

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ С БИЛИНЕЙНЫМИ УСЛОВИЯМИ ЗАЩИТЫ ПУТИ

ЕРЕМЕНКО А.С., ТАРИКИ Н.,
ЕВДОКИМЕНКО М.А.

Описывается усовершенствованная потоковая модель отказоустойчивой маршрутизации с защитой пути. Новизна предложенного усовершенствования заключается в том, что условия защиты пути включены в критерий оптимальности в билинейной форме. Работоспособность и адекватность предлагаемой модели подтверждается на ряде расчетных примеров при решении задач отказоустойчивой маршрутизации в процессе реализации схемы защиты пути/мультипути.

Ключевые слова: маршрутизация; отказоустойчивость; потоковая модель; мультипуть; схема защиты пути.

Key words: routing; fault-tolerance; flow-based model; multipath; path protection scheme.

1. Введение

В современных телекоммуникационных сетях (ТКС) маршрутизация занимает важное место среди средств обеспечения межконцевого качества обслуживания (Quality of Service, QoS). При этом за счет применения соответствующих метрик протоколы маршрутизации могут определять и использовать пути с заданными свойствами при доступной производительности, а также средней задержке и уровне потерь пакетов. Кроме того, существующие протоколы оснащены возможностями адаптации (как структурной, так и функциональной) решений, принимаемых в процессе маршрутизации, к изменениям состояний сети [1, 2].

Стремительно возрастающая производительность ТКС приводит к отказам и перегрузкам сетевого оборудования. При этом значительный объем данных, который передается за время определения протоколом резервных (обходных) маршрутов, может быть потерян, что критично влияет на численные значения показателей качества обслуживания. По этой причине в транспортных ТКС, основанных на технологиях IP (Internet Protocol) и MPLS (Multiprotocol Label Switching), используются дополнительные средства повышения отказоустойчивости [3-5]. К ним относят следующие технологии:

- быстрая протокольная сходимость (Fast IGP/BGP Convergence);
- отказоустойчивая маршрутизация (Fault-tolerant routing);

- быстрая перемаршрутизация (Fast ReRoute, FRR) [6-9].

Технологии FRR основаны на том, что наряду с основным маршрутом (или множеством маршрутов) одновременно рассчитывается резервный (backup) путь или мультипуть [5]. При этом в ходе реализации защиты пути (мультипути) основной и резервный маршруты содержат общие лишь узлы отправителя и получателя. В случае же необходимости защиты пропускной способности резервный маршрут также должен обеспечивать и заданную пропускную способность соединения.

В соответствии с этим актуальной является задача, связанная с усовершенствованием потоковой модели быстрой перемаршрутизации с реализацией схем защиты пути как при однопутевой, так и при multipутевой маршрутизации в телекоммуникационной сети при отсутствии в основном и резервном маршрутах общих узлов и каналов, а также, обеспечением приемлемой вычислительной сложности получаемых маршрутных решений.

2. Структурно-функциональная модель отказоустойчивой маршрутизации в ТКС

Предположим, что структуру телекоммуникационной сети описывает граф $G = (R, E)$ (рис. 1), в котором $R = \{R_i; i = \overline{1, m}\}$ – множество вершин, моделирующих маршрутизаторы, а $E = \{E_{i,j}; i, j = \overline{1, m}; i \neq j\}$ – множество дуг, представляющих каналы связи в сети. Обозначим через $R_i^* = \{R_j; E_{j,i} \neq 0; j = \overline{1, m}; i \neq j\}$ подмножество маршрутизаторов, которые являются смежными для маршрутизатора R_i .

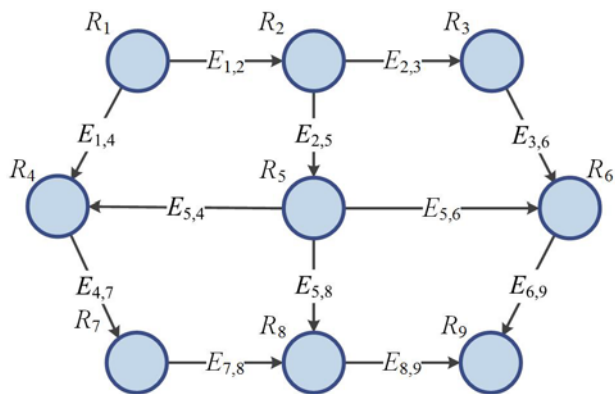


Рис. 1. Пример описания структуры ТКС в виде графа

Тогда $|E| = n$ определяет количество каналов связи в ТКС. При этом каждой дуге $E_{i,j} \in E$, моделирующей соответствующий канал, ставится в соответствие его пропускная способность $\varphi_{i,j}$.

Пусть с каждым k -м одноадресным потоком связан ряд функциональных параметров: λ^k – средняя интенсивность пакетов k -го потока, измеряемая в пакетах за секунду ($1/c$); s_k – узел-отправитель; d_k – узел-получатель при $k \in K$, где K – множество потоков в сети. В ходе решения задачи одноадресной маршрутизации необходимо рассчитать множество переменных $x_{i,j}^k$, каждая из которых характеризует долю интенсивности k -го потока в канале связи, представленного дугой $E_{i,j} \in E$ и входящего в основной маршрут. Количество маршрутных переменных $x_{i,j}^k$ соответствует произведению $|K| \cdot |E|$.

На управляющие переменные в соответствии с их физическим смыслом накладывается ряд ограничений. В случае реализации многопутевой стратегии маршрутизации необходимо выполнение следующего условия:

$$0 \leq x_{i,j}^k \leq 1. \quad (1)$$

Для обеспечения согласованности при расчете множества маршрутных переменных, отвечающих за реализацию маршрутизации в сети в целом, важно обеспечить выполнение условий сохранения потока в узлах основного пути/мультипути [3]:

$$\begin{cases} \sum_{j: E_{i,j} \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j: E_{j,i} \in E} x_{j,i}^k = 0; & k \in K, R_i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j: E_{i,j} \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j: E_{j,i} \in E} x_{j,i}^k = 1; & k \in K, R_i = s_k; \\ \sum_{j: E_{i,j} \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j: E_{j,i} \in E} x_{j,i}^k = -1; & k \in K, R_i = d_k. \end{cases} \quad (2)$$

В системе (2) индекс j указывает номер входного или выходного интерфейса маршрутизатора R_i , через который k -й поток поступает или покидает маршрутизатор.

При решении задачи быстрой перемаршрутизации в ТКС наряду с расчетом множества основных маршрутов необходимо рассчитать и множество резервных путей. Поэтому, как показано в работе [10], вводятся дополнительные маршрутные переменные $\bar{x}_{i,j}^k$, которые характеризуют долю k -го

потока в канале связи, представленного дугой $E_{i,j}$, но уже резервного пути/мультипути. Для обеспечения связности резервного пути/мультипути на переменные $\bar{x}_{i,j}^k$ накладываются ограничения, аналогичные (2):

$$\begin{cases} \sum_{j: E_{i,j} \in E} \bar{x}_{i,j}^k - \sum_{j: E_{j,i} \in E} \bar{x}_{j,i}^k = 0; & k \in K, R_i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j: E_{i,j} \in E} \bar{x}_{i,j}^k - \sum_{j: E_{j,i} \in E} \bar{x}_{j,i}^k = 1; & k \in K, R_i = s_k; \\ \sum_{j: E_{i,j} \in E} \bar{x}_{i,j}^k - \sum_{j: E_{j,i} \in E} \bar{x}_{j,i}^k = -1; & k \in K, R_i = d_k. \end{cases} \quad (3)$$

При необходимости осуществления резервирования пропускной способности сети, а также в целях предотвращения возможной перегрузки каналов связи в модель по аналогии с результатами, полученными в работе [10], вводятся условия вида:

$$\frac{1}{2} \sum_{k \in K} \left(\lambda^k \left[(x_{i,j}^k + \bar{x}_{i,j}^k) + \sqrt{(x_{i,j}^k - \bar{x}_{i,j}^k)^2} \right] \right) \leq \varphi_{i,j}. \quad (4)$$

3. Критерий оптимальности при отказоустойчивой маршрутизации с билинейными условиями защиты пути

В случае реализации защиты пути необходимо обеспечить отсутствие в основном и резервном маршрутах как общих узлов, так и каналов, тогда как в ранее известных решениях [10, 11] резервный путь допускал узловое пересечение с основным. В связи с этим в усовершенствованной модели предлагается к использованию критерий оптимальности, ориентированный на минимизацию следующей целевой функции:

$$\begin{aligned} F = & \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in E} c_{i,j}^k x_{i,j}^k + \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in E} \bar{c}_{i,j}^k \bar{x}_{i,j}^k + \\ & + \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in E} \bar{c}_{i,j}^k \bar{x}_{i,j}^k + \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in E} \bar{c}_{i,j}^k \bar{x}_{i,j}^k + \\ & + \sum_{R_i \in R \setminus \{s_k, d_k\}} \sum_{R_j \in R_i^*} \sum_{R_p \in R_i^*} h x_{j,i}^k \bar{x}_{p,i}^k, \end{aligned} \quad (5)$$

в которой $c_{i,j}^k$ и $\bar{c}_{i,j}^k$ – маршрутные метрики каналов основного и резервного путей; h – весовой коэффициент, характеризующий важность билинейного слагаемого в критерии оптимальности.

Первое и второе слагаемые в выражении (5) определяют условные стоимости формирования и использования основного пути/мультипути, а третье и четвертое – резервного. Пятое слагаемое является

наиболее важным и отвечает за реализацию схемы защиты пути, т.е. за отсутствие общих узлов и каналов в основном и резервном маршрутах. Таким образом, устанавливается следующая система иерархии соотношений весовых коэффициентов в целевой функции (5):

$$h \gg c_{i,j}^k \text{ и } h \gg \bar{c}_{i,j}^k, \quad (6)$$

а также слагаемых:

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in K} \sum_{E_{i,j} \in E} c_{i,j}^k x_{i,j}^k + \sum_{k \in K} \sum_{E_{i,j} \in E} \bar{c}_{i,j}^k \bar{x}_{i,j}^k \leq \\ & \leq \sum_{k \in K} \sum_{E_{i,j} \in E} \bar{c}_{i,j}^k \bar{x}_{i,j}^k + \sum_{k \in K} \sum_{E_{i,j} \in E} c_{i,j}^k x_{i,j}^k. \end{aligned} \quad (7)$$

Выполнение условия (7) гарантирует, что рассчитанный основной путь/мультипуть не будет уступать по производительности резервному.

Таким образом, в рамках проведенного усовершенствования математической модели задача быстрой перемаршрутизации была сформулирована в оптимизационной форме. При этом критерием оптимальности выступает минимум целевой функции (5), а ограничения – условия (1)-(4). При реализации быстрой перемаршрутизации в ТКС расчет искомым маршрутным переменным обеспечивается в ходе решения задачи квадратичного программирования. Кроме того, предлагаемое усовершенствование модели быстрой перемаршрутизации с билинейными условиями защиты пути является более строгим, так как рассчитываемые основной и резервный маршруты не пересекаются ни по узлам, ни по каналам.

4. Исследование предложенной модели отказоустойчивой маршрутизации

Особенности решения задачи многопутевой отказоустойчивой маршрутизации с использованием модели (1)-(5) продемонстрируем в качестве примера на сетевой структуре, показанной на рис. 2. Представленная сеть состоит из девяти маршрутизаторов и двенадцати каналов связи (рис. 2). В разрывах каналов связи указаны их пропускные способности. Для обеспечения расчета путей с максимальной производительностью маршрутные метрики каналов связи принимали значения $10^7/\varphi_{i,j}$ по аналогии с протоколом IGRP.

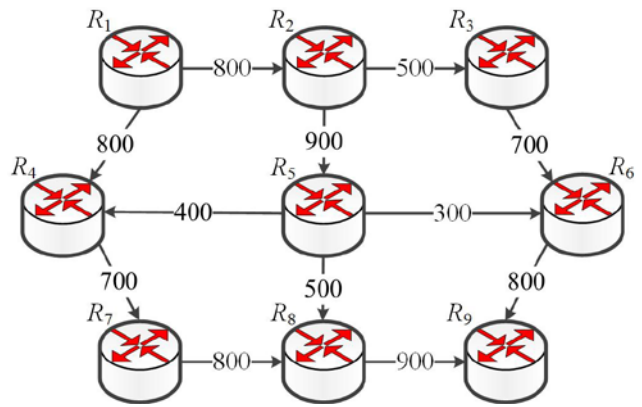


Рис. 2. Исходная структура ТКС

Проведем исследование влияния загруженности сети, изменяя интенсивность входного потока, на получаемые маршрутные решения для ТКС, структура которой приведена на рис. 2, при необходимости защиты основного маршрута между узлом-отправителем $s_1 = R_1$ и узлом-получателем $d_1 = R_9$.

Рассмотрим случай, когда в критерии оптимальности (5) отсутствуют слагаемые квадратичной формы. Пусть необходимо передать поток пакетов с интенсивностью $\lambda^1 = 200$ 1/с. Иллюстрация получаемого решения при использовании предложенной модели приведена на рис. 3, где основной путь представлен сплошной линией, резервный – пунктирной, не используемые каналы связи показаны полупрозрачными линиями.

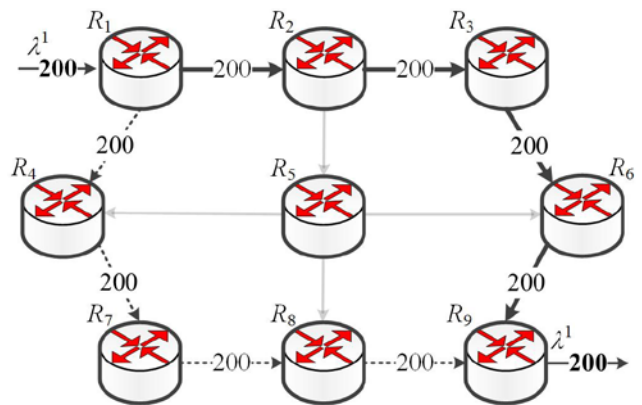


Рис. 3. Порядок отказоустойчивой маршрутизации потока с интенсивностью 200 1/с без квадратичных членов в критерии оптимальности (5)

В результате расчетов получены два непересекающихся маршрута. Причем основной маршрут проходит через маршрутизаторы:

$$R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_6 \rightarrow R_9,$$

а резервный путь в свою очередь определяется узлами: $R_1 \rightarrow R_4 \rightarrow R_7 \rightarrow R_8 \rightarrow R_9$.

Увеличивая загруженность сети, при передаче потока пакетов с интенсивностью $\lambda^1 = 700$ 1/с решение задачи отказоустойчивой маршрутизации с билинейными условиями защиты пути при тех же исходных данных будет иметь вид, представленный на рис. 4.

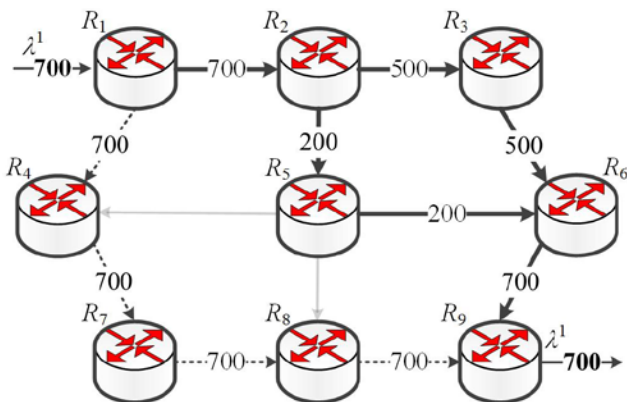


Рис. 4. Порядок отказоустойчивой маршрутизации потока с интенсивностью 700 1/с без квадратичных членов в критерии оптимальности (5)

В этом случае основной мультипуть включает в себя два пути:

- $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_6 \rightarrow R_9$ при передаче потока с интенсивностью 500 1/с;
- $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_5 \rightarrow R_6 \rightarrow R_9$ при передаче потока с интенсивностью 200 1/с,

а резервный путь обеспечивает передачу всего потока через маршрутизаторы:

- $R_1 \rightarrow R_4 \rightarrow R_7 \rightarrow R_8 \rightarrow R_9$.

Таким образом, при отсутствии в критерии оптимальности (5) слагаемых квадратичной формы наблюдается последовательное включение маршрутов при формировании мультипути, т.е. многопутевое решение задачи отказоустойчивой маршрутизации будет получено только в случае роста загруженности сети.

При использовании квадратичного критерия оптимальности (5) при низкой загруженности сети и передаче потока пакетов с интенсивностью $\lambda^1 = 200$ 1/с получаем следующее многопутевое решение задачи отказоустойчивой маршрутизации, показанное на рис. 5.

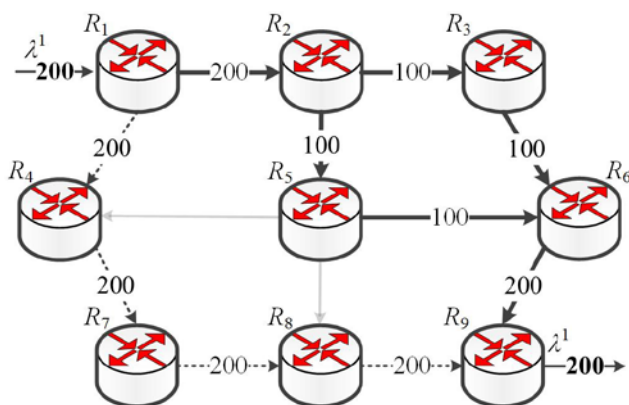


Рис. 5. Порядок отказоустойчивой маршрутизации потока с интенсивностью 200 1/с при использовании квадратичного критерия оптимальности (5)

Здесь основной мультипуть представлен двумя маршрутами:

- $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_6 \rightarrow R_9$ при передаче потока с интенсивностью 100 1/с;
- $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_5 \rightarrow R_6 \rightarrow R_9$ при передаче потока с интенсивностью 100 1/с,

тогда как единственный резервный путь проходит через маршрутизаторы:

- $R_1 \rightarrow R_4 \rightarrow R_7 \rightarrow R_8 \rightarrow R_9$.

При более высокой загруженности сети, например, при передаче потока пакетов с интенсивностью $\lambda^1 = 700$ 1/с получаемое решение следующее:

- $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_6 \rightarrow R_9$ при передаче потока с интенсивностью 400 1/с;
- $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_5 \rightarrow R_6 \rightarrow R_9$ при передаче потока с интенсивностью 300 1/с,

а резервный путь представляет собой один маршрут: $R_1 \rightarrow R_4 \rightarrow R_7 \rightarrow R_8 \rightarrow R_9$.

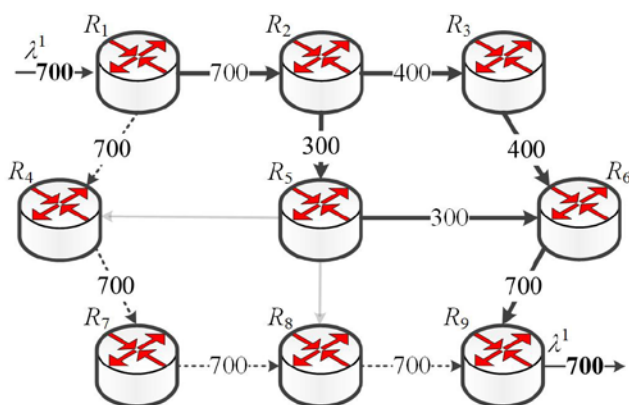


Рис. 6. Порядок отказоустойчивой маршрутизации потока с интенсивностью 700 1/с при использовании квадратичного критерия оптимальности (5)

Таким образом, использование квадратичного критерия оптимальности (5) за счет введения соответствующей билинейной формы позволило обеспечить расчет основного и резервного пути/мультипути, которые не пересекаются ни по узлам, ни по каналам.

5. Заключение

Усовершенствована потоковая модель отказоустойчивой маршрутизации с защитой пути. При этом задача отказоустойчивой маршрутизации представлена в оптимизационной форме. В ходе усовершенствования сформулирован критерий оптимальности (5), содержащий в себе условия защиты пути при возможности реализации как однопутевой, так и многопутевой стратегий маршрутизации. Обоснованы к использованию различные варианты критерия оптимальности, основанные на минимизации целевой функции (5).

Установлена система иерархии соотношений весовых коэффициентов (6) и слагаемых (7) в целевой функции (5), при которой обеспечивались корректные решения по быстрой перемаршрутизации. Работоспособность и адекватность предлагаемого усовершенствования потоковой модели отказоустойчивой маршрутизации подтверждена на ряде расчетных примеров при решении задач одно- и многопутевой маршрутизации при реализации схемы защиты пути в сети.

Литература: 1. *Rak, J.* Resilient Routing in Communication Networks (Computer Communications and Networks). 1st edition / J. Rak. Springer, 2015. 181 p. 2. *Hariyawan, M.Y.* Comparison Analysis of Recovery Mechanism at MPLS Network / M.Y. Hariyawan // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2011. Vol.1, No2. P. 151-160. DOI: <http://dx.doi.org/10.11591/ijece.v1i2.84>. 3. *Lemeshko, O.V.* Fault-Tolerant Unicast, Multicast and Broadcast Routing Flow-based Models / O.V. Lemeshko, A.M. Arous, O.S. Yeremenko // Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET), India. 2015. Vol-3: Issue-4A. P. 343–350. 4. *Yeremenko, O.* Fault-tolerant IP routing flow-based model / O. Yeremenko, N. Tariki, A.M. Hailan // IEEE 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET). Publishing House of Lviv Polytechnic, 2016. P. 655-657. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452143. 5. *Lemeshko, O.V.* Fault-Tolerance Improvement for Core and Edge of IP Network / O.V. Lemeshko, O.S. Yeremenko, N. Tariki, A.M. Hailan // IEEE 2016 XIth International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT), 2016. P. 161-164. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2016.7589895. 6. *Papán, J.* Analysis of

existing IP Fast Reroute mechanisms / J. Papán, P. Segeč, P. Palúch // IEEE 2015 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), 2015. P. 291-297. DOI: 10.1109/DT.2015.7222986. 7. RFC 7490 Remote Loop-Free Alternate (LFA) Fast Reroute (FRR) / S. Bryant, C. Filtsils, S. Previdi, M. Shand, N. So // Internet Engineering Task Force (IETF), April 2015. 29 p. 8. RFC 7811 An Algorithm for Computing IP/LDP Fast Reroute Using Maximally Redundant Trees (MRT-FRR) / G. Enyedi, A. Csaszar, A. Atlas, C. Bowers, A. Gopalan // Internet Engineering Task Force (IETF), June 2016. 118 p. 9. RFC 7812 An Architecture for IP/LDP Fast Reroute Using Maximally Redundant Trees (MRT-FRR) / A. Atlas, C. Bowers, G. Enyedi // Internet Engineering Task Force (IETF), June 2016. 44 p. 10. *Lemeshko, O.* Effective solution for scalability and productivity improvement in fault-tolerant routing / O. Lemeshko, K. Arous, N. Tariki // IEEE 2015 Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 2015. P. 76-78. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2015.7357274. 11. *Gomes, T.* Algorithms for Determining a Node-Disjoint Path Pair Visiting Specified Nodes / T. Gomes, L. Martins, S. Ferreira, M. Pascoal, D. Tipper // Optical Switching and Networking. 2017. Vol. 23, Part 2. P. 189-204. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.osn.2016.05.002>.

Transliterated bibliography:

1. *Rak, J.* Resilient Routing in Communication Networks (Computer Communications and Networks). 1st edition / J. Rak. Springer, 2015. 181 p.
2. *Hariyawan, M.Y.* Comparison Analysis of Recovery Mechanism at MPLS Network / M.Y. Hariyawan // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2011. Vol. 1, No. 2. P. 151-160. DOI: <http://dx.doi.org/10.11591/ijece.v1i2.84>.
3. *Lemeshko, O.V.* Fault-Tolerant Unicast, Multicast and Broadcast Routing Flow-based Models / O.V. Lemeshko, A.M. Arous, O.S. Yeremenko // Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET), India. 2015. Vol.3: Issue-4A. P. 343–350.
4. *Yeremenko, O.* Fault-tolerant IP routing flow-based model / O. Yeremenko, N. Tariki, A.M. Hailan // IEEE 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET). Publishing House of Lviv Polytechnic, 2016. P. 655-657. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452143.
5. *Lemeshko, O.V.* Fault-Tolerance Improvement for Core and Edge of IP Network / O.V. Lemeshko, O.S. Yeremenko, N. Tariki, A.M. Hailan // IEEE 2016 XIth International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT), 2016. P. 161-164. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2016.7589895.
6. *Papán, J.* Analysis of existing IP Fast Reroute mechanisms / J. Papán, P. Segeč, P. Palúch // IEEE 2015 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), 2015. P. 291-297. DOI: 10.1109/DT.2015.7222986.

7. *RFC 7490 Remote Loop-Free Alternate (LFA) Fast Reroute (FRR)* / S. Bryant, C. Filsfils, S. Previdi, M. Shand, N. So // Internet Engineering Task Force (IETF), April 2015. 29 p.

8. *RFC 7811 An Algorithm for Computing IP/LDP Fast Reroute Using Maximally Redundant Trees (MRT-FRR)* / G. Enyedi, A. Csaszar, A. Atlas, C. Bowers, A. Gopalan // Internet Engineering Task Force (IETF), June 2016. 118 p.

9. *RFC 7812 An Architecture for IP/LDP Fast Reroute Using Maximally Redundant Trees (MRT-FRR)* / A. Atlas, C. Bowers, G. Enyedi // Internet Engineering Task Force (IETF), June 2016. 44p.

10. *Lemeshko, O. Effective solution for scalability and productivity improvement in fault-tolerant routing* / O. Lemeshko, K. Arous, N. Tariki // IEEE 2015 Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 2015. P. 76-78. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2015.7357274.

11. *Gomes, T. Algorithms for Determining a Node-Disjoint Path Pair Visiting Specified Nodes* / T. Gomes, L. Martins, S. Ferreira, M. Pascoal, D. Tipper // Optical Switching and Networking. 2017. Vol. 23, Part 2. P. 189-204. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.osn.2016.05.002>.

Поступила в редколлегию 17.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Еременко Александра Сергеевна, канд. техн. наук., с.н.с., докторант кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ. Научные интересы: NGN, Future Internet, качество обслуживания, управление трафиком, отказоустойчивая маршрутизация, сетевая безопасность. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. +380577021320,

e-mail: oleksandra.yeremenko.ua@ieee.org.

Тарики Надия, аспирант кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ. Научные интересы: управление трафиком, качество обслуживания, отказоустойчивая маршрутизация. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. +380577021320, e-mail: nadotariki@gmail.com.

Евдокименко Марина Александровна, канд. техн. наук., доцент кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ. Научные интересы: управление трафиком, качество обслуживания, информационная безопасность, безопасность беспроводных сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. +380577021320, e-mail: marina.ievdokymenko@nure.ua.

Oleksandra Yeremenko, Cand. of Sc., Senior Researcher, Doctoral Candidate of the Department of Infocommunication Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics. Research interests: NGN, Future Internet, Quality of Service, Traffic Management, Fault-Tolerant Routing, Network Security. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Ave., 14, Phone/fax: +380577021320, e-mail: oleksandra.yeremenko.ua@ieee.org.

Nadia Tariki, postgraduate student of the Department of Infocommunication Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics. Research interests: Traffic Management, Quality of Service, Fault-Tolerant Routing. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Ave., 14, Phone/fax: +380577021320, e-mail: nadotariki@gmail.com.

Maryna Yevdokymenko, Cand. of Sc., Associate Professor of the Department of Infocommunication Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics. Research interests: Traffic Management, Quality of Service, Information Security, Wireless Networks Security. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Ave., 14, Phone/fax: +380577021320, e-mail: marina.ievdokymenko@nure.ua.