

Повышение оперативной диагностики в распределенных телекоммуникационных сетях

В статье представлен метод повышения оперативной диагностики распределенных телекоммуникационных сетей путем реконфигурации сети, выполняемой на основе оценки относительного изменения показателей оперативной диагностики - величин средневзвешенного максимального потока и средневзвешенного кратчайшего пути в сети, служащих для формирования средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей оперативной диагностики. Задача реконфигурации сети сформулирована как задача линейного программирования.

Ключевые слова: *распределенные сети, оперативная диагностика, сеть, реконфигурация, максимальный поток, кратчайший путь, комплексная оценка.*

1. Введение

Эффективность функционирования распределенных телекоммуникационных сетей (РТКС) зависит от многих свойств РТКС, среди которых одним из важнейших является оперативная диагностика сети. Обеспечение оперативной диагностики РТКС становится все более актуальным в связи с интенсивным развитием телекоммуникаций в последнее десятилетие. Применительно к Future Networks - в документах ИТУ [1] рекомендуется, чтобы проектирование, эксплуатация и развитие Future Networks осуществлялись таким образом, чтобы обеспечить надежность, безопасность, живучесть, а также оперативную диагностику, определяющую возможность системы своевременно выполнять свою миссию – обеспечивать приемлемый уровень обслуживания, даже если нормальная эксплуатация сети осложняется различными проблемами.

Под оперативной диагностикой РТКС понимают определение и измерение признаков, параметров объектов техносферы (технических систем и их компонентов) для оперативной оценки их состояния на заданном этапе функционирования, а под живучестью РТКС понимают способность сохранять и восстанавливать выполнение основных функций в заданном объеме и на протяжении заданного времени в случае изменения структуры РТКС и условий ее функционирования вследствие некоторых неблагоприятных внешних воздействий (НВВ) [2, 3]. В настоящее время существуют различные аналитические модели и методы оценки и повышения оперативной диагностики и живучести систем, основанные на разнообразных подходах.

Так, в работах [4 - 5] представлены методы оценки функциональной и структурной живучести, основанные на использовании теоретико-игрового, энтропийного подходов, а также логико-вероятностных моделей. В работах [6 - 7] рассматриваются детерминированные и стохастические модели невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем, которые позволяют исследовать процессы изменения свойства оперативной диагностики и живучести во времени и условиях, которые непрерывно или дискретно изменяются; приведены методы оценки живучести разных систем - ассоциативных, структурных, ассоциативно-структурных. В работах [8 - 9] представлены методы вычисления оперативной диагностики и 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 работах [10 - 11] предложено использование минимаксных критериев и экспертного выбора структуры системы, устойчивой к НВВ. Отметим, что рассмотренные общие проблемы оценки и повышения оперативной диагностики и живучести систем различного назначения относятся и к РТКС.

2. 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, FN (Future Networks) - обуславливают важность вопросов оценки и повышения оперативной диагностики и живучести РТКС с учетом тенденций их развития. При этом особое значение приобретают вопросы обеспечения оперативной диагностики и структурной живучести

РТКС, 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 оперативной диагностики и структурной живучести РТКС путем реконфигурации сети, выполняемой на основе оценки относительного изменения показателей структурной живучести.

3. Показатели оперативной диагностики

В математической теории графов показатели оперативной диагностики и 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 оперативной диагностики и 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 I ветвей (в сети остается $L=L_{max}-I$ ветвей)

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

где $m_{r,L_{max}}$ - 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, $i = 1, n, i \neq j, n$ - 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 РТКС - 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. Рисунок 1 представляет графики зависимости числа путей M от числа ветвей I для сети неопределенной структуры размерности n = 100. Здесь M_a - пути, полученные на основе аналитических выражений (1, 2), $M_{\Sigma+n}$ - 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 ($i = \overline{1, n}, i \neq j, n$ - 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) $M_{\Sigma+n}$	Логарифмическое отклонение M_a от $M_{\Sigma+n}, \delta_{lg}, \%$
130	4,82E+12	1,86E+11	12,5%
160	9,48E+17	9,04E+17	0,1%
190	1,46E+23	1,11 E+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%

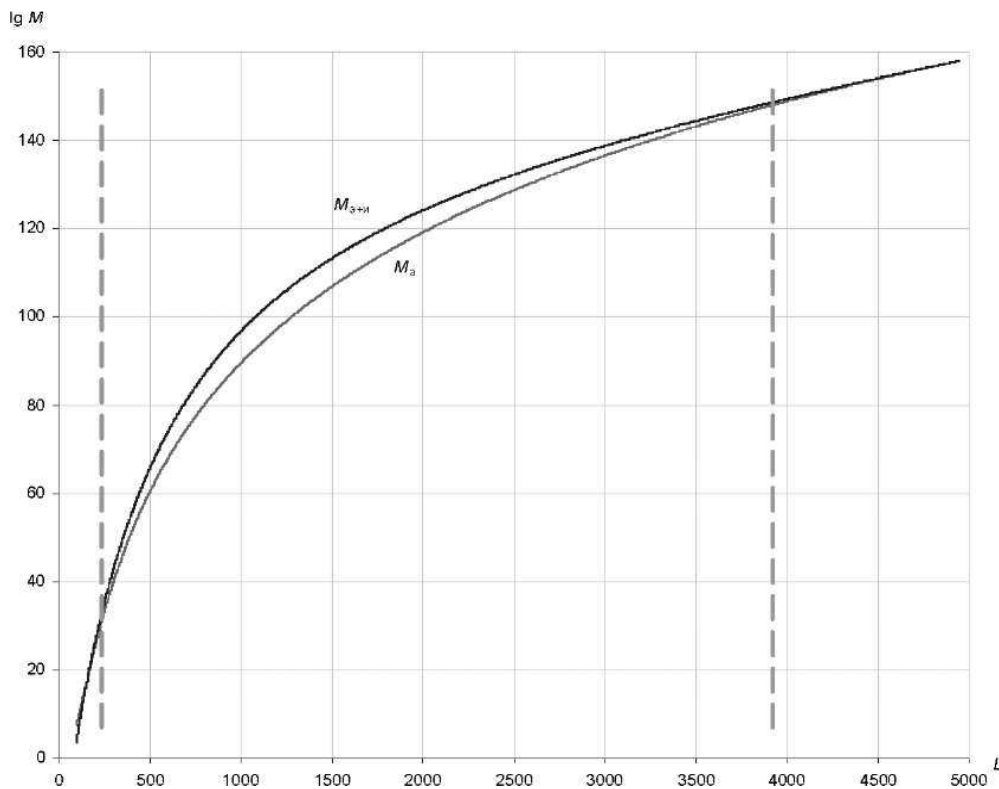


Рис. 1. Зависимости числа путей M от числа ветвей L для сети неопределенной структуры размерности $n = 100$

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 междуполюсных потоков V , но также и матрицу CS кодов сечений, каждый элемент которой $CSST$ 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.

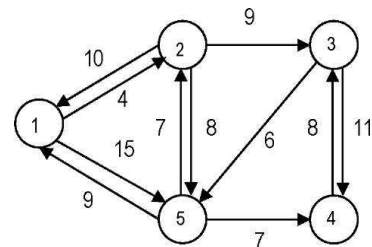


Рис. 2. Ориентированный граф

Таблица 2

Матрица пропускных способностей ребер графа

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 4 & 0 & 0 & 9 \\ 10 & \infty & 9 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & \infty & 11 & 6 \\ 0 & 0 & 8 & \infty & 0 \\ 17 & 7 & 0 & 7 & \infty \end{bmatrix}$$

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.

Данный алгоритм позволяет одновременно с вычислением величин всех сечений определить максимальные потоки между всеми парами вершин

графа. Алгоритм оснований 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 (y), которые входят в сечение, но и с индексами всех междуполусных потоков (β_{xy}) которые разделяются этим сечением).

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

Таблица 3

Матрица максимальных междуполусных потоков

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

Таблица 4

Матрица кодов минимальных сечений

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

Так, например, максимальный поток $\phi_{42} = 6$ 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:

$$C(01100) = C31 + C32 + C35 + C41 + C42 + C45 = 0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 0 = 6 \text{ ед.}$$

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

Представленные в работах [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 РТКС, 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.

4. Метод повышения оперативной диагностики

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

Имеется РТКС, модель которой описывается взвешенным ориентированным графом с заданными матрицами пропускных способностей ветвей сети (ребер графа) $C = [C_{ij}]$ и требований на передачу потоков информации $\Phi = [\phi_{ij}]$ (- количество пунктов сети). Каждый поток Φ 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 $\overline{\Delta V P}_{cpvz}^{don}$, учитывающего изменения средневзвешенных величин максимальных потоков и минимальных путей;

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

Предложенный метод оценки и повышения структурной живучести РТКС основан на реконфигурации сети после НВВ, выражающемся в удалении некоторой ветви β_{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.

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

Расчет средневзвешенных величин максимального потока в сети $\overline{V}_{maxcp}^{HBB}$ и кратчайшего пути в сети $\overline{P}_{mincp}^{HBB}$ после НВВ (удаления некоторой ветви β_{xy} из сети). Данный расчет осуществляется на основе скорректированной матрицы V^{HBB} получаемой из исходной V после определения значений тех

максимальных потоков, которые изменились в результате НВВ, и скорректированной таблицы путей $ТП^{mb}$, получаемой из исходной ТП после определения значений тех кратчайших путей, которые изменились в результате НВВ.

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):

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

Формирование средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей структурной живучести

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

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.

Сравнение полученного значения относительного изменения комплексного показателя структурной живучести с заданным допустимым изменением

$$\Delta \bar{VP}_{cp\ \text{вз}}^{HBB} \leq \Delta \bar{VP}_{cp\ \text{вз}}^{don} \quad (6)$$

Здесь $\Delta \bar{VP}_{cp\ \text{вз}}^{don}$ - заданное допустимое относительное изменение комплексного показателя структурной живучести.

Если условие (6) выполнено, это означает, что НВВ не оказало существенного влияния на оперативность диагностики сети, следовательно - никаких действий, связанных с изменением структуры РТКС, предпринимать не следует.

Сравнение максимального относительного изменения максимальных потоков класса k с заданным изменением максимальных потоков соответствующего класса k или приоритета

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

Формирование перечня требований (потоков, для которых условие (7) не выполняется) на реконfigurацию сети

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

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

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

Формулирование задачи реконfigurации сети как задачи линейного программирования - максимизировать взвешенную целевую функцию - суммарную емкость путей сети, которые представлены в матрице M , (или суммарную пропускную способность)

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

где μ - номер пути,

c - пропускная способность μ -го пути,

f_i - вес (ценность) пути μ_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 можно, например, взять отношение самого длинного пути множества M к длине (рангу) рассматриваемого μ -го пути

$$f_i = b \frac{I_{max}}{I_i} \text{ или } f_i = b \frac{r_{max}}{r_i},$$

где b - коэффициент, выбираемый таким образом, чтобы все b были целыми числами, что обеспечивает возможность получения целочисленного решения) при следующих ограничениях:

- пропускные способности путей не могут принимать негативных значений, т.е. $c_i \geq 0$ для всех $\mu_i \in M$;

- суммарная емкость совокупности путей $m_{st} = \{\mu_i(s,t)\}$ между парой 5 и 7 пунктов сети, для

которых существует требование $V_{st\ max}^{mp}$, должна равняться (если это возможно) количеству каналов $V_{st\ max}^{mp}(k)$ I, которые необходимо организовать в пучке между указанной парой пунктов, то есть

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

где $\mu_i(s,t)$ - i -й путь множества M , используемый для распределения требования $V_{st\ max}^{mp}(k)$, $c_i(s,t)$ - емкость этого пути.

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:

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

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 $V_{st\ max}^{mp}(k)$.

Для реконфигурированной сети (ркфс) - расчет средневзвешенных величин максимального потока $\bar{V}_{max\ cr}^{ркфс}$ кратчайшего пути $\bar{P}_{min\ cr}^{ркфс}$.

Определение относительного изменения показателей структурной живучести реконфигурированной сети - для максимальных потоков (11):

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

и для минимальных путей (12):

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

Формирование средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей структурной живучести реконфигурированной сети

$$\Delta \bar{VP}_{cr\ \text{вз}}^{ркфс} = \Delta \bar{V}_{max\ cr}^{ркфс} \cdot W_f + \Delta \bar{P}_{min\ cr}^{ркфс} \cdot W_r. \quad (13)$$

Сравнение полученного значения (13) относительного изменения комплексного показателя структурной живучести реконфигурированной сети $\Delta \bar{VP}_{cr\ \text{вз}}^{ркфс}$ с заданным допустимым изменением по условию (14)

$$\Delta \bar{VP}_{cr\ \text{вз}}^{ркфс} \leq \Delta \bar{VP}_{cr\ \text{вз}}^{дон}. \quad (14)$$

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 $\Delta \bar{VP}_{cr\ \text{вз}}^{дон}$ соответствующего класса $\Delta_{st\ max}^k$ или для сети в целом

5. Выводы

Представлен метод оценки и повышения оперативной диагностики РТКС путем реконфигурации сети, выполняемой на основе оценки изменения показателей структурной живучести в результате неблагоприятного внешнего воздействия. Предложены показатели оперативной диагностики - средневзвешенные величины максимального потока $\bar{V}_{max\ cr}$ кратчайших путей $\bar{P}_{min\ cr}$, служащие для формирования средневзвешенной комплексной оценки относительного изменения показателей оперативной диагностики $\Delta \bar{VP}_{cr\ \text{вз}}^{HBB}$. Задача повышения структурной живучести РТКС путем реконфигурации сформулирована как задача линейного программирования, решение которой либо позволит обеспечить требуемые показатели живучести РТКС, 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 $\Delta_{st\ max}$ или для сети в целом $\Delta \bar{VP}_{cr\ \text{вз}}^{дон}$.

Література

1. V.G. Kotukh, M.A. Miroshnik, & S.N. Selevko Application of software complex for query processing in the database management system with a view of dispatching problem solving in grid systems // Telecommunications and Radio Engineering, 72 (10):875-891 (2013). — p. 875-891.
2. Мирошник М.А., Разработка средств организации функционирования распределённых вычислительных систем и сетей // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2013. – №4-5. – С. 81.
3. Мирошник М.А. Методы интерактивного управления ресурсами технических систем при проектировании. / Мирошник М. А. // Системи обробки інформації. Інформаційні проблеми акустичних, радіоелектронних та телекомунікаційних систем. – 2013. – випуск 6. – С. 108-113.
4. Miroshnik M. Design of a Built-in Diagnostic Infrastructure for Fault-Tolerant Telecommunication Systems. / Miroshnik M., Miroshnik N., Panchenko S. // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – №4 (приложение. 25 межд. Конф. «Перс комп упр и телек системы). – 59 с.
5. Мирошник М.А. Решение задач диспетчеризации в распределенных телекоммуникационных системах. / М.А. Мирошник, В.Г. Котух, С.Н. Селевко // РАДІОТЕХНІКА: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 169. С. 139–152.
6. Мирошник М.А. Отказоустойчивость распределенных телекоммуникационных систем. / М.А. Мирошник, В.Г. Котух, С.Н. Селевко // РАДІОТЕХНІКА: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 168. С. 51–55.
7. Мирошник М.А. Методы повышения отказоустойчивости телекоммуникационных систем. / В.Г. Котух, М.А. Мирошник, Селевко С.Н. // РАДІОТЕХНІКА: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 166. С. 259–268.
8. Мирошник М.А. Развитие современных направлений цифровых телекоммуникационных систем и сетей. / В.Г. Котух, М.А. Мирошник, Селевко С.Н. // РАДІОТЕХНІКА: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 165. С. 254–258.
9. Мирошник М.А. Тестопригодное проектирование телекоммуникационных систем на основе двумерных однородных сетей. / М.А. Мирошник, Я.Ю. Королева, Панченко С.В. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2011. – №3. – С. 46–53.
10. Мирошник М.А. Методы тестового диагностирования телекоммуникационных систем на базе одномерных однородных клеточных сетей. / М.А. Мирошник, Я.Ю. Королева // Информационно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №2. – С. 68–72.
11. Мирошник М.А. Разработка методов повышения отказоустойчивости и надежности функционирования компонентов телекоммуникационных систем и сетей / М.А. Мирошник, В.Г. Котух // РАДІОТЕХНІКА: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 164. С. 190–197.
12. Мирошник М.А. Разработка диагностического обеспечения многопроцессорных телекоммуникационных систем управления на основе концепции сигнатурного мониторинга/ Г.И. Загарий, М.А. Мирошник, С.В. Панченко // Информационно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №1. – С. 37–46.

КОВАЛЕНКО М.А. ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ДІАГНОСТИКИ В РОЗПОДІЛЕНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ. У статті представлений метод підвищення оперативної діагностики розподілених телекомунікаційних мереж шляхом реконфігурації мережі, виконуваної на основі оцінки відносної зміни показників оперативної діагностики - величин середньозваженого максимального потоку і середньозваженого найкоротшого шляху в мережі, які служать для формування середньозваженої комплексної оцінки відносної зміни показників оперативної діагностики. Завдання реконфігурації мережі сформульована як задача лінійного програмування.
Ключові слова: розподілені мережі, оперативна діагностика, мережа, реконфігурація, максимальний потік, найкоротший шлях, комплексна оцінка.

KOVALENKO M.A. THE IMPROVEMENT OF ON-LINE DIAGNOSTICS IN DISTRIBUTED TELECOMMUNICATION NETWORKS. The paper presents a method for increasing on-line diagnostics in distributed telecommunication networks by means of network reconfiguration, performed on the basis of the assessment of relative change of on-line diagnostics indices – the values of the average weighted maximum flow and the average weighted shortest path in the network that are used to form average weighted integrated assessment of relative change of on-line diagnostics indices. The problem of network reconfiguration has been defined as the problem of linear programming.
Key words: distributed networks, on-line diagnostics, network, reconfiguration, maximum flow, shortest path, integrated assessment.

Рецензент Листровой С.В. д.т.н., профессор (УкрГАЗТ)

Поступила 28.11.2014г.