

УДК 004.057.4; 004.724.4

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗЕРВНЫХ ПУТЕЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ДЕЙКСТРЫ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

К. Ю. Цветков^а, доктор техн. наук, профессор

С. И. Макаренко^а, канд. техн. наук, доцент

Р. Л. Михайлов^а, адъюнкт

^аВоенно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, РФ

Постановка задачи: анализ исследований в области устойчивости маршрутизации показал, что основным направлением модификации алгоритмов поиска кратчайших путей является совершенствование представления и формата исходных данных за счет учета в метрике ребер факторов, определяющих те или иные свойства реальной сети. Целью работы является повышение устойчивости связи путем модификации алгоритма Дейкстры, позволяющей одновременно с решением задачи поиска кратчайших путей сформировать резервные пути к узлам сети. **Методы:** в интересах использования топологической избыточности сети связи модифицируется алгоритм Дейкстры в направлении расширения его функциональности за счет формирования как кратчайших, так и резервных путей. Данное расширение обеспечивается введением дополнительных множеств в расчет, а также новых блоков в тело алгоритма. **Результаты:** разработан модифицированный алгоритм Дейкстры, модификация которого основана на использовании входящих в узлы ребер для построения резервных путей к узлам. Оценка прироста устойчивости сети связи осуществлена по показателю вероятности устойчивости информационного направления. Рассмотрена работа алгоритма на примере сети и показано, что его применение дает повышение устойчивости от 5 до 35 % по обоснованному показателю. **Практическая значимость:** предложенная модификация алгоритма Дейкстры может быть использована для улучшения эффективности протоколов OSPF и PNNI при маршрутизации информационных потоков в сети с каналами связи в условиях воздействия на них деструктивных факторов.

Ключевые слова — алгоритм Дейкстры, маршрутизация, резервирование каналов связи, OSPF, PNNI, ATM, устойчивость связи, надежность связи.

Введение

В условиях стремительной информатизации общества особую актуальность приобретает обеспечение устойчивости информационно-телекоммуникационных систем (ИТКС). Проведенный в работе [1] анализ деструктивно-разрушающих воздействий на элементы современных ИТКС показал, что ИТКС (в особенности специального назначения), как правило, функционируют в условиях ограниченной надежности узлов и каналов связи, что вступает в противоречие с высокими требованиями по качеству обслуживания абонентов [2].

Одним из решений, направленных на обеспечение устойчивости сети в условиях ограниченной надежности ИТКС на сетевом уровне, является эффективное управление топологическим ресурсом ИТКС, а именно внедрение топологических структур с высокой избыточностью и живучестью [2–7], а также маневр маршрутами передачи информационных потоков в ИТКС [2–4, 8, 9].

Решение задачи использования топологических структур с высокой избыточностью и живучестью в транспортных сетях за счет резервирования каналов связи и применения циклических топологических структур описано в работах [5, 6, 10].

Решения, связанные с применением протоколов различных версий алгоритма Spanning Tree (STP, RSTP, MSTP, PVST) и протокола EAPS (Ethernet Automatic Protection Switching) [9], а также технологии пакетного кольца с самовосстановлением RPR (Resilient Packet Ring) [10] используют маневр маршрутами передачи информационных потоков в ИТКС. Сюда же можно отнести и исследования технологий П-циклов (P-cycles) [6, 11] в ИТКС, основанных на выделении и дальнейшем использовании циклических топологических структур в составе ИТКС для обеспечения структурной избыточности и резервирования маршрутов передачи информационных потоков. Декомпозиция ИТКС на циклические топологические структуры [11] логично расширяет область применения циклических топологических структур для повышения структурной избыточности от транспортных сетей к ИТКС произвольной архитектуры.

Проведенный в работах [2, 12, 13] анализ алгоритмических и протокольных решений производителей сетевого оборудования показал, что в настоящее время в протоколах маршрутизации при решении задач поиска кратчайших путей получил широкое распространение алгоритм Дейкстры [2, 13–18]. Данный алгоритм используется в протоколе маршрутизации OSPF (Open

Shortest Path First) [13, 15], а также при маршрутизации информационных потоков по меткам в сетях ATM по протоколам PNNI (Private Network-Network Interface), LSP (Label-Switched Path) и MPLS (Multiprotocol Label Switching) [2]. Целью данной работы является модификация алгоритма Дейкстры, позволяющая одновременно с решением задачи поиска кратчайших путей сформировать резервные пути к узлам сети, за счет чего можно обеспечить:

- использование топологической избыточности ИТКС протоколами маршрутизации, основанными на алгоритме Дейкстры, в направлении повышения устойчивости их функционирования при отказах элементов сети;

- снижение времени реакции протоколов маршрутизации, основанных на алгоритме Дейкстры, за счет включения в таблицу маршрутизации информации о резервных путях и минимизации времени перехода к использованию этих путей при отказе элементов сети.

Анализ публикаций, находящихся в открытом доступе, показал, что подобные цели ставились и разрешались в работах [14, 17–23]. Однако в основной части работ по решению задач маршрутизации в ИТКС не используется модификация самого алгоритма поиска кратчайшего пути. Достижения основаны на совершенствовании представления и формата исходных данных для алгоритма за счет учета в метрике ребер исследуемых факторов, определяющих те или иные свойства реальной сети. Так, в работах [14, 17] предлагается использовать метрику ребер сети в виде нечеткого множества. В работе [14] предложен вариант реализации и приведен пример функционирования алгоритма Дейкстры с такими нечеткими метриками пути. В работе [18] предложена гибридная метрика для алгоритма Дейкстры в интересах решения задачи перераспределения информационных потоков с учетом как состояния, так и текущей загрузки элементов сети связи.

В работах [20–23] рассмотрены алгоритмы маршрутизации в сетях с быстроизменяющейся топологией и предложены подходы к их модификации за счет учета вероятностных характеристик работы сети, а также учета движения абонентов. Однако в этих работах не были представлены решения по модификации самого алгоритма маршрутизации за счет введения в него элементов формирования резервных путей и последующего их использования при изменении топологии.

Задача повышения устойчивости связи

Устойчивость относится к одним из основных свойств ИТКС. Целью работы является повышение устойчивости связи в ИТКС по показателю

вероятности устойчивости информационного направления P_y [7]:

$$P_y = K_\Gamma P_{\text{выж}}; \quad (1)$$

$$P_{\text{выж}} = 1 - P_{\text{пор}}, \quad (2)$$

где K_Γ — коэффициент готовности информационного направления; $P_{\text{выж}}$ — вероятность выживания информационного направления в результате деструктивно-разрушающих воздействий; $P_{\text{пор}}$ — вероятность поражения элемента информационного направления ИТКС с учетом реализуемых организационно-технических мер защиты для современной цифровой аппаратуры связи.

Покажем, что при допущении соответствия вероятности поражения $P_{\text{пор}}$ элемента информационного направления ИТКС отказу канала связи добавление в таблицу маршрутизации дополнительных резервных путей повышает устойчивость маршрутизации в ИТКС по показателю (1).

Коэффициент готовности K_Γ в выражении (1) является параметром, учитывающим временные показатели устойчивости. В соответствии с работой [7] K_Γ определяется наработкой на отказ T_o и временем восстановления T_b , которое состоит из времени диагностики отказа $T_{\text{диагн}}$; времени ожидания восстановления связи (удержания конфигурации ИТКС) $T_{\text{ож}}$; времени уведомления узла, ответственного за изменение конфигурации ИТКС, $T_{\text{увед}}$; длительности реконфигурации ИТКС, резервирования маршрутов информационных потоков и сигнализации $T_{\text{рек}}$; времени переключения информационных потоков с активного на резервные пути $T_{\text{перекл}}$:

$$K_\Gamma = \frac{T_o}{T_o + T_b} = \frac{T_o}{T_o + (T_{\text{диагн}} + T_{\text{ож}} + T_{\text{увед}} + T_{\text{рек}} + T_{\text{перекл}})}. \quad (3)$$

Введение резервных маршрутов позволяет после диагностики отказа, не ожидая восстановления связи ($T_{\text{ож}} = 0$), без уведомления управляющего узла ($T_{\text{увед}} = 0$) сразу же ($T_{\text{рек}} = 0$) переключить информационные потоки на резервные информационные направления. При этом уведомление узла, ответственного за маршрутизацию ИТКС, предлагается осуществлять после решения о переключении информационных потоков.

Вероятность выживания одного маршрута $P_{\text{выж } 1}$ на информационном направлении из n каналов в выражении (1) будет определяться вероятностями поражения отдельных каналов связи $P_{\text{пор } v}$, $v = 1 \dots n$, в составе маршрута [7]:

$$P_{\text{выж } 1} = 1 - P_{\text{пор } 1} = 1 - \left(1 - \prod_{v=1}^n (1 - P_{\text{пор } v}) \right). \quad (4)$$

Вероятность выживания одного основного и k резервных маршрутов (состоящих, соответственно, из $n_{осн}$, n_1 , n_2 , ..., n_k каналов), будет определяться [7] выражением

$$P_{выж\ 1+k} = 1 - P_{пор\ 1+k} = 1 - \left(1 - \prod_{v=1}^{n_{осн}} (1 - P_{пор\ v}) \right) \prod_{j=1}^k \left[1 - \prod_{i=1}^{n_j} (1 - P_{пор\ i,j}) \right]. \quad (5)$$

Поскольку для любого v -го канала $P_{пор\ v} \leq 1$, то для любой сети $P_{выж\ 1} \leq P_{выж\ 1+k}$. Равенство в этом выражении будет иметь место при $k = 1$.

Вероятность устойчивости информационного направления в ИТКС при использовании алгоритма, формирующего единственный кратчайший маршрут из n каналов, определим по формуле [7]

$$P_{y1} = \frac{T_o}{T_o + (T_{диагн} + T_{ож} + T_{увед} + T_{рек} + T_{перекл})} \times \left(1 - \left(1 - \prod_{v=1}^n (1 - P_{пор\ v}) \right) \right). \quad (6)$$

Устойчивость информационного направления из $1 + k$ маршрутов при использовании алгоритма, формирующего основной кратчайший маршрут из n каналов и k резервных маршрутов, примет вид [7]

$$P_{y\ 1+k} = \frac{T_o}{T_o + T_{диагн} + T_{перекл}} \times \left(1 - \left(1 - \prod_{v=1}^{n_{осн}} (1 - P_{пор\ v}) \right) \prod_{j=1}^k \left[1 - \prod_{i=1}^{n_j} (1 - P_{пор\ i,j}) \right] \right). \quad (7)$$

Таким образом, обоснован показатель устойчивости связи — вероятность связности информационного направления. Ниже будет произведена оценка прироста эффективности по указанному показателю.

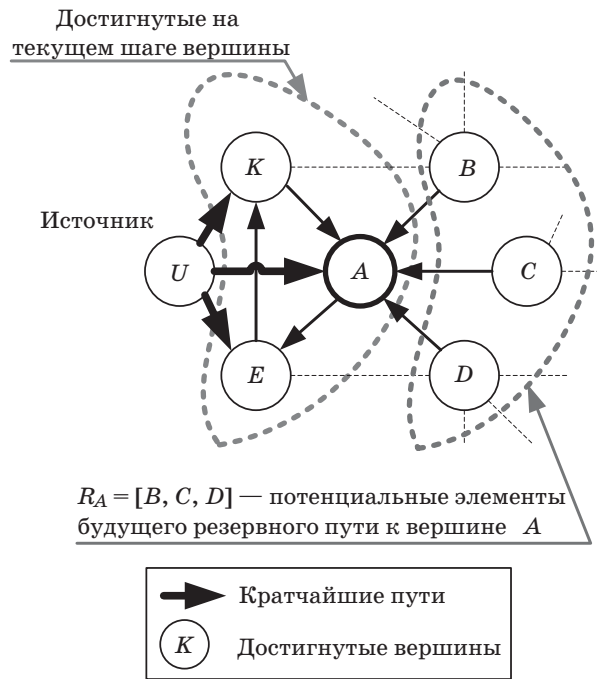
Модификация алгоритма Дейкстры в направлении формирования резервных путей к узлам сети

В ходе модификации алгоритма Дейкстры в него дополнительно вносятся изменения, направленные на расширение его функциональности, связанной с формированием резервных путей в соответствии с вышеуказанными положениями. Основой предлагаемой модификации алгоритма Дейкстры являются следующие положения.

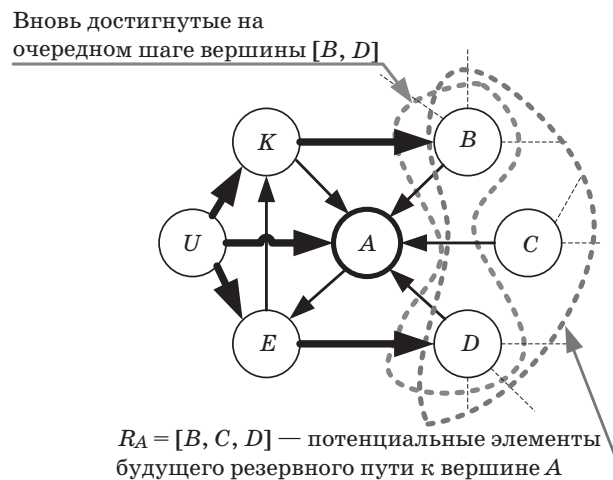
1. При достижении очередной вершины запоминаются исходящие вершины входящих в эту

вершину ребер как потенциальные элементы будущего резервного пути к этой вершине (рис. 1).

2. При следующем шаге функционирования алгоритма достигнутая очередная вершина проверяется как потенциальный элемент резервного пути для всех уже достигнутых вершин. Если она является потенциальным элементом резервного пути, формируется резервный путь к ранее достигнутой вершине через только что достигнутую (рис. 2). Сравнение $[B, C, D]$ и $[B, D]$ приводит к выводу, что резервные пути к A лежат через B и D .



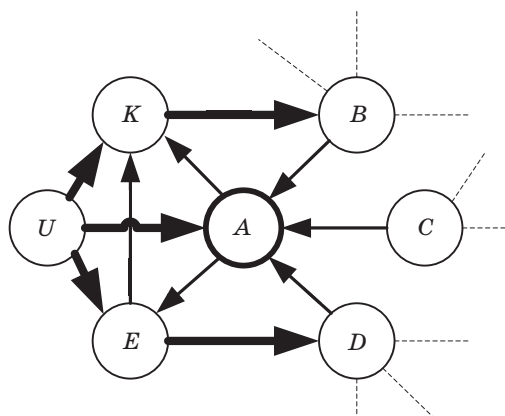
■ Рис. 1. Запись потенциальных элементов будущего резервного пути к вершине



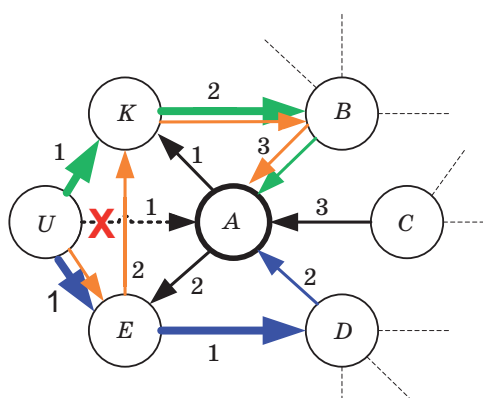
■ Рис. 2. Формирование резервного пути к вершине

3. Если к ранее достигнутой вершине уже были сформированы резервные пути и она участвует в создании нового резервного пути к очередной вершине, то к очередной вершине формируется множество резервных путей с включением в них всех возможных вариантов резервных путей, сформированных ранее. Причем если в резервный путь входит сама очередная вершина, то такой путь, во избежание циклов, в резервные не включается (рис. 3).

4. Все резервные пути к вершинам сети упорядочиваются в соответствии с минимизацией весов 1, 2, 3 и вносятся в таблицу маршрутизации наряду с кратчайшим путем (рис. 4). При отказе элементов кратчайшего пути для передачи выбирается резервный путь с минимальным суммарным весом, не содержащий отказавшие элементы.



■ Рис. 3. Пример построения резервного пути к вершине



Основной путь	Вес	Резервный путь	Вес
UA	1	UEDA	5
		UKBA	6
		UEKBA	9

■ Рис. 4. Пример построенных резервных путей к вершине

Схема модифицированного алгоритма Дейкстры приведена на рис. 5.

Входными параметрами алгоритма являются:

- ориентированный граф сети $G(U, V)$;
- количество вершин в графе n ;
- веса ребер, соединяющих произвольные i -ю и j -ю вершины $V(U_i, U_j)$.

Для обеспечения работы модифицированного алгоритма помимо имеющихся множеств (P — множество помеченных вершин, L — множество смежных помеченных вершин, D — множество расстояний до помеченных вершин от начальной вершины) вводятся следующие дополнительные множества.

1. R — множество вершин потенциальных резервных путей. В это множество вносятся достигнутые вершины, смежные рассматриваемой. В дальнейшем элементы множества используются при нахождении резервных путей.

2. 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.

3. 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 .

4. S — множество весов резервных путей к вершине. Содержит веса путей из множества Z и используется для ранжировки резервных путей при выводе результатов работы алгоритма.

К новым элементам алгоритма относятся блоки 16–23, 25. В блоках 16, 17 реализуется формирование элементов множества вершин R к текущей рассматриваемой вершине за счет использования положения № 1 по модификации алгоритма. Далее в блоках 18–23 путем пересечения элементов множества R , L и Z формируются элементы множества Z с учетом положения № 2 по модификации алгоритма. В блоке 25 осуществляется ранжировка резервных путей по сумме весов ребер, входящих в их состав.

Оценка повышения устойчивости информационных направлений связи в ИТКС при использовании модифицированного алгоритма Дейкстры

Модификация алгоритма Дейкстры за счет внедрения в него элементов одновременного формирования резервных и кратчайших путей позволит повысить устойчивость ИТКС по показателю (1) за счет одновременного повышения показателей K_r и $P_{\text{выж}}$. Повышение показателя K_r ведется благодаря снижению временных задержек восстановления информационного на-

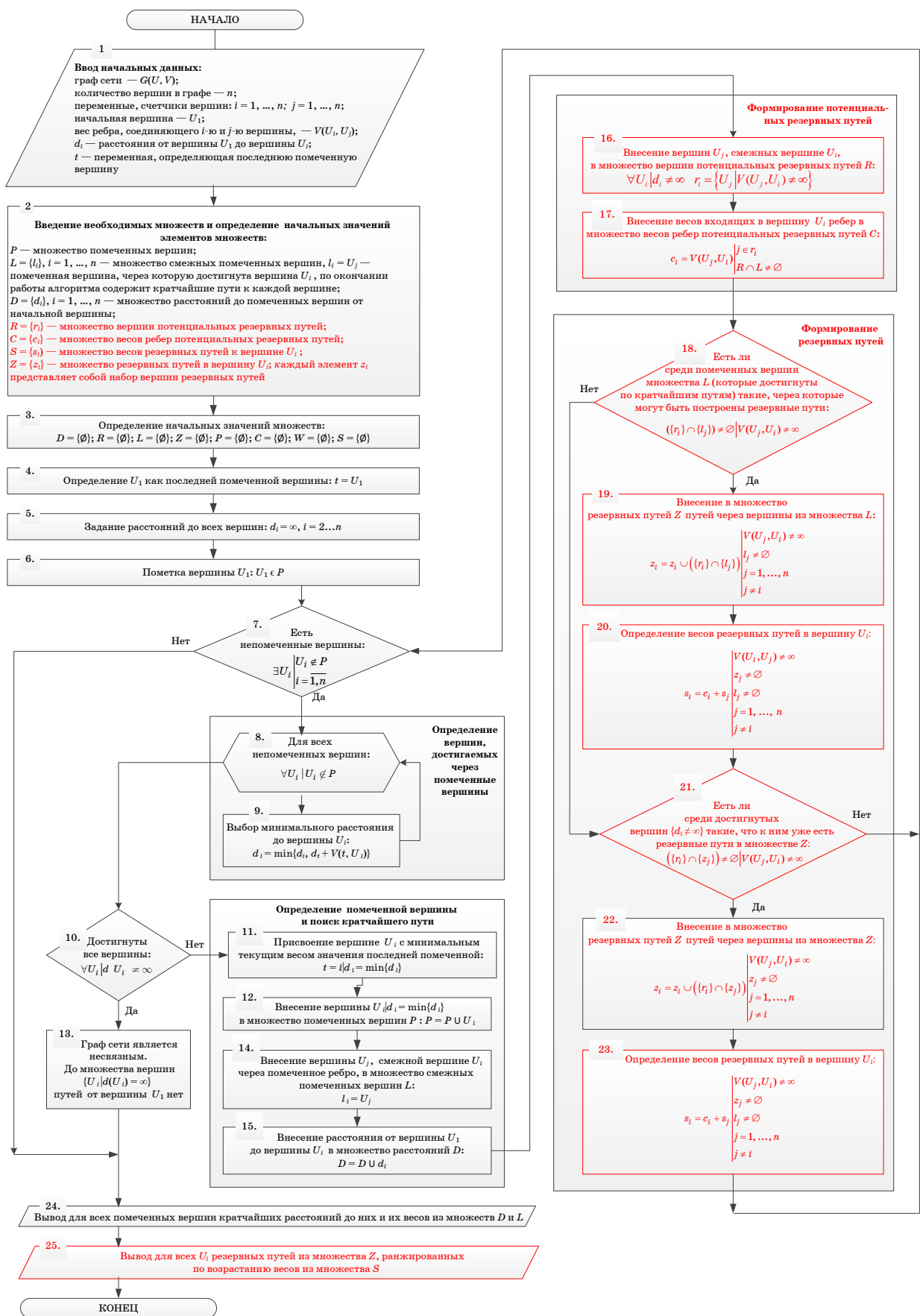


Рис. 5. Схема модифицированного алгоритма Дейкстры

■ Значения показателей выживания информационных направлений сети, представленной на рис. 6

Информационное направление	Алгоритм Дейкстры	Модифицированный алгоритм Дейкстры	Повышение эффективности, %
	Значение $P_{\text{выж } l}$	Значение $P_{\text{выж } 1+k}$	
$U_1 \rightarrow U_2$	0,9	0,9982	10
$U_1 \rightarrow U_3$	0,9	0,9949	10
$U_1 \rightarrow U_4$	0,9	0,9947	10
$U_1 \rightarrow U_5$	0,81	0,973	20

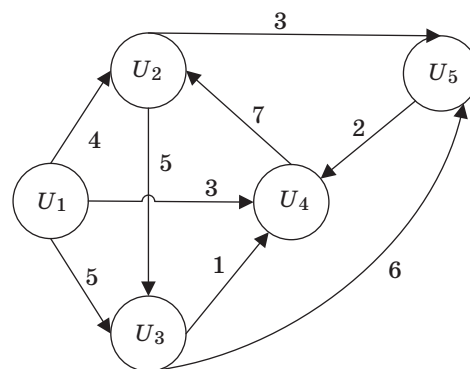
правления связи ($T_{\text{ож}} = 0, T_{\text{увед}} = 0, T_{\text{рек}} = 0$) за счет переключения информационных потоков. Повышение показателя $P_{\text{выж}}$ достигается введением резервных путей.

Для примера, представленного на рис. 6, по показателю вероятности выживания информационного направления связи в соответствии с выражениями (5) и (6) была проведена оценка эффективности использования предлагаемой модификации алгоритма Дейкстры, результаты которой представлены в таблице.

В значениях, приведенных в таблице, не учитывается выигрыш по параметру K_r , так как временные параметры восстановления связи зависят от конкретного протокола, в составе которого функционирует алгоритм Дейкстры. Достижимый выигрыш для одного и того же информационного направления по показателю вероятности его устойчивости, выраженный в процентах, составит

$$\left(1 - \frac{P_{y1+k}}{P_{y1}}\right) \cdot 100\% = \left[1 - \frac{T_o + T_{\text{диагн}} + T_{\text{ож}} + T_{\text{увед}} + T_{\text{рек}} + T_{\text{перекл}}}{T_o + T_{\text{диагн}} + T_{\text{перекл}}}\right] \times \left[\frac{1 - \left(1 - \prod_{v=1}^{n_{\text{оч}}} (1 - P_{\text{пор } v})\right) \prod_{j=1}^k \left[1 - \prod_{i=1}^{n_j} (1 - P_{\text{пор } i,j})\right]}{1 - \left(1 - \prod_{v=1}^n (1 - P_{\text{пор } v})\right)} \right] \cdot 100\%.$$

Прирост эффективности, получаемый при использовании модифицированного алгоритма Дейкстры, возрастает при увеличении топологи-



■ Рис. 6. Сеть, на примере которой производилась оценка эффективности предлагаемого алгоритма

ческой сложности сети и при снижении длительностей временных параметров конкретных протоколов маршрутизации.

Заключение

Проведена модификация алгоритма Дейкстры за счет формирования как кратчайших, так и резервных путей. В результате проведенной модификации прирост устойчивости сети связи по показателю вероятности устойчивости информационного направления составил от 5 до 35 %.

Рассмотренную модификацию алгоритма Дейкстры предполагается использовать для совершенствования протоколов маршрутизации PNNI и OSPF в целях обеспечения заданного уровня устойчивости сетей ATM и TSP/IP в условиях деструктивно-разрушающих воздействий на сетевые элементы.

Литература

1. Блукке В. П., Попков В. К. О некоторых вопросах живучести телекоммуникационных сетей // Информационные сети, системы и технологии: тр. VII Междунар. конф. ICENASTe'2001, Минск, 2-7 октября 2001 г. Минск, 2001. С. 46-52.

2. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. — Красноярск: Поликом, 2010. — 389 с.
3. Попков В. К., Блукке В. П., Дворкин А. Б. Модели анализа устойчивости и живучести информацион-

- ных сетей // Проблемы информатики. 2009. № 4. С. 63–78.
4. Громов Ю. Ю., Драчев В. О., Набатов К. А., Иванова О. Г. Синтез и анализ живучести сетевых систем: монография. — М.: Машиностроение-1, 2007. — 152 с.
 5. Грызунов В. В. Оценивание живучести неоднородных структур // Вестник СибГУТИ. 2011. № 1. С. 28–36.
 6. Егунов М. М., Шувалов В. П. Анализ структурной надежности транспортной сети // Вестник СибГУТИ. 2012. № 1. С. 54–60.
 7. Михайлов Р. Л., Макаренко С. И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на нее дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4. С. 69–79.
 8. Маршрутизация и защита информации на сетевом уровне в мультисервисных сетях связи / А. А. Буров, А. А. Киселев, С. Н. Новиков, Е. В. Сафонов, О. И. Солонская; под ред. С. Н. Новикова; ГОУ ВПО СибГУТИ. — Новосибирск, 2004. — 221 с. Деп. в ВИНТИ 04.11.04, № 1732-B2004.
 9. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Модель функционирования коммутатора в сети с использованием протокола покрывающего дерева STP и исследование устойчивости сети в условиях ограниченной надежности каналов связи // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 2. С. 61–68.
 10. Фокин В. Г. Оптические системы передачи и транспортные сети: учеб. пособие. — М.: Эко-Трендз, 2008. — 271 с.
 11. Кузюрин Н. Н., Фомин С. А. Покрытие графов циклами и быстрое восстановление оптоволоконных сетей // Тр. Института системного программирования. 2004. № 5. С. 249–268.
 12. Кораблин М. А., Хамитова Л. А. Матрично-графовые модели компьютерных сетей // Инфокоммуникационные технологии. 2008. Т. 6. № 3. С. 46–52.
 13. Рудь Д. Е. Технологии топологической оптимизации трафика информационных потоков в телекоммуникационных сетях // Инженерный вестник Дона. 2010. Т. 12. № 2. С. 95–107.
 14. Макеев А. С., Стецко А. А., Ярушкина Н. Г. Система моделирования маршрутизации корпоративных сетей на основе нечетких метрик // Инфокоммуникационные технологии. 2008. Т. 6. № 1. С. 64–71.
 15. Макаренко С. И. Анализ воздействия преднамеренных помех на сетевой уровень модели взаимодействия открытых систем и функционирование протокола маршрутизации оценки состояния канала (OSPF) // Информационные технологии моделирования и управления. 2009. № 7(59). С. 956–961.
 16. Cormen Thomas H., Leiserson Charles E., Rivest Ronald L. Introduction to Algorithms. — MIT Press and McGraw, 1990. — 1292 p.
 17. Коваленко Т. А. Анализ алгоритмов маршрутизации в вычислительных сетях // Глобальный научный потенциал: информационные технологии. 2011. № 9. С. 41–45.
 18. Полещук В. В., Азметов В. Р., Фортинский А. Г. Алгоритм динамической маршрутизации с гибридной метрикой для адаптивной сети связи // Изв. Института инженерной физики. 2009. Т. 3. № 13. С. 51–53.
 19. Кузнецов Н. А., Фетисов В. Н. Управление маршрутизацией в IP-сетях с переменным критерием качества // Автоматика и телемеханика. 2007. № 7. С. 180–189.
 20. Милованов Д. С., Тухтамирзаев А. Ю., Шамин П. Ю. Проблемы маршрутизации в сети с быстро меняющейся топологией // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2009. № 72. С. 29–33.
 21. Батаев Р. А., Голубев А. С. Вероятностный подход при создании алгоритмов маршрутизации в сетях с изменяющейся топологией // Тр. XIV конф. «Телематика 2007», Санкт-Петербург, 18–21 июня 2007 г. СПб., 2007. С. 32.
 22. Адъякимов А. Г. Решение задачи маршрутизации в сети с радиодоступом // Вестник Удмуртского университета. 2009. № 2-1. С. 173–182.
 23. Дмитриев В. Н., Сорокин А. А., Пищин О. Н. Построение систем связи с динамической неперидической топологией // Инфокоммуникационные технологии. 2008. Т. 6. № 1. С. 34–39.

UDC 004.057.4; 004.724.4

Forming Reserve Paths Based on Dijkstra Algorithm in Order to Enhance Stability of Telecommunication NetworksTsvetcov K. U.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, wavelet3@mail.ruMakarenko S. I.^a, PhD, Tech., Associate Professor, mak-serg@yandex.ruMikhailov R. L.^a, Post-Graduate Student, mikhailov-rom2012@yandex.ru^aA. F. Mozhaiskii Military Space Academy, 13, Zhdanovskaia St., 197198, Saint-Petersburg, Russian Federation

Purpose: The analysis of studies in the area of routing stability shows that the main direction of modification of the shortest path seeking algorithms is enhancement of presentation and formats of initial data due to accounting line metrics factors which define various characteristics of a real network. The goal of the paper is to enhance stability of connection by modification of Dijkstra algorithm to increase its productivity searching both the shortest and reserve paths to elements of a network. **Methods:** In order to use topological redundancy of the network Dijkstra algorithm has been modified towards expansion of its functionality by seeking both the shortest

and reserve paths. This expansion is provided by introducing additional sets and blocks in the field of the algorithm. **Results:** There has been developed modified Dijkstra algorithm which modification is based on application of incoming line edges for seeking reserve paths to the elements. A growth of connection network stability is evaluated according to an index of stability probability of an information direction. There has been considered the algorithm operation on the example of a network, it has been shown that its application increases stability from 5 up to 35 % based on the given index. **Practical implications:** The proposed modification of Dijkstra algorithm can be used to enhance OSPF and PNNI protocols efficiency at routing informational streams in terms destabilizing factors influence.

Keywords — Dijkstra Algorithm, Routing, Reservation of Communication Canals, OSPF, PNNI, ATM, Stability of Connection, Reliability of Connection.

References

- Blukke V. P., Popkov V. K. Some Aspects of Survivability of Telecommunication Networks. *Trudy VII Mezhdunarodnoi konferentsii "Informatsionnye seti, sistemy i tekhnologii" ICENASTe'2001* [Proc. VII Int. Conf. "Telecommunication Networks, Systems and Technologies"]. Minsk, 2001, pp. 46–52 (In Russian).
- Nazarov A. N., Sychev K. I. *Modeli i metody rascheta pokazatelei kachestva funktsionirovaniia uzlovogo oborudovaniia i strukturno-setevykh parametrov setei sviazi sleduiushchego pokoleniia* [Models and Methods of Quality of Service of Elements of the Network` Coefficients and Structural Parameters of Next Generation Networks Analysis]. Krasnoyarsk, Policom Publ., 2010, 389 p. (In Russian).
- Popkov V. K., Blukke V. P., Dvorkin A. B. Models for Analysis of Stability and Reliability of Telecommunication Networks. *Problemy informatiki*, 2009, no. 4, pp. 63–78 (In Russian).
- Gromov Iu. Iu., Drachev V. O., Nabatov K. A., Ivanova O. G. *Sintez i analiz zhivuchesti setevykh sistem* [Synthesis and Analysis Net Systems Reliability]. Moscow, Mashinostroyeniye-1 Publ., 2007. 152 p. (In Russian).
- Gryzunov V. V. The Estimation of Nonuniform Structures` Reliability. *Vestnik SibGUTI*, 2011, no. 1, pp. 28–36 (In Russian).
- Egunov M. M., Shuvalov V. P. The Analysis of Structural Reliability of Traffic Nets. *Vestnik SibGUTI*, 2012, no. 1, pp. 54–60 (In Russian).
- Mikhailov R. L., Makarenko S. I. Estimating Communication Network Stability under the Conditions of Destabilizing Factors Affecting it. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy*, 2013, no. 4, pp. 69–79 (In Russian).
- Burov A. A., Kiselev A. A., Novikov S. N., Safonov E. V., Solonskaia O. I. *Marshrutizatsiia i zashchita informatsii na setevom urovne v mult'iservisnykh setiakh sviazi* [Routing and Data Protection at the Net Level of Multiservice Communication Networks]. S. N. Novikov ed. Novosibirsk, GOU VPO SibGUTI Publ., 2004. 221 p. Deposited in VININI on 04.11.04, no. 1732-B2004. *Deponirovannyye nauchnye raboty*, no. 1, 2005 (In Russian).
- Makarenko S. I., Mikhailov R. L. The Model of the Switch Functioning in the Network which Applies the Spanning Tree Protocol and the Net Stability in the Conditions of the Communication Channels Limited. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy*, 2013, no. 2, pp. 61–68 (In Russian).
- Fokin V. G. *Opticheskie sistemy peredachi i transportnye seti* [Optical Systems of Communication and Traffic Nets]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2008. 271 p. (In Russian).
- Kuziurina N. N., Fomin S. A. The Covering Graphs by Cycles and the Fast Reactivation of Fibber-Optical Networks. *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniia*, 2004, no. 5, pp. 249–268 (In Russian).
- Korablin M. A., Hamitova L. A. Array and Graph Models of Computer Networks. *Infokommunikatsionnye tekhnologii*, 2008, vol. 6, no. 3, pp. 46–52 (In Russian).
- Rud' D. E. Technologies of Topological Optimization of Information Traffic in Telecommunication Networks. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2010, vol. 12, no. 2, pp. 95–107 (In Russian).
- Makeev A. S., Stetsko A. A., Jarushkina N. G. Routing Model Operation of Corporative Networks Based on Illegible Metrics. *Infokommunikatsionnye tekhnologii*, 2008, vol. 6, no. 1, pp. 64–71 (In Russian).
- Makarenko S. I. The Analysis of Purposeful Noise on Net Level of Open Systems Interconnection the Open Shortest Path First Protocol Functioning. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2009, no. 7(59), pp. 956–961 (In Russian).
- Cormen Thomas H., Leiserson Charles E., Rivest Ronald L. *Introduction to Algorithms*. MIT Press and McGraw, 1990. 1292 p.
- Kovalenko T. A. The Analysis of Routing Algorithms of Computer Networks. *Global'nyi nauchnyi potentsial: informatsionnye tekhnologii*, 2011, no. 9, pp. 41–45 (In Russian).
- Poleshchuk V. V., Azmetov V. R., Fortinskii A. G. The Algorithm of Dynamic Routing with the Hybrid Metric for the Adaptive Communication Networks. *Izvestiia Instituta inzhenernoi fiziki*, 2009, vol. 3, no. 13, pp. 51–53 (In Russian).
- Kuznecov N. A., Fetisov V. N. The Administration of IP Networks` Routing with Nonconstant Criteria of Quality. *Avtomatika i telemekhanika*, 2007, no. 7, pp. 180–189 (In Russian).
- Milovanov D. S., Tukhtamirzaev A. Iu., Shamin P. Iu. Problems of Routing in Fast Variable Topology Networks. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*, 2009, no. 72, pp. 29–33 (In Russian).
- Bataev R. A., Golubev A. S. The Probabilistic Way of Creating the Routing Algorithms in Fast Variable Topology Networks. *Trudy XIV konferentsii "Telematika 2007"* [Proc. XIV Conf. "Telematika 2007"]. Saint-Petersburg, 2007, p. 32 (In Russian).
- Ad'iakimov A. G. The Decision of Routing Task in the Networks with Radioaccess. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2009, no. 2-1, pp. 173–182 (In Russian).
- Dmitriev V. N., Sorokin A. A., Pishchin O. N. Non-Periodic Dynamic Topology Communication Systems` Creating. *Infokommunikatsionnye tekhnologii*, 2008, vol. 6, no. 1, pp. 34–39 (In Russian).