

## РАЗРАБОТКА ТРЕХУРОВНЕВОГО МЕТОДА ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ЦЕЛЕВОЙ КООРДИНАЦИИ

ЛЕМЕШКО А.В., НЕВЗОРОВА Е.С.

Предлагается трехуровневый метод иерархической маршрутизации, основанный на принципе целевой координации. Метод основан на декомпозиционном представлении потоковой модели маршрутизации и включает в себя три уровня иерархии вычислений: на нулевом уровне происходит расчет маршрутных переменных приграничными маршрутизаторами каждого домена; на первом уровне осуществляется координация решений нулевого уровня с целью предотвратить перегрузку каналов связи в каждом отдельном домене, а задача координатора второго уровня состоит в обеспечении междоменного взаимодействия.

**Ключевые слова:** иерархическая маршрутизация, потоковая модель, метод целевой координации, трехуровневый метод, междоменная/внутридоменная маршрутизация.

**Key words:** hierarchical routing, flow-based model, goal coordination principle, tree-level method, inter-area/intra-area routing.

### 1. Введение

В современных территориально-распределенных телекоммуникационных сетях (ТКС) при обеспечении заданного уровня качества обслуживания (Quality of Service, QoS) все чаще приходится сталкиваться с проблемой масштабируемости сетевых решений. Это проявляется в том, что при росте размера сети, а также увеличении числа пользователей, количества и разнородности предоставляемых услуг существующие протоколы маршрутизации не всегда обеспечивают высокую эффективность функционирования ТКС.

В этой связи большинство протоколов маршрутизации, такие, например, как OSPF, IS-IS, BGP, PNNI [1, 2] для повышения масштабируемости сети ориентируют на реализацию иерархической маршрутизации, что отражается на снижении объемов циркулирующего в сети служебного трафика, времени расчета и размеров маршрутных таблиц. Однако данные протоколы в основном базируются на структурной иерархии построения сети, а заложенные в них комбинаторные алгоритмы расчета путей, к сожалению, особенности функциональной иерархии маршрутизаторов не учитывают. Это, в свою очередь, негативно сказывается как на показателях масштабируемости сети, так и на уровне качества обслуживания ТКС в целом.

При разработке перспективных протоколов и методов маршрутизации важно максимально учитывать требования системного подхода, адекватно

применяя положения, постулаты и принципы теории иерархических многоуровневых систем [3, 4]. Ранее положения данной теории были успешно использованы при двухуровневом решении по отдельности задач иерархической внутридоменной [5-7] и междоменной [8-9] маршрутизации. Поэтому в данной работе предлагается трехуровневый метод маршрутизации, учитывающий как внутридоменную, так и междоменную функциональную иерархию расчета маршрутов в телекоммуникационной сети.

### 2. Потоковая декомпозиционная модель иерархической маршрутизации

Пусть структура ТКС представлена в виде ориентированного графа  $G = (M, E)$ , где  $M$  – множество вершин графа, которые моделируют маршрутизаторы сети, а  $E$  – множество ребер графа, моделирующих каналы связи. Обозначим через  $K$  множество потоков, циркулирующих в сети, тогда  $|K| = \tilde{K}$  – мощность множества  $K$ , количественно характеризующая общее число потоков в ТКС. Обозначим через  $K_r$  ( $K_r \in K$ ) множество потоков маршрутизируемых  $r$ -м ( $r \in M$ ) маршрутизатором. Для каждого  $k_r$ -го потока ( $k_r \in K_r$ ) считается известной его средняя скорость пакетов (интенсивность) –  $\lambda^{k_r}$ , измеряемая в пакетах в секунду ( $1/c$ ).

В ходе разработки декомпозиционной модели междоменной маршрутизации предположим, что телекоммуникационная сеть состоит из  $N$  взаимосвязанных между собой подсетей – доменов. Тогда пусть каждый отдельный  $p$ -й домен в ТКС описывается с помощью подграфа  $G^p = (M^p, E^p)$  графа  $G$ , где  $M^p = \{M_i^p; i = \overline{1, m_p}\}$  – множество маршрутизаторов  $p$ -го домена, а  $m_p$  – их общее число в домене;  $E^p = \{E_{i,j}^p; i, j = \overline{1, m_p}, i \neq j\}$  – это множество каналов, соединяющих маршрутизаторы  $p$ -го домена.

Условимся, что в ходе декомпозиции ТКС граница доменов проходит через маршрутизаторы сети, как это реализовано, например, в протоколе OSPF:

$$M^p \cap M^q \neq \emptyset \text{ и } E^p \cap E^q = \emptyset,$$

т.е. некоторые маршрутизаторы ТКС могут принадлежать одновременно нескольким смежным доменам. Также для каждого  $p$ -го домена определим множество приграничных маршрутизаторов  $V^p$ , где  $V^p \in M^p$ , через которые потоки поступают или убывают из данного домена. В свою очередь все множество приграничных маршрутизаторов

р-го домена можно разделить на два подмножества:  $V_{in}^{p,k_r}$  ( $k_r \in K_r$ ) – подмножество приграничных маршрутизаторов, через которые  $k_r$ -й поток поступает в р-й домен;  $V_{out}^{p,k_r}$  – подмножество приграничных маршрутизаторов, через которые  $k_r$ -й поток убывает из р-го домена. Для каждого канала связи р-го домена через  $\phi_{(i,j)}^p$  обозначим его пропускную способность, измеряемую в пакетах в секунду (1/с).

Пусть в ходе решения задачи иерархическо-координационной междоменной маршрутизации для каждого р-го домена необходимо рассчитать маршрутные переменные  $x_{(i,j)}^{p,k_r}$ , которые характеризуют долю интенсивности  $k_r$ -го потока пакетов, протекающего в канале  $E_{i,j}^p \in E^p$ . Для каждого маршрутизатора р-го домена необходимо выполнить условия сохранения для каждого  $k_r$ -го потока в целях обеспечения связности рассчитываемых междоменных маршрутов в сети. Если р-й домен является транзитным для  $k_r$ -го потока пакетов, то подобные условия имеют вид [8-9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{V_{in}^{p,k_r} \in B^p} \left( \sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{(i,j)}^{p,k_r} - \sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{(j,i)}^{p,k_r} \right) = 1; \\ \sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{(i,j)}^{p,k_r} - \sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{(j,i)}^{p,k_r} = 0; \\ \sum_{V_{out}^{p,k_r} \in B^p} \left( \sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{(i,j)}^{p,k_r} - \sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{(j,i)}^{p,k_r} \right) = -1. \end{array} \right. \quad (1)$$

Система уравнений (1) должна выполняться для каждого  $k_r$ -го потока пакетов в отдельности, причем первое условие системы (1) охватывает все приграничные маршрутизаторы, через которые  $k_r$ -й поток поступает в р-й домен; второе условие вводится для тех маршрутизаторов р-го домена, которые для  $k_r$ -го потока являются транзитными; третье условие должно выполняться для всех приграничных маршрутизаторов, через которые  $k_r$ -й поток убывает из р-го домена.

Если  $k_r$ -й поток пакетов сгенерирован в р-м домене, а его источником является, например, марш-

рутизатор  $M_1^p$ , то для этой сети первое условие системы (1) несколько упростится и примет вид

$$\sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{(i,j)}^{p,k_r} = 1.$$

Остальные равенства в системе (1) останутся неизменными. В случае, когда маршрутизатор  $M_1^p$  р-го домена выступает получателем пакетов  $k_r$ -го потока, то упростится лишь последнее уравнение системы (1), принимая следующий вид:

$$\sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{(j,i)}^{p,k_r} = 1.$$

С целью предотвратить перегрузку каналов связи р-го домена мультитокетовым трафиком важно выполнить следующие условия:

$$\sum_{M_1^p \in M^p} \sum_{k_r \in K_r} \lambda^{k_r} x_{(i,j)}^{p,k_r} \leq \phi_{(i,j)}^p;$$

данное условие ориентировано на централизованную маршрутизацию, когда расчет переменных  $x_{(i,j)}^{p,k_r}$  происходит на едином сервере маршрутов.

При реализации иерархической распределенной маршрутизации подобных серверов несколько, в их роли могут выступать маршрутизаторы из множества  $M^p$ . В этом случае условия примут следующий вид:

$$\sum_{k_r \in K_r} \lambda^{k_r} x_{(i,j)}^{p,k_r} \leq \phi_{(i,j)}^p - \sum_{\substack{M_s^p \in M^p \\ s \neq r}} \sum_{k_s \in K_s} \lambda^{k_s} x_{(i,j)}^{p,k_s}, \quad p = \overline{1, N}. \quad (2)$$

При реализации однопутевой маршрутизации на маршрутные переменные накладываются ограничения вида:

$$x_{(i,j)}^{p,k_r} \in \{0,1\}, \quad (3)$$

а для обеспечения реализации многопутевой маршрутизации – ограничения вида:

$$0 \leq x_{(i,j)}^{p,k_r} \leq 1. \quad (4)$$

Маршрутные переменные (3), (4) являются координатами соответствующих маршрутных векторов, которые в соответствии с проведенной структурной декомпозицией подлежат функциональной декомпозиции:

$$\bar{x}_p = \begin{bmatrix} \bar{x}_p^{-1} \\ \bar{x}_p^{-2} \\ \vdots \\ \bar{x}_p^{-k_r} \\ \vdots \\ \bar{x}_p^{-M^p} \end{bmatrix}, \quad \bar{x}_p^r = \begin{bmatrix} \bar{x}_p^{k_1} \\ \bar{x}_p^{k_2} \\ \vdots \\ \bar{x}_p^{k_r} \\ \vdots \\ \bar{x}_p^{\tilde{k}_r} \end{bmatrix}, \quad \bar{x}_p^{k_r} = \begin{bmatrix} x_{(1,2)}^{p,k_r} \\ x_{(1,3)}^{p,k_r} \\ \vdots \\ x_{(i,j)}^{p,k_r} \\ \vdots \\ x_{(m_p, m_p-1)}^{p,k_r} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

В векторно-матричной форме условия (2) можно представить в виде:

$$\sum_{k_r \in K_r} B_r^p \bar{x}_p^{k_r} \leq D_r^p \bar{\varphi}_p - \sum_{\substack{M_s^p \in M^p \\ s \neq r}} \sum_{k_s \in K_s} C_{rs}^p \bar{x}_p^{k_s}, \quad (6)$$

где  $\bar{x}_p^{k_r}$  – вектор, координатами которого являются искомые переменные  $x_{(i,j)}^{p,k_r}$ ;  $\bar{\varphi}_p$  – вектор пропускных способностей каналов связи ТКС с координатами  $\varphi_{(i,j)}^p$ ;  $B_r^p$ ,  $D_r^p$ ,  $C_{rs}^p$  – согласующие матрицы, так как размерности векторов  $\bar{x}_p^{k_r}$  ( $M_r^p \in M^p$ ) и  $\bar{\varphi}_p$ , а также нумерации их координат в общем случае могут не совпадать.

При распределенном (децентрализованном) расчете вектора  $\bar{x}_p^{k_r}$  в пределах каждого отдельного  $p$ -го домена важно обеспечить связность междоменных маршрутов, т.е. маршрутов, проходящих через множество маршрутизаторов различных доменов. Это подразумевает введение в структуру модели (1)-(5) дополнительных условий междоменного взаимодействия:

$$C_{p,q}^{k_r} \bar{x}_p^{k_r} = C_{q,p}^{k_r} \bar{x}_q^{k_r}, \quad p, q = \overline{1, n}, \quad p \neq q, \quad k_r \in K_r, \quad (7)$$

где  $C_{p,q}^{k_r}$  – матрица взаимодействия  $p$ -го и  $q$ -го доменов, имеющая размер  $m_{p,q} \times m_x^{p,k_r}$ ;  $m_{p,q} = |M^p \cap M^q|$  – число маршрутизаторов, через которые проходит граница между  $p$ -м и  $q$ -м доменом;  $m_x^{p,k_r}$  – число координат  $x_{(i,j)}^{p,k_r}$  вектора  $\bar{x}_p^{k_r}$ .

### 3. Трехуровневый метод иерархической маршрутизации

Основываясь на предложенной выше математической модели (1)-(7), в основу предлагаемого метода иерархическо-координационной междоменной маршрутизации положено решение оптимизационной задачи по расчету векторов маршрутных переменных  $\bar{x}_p^{k_r}$  ( $p = \overline{1, N}, k_r \in K_r$ ) при соблюдении ограничений (1)-(4), (7) в ходе использования следующего критерия оптимальности получаемых решений [5-9]:

$$\min F, \quad F = \sum_{p \in N} \sum_{M_r^p \in M^p} \sum_{k_r \in K_r} (\bar{x}_p^{k_r})^t H_p^{k_r} \bar{x}_p^{k_r}. \quad (8)$$

Здесь  $H_p^{k_r}$  – диагональная матрица весовых коэффициентов, координатами которой, как правило, являются маршрутные метрики каналов связи в  $p$ -

м домене ТКС;  $[\cdot]^t$  – операция транспонирования вектора (матрицы). Целевая функция  $F$  численно характеризует суммарные условные затраты на организацию процесса междоменной маршрутизации в ТКС.

Для придания искомым решениям свойств иерархическо-координационной маршрутизации в ходе решения сформулированной оптимизационной задачи, связанной с минимизацией выражения (8) при наличии ограничений (1)-(4), (7) использован принцип целевой координации [2-3]. Тогда, переходя к задаче на безусловный экстремум

$$\min_x F = \max_{\mu, \eta} L,$$

необходимо максимизировать по векторам множителей Лагранжа  $\bar{\mu}$  и  $\bar{\eta}$  лагранжиан вида:

$$L = \sum_{p \in N} \sum_{M_r^p \in M^p} \sum_{k_r \in K_r} (\bar{x}_p^{k_r})^t H_p^{k_r} \bar{x}_p^{k_r} + \\ + \sum_{p=q=1}^N \sum_{\substack{M_r^p \in M^p \\ q \neq p}} \sum_{k_r \in K_r} \bar{\mu}_{p,q}^{k_r} (C_{p,q}^{k_r} \bar{x}_p^{k_r} - C_{q,p}^{k_r} \bar{x}_q^{k_r}) + \\ + \sum_{p=1}^N \sum_{M_r^p \in M^p} \bar{\eta}_p^{k_r} \left( \sum_{k_r \in K_r} B_r^p \bar{x}_p^{k_r} - D_r^p \bar{\varphi}_p + \sum_{\substack{M_s^p \in M^p \\ s \neq r}} \sum_{k_s \in K_s} C_{rs}^p \bar{x}_p^{k_s} \right), \quad (9)$$

$\bar{\mu}_{p,q}^{k_r}$  – подвекторы вектора  $\bar{\mu}$ , отнесенные к каждому из векторно-матричных условий взаимодействия  $p$ -го и  $q$ -го доменов, представленных выражением (7);  $\bar{\eta}_p^{k_r}$  – подвекторы вектора  $\bar{\eta}$ , отнесенные к каждому из условий (6), представленных в каждом  $p$ -м домене.

В виду того, что в рамках принципа целевой координации векторы множителей Лагранжа  $\bar{\mu}$ ,  $\bar{\eta}$  рассчитываются на верхнем уровне и для нижнего уровня являются известными значениями, выражение (9) можно представить в следующей декомпозиционной форме:

$$L = \sum_{p=1}^N \sum_{M_r^p \in M^p} L_r^p, \\ L_r^p = \sum_{k_r \in K_r} (\bar{x}_p^{k_r})^t H_p^{k_r} \bar{x}_p^{k_r} + \\ + \sum_{\substack{q=1 \\ p \neq q}}^N \sum_{k_r \in K_r^+} \bar{\mu}_{p,q}^{k_r} C_{p,q}^{k_r} \bar{x}_p^{k_r} - \sum_{\substack{q=1 \\ p \neq q}}^N \sum_{k_r \in K_r^-} \bar{\mu}_{q,p}^{k_r} C_{p,q}^{k_r} \bar{x}_p^{k_r} + \\ + \bar{\eta}_p^{k_r} \left( \sum_{k_r \in K_r} B_r^p \bar{x}_p^{k_r} - D_r^p \bar{\varphi}_p + \sum_{\substack{M_s^p \in M^p \\ s \neq r}} \sum_{k_s \in K_s} \bar{\eta}_p^{k_s} C_{sr}^p \bar{x}_p^{k_s} \right). \quad (10)$$

Таким образом, общая проблема междоменной многопоточковой маршрутизации формулируется как задача иерархическо-координационной трехуровневой оптимизации и декомпозируется на ряд маршрутных задач. Задача нулевого иерархического уровня сводится к расчету маршрутных переменных, представленных векторами  $\bar{x}_p^{k_r}$  ( $p = \overline{1, N}, M_p^r \in M^p, k_r \in K_r$ ). На первом уровне предлагаемого метода в ходе минимизации выражения (10) происходит координация решений, полученных с нулевого уровня, в целях предотвращения перегрузок каналов связи (2) в каждом отдельно взятом домене:

$$\bar{\eta}_p^{k_r}(a+1) = \bar{\eta}_p^{k_r}(a) + \nabla \bar{\eta}_p^{k_r}, \quad (11)$$

где  $a$  – номер итерации работы координатора первого уровня;  $\nabla \bar{\eta}_p^{k_r}$  – градиент функции (11), который рассчитывается исходя из получаемых с нижнего уровня результатов решения задач маршрутизации  $\bar{x}_p^{k_r^*}$  ( $p = \overline{1, N}, M_p^r \in M^p, k_r \in K_r$ ) в каждом конкретном домене:

$$\nabla \bar{\eta}_p^{k_r}(x) \Big|_{x=x^*} = \sum_{k_r \in K_r} B_r^p \bar{x}_p^{k_r} - D_r^p \bar{\phi}_p + \sum_{\substack{M_s^p \in M^p \\ s \neq r}} \sum_{k_s \in K_s} C_{rs}^p \bar{x}_p^{k_s}. \quad (12)$$

При приближении координат градиента  $\nabla \bar{\eta}_p^{k_r}$  к нулю будет обеспечиваться выполнение условия предотвращения перегрузки (2) для каждого отдельного домена.

Задача координатора второго уровня состоит в обеспечении выполнения условий междоменного взаимодействия (7) путём модификации векторов множителей Лагранжа в ходе выполнения следующей градиентной итерационной процедуры:

$$\bar{\mu}_{p,q}^{k_r}(b+1) = \bar{\mu}_{p,q}^{k_r}(b) + \nabla \bar{\mu}_{p,q}^{k_r}, \quad (13)$$

где  $b$  – номер итерации работы координатора второго уровня;  $\nabla \bar{\mu}_{p,q}^{k_r}$  – градиент функции (13), который рассчитывается исходя из получаемых на нижнем уровне результатов решения задач маршрутизации  $\bar{x}_p^{k_r^*}$  ( $p = \overline{1, N}, k_r \in K_r$ ) в каждом конкретном домене:

$$\nabla \bar{\mu}_{p,q}^{k_r}(x) \Big|_{x=x^*} = C_{p,q}^{k_r} \bar{x}_p^{k_r} - C_{q,p}^{k_r} \bar{x}_q^{k_r}. \quad (14)$$

При приближении значений координат градиента (14) к нулю обеспечивается связность междоменных маршрутов. Общий оптимум достигается, когда  $\nabla \bar{\eta}_p^{k_r}(x)$  и  $\nabla \bar{\mu}_{p,q}^{k_r}(x)$  приближаются к нулю.

Эффективность предложенного трехуровневого метода иерархическо-координационной междо-

менной маршрутизации с точки зрения оптимальности и оперативности получаемых решений во многом зависит от скорости сходимости координирующей процедуры второго уровня (11)-(12) и третьего уровня (13)-(14). С технологической точки зрения, чем меньше итераций потребуется для получения искомого оптимального решения, тем ниже объем циркулирующего в сети служебного трафика, передаваемого между иерархическими уровнями о результатах расчетов на каждой из итераций, и время решения задачи маршрутизации в ТКС в целом.

#### 4. Выводы

Предложен трёхуровневый метод иерархическо-координационной маршрутизации. Он является усовершенствованием метода междоменной маршрутизации [8-9], в рамках которого расчет маршрутных переменных внутри доменов проводился централизованно. С целью повысить масштабируемость решений задачи маршрутизации предлагается децентрализовать (распределить) расчет маршрутов внутри каждого домена по приграничным маршрутизаторам ТКС. В основу предложенного метода положен принцип целевой координации, с помощью которого удалось разделить задачу расчета маршрутных переменных для передачи потока от отправителя к получателю на три уровня с последовательной координацией решений. На нулевом уровне происходит расчет маршрутных переменных приграничными маршрутизаторами каждого домена; на первом уровне осуществляется координация решений нулевого уровня в целях предотвращения перегрузки каналов связи в каждом отдельном домене, а задача координатора второго уровня состоит в обеспечении междоменного взаимодействия.

**Литература:** 1. *Uyless D. Black*. IP routing protocols: RIP, OSPF, BGP, PNNI and Cisco routing protocols. Prentice Hall PTR, 2000. 287 p. 2. *Osterloh H*. IP Routing Primer Plus. Sams Indianapolis, IN, USA, 2000. 3. *Mesarovic M.D., Macko D., Takahara Y*. Theory of hierarchical, multi-level, system. New York and London: Academic Press, 1970. 344 p. 4. *Singh M. G., Titli A.*, Systems: Decomposition, Optimization and Control. Pergamon. Oxford, 1978. 5. *Rak J*. Resilient Routing in Communication Networks (Computer Communications and Networks), Springer. 1st edition, 2015. 6. *Wright B*. Inter-Area Routing, Path Selection and Traffic Engineering. Metaswitch Networks, 2009. 44 p. 7. *Lemeshko O., Nevzorova O., Hailan A*. The increasing convergence of coordination procedure in the implementation of multipath hierarchical routing // Proceedings of First International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications Science and Technology”, PICS&T’2014. Kharkiv, Ukraine, 2014. P. 45-48. 8. *Nev-*

zorova Ye.S., Arous K. M., Salakh M. T. R. Method for hierarchical coordinated multicast routing in a telecommunication network // Telecommunication and Radio Engineering. 2016. Volume 75. P. 1137-1151. 9. Lemeshko O., Nevzorova O., Vavenko V. Hierarchical coordination method of inter-area routing in telecommunication network // Proceedings of International Conference "Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo)". Kyiv, Ukraine, 2016. P.1-4. 10. Yeremenko O., Nevzorova O., Ali Salem Ali. Two-level method of fault-tolerant inter-area routing // 14<sup>th</sup> International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD System in Microelectronic" (CADSM). Polyana-Svalyava (Zakarpatya), Ukraine. 2017. P 105-108.

#### **Transliterated bibliography.**

1. Uyless D. Black. IP routing protocols: RIP, OSPF, BGP, PNNI and Cisco routing protocols. Prentice Hall PTR, 2000. 287 p.
2. Osterloh H. IP Routing Primer Plus. Sams Indianapolis, IN, USA, 2000.
3. Mesarovic M.D., Macko D., Takahara Y. Theory of hierarchical, multilevel, system. New York and London: Academic Press, 1970. 344 p.
4. Singh M. G., Titli A., Systems: Decomposition, Optimization and Control. Pergamon. Oxford, 1978.
5. Rak J. Resilient Routing in Communication Networks (Computer Communications and Networks), Springer. 1st edition, 2015.
6. Wright B. Inter-Area Routing, Path Selection and Traffic Engineering. Metaswitch Networks, 2009. 44 p.
7. Lemeshko O., Nevzorova O., Hailan A. The increasing convergence of coordination procedure in the implementation of multipath hierarchical routing // Proceedings of First International Scientific-Practical Conference "Problems of Infocommunications Science and Technology", PICS&T'2014. Kharkiv, Ukraine, 2014. P. 45-48.

8. Nevzorova Ye.S., Arous K. M., Salakh M. T. R. Method for hierarchical coordinated multicast routing in a telecommunication network // Telecommunication and Radio Engineering. 2016. Volume 75. P. 1137-1151.

9. Lemeshko O., Nevzorova O., Vavenko V. Hierarchical coordination method of inter-area routing in telecommunication network // Proceedings of International Conference "Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo)". Kyiv, Ukraine, 2016. P. 1-4.

10. Yeremenko O., Nevzorova O., Ali Salem Ali. Two-level method of fault-tolerant inter-area routing // 14<sup>th</sup> International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD System in Microelectronic" (CADSM). Polyana-Svalyava (Zakarpatya), Ukraine. 2017. P 105-108.

Поступила в редколлегию 12.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Поповский В.В.

**Лемешко Александр Витальевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. +38 (057) 70 21 320. E-mail: oleksandr.lemeshko@nure.ua

**Невзорова Елена Сергеевна**, аспирант кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел.: +38 (057) 70 21 320. E-mail: olena.nevzorova@nure.ua

**Lemeshko Oleksandr**, sciences doctor (technic), professor, professor of infocommunication engineering department, Kharkiv National University of Radioelectronics. Address: Ukraine, Kharkiv, Nauka ave., 14. Tel. +38 (057) 702 13 20. E-mail: oleksandr.lemeshko@nure.ua

**Nevzorova Olena**, post-graduate student of infocommunication engineering department, Kharkiv National University of Radioelectronics. Address: Ukraine, Kharkiv, Nauka ave., 14. Tel: +38 (057) 702 13 20. E-mail: olena.nevzorova@nure.ua