

# УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ МАРШРУТИЗАЦИИ OSPF, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ПОВЫШЕННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СЕТЕЙ СВЯЗИ

С.И. Макаренко<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ООО «Корпорация «Интел групп»,  
Санкт-Петербург, 197372, Российская Федерация  
\*Адрес для переписки: mak-serg@yandex.ru

## Информация о статье

УДК 004.722

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Макаренко С.И. Усовершенствованный протокол маршрутизации OSPF, обеспечивающий повышенную устойчивость сетей связи // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 2. С. 82–90.

**Аннотация:** В статье представлен вариант усовершенствованного протокола OSPF, обеспечивающего повышенную устойчивость сети связи. Повышение устойчивости протокола OSPF достигается за счет более полного использования им имеющегося топологического ресурса сети, а также формирование у данного протокола дополнительной функциональности – способности одновременно с поиском кратчайших путей формировать дополнительные резервные пути.

**Ключевые слова:** сеть связи, протокол маршрутизации, устойчивость сети, конвергенция сети, время сходимости, OSPF.

## Введение

Анализ основных тенденций развития телекоммуникационных сетей (ТКС) специального назначения (СН), представленный в работе [1], показал, что их особенностью является функционирование в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий радиоэлектронного и информационно-технического характера. При этом используемые в ТКС СН протоколы маршрутизации ориентированы на псевдостатическую структуру сети и, как показали теоретические и экспериментальные исследования автора [2, 3], этим протоколам свойственны длительные процессы восстановления связи при изменении топологии сети, централизация принятия решений о перемаршрутизации потоков трафика, недостаточно проработанные механизмы своевременного обнаружения изменений в топологии сети. Основным концептуальным недостатком протоколов маршрутизации является низкая эффективность реакции на изменения топологии сети их математической основы – алгоритмов поиска кратчайших путей. Подавляющая часть широко используемых протоколов маршрутизации

(OSPF, IS-IS, IGRP, EIGRP, PNNI и др.) основана на алгоритмах Дейкстры и Беллмана-Форда, которые являются «поглощающими» и по своей сути не способны одновременно с поиском кратчайших путей в сети строить множество резервных путей, которые можно использовать в случае изменения топологии. Имеющиеся алгоритмы поиска нескольких путей между узлами (например, алгоритм Йена) являются итерационными и основаны на последовательном поиске все тех же кратчайших путей при удалении отдельных ребер сети. Однако в таких алгоритмах количество итераций резко возрастает при увеличении размерности сети, что препятствует применению этих алгоритмов в составе протоколов маршрутизации реальных ТКС. Указанные факторы ведут к существенному снижению устойчивости ТКС СН при использовании в них стандартных протоколов маршрутизации.

Одним из направлений устранения вышеуказанных недостатков существующих протоколов маршрутизации и, соответственно, повышения устойчивости ТКС СН является использование имеющегося топологического ресурса в сети и формирование у

известных протоколов маршрутизации дополнительной функциональности – способности одновременно с поиском кратчайших путей находить дополнительные резервные пути. Данные пути предполагается использовать в случае, если в результате преднамеренных дестабилизирующих воздействий топология сети изменилась и требуется произвести пересчет кратчайших маршрутов, но без прерывания процессов передачи трафика.

Этот подход в теоретическом виде формализован в форме метода обеспечения устойчивости телекоммуникационной сети за счет использования ее топологической избыточности в работе автора [4]. В работе автора [5] на основе данного метода предложена модификация алгоритма поиска кратчайших путей Дейкстры в направлении повышения устойчивости, за счет дополнительного формирования в сети как кратчайших, так и резервных путей. В настоящей статье предлагается рассмотреть применение вышеуказанных методов и модифицированного алгоритма Дейкстры к практике, а именно – к совершенствованию протокола маршрутизации OSPF (*от англ.* Open Shortest Pass First) в интересах повышения устойчивости ТКС СН, функционирующей на основе данного протокола.

### Особенности протокола OSPF

Протокол OSPF – стандартный протокол маршрутизации по состоянию каналов, поддерживающий работу со стеками протоколов TCP/IP и IP/MPLS, алгоритм поиска маршрута в котором основан на алгоритме Дейкстры. Полное описание протокола OSPF представлено в RFC 2328 [6] и в работе [7]. Рассмотрим основные особенности протокола OSPF, значимые для решения задачи повышения устойчивости ТКС СН.

В OSPF в качестве метрики  $M$  канала связи (КС) используется интегральный коэффициент качества обслуживания:

$$M = k_1 \frac{10^8}{C} + k_2 T_{\text{зад}}, \quad (1)$$

где  $C$  – пропускная способность канала связи, бит/с;  $T_{\text{зад}}$  – задержка передачи в канале связи, с;  $k_1, k_2$  – коэффициенты, определяющие значимость параметров (по умолчанию для протокола OSPF  $k_1 = 1, k_2 = 0$ ).

Вычисляемая протоколом OSPF метрика пути представляет собой сумму метрик всех КС, входящих в состав пути. Если в процессе формирования дерева кратчайших путей в ТКС СН маршрутизатор обнаруживает более чем один путь к какому-либо узлу или подсети, то он использует только один путь с наименьшей метрикой. Каждый маршрутизатор обладает полной информацией о состоянии всех интерфейсов всех маршрутизаторов сети и самостоятельно решает задачу определения маршрутов передачи трафика.

Для транспортных целей OSPF напрямую использует протокол IP, т.е. он не использует для передачи своих сообщений протоколы UDP или TCP. При отправке своих сообщений протокол OSPF использует свой код в соответствующем протокольном поле IP-заголовка. Так как протокол OSPF не требует инкапсуляции своих пакетов, это сильно облегчает маршрутизацию в сетях с большим количеством шлюзов и сложной топологией (так как исключается лишняя циркуляция пакетов, что сокращает транзитный трафик).

Протокол OSPF основан на двухуровневой модели сети. Для обозначения выделенной автономной области маршрутизации в OSPF используется термин «опорной области» («backbone»). К конкретной опорной области все прочие области присоединяются через пограничные маршрутизаторы. Протокол OSPF реализует функции маршрутизации лишь в пределах одной конкретной опорной области, которая может охватывать любую часть сети (однако она должна быть непрерывной). Согласно негласному эмпирическому правилу в одной области не должно быть более 40 маршрутизаторов и она может быть поделена на отдельные подобласти, каждая из которых становится отдельным объектом маршрутизации, что позволяет значительно сократить необходимый объем таблицы маршрутизации (ТМ).

Для передачи маршрутной информации протокол OSPF использует широкоэвентральные рассылки сообщений Hello. В протоколе OSPF используется несколько временных параметров, и среди них наиболее важными являются интервал сообщения Hello и интервал отказа маршрутизатора [2]. Каждый маршрутизатор отправляет сообщение Hello каждому своему смежному маршрутизатору один раз на протяжении интервала Hello. Если по истечении интервала отказа маршрутизатора сообщение Hello от соседа не получено, то считается, что этот смежный маршрутизатор неработоспособен, и по сети распространяется объявление об изменении сетевых связей, чтобы другие маршрутизаторы произвели пересчет маршрутов. Интервал отказа маршрутизатора определяется как количество интервалов времени, которое должно пройти без получения сообщений Hello, чтобы соседний маршрутизатор стал считаться недоступным. Обычно интервал отказа маршрутизатора равен 1-5 интервалов Hello.

При обнаружении нового маршрутизатора смежные маршрутизаторы обмениваются информацией для аутентификации. Если эта операция проходит успешно, они передают друг другу свои системные идентификаторы. Когда интервал отказа маршрутизатора истекает, то маршрутизатор с наивысшим приоритетом и наибольшим идентификатором объявляет себя ответственным маршрутизатором (DR, *от англ.* Designated Router), а следующий за ним по

приоритету маршрутизатор объявляет себя резервным ответственным маршрутизатором (BDR, от англ. Backup Designated Roter). В BDR хранится копия ТМ и этот маршрутизатор берет на себя функции DR в случае, когда тот оказывается недоступным. DR отвечает за поддержание актуального состояния и синхронизацию ТМ всех маршрутизаторов опорной области, обновление информации о метрике КС, а также за широковещательную рассылку сообщений об изменениях топологии сети в данной опорной области.

При изменении состояния того или иного КС маршрутизатор, к которому этот КС подключен, посылает соответствующее сообщение DR, BDR и соседним маршрутизаторам, а те, в свою очередь, делают то же самое. Далее маршрутизаторы сравнивают номер версии состояния поддерживаемых ими КС с номерами версий, хранимых на DR. Используя широковещательные рассылки, маршрутизаторы обмениваются сообщениями об изменении состояний КС, поддерживая актуальность как своих, так ТМ в DR. Причем в каждом таком сообщении указывается временная метка для того, чтобы сообщение, прибывшее позже нового из-за случайных задержек в сети, не нарушило актуальность ТМ. В случае отказа КС маршрутизаторы отправляют друг другу не все содержимое ТМ, а только данные о КС, изменивших свое состояние. Маршрутизаторы обмениваются не только своими, но и чужими сообщениями о топологических связях, получая данные о состоянии всех КС сети. На основе этих данных формируется граф сети, идентичный для всех маршрутизаторов опорной области. Кроме данных о соседях, маршрутизатор в своем сообщении перечисляет подсети, с которыми он непосредственно связан. Поэтому после получения информации о графе связей в сети, вычисление маршрута до каждой подсети производится непосредственно по этому графу, при этом вычисление маршрутов, как до узлов опорной области, так и к другим подсетям производится по алгоритму Дейкстры.

Общая схема функционирования маршрутизатора со стандартным протоколом OSPF представлена на рисунке 1.

### Модифицированный алгоритм Дейкстры

В основе предлагаемого усовершенствования протокола OSPF лежит использование модифицированного алгоритма поиска кратчайших путей Дейкстры, представленного в работе автора [5].

Рассмотрим кратко данный модифицированный алгоритм. При его формализации используются следующие обозначения:

$D = \{d_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$  – множество расстояний до помеченных вершин от начальной вершины;  
 $d_i$  – расстояние от вершины  $U_1$  до вершины  $U_i$ , полученное при использовании алгоритма поиска кратчайших путей;

$G(U, V)$  – ориентированный граф, соответствующий ТКС СН;

$I = 1, \dots, n$  – переменная, счетчик вершин;

$J = 1, \dots, n$  – переменная, счетчик вершин;

$L$  – множество смежных помеченных вершин, содержащих множество расстояний от начальной вершины до помеченных вершин;

$L = \{l_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$  – множество смежных помеченных вершин;

$l_i = U_j$  – помеченная вершина, через которую достигнута вершина  $U_i$ ; по окончании работы алгоритма переменная  $l_i$  содержит кратчайшие пути от  $i$ -ой вершине к каждой вершине графа;

$n$  – количество вершин в графе;

$P$  – множество помеченных вершин;

$T$  – переменная, определяющая последнюю помеченную вершину;

$U_1$  – начальная вершина;

$V(U_i, U_j)$  – вес ребра, соединяющего  $i$ -ую и  $j$ -ую вершины;

$R = \{r\}$  – множество вершин потенциальных резервных путей (в это множество вносятся достигнутые вершины, смежные с рассматриваемой; в дальнейшем элементы множества используются при нахождении резервных путей);

$C = \{c\}$  – множество весов ребер потенциальных резервных путей (в это множество вносятся веса ребер, исходящих из вершин, вносимых в множество  $R$ , и входящих в рассматриваемую вершину);

$Z = \{z\}$  – множество резервных путей в вершину (содержит резервные пути в рассматриваемую вершину, сформированные в результате проведения логических операций над входящими в него элементами и элементами множеств  $R$  и  $L$ );

$S = \{s\}$  – множество весов резервных путей к вершине (содержит веса путей из множества  $Z$  и используется для ранжировки резервных путей при выводе результатов работы алгоритма).

Схема модифицированного алгоритма Дейкстры приведена на рисунках 2а и 2б. К новым элементам алгоритма относятся блоки 16–23, 25.

В блоках 16–17 реализуется формирование множества вершин  $R$  к текущей рассматриваемой вершине.

В блоках 18–23, путем пересечения множеств  $R$  и  $L$ , а также  $Z$ , осуществляется формирование множества  $Z$  резервных путей.

В блоке 25 осуществляется ранжировка резервных путей по сумме весов, входящих в их состав ребер.

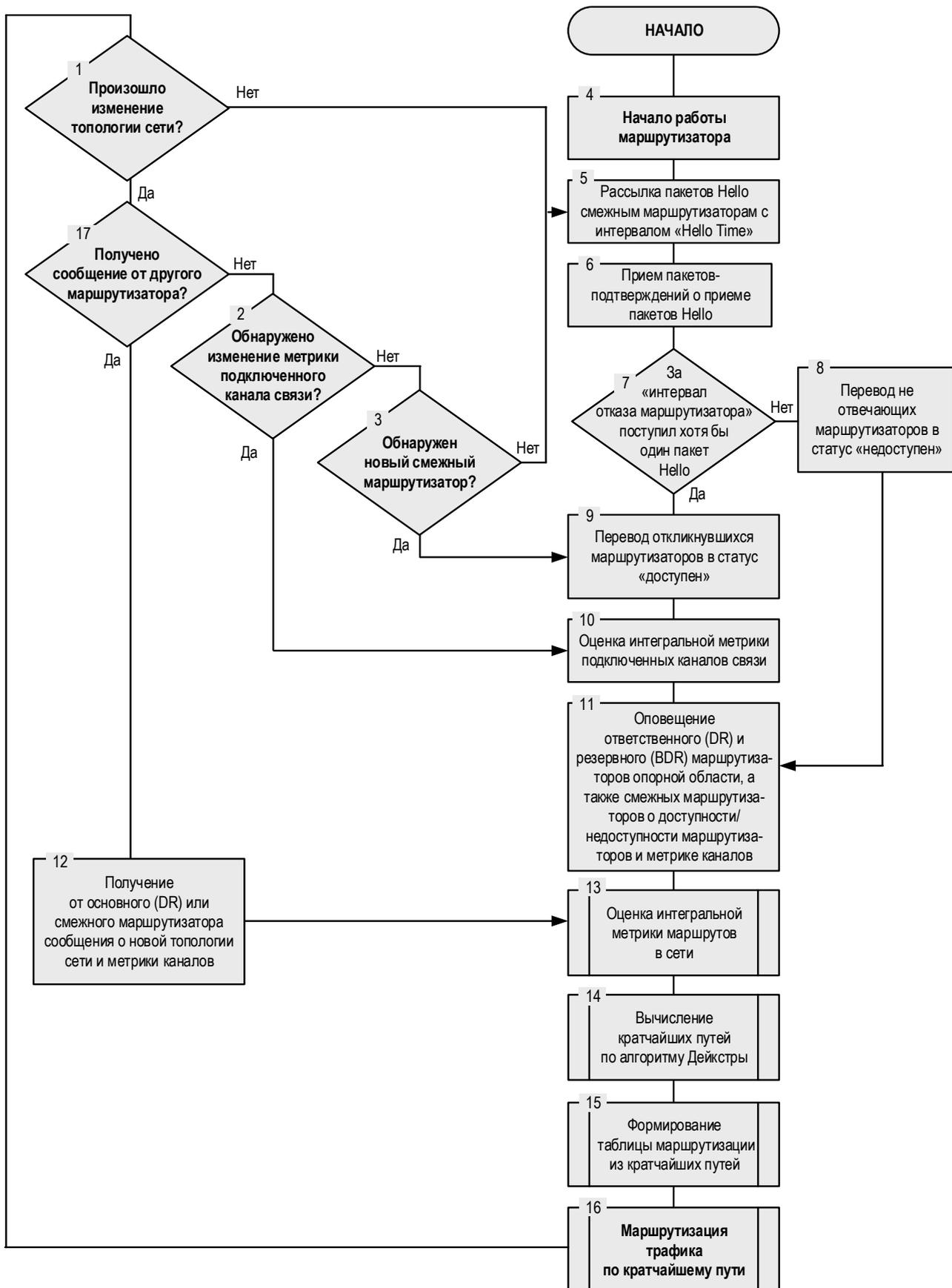


Рис. 1. Схема функционирования маршрутизатора на основе протокола OSPF

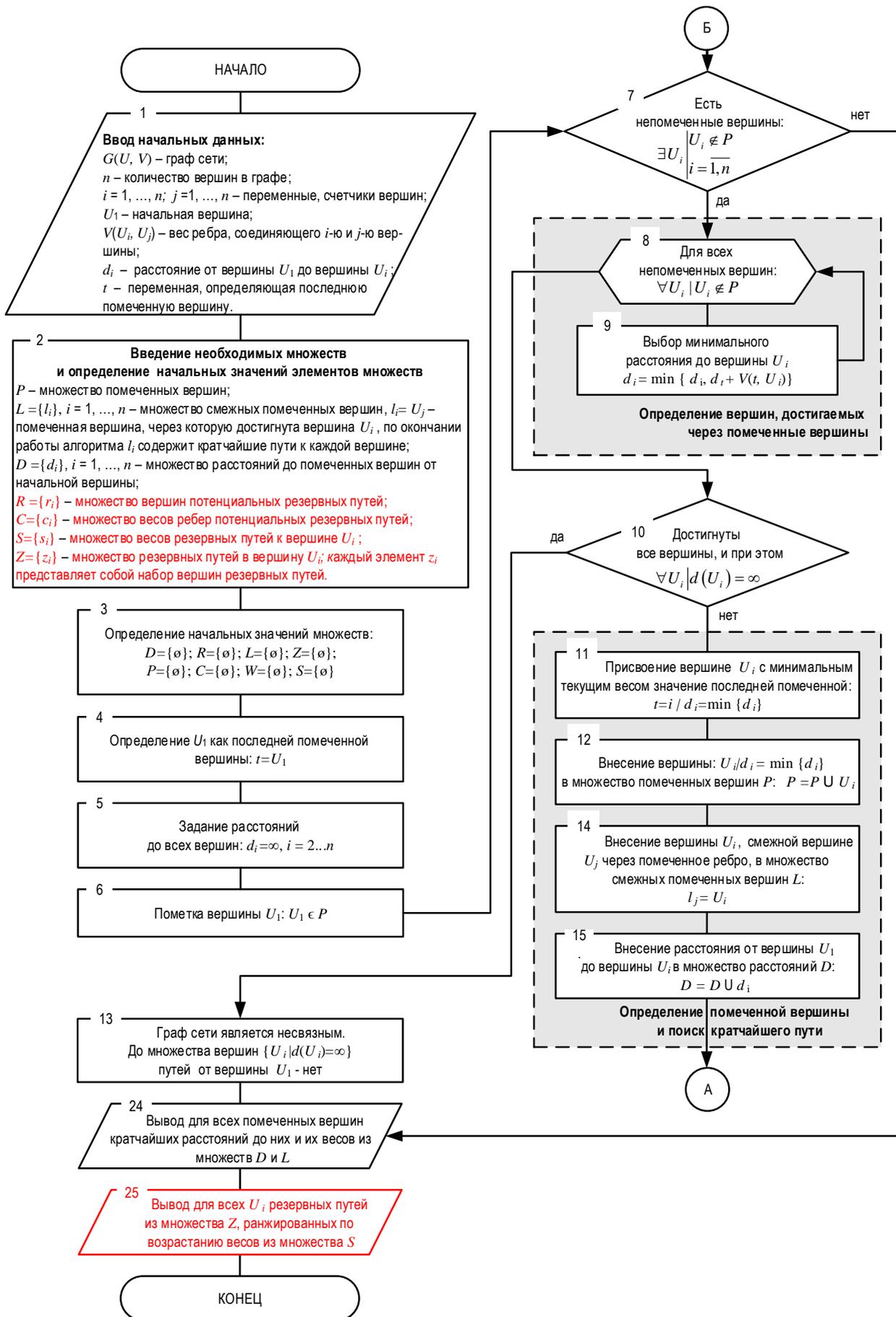


Рис. 2а. Модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей Дейкстры [5]

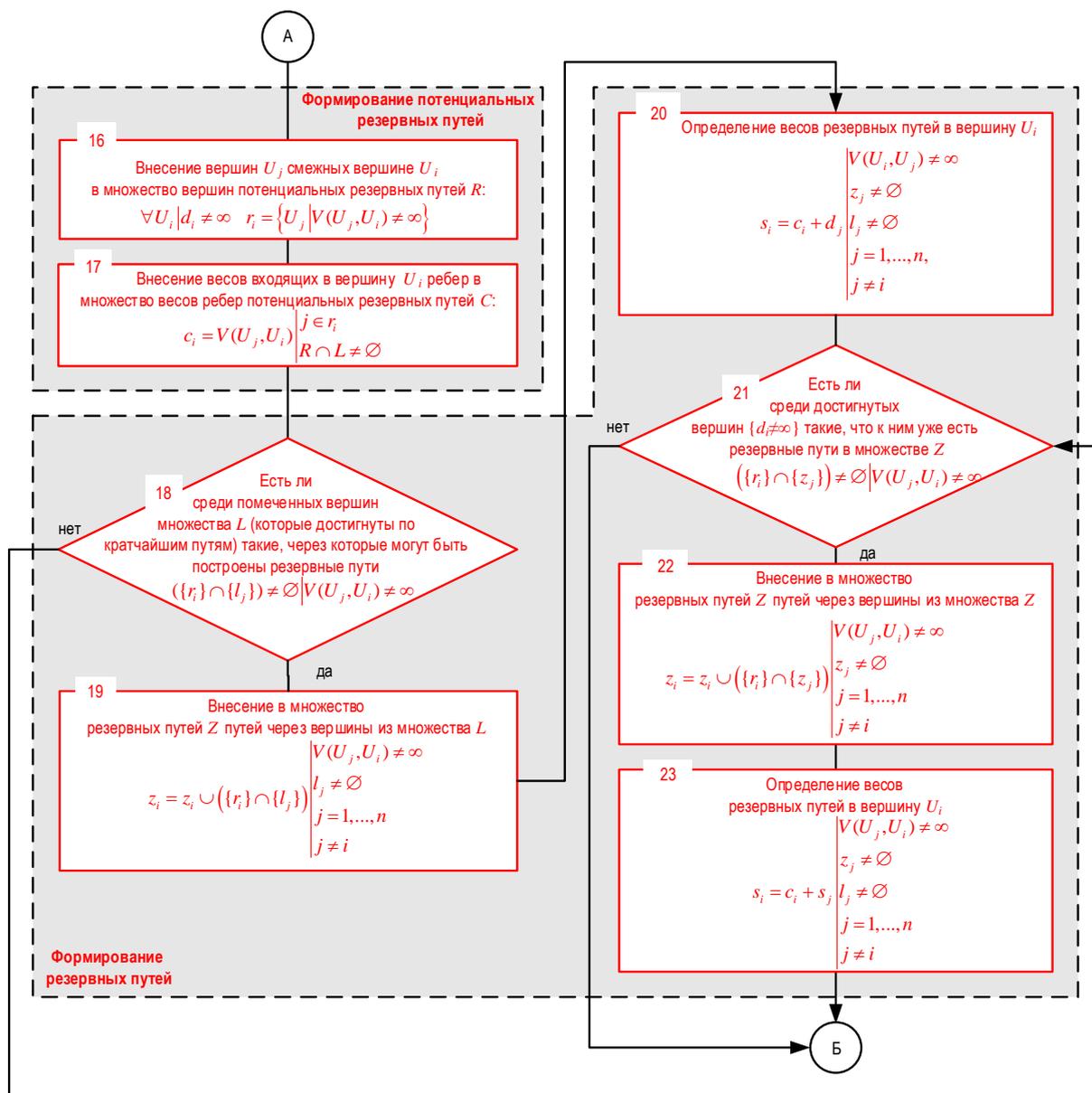


Рис. 26. Модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей Дейкстры [5] (продолжение)

**Усовершенствование протокола маршрутизации OSPF**

В рамках совершенствования протокола OSPF для использования его в составе ТКС СН предлагается реализовать несколько направлений доработки данного протокола:

- в метрике протокола необходимо явно учесть надежность каналов связи путем введения соответствующего параметра;
- расчет маршрутов необходимо вести по модифицированному алгоритму поиска кратчайших путей Дейкстры, представленному в работе [5], который одновременно с кратчайшими путями формирует и множество резервных путей;
- в таблице маршрутизации необходимо хранить как кратчайшие, так и непересекающиеся ре-

зервные маршруты, ранжированные по уровню увеличения суммарной метрики маршрута;

- при поступлении от ответственного маршрутизатора области или от смежных маршрутизаторов сообщения об изменении топологии сети или метрики КС, а также в случае самостоятельного выявления подобных фактов, маршрутизатор сразу же переходит на резервный маршрут, а уже потом производит оповещение ответственного маршрутизатора и смежных маршрутизаторов, ведет пересчет кратчайших путей и формирование новых маршрутов.

Остальные усовершенствования относительно стандартного протокола OSPF представлены на рисунке 3. К измененным функциям относятся блоки 10-12 и 16-19.

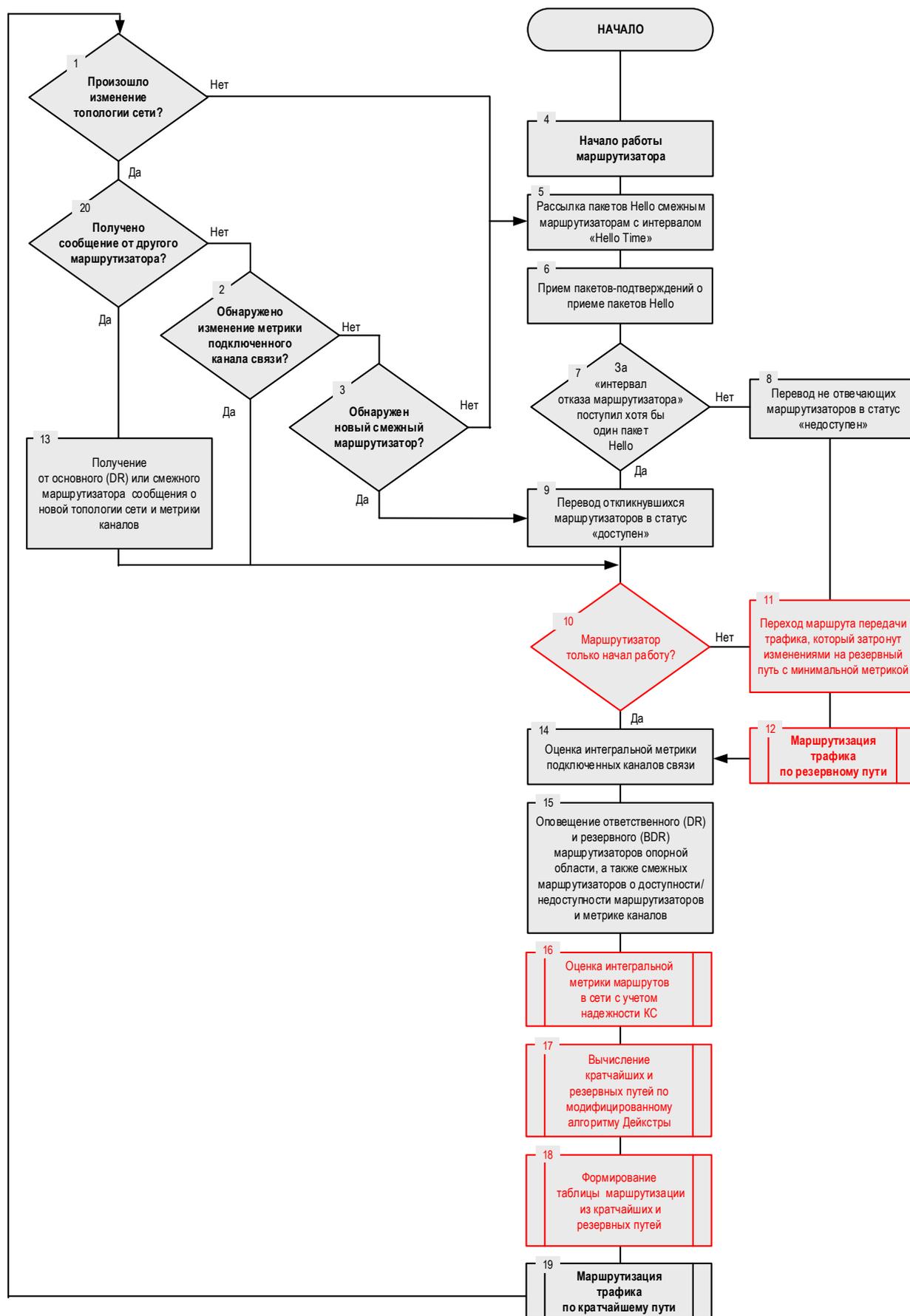


Рис. 3. Схема функционирования маршрутизатора на основе усовершенствованного протокола OSPF

Блок 10 выступает своеобразным «логическим вентиляем», который на начальном этапе работы маршрутизатора позволяет сформировать ТМ из кратчайших и резервных путей, а в дальнейшем, при любых изменениях в сети, перенаправляет трафик, на который влияют произошедшие изменения, на резервные пути (блоки 11, 12). Переход трафика на резервные пути позволяет не прерывать передачу данных при выполнении операций, представленных в блоках 14–19.

Блок 16 содержит изменения связанные с усовершенствованием метрики КС, которые указаны ранее, а именно – переход вычислению метрики от выражения (1) к выражению (2).

Блок 17 отличается тем, что в нем вместо стандартного алгоритма Дейкстры вычисление кратчайших и резервных путей реализуется по модифицированному алгоритму.

В блоке 18 реализуется функция добавления в ТМ помимо кратчайших путей еще и резервных путей. Таким образом, маршрут передачи изменяется с резервного пути, введенного в блоке 12, на текущий кратчайший путь.

Учет в составе метрики КС параметра надежности предлагается вести путем использования интегральной метрики, подобной той, которая используется в протоколе IGRP:

$$M = \left( k_1 \frac{10^8}{C} + k_2 \frac{T_{\text{зад}}}{10} \right) \frac{k_3}{\eta + k_4}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – надежность канала связи, как доля успешно переданных по каналу связи пакетов;  $k_1, k_2, k_3, k_4$  – коэффициенты, определяющие значимость параметров.

#### Список используемых источников

1. Макаренко С.И. Перспективы и проблемные вопросы развития сетей связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 18–68.
2. Макаренко С.И. Время сходимости протоколов маршрутизации при отказах в сети // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 2. С. 45–98.
3. Макаренко С.И., Афанасьев О.В., Баранов И.А., Самофалов Д.В. Экспериментальные исследования реакции сети связи и эффектов перемаршрутизации информационных потоков в условиях динамического изменения сигнально-помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 4. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr16/4/text.pdf> (дата обращения: 30.05.2018).
4. Макаренко С.И. Метод обеспечения устойчивости телекоммуникационной сети за счет использования ее топологической избыточности // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 3. С. 14–30.
5. Цветков К.Ю., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Формирование резервных путей на основе алгоритма Дейкстры в целях повышения устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2 (69). С. 71–78.
6. RFC 2328. OSPF version 2. Ascend Communication, 1998. 244 p.
7. Программа сетевой академии Cisco. CCNA 1 и 2. М.: «Вильямс». 2008. 1168 с.
8. Goyal M., Soperi M., Baccelli E., Choudhury G., Shaikh A., Hosseini H., Trivedi K. Improving Convergence Speed and Scalability in OSPF: A Survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2012. Vol. 14. Iss. 2. PP. 443–463.
9. Goyal M., Xie W., Hosseini S.H., Vairavan K., Rohm D. Improving OSPF Dynamics on a Broadcast LAN // Simulation. 2006. Vol. 82. Iss. 2. PP. 107–129.
10. Goyal M., Xie W., Soperi M., Hosseini S.H., Vairavan K. Scheduling routing table calculations to achieve fast convergence in OSPF protocol // Fourth International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems (BROADNETS '2007). 2007. PP. 863–872.
11. Goyal M., Ramakrishnan K.K., Feng W.-C. Achieving faster failure detection in OSPF networks // IEEE International Conference on Communications (ICC '2003). 2003. Vol. 1. PP. 296–300.

#### Заключение

В связи с широкой распространенностью протокола OSPF и наличием у него определенных недостатков в части обеспечения устойчивости сети, вопросы его усовершенствования рассматривались во многих работах зарубежных и отечественных ученых [8–24]. Вместе с тем предложения по совершенствованию протокола маршрутизации OSPF, представленные в настоящей статье, отвечают критерию технической новизны:

1) в составе усовершенствованного протокола OSPF используется модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей Дейкстры [5], который впервые разработан автором и который одновременно с кратчайшими путями позволяет формировать и множество резервных путей;

2) в усовершенствованном протоколе OSPF изменена последовательность выполнения операций, а также введены дополнительные операции, выполняемые при изменении топологии сети, что позволяет снизить время восстановления связи при динамическом изменении как метрики отдельных КС, так и топологии сети в целом.

Практическая значимость предложений по совершенствованию протокола OSPF заключается в том, что они применимы к широкому спектру ТКС СН, использующим для маршрутизации трафика стандартный протокол OSPF, и позволяют реализовать повышение устойчивости ТКС СН по двум направлениям – за счет повышения структурной связности сети и за счет снижения длительности переходных режимов маршрутизации.

12. Siddiqi A., Nandy B. Improving Network Convergence Time and Network Stability of an OSPF-Routed IP Network // International Conference on Research in Networking. Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems. Lecture Notes in Computer Science. 2005. Vol. 3462. PP. 469–485.
13. Basu A., Riecke J. Stability issues in OSPF routing // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2001. Vol. 31. Iss. 4. PP. 225–236.
14. Pun H. Convergence Behavior of RIP and OSPF Network Protocols. PhD. thesis. B.A.Sc., University of British Columbia. 2001. 59 p.
15. Ayari N., Barbaron D., Lefevre L., Primet P. Fault tolerance for highly available internet services: concepts, approaches, and issues // IEEE Communication Surveys and Tutorials. 2008. Vol. 10. Iss. 2. PP. 34–46.
16. Dilber M. N., Raza A. Analysis of successive Link Failures effect on RIP and OSPF Convergence time delay // International Journal of Advances in Science and Technology. 2014. PP. 42–48.
17. Zhao D., Hu X., Wu C. A Study on the Impact of Multiple Failures on OSPF Convergence // International Journal of Hybrid Information Technology. 2013. Vol. 6. № 3. PP. 65–74.
18. Wang F., Chen S, Li X., Li Y. A Route Flap Suppression Mechanism Based on Dynamic Timers in OSPF Network // The 9th International Conference for Young Computer Scientists. 2008. PP. 2154–2159.
19. Перепелкин Д.А. Алгоритм адаптивной ускоренной маршрутизации на базе протокола OSPF при динамическом добавлении элементов корпоративной сети // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 34. С. 65–71.
20. Перепелкин Д.А. Алгоритм парных перестановок маршрутов на базе протокола OSPF при динамическом подключении узлов и линий связи корпоративной сети // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 4–1 (46). С. 67–75.
21. Перепелкин Д.А. Алгоритм парных перестановок маршрутов на базе протокола OSPF при динамическом отказе узлов и линий связи корпоративной сети // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 47. С. 84–91.
22. Перепелкин Д.А. Алгоритм адаптивной ускоренной маршрутизации на базе протокола OSPF при динамическом отказе элементов корпоративной сети // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2011. № 37. С. 53–58.
23. Перепелкин Д.А., Перепелкин А.И. Повышение качества функционирования корпоративных сетей на базе протокола OSPF // Качество. Инновации. Образование. 2010. № 12 (67). С. 51–56.
24. Перепелкин А.И., Перепелкин Д.А. Разработка алгоритма динамической маршрутизации на базе протокола OSPF в корпоративных вычислительных сетях // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2009. № 28. С. 68–72.

\* \* \*

## THE IMPROVED OSPF PROTOCOL FOR HIGH NETWORK STABILITY

S. Makarenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Intel Group Corporation ltd,  
St. Petersburg, 197372, Russian Federation

### Article info

Article in Russian

**For citation:** Makarenko S. The Improved OSPF Protocol for High Network Stability // Proceedings of Telecommunication Universities. 2018. Vol. 4. Iss. 2. PP. 82–90.

**Abstract:** *The improved OSPF routing protocol is presents in the paper. The improved OSPF protocol is to use topological network redundancy and create backup paths. This protocol provides high network stability, if the network topology changes rapidly.*

**Keywords:** *network, routing protocol, network stability, network convergence time, OSPF.*