

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ МАРШРУТИЗАЦИИ EIGRP, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ПОВЫШЕННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СЕТЕЙ СВЯЗИ

С.И. Макаренко^{1*}

¹ООО «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 EIGRP, обеспечивающий повышенную устойчивость сетей связи // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 3. С. 65–73.

Аннотация: В статье представлен вариант усовершенствованного протокола EIGRP, обеспечивающего повышенную устойчивость сети связи. Повышение устойчивости протокола EIGRP достигается за счет более полного использования им имеющегося топологического ресурса сети, а также за счет способности усовершенствованного протокола одновременно с поиском кратчайших путей формирования дополнительных резервных путей.

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

Введение

Анализ основных тенденций развития телекоммуникационных сетей (ТКС) специального назначения (СН), представленный в работах [1, 2], показал, что их особенностью является функционирование в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий радиоэлектронного и информационного характера. При этом используемые в ТКС СН протоколы маршрутизации ориентированы на псевдостатическую структуру сети и, как показали теоретические и экспериментальные исследования автора [3, 4], 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, EIGRP, IGRP,

PNN1 и др.) основана на алгоритмах Дейкстры и Беллмана-Форда, которые являются «поглощающими» и по своей сути не способны одновременно с поиском кратчайших путей строить в сети 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 в 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 одно-

временно 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 [5]. В работе автора [6] на основе данного метода предложена модификация алгоритма поиска кратчайших путей Беллмана-Форда в направлении повышения устойчивости, за счет дополнительного формирования в сети как кратчайших, так и резервных путей. В настоящей статье предлагается рассмотреть применение вышеуказанного метода и модифицированного алгоритма Беллмана-Форда к практике, а именно – к совершенствованию протокола маршрутизации EIGRP (от англ. Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) в интересах повышения устойчивости ТКС СН, функционирующей на основе данного протокола. Так как протокол является проприетарным, его полная спецификация отсутствует, а при формировании технических предложений были использованы открытые материалы компании-разработчика – Cisco Systems [7].

Особенности протокола EIGRP

Протокол EIGRP является протоколом оценки вектора расстояний (DVA, от англ. Distance Vector Algorithm) и основан на алгоритме диффузии обновлений маршрутизации (DUAL, от англ. Diffusing Update Algorithm). Он поддерживает бесклассовую междоменную маршрутизацию (CIDR, от англ. Classless InterDomain Routing), которая позволяет максимально использовать адресное пространство и маски подсети переменной длины (VLSM, от англ. Variable-Length Subnet Mask).

Метрика M отдельного канала связи в протоколе EIGRP вычисляется по формуле:

$$M = \left(k_1 \frac{10^7}{C} + \frac{k_2 \frac{10^7}{c}}{256(1 - \rho)} + k_3 \frac{T_{\text{зад}}}{10} \right) \frac{k_5}{\eta + k_4}, \quad (1)$$

где M – метрика канала связи; C – пропускная способность канала связи в отсутствии нагрузки (бит/с); ρ – нагрузка канала связи, в диапазоне 0..1; η – надежность канала связи, как доля успешно переданных по каналу связи пакетов; $T_{\text{зад}}$ – задержка передачи в канале связи (с); k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 – коэффициенты, определяющие значимость соответствующих параметров.

Главным компонентом протокола EIGRP является алгоритм DUAL. Алгоритм DUAL анализирует все маршруты, анонсированные соседними маршрутизаторами, и использует метрику каждого маршрута для их сравнения. Алгоритм DUAL также гарантирует, что маршруты не содержат петель. После соответствующих вычислений алгоритм DUAL заносит маршруты с наименьшей метрикой в таблицу маршрутизации (ТМ). Эти ТМ предоставляют алгоритму DUAL маршрутную информацию для расчета альтернативных маршрутов в случае нарушений в работе ТКС СН. Протокол передает основную маршрутную и топологическую информацию сети соседним маршрутизаторам.

Для повышения эффективности и уменьшения времени конвергенции сети протокол EIGRP рассчитывает несколько маршрутов до узла-получателя. Маршрут, выбираемый в качестве основного для достижения определенного узла, называется первичным. Для каждого конкретного узла может быть сформировано до четырех первичных маршрутов. Они могут иметь разные метрики и рассматриваются как наилучшие свободные от петель маршруты к данному узлу-получателю. Копии первичных маршрутов также помещаются в ТМ. Эти маршруты устанавливаются одновременно с первичными маршрутами по проприетарной технологии и также хранятся в ТМ. Наличие нескольких первичных маршрутов для достижения узла-получателя не является обязательным, но увеличивает надежность маршрутизации в сети.

Маршрутизатор рассматривает устройства на резервных маршрутах как устройства, расположенные ближе к узлу-получателю, чем он сам. Если по каким-либо причинам первичный маршрут не может выполнять свои функции, то алгоритм DUAL инициализирует другой первичный маршрут на основе данных ТМ и формирует новый маршрут к узлу назначения. Если резервный маршрут к узлу назначения отсутствует, то алгоритм DUAL переводит маршрут в активное состояние (active state). Статус маршрута в ТМ может иметь одно из двух значений: активное состояние или пассивное. Пассивный статус имеет маршрут, который устойчив и готов к использованию. Активный статус присваивается временно недоступному маршруту, который в настоящий момент пересчитывается алгоритмом DUAL с использованием математического алгоритма Беллмана-Форда.

Пересчет маршрутов происходит в том случае, когда маршрут становится недоступным, и DUAL не может найти другого альтернативного первичного маршрута. В этом случае маршрутизатор должен запросить дополнительные топологические данные у соседних маршрутизаторов.

Если у соседнего маршрутизатора имеется соответствующий маршрут, то он предоставляет данные об имеющихся у него первичных маршрутах. В этом случае маршрут устанавливается без пересчета. В противном случае, соседний маршру-

тизатором, и использует метрику каждого маршрута для их сравнения. Алгоритм DUAL также гарантирует, что маршруты не содержат петель. После соответствующих вычислений алгоритм DUAL заносит маршруты с наименьшей метрикой в таблицу маршрутизации (ТМ). Эти ТМ предоставляют алгоритму DUAL маршрутную информацию для расчета альтернативных маршрутов в случае нарушений в работе ТКС СН. Протокол передает основную маршрутную и топологическую информацию сети соседним маршрутизаторам.

тизатор уведомляет о том, что у него также нет маршрута к требуемому узлу назначения. Если один или более маршрутизаторов, которым был разослан запрос, не отвечает в течение времени, равного длительности «застревания» («stuck in active»), то маршрут (маршруты) переводится в состояние «застревания». В этом случае протокол EIGRP исключает из своей ТМ маршрутизаторы, которые не ответили на запрос, и регистрирует в системном журнале сообщение об ошибке для маршрутов, которые ранее были активными.

Маршрутизаторы на протоколе EIGRP активно устанавливают связи со своими соседними устройствами подобно тому, как это делают маршрутизаторы протокола OSPF. Это отличает EIGRP от маршрутизаторов на обычных дистанционно-векторных протоколах, например, RIP, выполняющих только широкоэвентельную рассылку обновлений маршрутов. Маршрутизаторы EIGRP устанавливают отношения смежности с соседними маршрутизаторами путем рассылки пакетов приветствия Hello. EIGRP предполагает, что до тех пор, пока от известных ему соседних устройств поступают пакеты Hello, они (и их маршруты) остаются действующими (пассивными).

Маршрутизатор протокола EIGRP сохраняет информацию о соседних устройствах в соответствующей таблице, называемой таблицей соседних устройств. В этой таблице записываются номера последних полученных от устройств пакетов протокола EIGRP, а также имеется поле «времени удержания» (Hold Time), в котором записано время получения последнего пакета. Для того, чтобы у соседнего маршрутизатора сохранялся статус пассивного (достижимого и работоспособного), необходимо, чтобы за время удержания от него поступил хотя бы один пакет Hello. Если в течение времени удержания от него не поступило пакетов Hello, то протокол EIGRP рассматривает этот соседний маршрутизатор как неработоспособный и алгоритм DUAL начинает пересчитывать ТМ. По умолчанию, время удержания в три раза больше интервала Hello, однако его можно, при необходимости, переконфигурировать.

Описание временных параметров протокола EIGRP приведено в таблице 1 по данным из работы [7].

Протокол EIGRP независим от используемого сетевого протокола, то есть он не использует протокол TCP/IP для обмена сообщениями маршрутизации. Протокол EIGRP использует свой транспортный протокол для гарантированной доставки информации о маршрутах. Так пакеты обновления ТМ всегда рассылаются методом гарантированной доставки, а пакеты Hello всегда рассылаются ме-

тодом негарантированной доставки и не требуют подтверждения.

ТАБЛИЦА 1. Параметры протокола EIGRP

Временной параметр	Пропускная способность	
	1,544 Мбит/с и менее	более 1,544 Мбит/с
Интервал приветствий (Hello Time)	60 с	5 с
Время удержания маршрута (Hold Time)	180 с	15 с
Время «застревания» маршрута (Stuck in Active)	180 с	

Для того, чтобы обеспечить гарантированную доставку сообщений, EIGRP использует пакеты-подтверждения от принимающего узла для узла-отправителя, представляющие собой пустые пакеты Hello. В отличие от многоадресных пакетов Hello, пакеты-подтверждения являются одноадресными и посылаются конкретному узлу. Подтверждение также может быть осуществлено путем совмещения передачи прямых и обратных пакетов других типов пакетов EIGRP.

Пакеты с обновлениями маршрутов используются в тех случаях, когда маршрутизатор обнаруживает новое соседнее устройство. В этих случаях маршрутизатор EIGRP посылает одноадресные пакеты обновления маршрутов этому новому соседнему устройству для того, чтобы оно могло добавить эту информацию в свою ТМ. Эти пакеты обновления используются также в тех случаях, когда маршрутизатор обнаруживает изменение топологии сети. В этом случае маршрутизатор рассылает многоадресные пакеты обновления всем своим соседним устройствам, предупреждая их об изменении топологии.

Схема функционирования маршрутизатора на базе протокола EIGRP приведен на рисунке 1.

Модифицированный алгоритм Беллмана-Форда

В основе предлагаемого усовершенствования протокола EIGRP лежит использование модифицированного алгоритма поиска кратчайших путей Беллмана-Форда. Данный модифицированный алгоритм был разработан путем применения общетеоретических положений авторского метода [5] к стандартному алгоритму Беллмана-Форда. В результате был разработан новый модифицированный алгоритм Беллмана-Форда, который был ранее опубликован автором в работе [6].

Рассмотрим кратко данный модифицированный алгоритм.

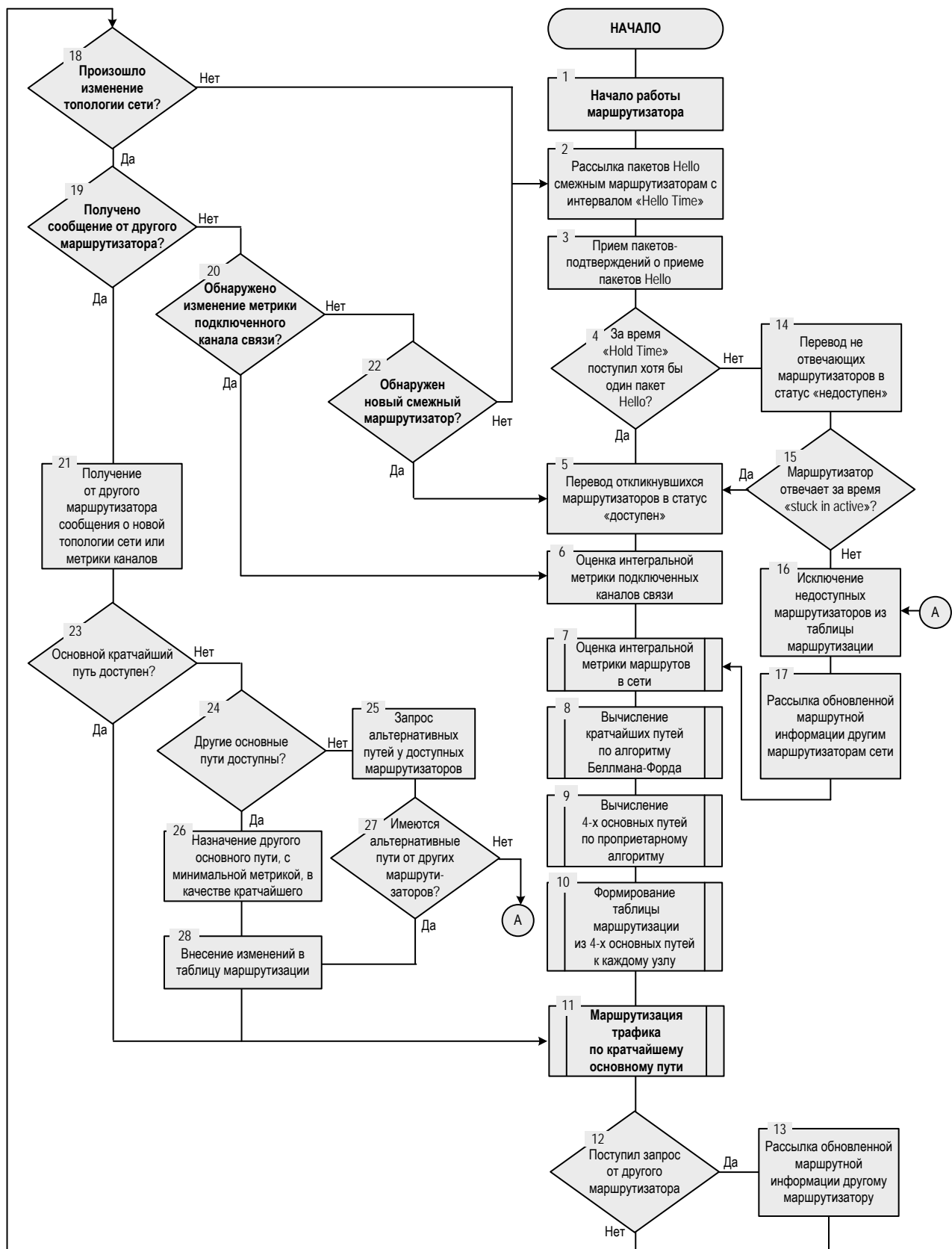


Рис. 1. Схема функционирования маршрутизатора на основе протокола EIGRP

Для формализации модифицированного алгоритма Беллмана-Форда используем 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 сети 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 l_i содержит кратчайшие пути к каждой вершине;

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 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 множествами R и L ;

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

Схема модифицированного алгоритма Беллмана-Форда приведена на рисунках 2а, 2б. К новым элементам модифицированного алгоритма Беллмана-Форда относятся блоки 7, 8, 17–22, 24.

В блоках 7, 8 реализуется формирование элементов множества вершин потенциальных резервных путей R к текущей рассматриваемой вершине. Далее, в блоках 17–22, путем пересечения элементов множества R и L , а также множества Z , осуществляется формирование элементов множества резервных путей в вершину Z . В блоке 24

осуществляется ранжирование резервных путей, находящихся в множестве Z по сумме весов, входящих в их состав ребер, которые в свою очередь находятся в множестве S .

Усовершенствование протокола маршрутизации EIGRP

Протокол EIGRP является проприетарным, при этом алгоритм DUAL в части формирования основных путей не является полностью открытым. В связи с этим совершенствование протокола EIGRP фактически заключается в разработке на его основе нового протокола, в котором исключены «закрытые» проприетарные операции.

В рамках совершенствования протокола EIGRP предлагается реализовать несколько направлений его доработки:

а) необходимо исключить «проприетарные операции» формирования четырех основных путей и заменить их на расчет маршрутов по модифицированному алгоритму поиска кратчайших путей Беллмана-Форда, впервые разработанному в данном исследовании, который одновременно с кратчайшими путями формирует и множество резервных путей;

б) в ТМ вместо четырех основных путей предлагается хранить как кратчайшие, так и непересекающиеся резервные маршруты, ранжированные по уровню увеличения суммарной метрики маршрута;

в) при поступлении от других маршрутизаторов сообщения об изменении топологии ТКС СН 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, смежных маршрутизаторов, ведет пересчет кратчайших путей и формирование новых маршрутов.

Схема усовершенствованного протокола EIGRP относительно стандартного протокола EIGRP представлена на рисунке 3.

К измененным функциям усовершенствованного протокола EIGRP относятся блоки 6, 9–10 и 14–15 на рисунке 3. К функциям, которые были удалены, относятся блоки 9–10, 23–24, 26 на рисунке 2.

Блок 6 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 потоки трафика, на которые влияют произошедшие изменения, на резервные пути (блоки 14, 15). Переход передачи трафика на резервные пути позволяет не прерывать передачу данных при выполнении операций, представленных в блоках 16–20 и 7–10.

Блок 9 отличается тем, что в нем вместо вычисления метрики по стандартному алгоритму Беллмана-Форда реализуется вычисление кратчайших и резервных путей по модифицированному алгоритму Беллмана-Форда.

В блоке 10 реализуется функция добавления в ТМ помимо кратчайших путей еще и резервных путей. Таким образом, маршрут передачи изменится с резервного пути, введенного в блоке 15, на текущий кратчайший путь.

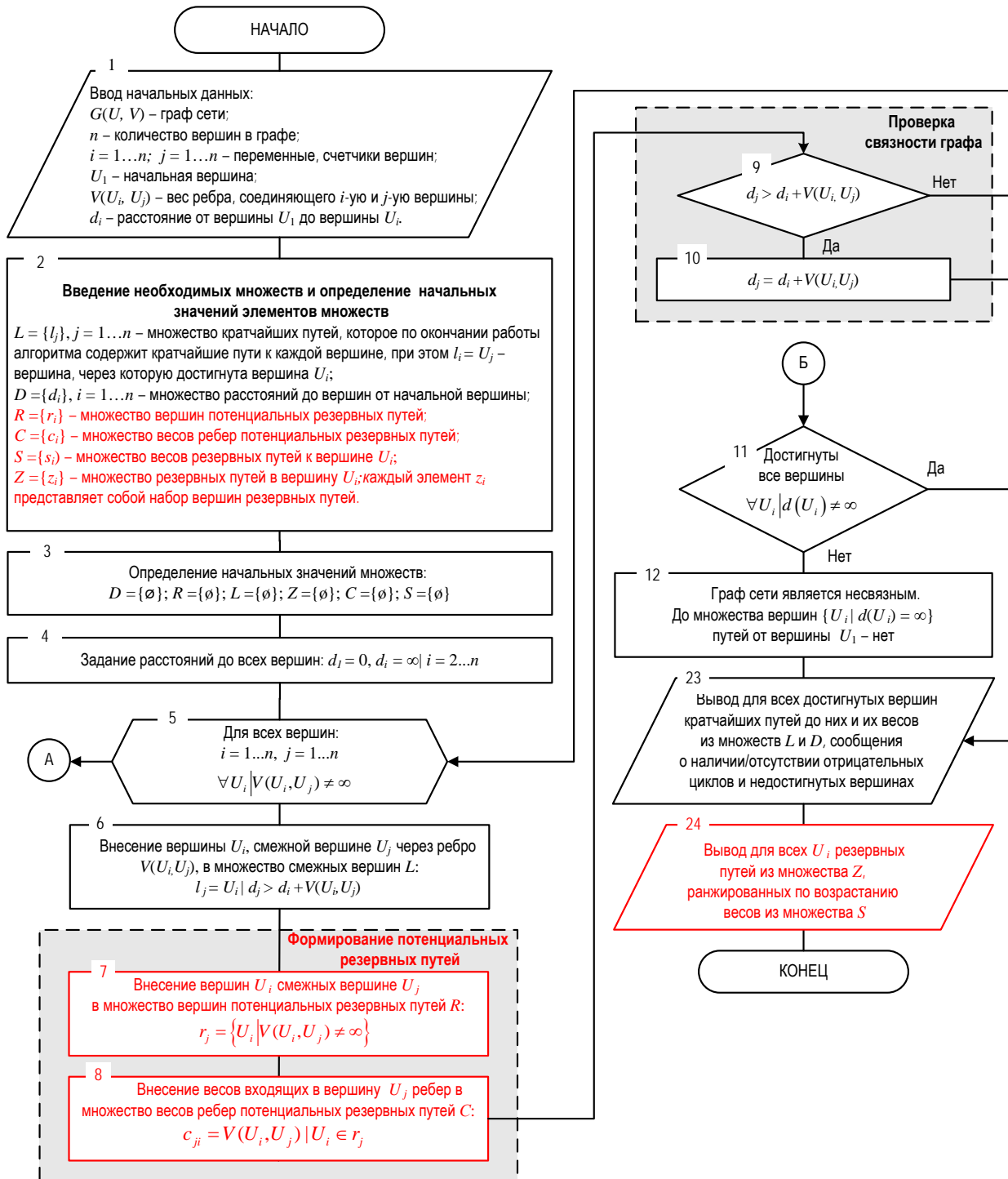


Рис. 2а. Модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей Беллмана-Форда [6]

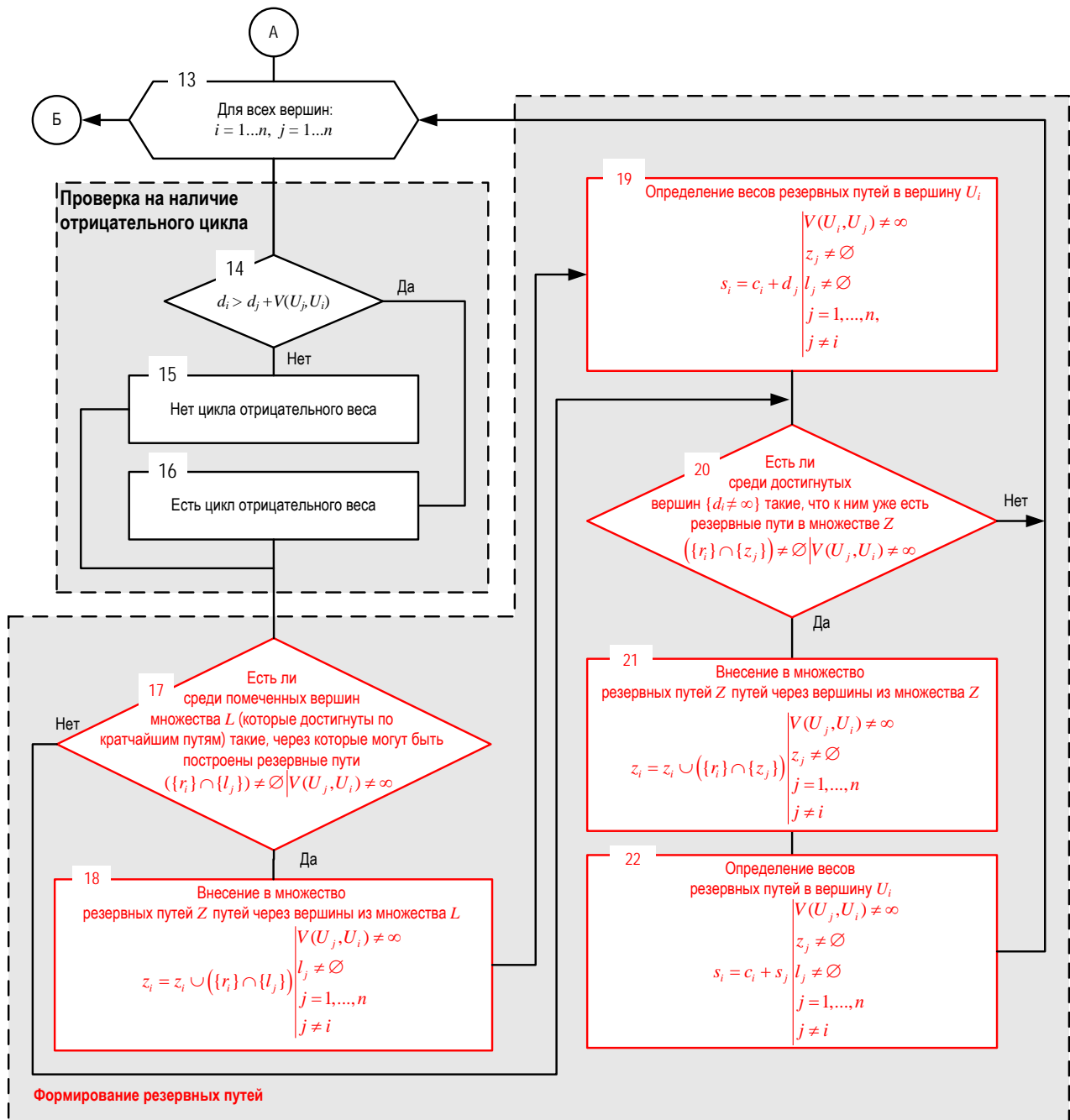


Рис. 26. Модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей Беллмана-Форда [6] (продолжение)

Заключение

Технической новизной разработанных предложений по совершенствованию протокола маршрутизации EIGRP, которая отличает данные предложения от уже известных [8–15], является следующее:

1) в составе усовершенствованного протокола EIGRP используется модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей Беллмана-Форда [6], который впервые разработан автором и который одновременно с кратчайшими путями позволяет формировать и множество резервных путей;

2) в усовершенствованном протоколе EIGRP изменена последовательность выполнения опера-

ций, а также введены дополнительные операции, выполняемые при изменении топологии сети, что позволяет снизить время восстановления связи при динамическом изменении, как метрики отдельных каналов, так и топологии сети в целом.

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

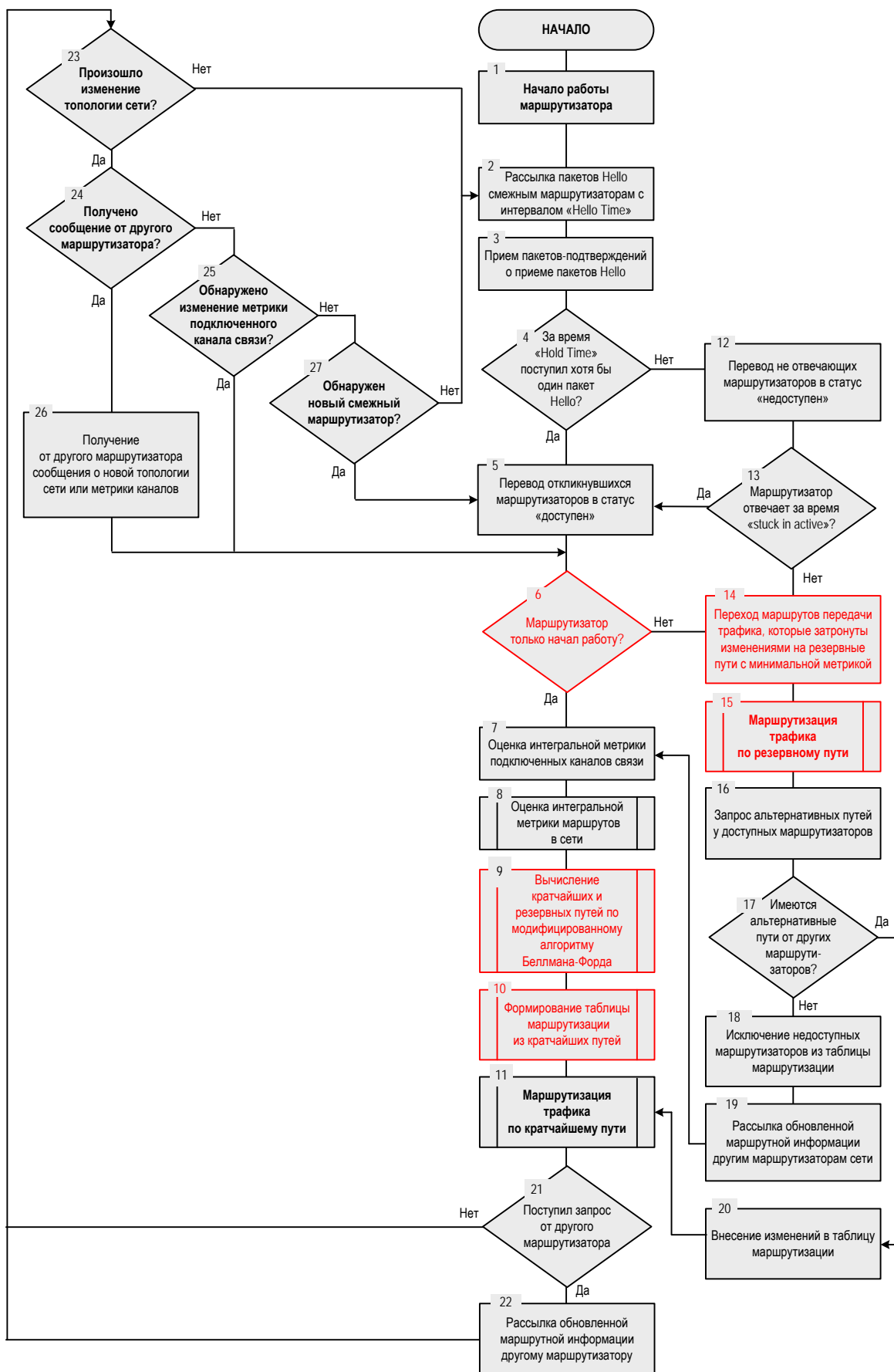


Рис. 3. Схема функционирования маршрутизатора на основе усовершенствованного протокола EIGRP

Список используемых источников

1. Макаренко С.И. Описательная модель сети связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 113–164.
2. Макаренко С.И. Перспективы и проблемные вопросы развития сетей связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 18–68.
3. Макаренко С.И. Время сходимости протоколов маршрутизации при отказах в сети // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 2. С. 45–98.
4. 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).
5. Макаренко С.И. Метод обеспечения устойчивости телекоммуникационной сети за счет использования ее топологической избыточности // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 3. С. 14–30.
6. Макаренко С.И., Квасов М.Н. Модифицированный алгоритм Беллмана-Форда с формированием кратчайших и резервных путей и его применение для повышения устойчивости телекоммуникационных систем // Инфокоммуникационные технологии. 2016. Т. 14. № 3. С. 264–274.
7. Программа сетевой академии Cisco. CCNA 1 и 2. М.: Вильямс, 2008. 1168 с.
8. Перепелкин Д.А. Повышение качества функционирования корпоративных сетей на базе протокола EIGRP // Качество. Инновации. Образование. 2012. № 5(84). С. 99–106.
9. Перепелкин Д.А. Алгоритм парных перестановок маршрутов на базе протокола IGRP в корпоративных сетях // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 12. С. 39–43.
10. Перепелкин Д.А. Алгоритм адаптивной ускоренной маршрутизации на базе протокола IGRP при динамическом отказе узлов и линий связи корпоративной сети // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2012. № 42-1. С. 33–38.
11. Михайлов Р.Л. Модели и алгоритмы маршрутизации в транспортной наземно-космической сети связи военного назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 3. С. 52–82.
12. Михайлов Р.Л. Помехозащищенность транспортных сетей связи специального назначения. Череповец: ЧВВИУРЭ, 2016. 128 с.
13. Полукаров Д.Ю. Нечеткая аппроксимация метрики протокола IGRP // Инфокоммуникационные технологии. 2006. Т. 4. № 4. С. 51–54.
14. Красов А.В., Левин М.В., Цветков А.Ю. Метод управления трафиком в гибридной программно-определяемой сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 2. С. 53–63.
15. Snigurov A., Chakrrian V. Improvement of EIGRP protocol routing algorithm based on information security metrics // 2nd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S and T 2015), Kharkiv. 2015. PP. 263–265.

* * *

THE IMPROVED EIGRP PROTOCOL FOR HIGH NETWORK STABILITY

S. Makarenko¹

¹Intel Group Corporation ltd,
St. Petersburg, 197372, Russian Federation

Article info

Article in Russian

For citation: Makarenko S. The Improved EIGRP Protocol for High Network Stability // Proceedings of Telecommunication Universities. 2018. Vol. 4. Iss. 3. PP. 65–73.

Abstract: *The improved EIGRP routing protocol is presents in the paper. The improved EIGRP 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, EIGRP.*