

---

## ПОВЫШЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ЖИВУЧЕСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Нина Князева

**Аннотация:** Представлен метод повышения структурной живучести телекоммуникационной сети путем реконфигурации сети, выполняемой на основе оценки относительного изменения показателей структурной живучести – величин средневзвешенного максимального потока и средневзвешенного кратчайшего пути в сети, служащих для формирования средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей структурной живучести. Задача реконфигурации сети сформулирована как задача линейного программирования.

**Ключевые слова:** структурная живучесть, сеть, реконфигурация, максимальный поток, кратчайший путь, комплексная оценка.

**Ключевые слова классификации ACM:** C.2. Computer-communication networks, H. Information Systems - H.1 Models and Principles, K. Computing Milieux - K.6 Management of computing and information system

---

### Введение

Эффективность функционирования телекоммуникационных сетей (ТКС) зависит от многих свойств ТКС, среди которых одним из важнейших является живучесть сети. Обеспечение живучести ТКС становится все более актуальным в связи с интенсивным развитием телекоммуникаций в последнее десятилетие.

Применительно к Future Networks – будущим сетям (БС) – в документах ИТУ [1] рекомендуется, чтобы проектирование, эксплуатация и развитие БС осуществлялись таким образом, чтобы обеспечить надежность, безопасность, а также живучесть, определяющую возможность системы своевременно выполнять свою миссию – обеспечивать приемлемый уровень обслуживания, даже если нормальная эксплуатация сети осложняется различными проблемами. Под живучестью ТКС понимают способность сохранять и восстанавливать выполнение основных функций в заданном объеме и на протяжении заданного времени в случае изменения структуры ТКС и условий ее функционирования вследствие некоторых неблагоприятных внешних воздействий (НВВ) [2, 3]. Живучесть ТКС анализируют и оценивают на разных уровнях проектирования, моделирования и функционирования. Проблеме оценки живучести ТКС посвящен ряд работ (Белоцерковский Д.Л., Вишневецкий В.М., Громов Ю.Ю., Додонов А.Г., Кузнецова М. Г., Мельников Ю.Е., Стекольников Ю.И., Малашенко Ю.Е., С. J. Colbourn, K. Sekine, H. Imai, S. Tarn, и др.). В настоящее время существуют различные аналитические модели и методы оценки и повышения живучести систем, основанные на разнообразных подходах. Так, в работе [2] представлены методы оценки функциональной и структурной живучести, основанные на использовании теоретико-игрового, энтропийного подходов, а также логико-вероятностных моделей. В работе [3] рассматриваются детерминированные и стохастические модели невозстанавливаемых и восстанавливаемых систем, которые позволяют исследовать процессы изменения свойства живучести во времени и условиях, которые непрерывно или дискретно изменяются; приведены методы оценки живучести разных систем – ассоциативных, структурных, ассоциативно-структурных. В работе [4] представлены методы вычисления

общей живучести сетевой информационной системы в полиномиальной форме, а также методы, которые основаны на использовании искусственного интеллекта; предложены модели и алгоритмы для решения задач анализа и оценки живучести сетей. В работе [5] предложено использование минимаксных критериев и экспертного выбора структуры системы, устойчивой к НВВ. Отметим, что рассмотренные общие проблемы оценки и повышения живучести систем различного назначения относятся и к ТКС.

### Постановка задачи исследования

Современные тенденции развития телекоммуникаций, переход к сетям нового поколения – NGN (Next Generation Network – сети следующего поколения), FGN (Future Generation Network – сети будущего поколения (БС)) – обуславливают важность вопросов оценки и повышения живучести ТКС с учетом тенденций их развития. При этом особое значение приобретают вопросы обеспечения структурной живучести ТКС, решение которых возможно на основе реконструкции, реорганизации или реконфигурации сети, что позволит создать структуру, обеспечивающую выполнение критического подмножества функций для достижения цели функционирования.

Целью данной работы является разработка метода оценки и повышения структурной живучести ТКС путем реконфигурации сети, выполняемой на основе оценки относительного изменения показателей структурной живучести.

### Показатели структурной живучести

В математической теории графов показатели структурной живучести интерпретируются как количественные меры связности для структуры графа: узловая связность, обобщенная связность, минимальное сечение, максимальный поток, длина пути и т.д., то есть задачи оценки структурной живучести сети можно свести к задачам анализа связности графов, оценки величины кратчайших путей и максимальных потоков, оценки вероятности формирования работоспособной структуры в случае НВВ и т.д. [2]. При оценке структурной живучести возникает необходимость в определении кратчайших путей и максимальных двухполюсных потоков в сети, а также в определении их изменения при влиянии НВВ. Кроме того, существует необходимость в определении количества путей, которые остаются в сети при НВВ, которое выражается в удалении некоторой линии связи (ветви) из сети, а также в определении вероятности безотказного функционирования связи произвольной пары пунктов ( $i-j$ ) и структурной надежности всей сети.

В работе [6] приведена оценка вероятности исключения некоторого заданного пути при удалении некоторой произвольной ветви. Получено выражение для количества путей ранга  $r$ , которые остаются после удаления из полносвязной сети  $l$  ветвей (в сети остается  $L = L_{max} - l$  ветвей):

$$M_{r,L} = \frac{n(n-1)}{2} C_{n-2}^{r-1} \left( 1 - \frac{2m_{r,L_{max}}}{n(n-1)C_{n-2}^{r-1}} \right)^l. \quad (1)$$

Здесь  $m_{r,L_{max}}$  – количество путей ранга  $r$ , которые приходятся на одну связь ( $i-j$ ) в сети с  $n$  пунктами и  $L_{max}$  ветвями ( $L_{max}$  – максимально возможное количество ветвей сети,  $i, j = \overline{1, n}$ ,  $i \neq j$ ,  $n$  – количество пунктов сети. Ранг  $r$  – количество ветвей, составляющих путь).

Количество путей ранга  $r$ , которые приходятся на одну связь ( $i-j$ ) в сети с  $n$  пунктами и  $L$  ветвями, определяется по формуле:

$$m_{(ij)r,L} \frac{M_{r,L}}{g} = \frac{M_{r,L}}{n(n-1)}, \quad (2)$$

где  $g$  — общее количество тяготеющих пар.

Вероятность безотказного функционирования связи произвольной тяготеющей пары  $(i-j)$ , которая характеризует структурную надежность всей сети, рассчитывается по формуле:

$$P_{(ij)} = 1 - \prod_{r=1}^R (1 - p_{xy}^r)^{m_{(ij)r,L}}, \quad (3)$$

где  $p_{xy}$  — вероятность безотказной работы ветви между произвольными пунктами  $x$  и  $y$ . Использование выражений (1) и (2) позволяет определить основные характеристики живучести ТКС –  $K$ -связность графа (сети), диаметр графа (сети) и др.

В табл. 1 приведены результаты расчетов числа путей в сети со 100 пунктами любой случайной (неопределенной) структуры, имеющей заданные структурные характеристики – число пунктов и число ветвей. Рис. 1 представляет графики зависимости числа путей  $M$  от числа ветвей  $L$  для сети неопределенной структуры размерности  $n = 100$ . Здесь  $M_a$  – пути, полученные на основе аналитических выражений (1, 2),  $M_{э+и}$  – пути, полученные на основе результатов расчетов программы, моделирующей структурные характеристики сети.

На основе выражений (1) и (2) могут получены графики для сетей заданной размерности с любым заданным числом ветвей, аналогичные графику, приведенному на рис.1, что позволяет выполнить расчет безотказного функционирования связи  $(i-j)$  в сетях с заданными структурными характеристиками ( $i, j = \overline{1, n}, i \neq j, n$  – количество пунктов сети).

Таблица 1 – Число путей в сети неопределенной структуры со 100 пунктами

Число ветвей $L$	Число путей (аналитика) $M_a$	Число путей (эмпирика, интерполяция) $M_{э+и}$	Логарифмическое отклонение $M_a$ от $M_{э+и}$ , $\delta_{lg}$ , %
130	4,82E+12	1,86E+11	12,5%
160	9,48E+17	9,04E+17	0,1%
190	1,46E+23	1,11E+24	-3,7%
220	1,19E+28	4,18E+29	-5,2%
...			
625	3,38E+69	5,14E+75	-8,2%
...			
1000	3,04E+89	4,65E+96	-7,4%
2000	1,48E+119	1,42E+124	-4,0%
3000	3,82E+136	6,45E+138	-1,6%
4000	8,80E+148	2,99E+149	-0,36%

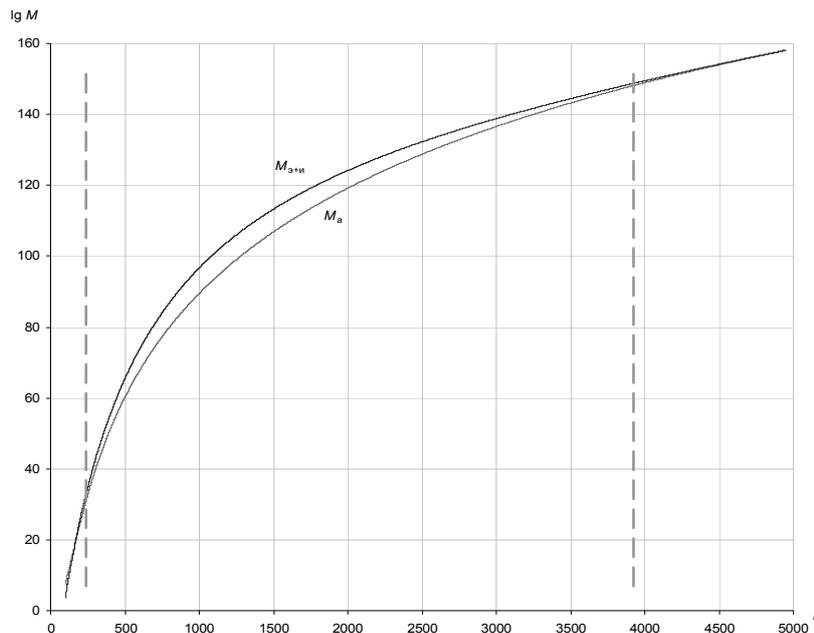


Рисунок 1 – Зависимости числа путей  $M$  от числа ветвей  $L$  для сети неопределенной структуры размерности  $n = 100$

Для решения задачи поиска максимальных двухполюсных потоков в работе [7] представлен эффективный вычислительный алгоритм, который на основе использования процедуры двоичного кодирования сечений [8] позволяет сформировать не только матрицу максимальных междупольсных потоков  $V$ , но также и матрицу  $CS$  кодов сечений, каждый элемент которой  $c_{Sst}$  представляет двоичный код минимального сечения, определяющего величину максимального потока  $v_{st}$ . Размер квадратных матриц  $V$  и  $CS$  определяется числом пунктов сети. Сечению, которое разделяет, например, вершины 1, 2, 5 и 3, 4, соответствуют строки 1, 2, 5 и столбцы 3 и 4 матрицы  $C$  пропускных способностей ветвей сети, на пересечении которых расположены элементы  $c_{13}$ ,  $c_{14}$ ,  $c_{23}$ ,  $c_{24}$ ,  $c_{53}$ ,  $c_{54}$ , определяющие набор ветвей, входящих в указанное сечение. Вычисление значения пропускной способности сечения сводится к суммированию значений  $c_{xy}$  ветвей, которые входят в сечение.

Рассмотрим как пример ориентированный граф, изображенный на рис. 2, матрица пропускных способностей ребер графа представлена в табл. 2.

В приведенном примере величина пропускной способности сечения  $S$ , которое отделяет вершины 1, 2, 5 от вершин 3, 4, составляет:  $C(S) = c_{13} + c_{14} + c_{23} + c_{24} + c_{53} + c_{54} = 0 + 0 + 9 + 0 + 0 + 7 = 16$  ед.

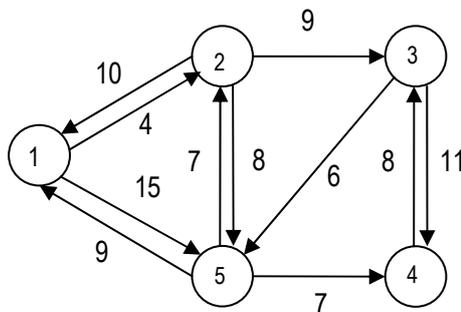


Рисунок 2– Ориентированный граф

Таблица 2

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 4 & 0 & 0 & 9 \\ 10 & \infty & 9 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & \infty & 11 & 6 \\ 0 & 0 & 8 & \infty & 0 \\ 15 & 7 & 0 & 7 & \infty \end{bmatrix}$$

Данный алгоритм позволяет одновременно с вычислением величин всех сечений определить максимальные потоки между всеми парами вершин графа. Алгоритм основан на том, что индексы всех элементов матрицы  $C_{xy}$ , которые находятся на пересечениях строк и столбцов, соответствующих коду сечения, совпадают не только с индексами всех ребер  $(x, y)$ , которые входят в сечение, но и с индексами всех междуполюсных потоков  $\varphi_{st}$ , которые разделяются этим сечением.

Для графа, который приведен на рис.2, матрица максимальных междуполюсных потоков и матрица кодов минимальных сечений приведены в таблицах 3 и 4, соответственно.

Таблица 3

$$V = \begin{bmatrix} \infty & 11 & 13 & 13 & 13 \\ 24 & \infty & 16 & 16 & 23 \\ 6 & 6 & \infty & 17 & 6 \\ 6 & 6 & 8 & \infty & 6 \\ 22 & 11 & 16 & 16 & \infty \end{bmatrix}$$

Таблица 4

$$CS = \begin{bmatrix} - & 11101 & 00001 & 00001 & 00001 \\ 01110 & - & 10011 & 10011 & 01111 \\ 01100 & 01100 & - & 00100 & 01100 \\ 01100 & 01100 & 01000 & - & 01100 \\ 11100 & 11101 & 10011 & 10011 & - \end{bmatrix}$$

Так, например, максимальный поток  $\varphi_{42} = 6$  ед., код соответствующего минимального сечения – 01100. Сечение составляют ребра (3, 1), (3, 2), (3, 5), (4, 1), (4, 2), (4, 5) (в табл. 4 нумерация разрядов кода и соответственно – номеров вершин графа – осуществлена справа налево). Величина сечения 01100 составляет:

$$C(01100) = C_{31} + C_{32} + C_{35} + C_{41} + C_{42} + C_{45} = 0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 0 = 6 \text{ ед.}$$

При НВВ, в результате которого некоторая ветвь сети  $\beta_{xy}$  выйдет из строя, использование матрицы **CS** дает возможность получить необходимую информацию относительно того, какие максимальные потоки изменят свои величины при удалении ветви  $\beta_{xy}$  сети.

Представленные в работах автора [6, 7, 9] методы определения числа путей в сетях различной структуры, определения кратчайших путей и определения минимальных разрезов для всех максимальных потоков используются для определения относительного изменения показателей структурной живучести ТКС, предложенных в данной работе, – средневзвешенной величины максимального потока и средневзвешенной величины кратчайших путей, служащих для формирования средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей структурной живучести по всем требованиям на передачу информации.

### Метод повышения структурной живучести

Основной задачей ТКС является обслуживание потоков требований различных классов в соответствии с требуемым качеством обслуживания QoS (Quality of Service) для соответствующих классов потоков.

Имеется ТКС, модель которой описывается взвешенным ориентированным графом с заданными матрицами пропускных способностей ветвей сети (ребер графа)  $\mathbf{C} = [c_{ij}]$  и требований на передачу потоков информации  $\Phi = [\varphi_{ij}]$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ,  $i \neq j$ ,  $n$  – количество пунктов сети). Каждый поток  $\varphi_{ij}$  принадлежит соответствующему классу  $k$  ( $k = \overline{1, K}$ ,  $K$  – число классов потоков). Каждому классу  $k$  присваивается приоритет исходя из заданного показателя качества обслуживания QoS. Для потоков соответствующего класса задается их значимость – «вес». Задаются допустимые относительные изменения:

а) комплексного показателя структурной живучести для сети в целом  $\Delta \overline{VP}_{срвз}^{\partial on}$ , учитывающего изменения средневзвешенных величин максимальных потоков и минимальных путей;

б) величины максимальных потоков  $\Delta^k_{st\ max}$  для соответствующих классов  $k$  потоков ( $s, t = \overline{1, n}$ ,  $s \neq t$ ,  $n$  – число пунктов сети).

Предложенный метод оценки и повышения структурной живучести ТКС основан на реконфигурации сети после НВВ, выражающемся в удалении некоторой ветви  $\beta_{xy}$  из сети. Реконфигурация сети осуществляется на основе определения трасс некоммутируемых каналов для передачи потоков требований с целью обеспечения заданного показателя качества обслуживания QoS. Метод состоит в выполнении следующих действий.

1. Определение средневзвешенных величин – максимального потока  $\overline{V}_{maxcp}$  (с использованием матриц максимальных междуполюсных потоков  $V$  и кодов сечений **CS**) и кратчайших путей  $\overline{P}_{mincp}$  (с использованием таблицы путей ТП) [7, 9].

2. Расчет средневзвешенных величин максимального потока в сети  $\overline{V}_{maxcp}^{нев}$  и кратчайшего пути в сети  $\overline{P}_{mincp}^{нев}$  после НВВ (удаления некоторой ветви  $\beta_{xy}$  из сети). Данный расчет осуществляется на основе скорректированной матрицы  $V^{нев}$ , получаемой из исходной  $V$  после определения значений тех максимальных потоков, которые изменились в результате НВВ, и скорректированной таблицы путей  $ТП^{нев}$ , получаемой из исходной ТП после определения значений тех кратчайших путей, которые изменились в результате НВВ.

3. Определение относительного изменения показателей структурной живучести – для максимальных потоков (4):

$$\Delta \bar{V}_{\max cp}^{HBB} = \frac{\bar{V}_{\max cp} - \bar{V}_{\max cp}^{HBB}}{\bar{V}_{\max cp}} \quad (4)$$

и для минимальных путей (5):

$$\Delta \bar{P}_{\min cp}^{HBB} = \frac{\bar{P}_{\min cp} - \bar{P}_{\min cp}^{HBB}}{\bar{P}_{\min cp}} \quad (5)$$

4. Формирование средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей структурной живучести:

$$\Delta \bar{VP}_{\text{срез}}^{HBB} = \Delta \bar{V}_{\max cp}^{HBB} * W_f + \Delta \bar{P}_{\min cp}^{HBB} * W_r,$$

где  $W_f$  и  $W_r$  – весовые характеристики оценок для потоков и путей, соответственно, определяемые исходя из условия:  $W_f + W_r = 1$ .

Данные весовые характеристики наиболее целесообразно получать экспертными методами.

5. Сравнение полученного значения относительного изменения комплексного показателя структурной живучести  $\Delta \bar{VP}_{\text{срез}}^{HBB}$  с заданным допустимым изменением:

$$\Delta \bar{VP}_{\text{срез}}^{HBB} \leq \Delta \bar{VP}_{\text{срез}}^{\text{дон}} \quad (6)$$

Здесь  $\Delta \bar{VP}_{\text{срез}}^{\text{дон}}$  – заданное допустимое относительное изменение комплексного показателя структурной живучести.

Если условие (6) выполнено, это означает, что HBB не оказало существенного влияния на живучесть сети, следовательно – никаких действий, связанных с изменением структуры ТКС, предпринимать не следует. Иначе – переход к п. 6.

6. Сравнение максимального относительного изменения максимальных потоков класса  $k$  с заданным изменением максимальных потоков  $\Delta_{st \max}^k$  соответствующего класса  $k$ , или приоритета:

$$\max_{(s,t)} \Delta V_{st \max}^{HBB}(k) \leq \Delta_{st \max}^k \quad (7)$$

7. Формирование перечня требований (потоков, для которых условие (7) не выполняется) на реконфигурацию сети:

$$V_{st \max}^{mp}(k) = V_{st \max}^{HBB}(k) + \Delta'_{st}(k),$$

где  $\Delta'_{st}(k)$  – то значение, которое обеспечивает требуемую величину  $V_{st \max}^{mp}(k)$  потока соответствующего класса  $k$ .

8. Построение матрицы допустимых путей  $M$  для всех требований  $V_{st \max}^{mp}(k)$  на реконфигурацию.

9. Формулирование задачи реконфигурации сети как задачи линейного программирования:

максимизировать взвешенную целевую функцию – суммарную емкость путей сети, которые представлены в матрице  $M$ , (или суммарную пропускную способность):

$$F = \sum_{\mu \in M} f_i c_i \rightarrow \max \quad (8)$$

(здесь  $i$  – номер пути,  $c_i$  – пропускная способность  $i$  –го пути,  $f_i$  – вес (ценность) пути  $\mu_i$ , который определяет относительную целесообразность использования пути и может быть выбран обратно пропорционально его длине, рангу, стоимости и т.п., т.е. выбор  $f_i$  зависит от критерия, по которому осуществляется оптимизация распределения каналов. При оптимизации по длине (рангу) в качестве  $f_i$  можно, например, взять отношение самого длинного пути множества  $M$  к длине (рангу) рассматриваемого  $i$ -го пути:

$$f_i = b \frac{l_{max}}{l_i} \text{ или } f_i = b \frac{r_{max}}{r_i},$$

где  $b$  – коэффициент, выбираемый таким образом, чтобы все  $f_i$  были целыми числами, что обеспечивает возможность получения целочисленного решения)

при следующих ограничениях:

- 1). Пропускные способности путей не могут принимать негативных значений, т.е.  $c_i \geq 0$  для всех  $\mu_i \in M$ ;
- 2). Суммарная емкость совокупности путей  $m_{st} = \{ \mu_i(s, t) \}$  между парой  $s$  и  $t$  пунктов сети, для которых существует требование  $V_{stmax}^{mp}$ , должна равняться (если это возможно) количеству каналов  $V_{stmax}^{mp}(k)$ , которые необходимо организовать в пучке между указанной парой пунктов, то есть

$$\sum_{\mu_i(s,t) \in m_{st}} c_i(s, t) \leq V_{stmax}^{mp}(k) \quad (9)$$

(здесь  $\mu_i(s, t)$  –  $i$ -й путь множества  $M$ , используемый для распределения требования  $V_{stmax}^{mp}(k)$ ,  $c_i(s, t)$  – емкость этого пути);

- 3). Для любой ветви (ребра графа)  $a(x, y)$  сети суммарная емкость всех путей, включающих эту ветвь, не может превышать емкости  $c(x, y)$  этой ветви:

$$\sum_{\forall \mu_i \in a(x,y)} c_i(s, t) \leq c(x, y). \quad (10)$$

10. Реконфигурация сети – формирование новой структуры с учетом полученных в результате решения задачи (в соответствии с целевой функцией (8) и ограничениями (9) и (10)) трасс прямых каналов для распределения требований  $V_{stmax}^{mp}(k)$ .

11. Для реконфигурированной сети (ркфс) – расчет средневзвешенных величин максимального потока  $\bar{V}_{maxcp}^{ркфс}$  и кратчайшего пути  $\bar{P}_{mincp}^{ркфс}$ .

12. Определение относительного изменения показателей структурной живучести реконфигурированной сети:

- для максимальных потоков (11):

$$\Delta \bar{V}_{maxcp}^{ркфс} = \frac{\bar{V}_{maxcp} - \bar{V}_{maxcp}^{ркфс}}{\bar{V}_{maxcp}} \quad (11)$$

- и для минимальных путей (12):

$$\Delta \bar{P}_{mincp}^{ркфс} = \frac{\bar{P}_{mincp} - \bar{P}_{mincp}^{ркфс}}{\bar{P}_{mincp}}. \quad (12)$$

13. Формирование средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей структурной живучести реконфигурированной сети:

$$\Delta \overline{VP}_{срез}^{ркфс} = \Delta \overline{V}_{maxcp}^{ркфс} * W_f + \Delta \overline{P}_{mincp}^{ркфс} * W_r \quad (13)$$

14. Сравнение полученного значения (13) относительного изменения комплексного показателя структурной живучести реконфигурированной сети  $\Delta \overline{VP}_{срез}^{ркфс}$  с заданным допустимым изменением по условию (14):

$$\Delta \overline{VP}_{срез}^{ркфс} \leq \Delta \overline{VP}_{ср}^{доп} \quad (14)$$

Выполнение условия (14) означает, что получено обеспечение требуемых показателей живучести сети. В противном случае – выработка следующих возможных рекомендаций:

- увеличение пропускных способностей определенных ветвей сети на вычисленную в результате решения задачи величину;
- изменение приоритетов определенных требований;
- ограничение величины поступающих в сеть требований;
- изменения задаваемых предельно допустимых значений относительных изменений для потоков соответствующего класса  $\Delta^k_{st\ max}$  или для сети в целом  $\Delta \overline{VP}_{срез}^{доп}$ .

## Заключение

Представлен метод оценки и повышения структурной живучести ТКС путем реконфигурации сети, выполняемой на основе оценки изменения показателей структурной живучести в результате неблагоприятного внешнего воздействия. Предложены показатели структурной живучести – средневзвешенные величины максимального потока  $\overline{V}_{maxcp}$  и кратчайших путей  $\overline{P}_{mincp}$ , служащие для формирования средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей структурной живучести  $\Delta \overline{VP}_{срез}^{нвс}$ . Задача повышения структурной живучести ТКС путем реконфигурации сформулирована как задача линейного программирования, решение которой либо позволит обеспечить требуемые показатели живучести ТКС, либо обеспечит выработку рекомендаций по: увеличению пропускных способностей определенных ветвей сети на вычисленную в результате решения задачи величину; изменению приоритетов определенных требований; ограничению величины поступающих в сеть требований; изменению задаваемых предельно допустимых значений относительных изменений для потоков соответствующего класса  $\Delta^k_{st\ max}$  или для сети в целом  $\Delta \overline{VP}_{срез}^{доп}$ .

## Литература

1. Рекомендация ITU-T Y.3001: Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети последующих поколений / ITU: Committed to connecting the world. – Режим доступа: <http://www.itu.int> / (дата обращения 10.03.2012 г.).
2. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
3. Стекольников Ю.И. Живучесть систем – СПб.: Политехника, 2002. – 155с.
4. Синтез и анализ живучести сетевых систем : монография / Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова. – М. : «Изд-во Машиностроение-1», 2007. – 152 с.

- 
5. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики / Ю.Н. Руденко, И.А. Ушаков – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. – 1989. – 328 с.
  6. Князева Н.А., Ненов А.Л. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры. – К.: Вісник ДУІКТ. Т.9, №4, 2011 р. – С. 318–325.
  7. Алгоритмы оценки структурной живучести инфокоммуникационной сети 2012р., Київ, ДУІКТ. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології. VIII наук.-техн. конф.: Збірник тез. С. 192-193.
  8. Кутасин Б.П., Ящук Л.Е. Некоторые вопросы применения ЭВМ для управления сетью связи//Труды ОЭИС им. А.С.Попова. Вып. 18. Одесса: изд ОЭИС, 1969. – С. 3–12.
  9. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Ч.2. Методи аналізу і синтезу комп'ютерних систем і мереж, Одеса: СПД, 2012. – 240 с.

---

### Благодарности

---

*Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта **ITHEA XXI Института информационных теорий и их приложений FOI ITHEA и Ассоциации ADUIS Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем)**, в связи с чем автор и выражает свою искреннюю благодарность.*

---

### Информация об авторах

---

**Нина Князева** – Факультет информационных технологий и кибербезопасности Одесской национальной Академии пищевых технологий, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информационных систем и сетей; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (048)-7209176; моб. (38067)-430-17-28; E – m: knyazeva@ukr.net

*Главные области научного исследования: Управление в телекоммуникационных сетях, проблемы повышения надежности и живучести телекоммуникационных сетей*