	0,0075	0,002	0,0067	0,0375	0,0033	0,03	0	0,0067	0,0033	0,0075	0,012	0,0017	0,0080,0017	0,0033	0,0064	0,0025	0,0011	0,0025	0,0022	0,0045	0,0018	0,0017	0,0008	0,0018	0,0008	0,0018	0,0008	
12	0,004	0,0225	0,008	0,0033	0,02	0,005	0,02	0,15	0,01	0,030,0087	0	0,010,06	0,06	0,006	0,0067	0,040,0067	0,04	0,0067	0,0133	0,0225	0,0080,0033	0,008	0,0067	0,0129	0,005	0,0044	0,002	0,005	0,0022	0,005	0,0022	
13	0,002	0,0113	0,004	0,0017	0,010,0025	0,01	0,0025	0,01	0,075	0,005	0,0150,0033	0,01	0	0,01	0,015	0,002	0,01	0,002	0,0040,0075	0,0029	0,0013	0,0029	0,0025	0,005	0,002	0,0018	0,0008	0,002	0,0009	0,0009	0,0009	
14	0,005	0,027	0,010,0043	0,0225	0,006	0,02	0,1125	0,01	0,030,0075	0,06	0,01	0	0,18	0,015	0,12	0,015	0,12	0,015	0,03	0,045	0,015	0,006	0,015	0,012	0,0225	0,0036	0,0075	0,0033	0,0036	0,0033	0,0033	
15	0,0086	0,045	0,0171	0,0075	0,036	0,01	0,03	0,15	0,015	0,045	0,012	0,06	0,015	0,18	0	0,06	0,24	0,03	0,06	0,09	0,03	0,012	0,03	0,024	0,045	0,0171	0,015	0,0067	0,0171	0,0075	0,0075	
16	0,0013	0,0064	0,0025	0,0011	0,005	0,0014	0,004	0,0188	0,002	0,0060,0017	0,0067	0,002	0,015	0,06	0	0,020,0033	0,0067	0,0113	0,0040,0017	0,004	0,0033	0,0064	0,0025	0,0022	0,001	0,0025	0,0011	0,0025	0,0011	0,0025	0,0011	
17	0,0057	0,03	0,0114	0,005	0,024	0,0067	0,02	0,1	0,01	0,030,008	0,04	0,01	0,12	0,24	0,02	0	0,04	0,08	0,090,0267	0,01	0,0267	0,01	0,0267	0,02	0,036	0,0133	0,0114	0,005	0,0133	0,0057	0,0057	
18	0,0013	0,0064	0,0025	0,0011	0,005	0,0014	0,004	0,0188	0,002	0,0060,0017	0,0067	0,002	0,015	0,03	0,0033	0,04	0	0,01	0,015	0,005	0,002	0,005	0,004	0,0075	0,0029	0,0025	0,0011	0,0029	0,0013	0,0029	0,0013	
19	0,0025	0,0129	0,005	0,0022	0,010,0029	0,008	0,0375	0,004	0,012	0,0033	0,0133	0,004	0,03	0,06	0,0067	0,08	0,01	0	0,09	0,020,0067	0,02	0,0133	0,0225	0,0080,0067	0,0029	0,008	0,0067	0,0029	0,008	0,0033	0,0033	
20	0,005	0,0253	0,010,0045	0,0193	0,0056	0,015	0,0675	0,0075	0,0225	0,0084	0,0225	0,0075	0,045	0,09	0,0113	0,09	0,015	0,09	0	0,090,0225	0,09	0,045	0,0675	0,0225	0,018	0,0075	0,0225	0,009	0,009	0,009	0,009	
21	0,002	0,01	0,004	0,0018	0,0075	0,0022	0,0057	0,025	0,0029	0,0086	0,0025	0,008	0,0029	0,015	0,03	0,004	0,0267	0,005	0,02	0,09	0	0,02	0,020,0133	0,0225	0,0080,0067	0,0029	0,008	0,0033	0,0033	0,0033		
22	0,0009	0,0045	0,0018	0,0008	0,0033	0,001	0,0025	0,0107	0,0013	0,0038	0,0011	0,0033	0,0013	0,006	0,012	0,0017	0,01	0,002	0,0067	0,0225	0,02	0	0,0067	0,005	0,009	0,0033	0,0029	0,0013	0,0033	0,0014	0,0033	
23	0,002	0,01	0,004	0,0018	0,0075	0,0022	0,0057	0,025	0,0029	0,0086	0,0025	0,008	0,0029	0,015	0,03	0,004	0,0267	0,005	0,02	0,09	0,020,0067	0,02	0	0,0067	0,005	0,009	0,0033	0,0029	0,0013	0,0033	0,0014	0,0033
24	0,0018	0,009	0,0036	0,0017	0,0067	0,002	0,005	0,0214	0,0025	0,0075	0,0022	0,0067	0,0025	0,012	0,024	0,0033	0,02	0,004	0,0133	0,045	0,0133	0,005	0,04	0	0,09	0,020,0133	0,005	0,02	0,0067	0,0067	0,0067	
25	0,0038	0,0184	0,0075	0,0035	0,0135	0,0041	0,01	0,0422	0,005	0,0150,0045	0,0129	0,005	0,0225	0,045	0,0064	0,036	0,0075	0,0225	0,0675	0,0225	0,009	0,045	0,09	0	0,09	0,045	0,015	0,09	0,0225	0,0225	0,0225	
26	0,0015	0,0075	0,0031	0,0014	0,0055	0,0017	0,004	0,0167	0,002	0,0060,0018	0,005	0,002	0,0086	0,0171	0,0025	0,0133	0,0029	0,0080,00225	0,008	0,00225	0,0080,0033	0,0133	0,02	0,09	0	0,04	0,01	0,020,0067	0,0067	0,0067		
27	0,0014	0,0069	0,0029	0,0013	0,005	0,0015	0,0036	0,015	0,0018	0,0055	0,0017	0,0044	0,0018	0,0075	0,015	0,0022	0,0114	0,0025	0,0067	0,0180,0067	0,0029	0,01	0,0133	0,045	0,04	0	0,020,0133	0,005	0,005	0,005		
28	0,0007	0,0032	0,0013	0,0006	0,0023	0,0007	0,0017	0,0068	0,0008	0,0025	0,0008	0,002	0,0008	0,0033	0,0067	0,001	0,0050,0011	0,0029	0,0013	0,004	0,005	0,015	0,01	0,02	0	0,0035	0,002	0,0035	0,002	0,0035	0,002	
29	0,0015	0,0075	0,0031	0,0014	0,0055	0,0017	0,004	0,0167	0,002	0,0060,0018	0,005	0,002	0,0086	0,0171	0,0025	0,0133	0,0029	0,0080,0225	0,008	0,0225	0,0080,0033	0,0133	0,02	0,09	0,020,0133	0,005	0	0,02	0,02	0,02	0,02	
30	0,0007	0,0035	0,0014	0,0007	0,0025	0,0008	0,0018	0,0075	0,0009	0,0027	0,0008	0,0022	0,0009	0,0038	0,0075	0,0011	0,0057	0,0013	0,0033	0,009	0,0033	0,0014	0,005	0,0067	0,0225	0,0067	0,0095	0,002	0,02	0,02	0	

Рис. 2. Матрица коэффициентов относительной значимости направлений связи

Среднее число путей определенного ранга M_R и всех рангов M в сети с произвольным числом ветвей может быть найдено при помощи компьютерного моделирования либо путем интерполяции аналитически достоверных данных о количестве путей:

– в сети наибольшей связности – полносвязной сети, где $L = L_{\max} = C_n^2$:

$$M_{R_{\max}} = C_n^2 A_{n-2}^{R-1}, \quad M_{\max} = C_n^2 \sum_{R=1}^{n-1} A_{n-2}^{R-1};$$

– в сети, полученной удалением из полносвязной сети одной ветви (где $L = L_{\max} - 1 = C_n^2 - 1$):

$$M_{R_{\max-1}} = C_n^2 A_{n-2}^{R-1} - R \cdot A_{n-2}^{R-1}, \quad M_{\max-1} = C_n^2 \sum_{R=1}^{n-1} A_{n-2}^{R-1} - \sum_{R=1}^{n-1} R \cdot A_{n-2}^{R-1};$$

– в сети наименьшей связности – дереве, где $L = L_{\min} = n - 1$: $M_{\min} = C_n^2$.

Способ с использованием компьютерного статистического моделирования дает необходимое число путей с некоторой погрешностью, зависящей от числа случайных испытаний, однако при анализе сетей небольшой размерности позволяет получить дополнительные точки интерполирования.

Число путей определенного ранга в сети минимальной связности (дереве) может быть различно и определяется структурным расположением ветвей. Среднестатистическое распределение общего числа путей M по рангам R в сети неопределенной структуры со структурными характеристиками, соответствующими параметрам анализируемой сети, полученное при помощи компьютерного моделирования, графически показано на рис. 3:

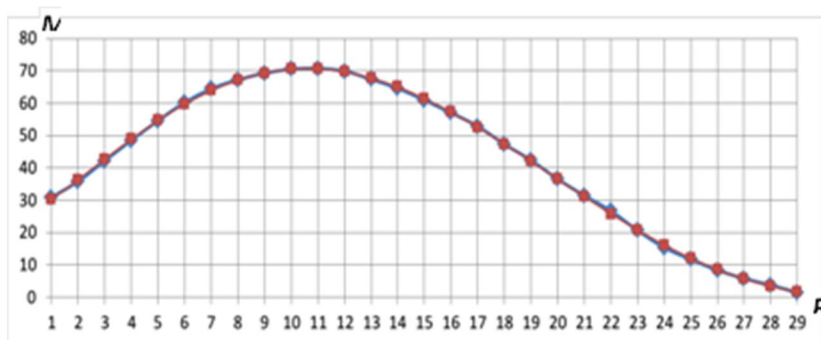


Рис. 3. Распределение путей по рангам с заданными структурными характеристиками: $n = 30, L = 30$

Окончательно по формуле (4) получено значение $K_{r ij} \approx 0,999933$. Абсолютное отклонение $K_{r ij}$ от $K_{r ij \text{ ср.}}$ составило 0,0003046, относительное — 0,0305%, что укладывается в большинство допустимых норм технической оценки. Следует отметить, что величина отклонения зависит от степени надежности ветвей сети и, соответственно, самой сети.

На рис. 4 представлена зависимость изменения расчетных значений $K_{r ij}$ при изменении среднего коэффициента готовности ветви.

Как видно из рис. 4, при уменьшении надежности ветви отклонение возрастает.

Представляется также интересным проследить зависимость результата оценки структурной надежности сети и его ошибки от размерности сети. С целью выявления данной зависимости были проанализированы несколько подсетей рассмотренной сети (размерности 18, 21, 24 пунктов), а также три сети большей размерности – 35, 37 и 39 пунктов, структурная избыточность которых также близка к минимальной.

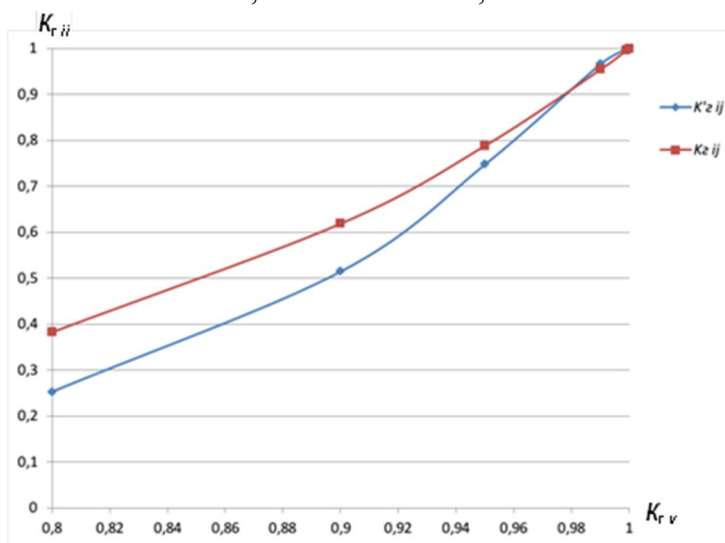


Рис. 4. Зависимость оценок надежности сети (направления связи, $K_{r ij}$) при изменении надежности ветви ($K_{r v}$)

структурная избыточность которых также близка к минимальной.

Коэффициент готовности ветви принимался равным для всех ветвей: $K_{гy} = 0,999$; коэффициент значимости ветвей не учитывался.

Результаты расчетов для анализа сетей различной размерности n сведены в табл. 3.

Выводы. Как показали расчеты, предложенный подход и метод оценки структурной надежности сетей связи, основанный на учете структурных характеристик сети, оказывается пригодным для предварительного анализа надежности сетей небольшой связности (в частности, древовидных) размерности порядка нескольких десятков узлов. При значении коэффициента готовности ветви порядка 0,999 отклонение усредненного коэффициента готовности по одному направлению связи от точного значения не превышает по модулю 1%.

Как известно, метод точного расчета характеризуется высокой трудоемкостью, которая делает его практически неприменимым на сетях размерности $n \geq 40$. Метод учета структурных характеристик требует значительно меньших вычислительных трудозатрат и, соответственно, оказывается более эффективным: его использование дает возможность оперативно осуществлять оценку структурной надежности сетей указанной и большей размерности.

Литература

1. Князева Н. А. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры / Н. А. Князева, А. Л. Ненов // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – Т. 9, № 4. – С. 318-325.
2. Князева Н. О. Оцінка структурної надійності телекомунікаційної мережі / Н. О. Князева, О. Л. Ненов // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи та мережі. – 2010. – № 688. – С. 129-137.
3. Ненов А. Л. Имитационная модель оценки структурной надежности сети связи / А. Л. Ненов // Холодильна техніка і технологія. – 2010. – № 6 (128). – С. 85-89.
4. Волков В. В. Состояние и перспективы внедрения цифрового телевидения DVB-T на примере Одесского региона / В. В. Волков, Т. Н. Нарытник, А. В. Марьенко // Цифрові технології. – 2010. – № 7. – С. 94-99.
5. Теория сетей связи: учебник для вузов связи / В. Н. Рогинский, А. Д. Харкевич, М. А. Шнепс и др.; под ред. В. Н. Рогинского. – М. : Радио и связь, 1981. – 192 с.

Табл. 3

n	L	$K_{гij\text{cp}}$	$K'_{гij}$	Относительное отклонение $K'_{гij}$ от $K_{гij\text{cp}}$, %
18	18	0,998027	0,988164	-0,99%
21	21	0,996121	0,987731	-0,84%
24	25	0,996704	0,999022	0,23%
30	30	0,995313	0,998622	0,33%
35	37	0,996109	0,999968	0,39%
37	39	0,995819	0,999981	0,42%
39	42	0,995792	0,999942	0,42%