



ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.738.5.057.4

СИНТЕЗ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ НЕБЛОКИРУЕМОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

В. Т. ЕРЕМЕНКО¹
С. И. АФОНИН¹
А. И. ОФИЦЕРОВ²
О. О. БАСОВ²

¹Государственный университет – УНПК
(г. Орел)

²Академия ФСО России

e-mail: wladimir@orel.ru
e-mail: wladimir@orel.ru
e-mail: oficerow@mail.ru
e-mail: oobasov@mail.ru

Статья посвящена описанию алгоритмов проектирования новых и модификации существующих сетей передачи данных на основе критерия неблокируемой маршрутизации. Показан выигрыш и сформулированы предложения по применению разработанных алгоритмов в автоматизированных системах управления промышленных предприятий.

Ключевые слова: сеть передачи данных, автоматизированные системы управления, критерий, правило, неблокируемая маршрутизация, граф маршрутизации, алгоритмы проектирования, адрес получателя, резервная дуга, анализ топологии, пошаговое улучшение, шаблонный подход.

Введение

При построении сетей передачи данных (СПД) распределенных автоматизированных систем управления (АСУ) промышленных предприятий (ПП) в современных условиях можно выделить две основные задачи. Это задача сохранения эффективных структур, методов и алгоритмов управления, прошедших определенный путь эволюционного совершенствования, и задача интеграции существующих АСУ с применением современных методов и технологий управления. Анализ организационной структуры существующих АСУ и решаемых ими задач показывает, что данные системы соответствуют централизованному принципу обработки распорядительной, плановой, учетной, отчетной и нормативной информации [7]. Для таких структур обработки информации используется топология СПД с клиент-серверной архитектурой.

Условия функционирования СПД распределенных АСУ ПП связаны с наличием большого количества вредных воздействий на оборудование: мощные ЭМИ, сильные



вибрации, повышенная влажность, воздействие пыли, химически активные процессы. Поэтому необходимо применение специальных мер, обеспечивающих надежную защиту от перечисленных проблем. Все существующие на данный момент времени продукты комплексной автоматизации характеризуются высокой интенсивностью информационного обмена, что, в свою очередь, обуславливает необходимость в разработке методов повышения эффективности информационного обмена.

Таким образом, проектирование СПД распределенных АСУ ПП, их разработка и исследования связаны с необходимостью решения широкого круга задач анализа и синтеза. Их основное содержание определяется методологией проектирования сетевой архитектуры и ее элементов.

Постановка задачи

Современные маршрутизаторы пакетов поддерживают таблицы маршрутизации, которые сопоставляют адрес получателя пакета с одной или более следующих пересылок. Совокупность записей в таблицах маршрутизации узлов сети, посвященных путям до узла $v_j \in V$ (V – множество узлов СПД), образует граф маршрутизации данного узла – G_{v_j} .

Для заданного адресата в сети может существовать много различных графов маршрутизации [1]. Будем считать, что для каждого узла заданы условия, что $v_i \neq v_j, \omega_{G_{v_j}}(v_i) \geq 1, \omega_{G_{v_j}}(v_j) = 0$, где $\omega_{G_{v_j}}(v_i)$ и $\omega_{G_{v_j}}(v_j)$ – это исходящие степени узлов v_i и v_j в графе маршрутизации G .

Для повышения надежности СПД особый интерес представляют графы маршрутизации, которые реализуют для каждого узла $v_i \neq v_j : \omega_{G_{v_j}}(v_i) \geq 2$. Такие графы обеспечивают неблокируемую маршрутизацию (НМ).

Управление процессами информационного обмена в СПД распределенных АСУ ПП целесообразно осуществлять на основе графов НМ, отвечающих требованиям по пропускной способности, надежности и стоимости и удовлетворяющих правилам [4]:

1) узел-получатель должен быть достижим всеми остальными узлами, то есть $\forall v_i \in V : v_i \rightarrow_G v_j$;

2) каждый узел, кроме узла-получателя, должен иметь степень выхода не менее чем 2, то есть $\forall v_i \in V - \{v_j\} : \omega_G(v_i) \geq 2$;

3) если любой узел, кроме узла-получателя, удален, то узел-получатель должен быть достижим всеми оставшимися узлами, то есть

$$\forall v_i \in V - \{v_j\} \quad \forall v_k \in V - \{v_i, v_j\} : v_k \rightarrow_{G-v_i} v_j ;$$

4) каждый узел, кроме узла-получателя, должен иметь, по крайней мере, одну исходящую дугу, которая не является резервной дугой, то есть

$$\forall v_i \in V - \{v_j\} \exists v_k \in V : (v_i, v_k) \in E \text{ и } (v_k, v_i) \notin E,$$

где E – множество всех линий, соединяющих узлы $v_i \in V, i = \overline{1, |V|}$;

5) если два узла v_i и v_k взаимно достижимы в G , то они являются соседями, а связь между ними – это резервная дуга, т.е.

$$v_i \rightarrow_G v_k \text{ и } v_k \rightarrow_G v_i \Rightarrow v_i v_k \in E.$$

Указанные требования и правила позволяют синтезировать любые СПД, при этом выбор соответствующего алгоритма для проектирования новых и модификации существующих СПД будет зависеть от исходных данных, которыми являются:

1) топология сети:

- множество узлов $V = \{v_i; i = \overline{1, |V|}\}$;
- множество дуг $A = \{e_l; l = \overline{1, |E|}\}$;



2) способ задания исходной топологии сети: в виде ориентированного или неориентированного графа.

Алгоритм анализа топологии сети на совместимость с неблокируемой маршрутизацией

Алгоритм предназначен для анализа исходной топологии сети на совместимость с неблокируемой маршрутизацией и предваряет проектирование СПД. Он направлен на проверку того условия, что от любого узла имеется возможность достичь любой другой узел сети двумя или более независимыми по узлам и рёбрам путями, что соответствует определению НМ (рис. 1).

Результатом работы алгоритма является вывод о совместимости топологии сети с неблокируемой маршрутизацией.

Алгоритм построения графа неблокируемой маршрутизации на основе пошагового улучшения

Данный алгоритм предназначен для построения графа неблокируемой маршрутизации на основе исходной топологии сети, заданной в виде ориентированного графа.

Алгоритм состоит из следующих этапов (рис. 2):

1) алгоритм стремится обеспечить исходящую степень равную двум для всех узлов графа маршрутизации;

2) резервные дуги используются, только если условие неблокируемой маршрутизации не может быть выполнено без их использования.

Результатом работы алгоритма является граф НМ, а проведенная оценка сложности расчёта маршрутизации с его использованием составляет $O(|V|^5 |E|^4)$.

Алгоритмы построения графа неблокируемой маршрутизацией на основе шаблонного подхода

Алгоритмы на основе минимально необходимого числа шаблонов и применения дополнительных шаблонов целесообразно использовать в случае, если исходная топология сети задана в виде неориентированного графа.

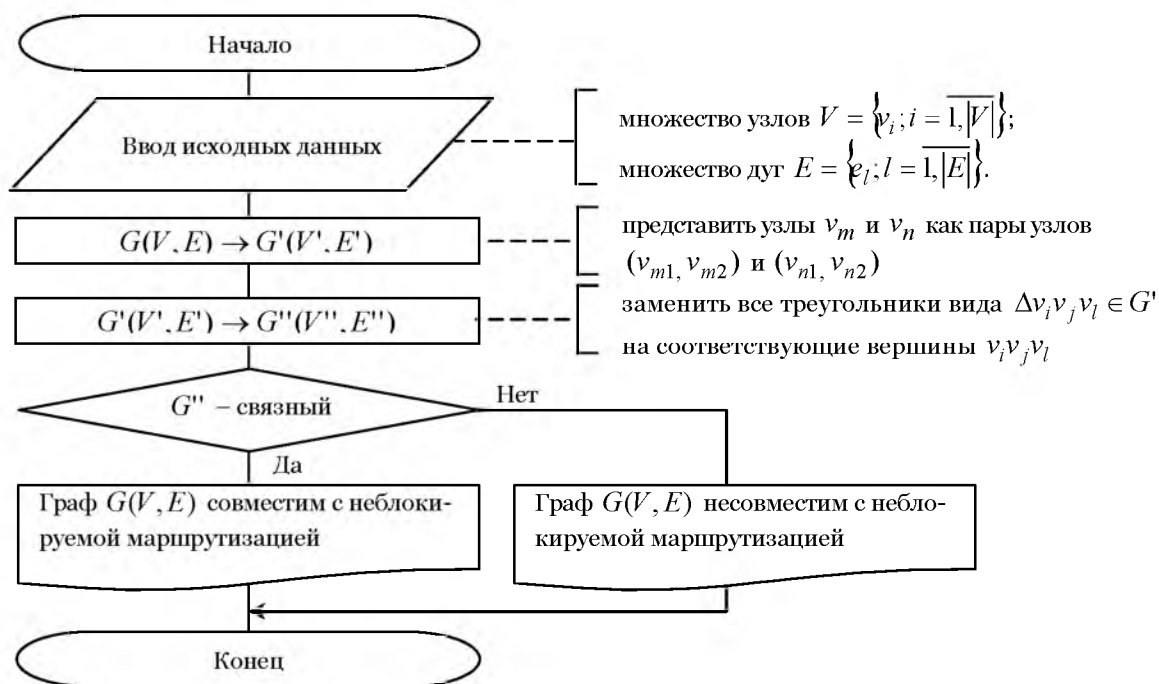


Рис. 1. Алгоритм анализа топологии сети на совместимость с неблокируемой маршрутизацией



В основе шаблонного подхода [8] при проектировании СПД лежит процесс построения графа маршрутизации G'_{v_j} при помощи шаблонов – подграфов, содержащих, по крайней мере, один узел с одной исходящей дугой, который может использоваться как основной элемент в процессе построения G'_{v_j} . Если необходимо построить топологию сети, совместимой с НМ, для заданного числа узлов, содержащую минимальное число рёбер, то необходимо стремиться использовать как можно больше четырёхугольных шаблонов и как можно меньше треугольных. Соответственно, треугольные шаблоны должны быть объединены друг с другом посредством четырёхугольных шаблонов между ними.

Если же необходимо минимизировать число резервных дуг, которое требуется для построения графов неблокируемой маршрутизации, то при построении должны использоваться только треугольные шаблоны, соединенные друг с другом общими сторонами.

Правилами создания топологии сети, совместимой с НМ, на основе шаблонного подхода являются следующие:

- минимальной топологией сети является треугольный шаблон;
- каждый узел топологии сети является вершиной треугольного шаблона;
- объединение двух совместимых с НМ топологий сетей в одну по общему ребру создаёт также топологию сети, совместимую с НМ;
- если топология сети была совместима с НМ до добавления ребра, то это справедливо и после добавления ребра.

В ходе исследования установлено, любой граф НМ может быть представлен следующей совокупностью шаблонов [8]: разнонаправленный шаблон маршрутизации "от одного ко многим" (Ш1), разнонаправленный четырёхугольный шаблон маршрутизации с резервной дугой (Ш2), однонаправленный треугольный шаблон маршрутизации с резервной дугой (Ш3), однонаправленный шаблон маршрутизации с одной дугой вывода (Ш4), комбинированный разнонаправленный шаблон маршрутизации с резервной дугой (Ш5), комбинированный однонаправленный шаблон маршрутизации с резервной дугой (Ш6).

Любой граф маршрутизации может быть представлен комбинацией шаблонов Ш1-Ш4, а алгоритм построения графа неблокируемой маршрутизации на основе минимально необходимого числа шаблонов (рис. 3) реализован следующим образом.

В начале работы алгоритма неполный граф маршрутизации G'_{v_j} содержит только узел-адресат v_j . Пока G'_{v_j} содержит не все узлы из V , алгоритм ищет шаблон графа маршрутизации из кольца вокруг неполного графа маршрутизации G'_{v_j} и добавляет его в G'_{v_j} . Неполный граф маршрутизации G'_{v_j} изменяется после каждого шага алгоритма.

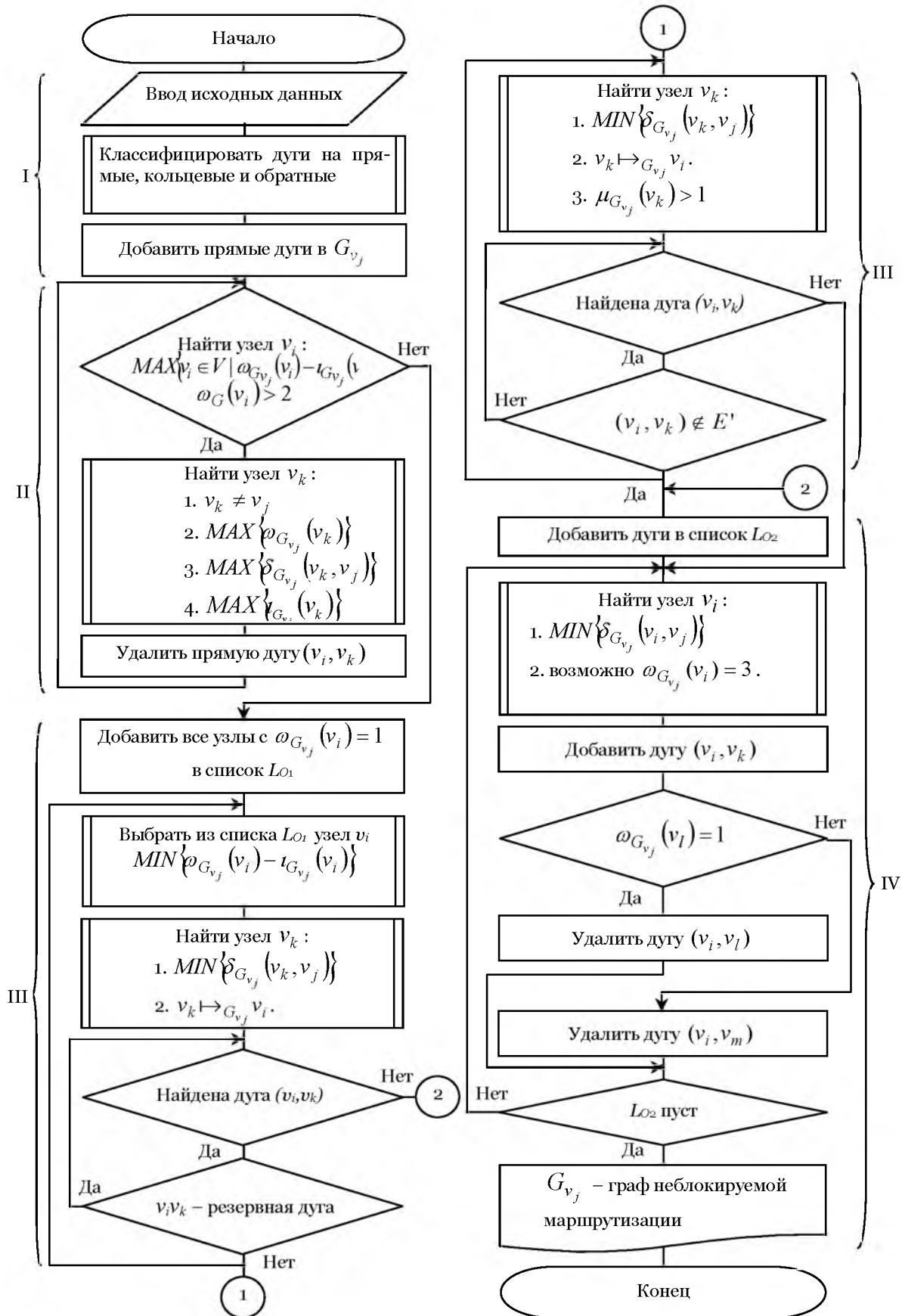


Рис. 2. Алгоритм построения графа НМ на основе пошагового улучшения



I – построение прямых дуг;
 II – удаление лишних прямых дуг;
 III – добавление дуг, обеспечивающих НМ (если это невозможно обеспечить обычными дугами, то используются резервные дуги);
 IV – перестановка дуг с целью минимизации числа резервных дуг.
 В ходе выполнения алгоритма реализуются следующие *правила*:
 Поэтому кольцо вокруг графа G'_{v_j} также изменяется после каждого шага алгоритма.

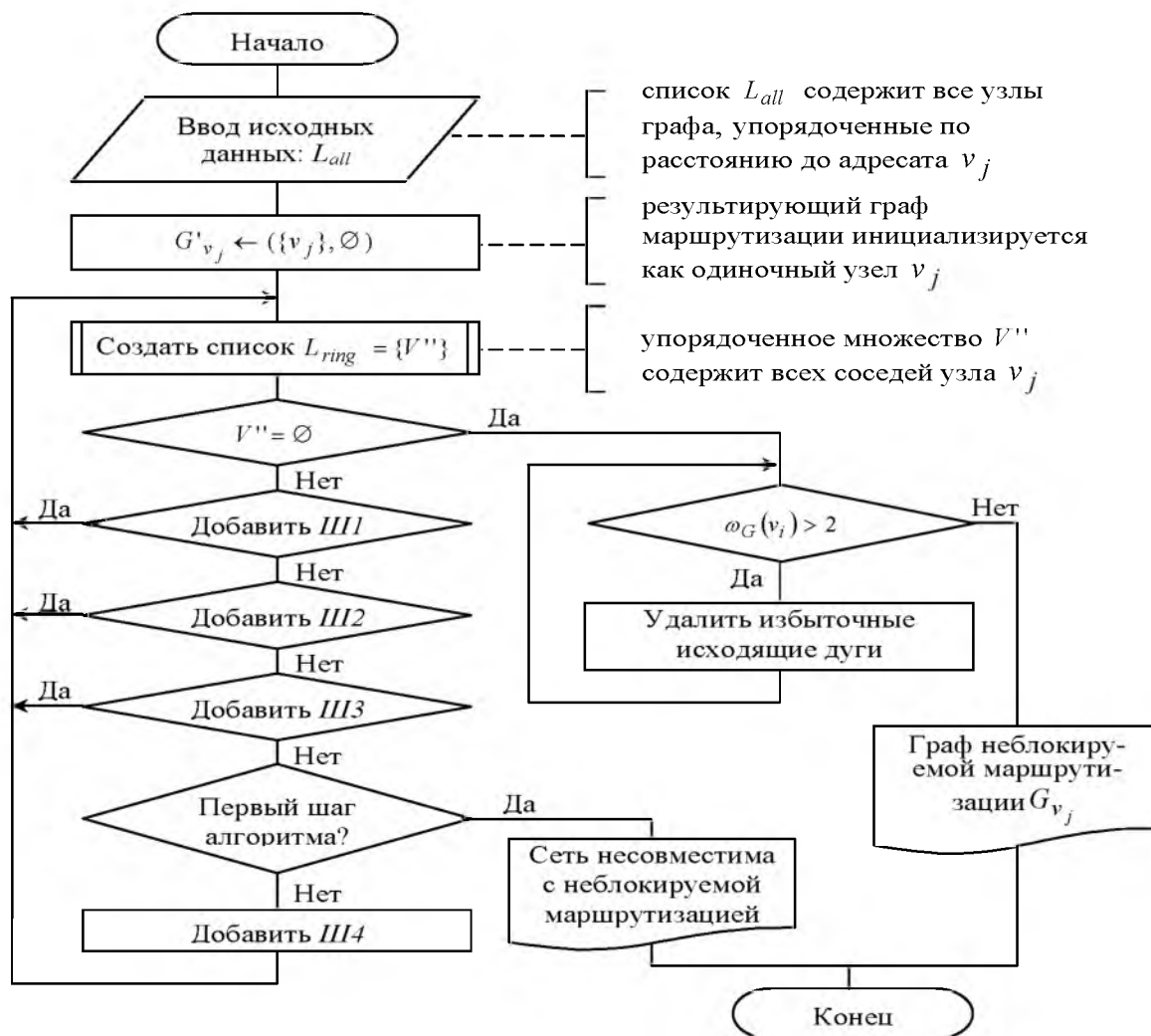


Рис. 3. Алгоритм построения графа НМ на основе минимально необходимого числа шаблонов

Проведенная оценка сложности расчёта маршрутизации для всех адресатов с использованием данного алгоритма составляет $O(|V|^3 + |V|^2 \log |V| + |V||E|) \approx O(|V|^3 + |V||E|)$.

Алгоритм построения графа неблокируемой маршрутизации на основе применения дополнительных шаблонов развивает идею, реализованную в предыдущем алгоритме. Он строит граф маршрутизации G'_{v_j} используя также дополнительные шаблоны III5 и III6, позволяющие свести к минимуму вероятность применения шаблона III4.



Проведенная оценка сложности расчёта маршрутизации для всех адресатов с использованием данного алгоритма составляет $O(|V|^4 + |V||E|^2)$.

Сравнение алгоритмов проектирования

Предложенные алгоритмы, обеспечивая неблокируемую маршрутизацию для различных исходных данных, требуют сравнения с существующими (алгоритм неравных кратчайших путей (модифицированный ЕСМР)) на основе различных критериев [2, 3], в качестве которых при анализе использовались следующие: число O_1 узлов, число S_0 узлов, число резервных дуг (N_{pq}), вероятность безотказной работы сети в случае отказа одного из узлов (P_{1v}), вероятность безотказной работы сети в случае отказа двух узлов (P_{2v}), вероятность безотказной работы сети в случае отказа одного из рёбер (P_{1e}), вероятность безотказной работы сети в случае отказа двух рёбер (P_{2e}), вероятность безотказной работы сети в случае одновременного отказа одного из узлов и одного из рёбер (P_{ve}), стоимость построения сети (D).

Сеть передачи данных, для которой проводился сравнительный анализ, содержит 11 узлов и 26 неориентированных дуг (рис. 4).

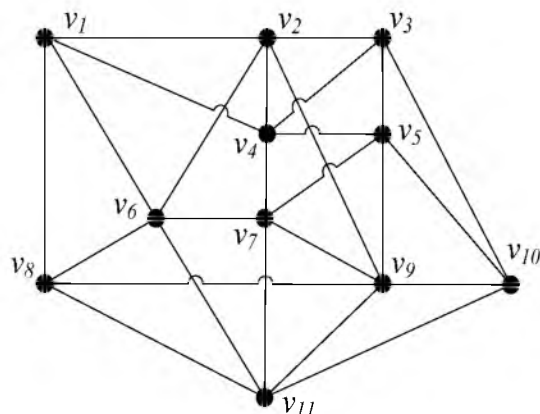


Рис. 4. Топология СПД

Применив алгоритм анализа топологии сети на совместимость с неблокируемой маршрутизацией, можно сделать вывод, что топология сети совместима с неблокируемой маршрутизацией, более того, для данной топологии можно построить граф неблокируемой маршрутизации для любого узла-адресата, содержащий не более одной резервной дуги. Именно на таких топологиях особенно хорошо проявляют себя шаблонные алгоритмы.

Для данной топологии сети шаблонным алгоритмам удалось построить графы маршрутизации, устойчивые против отказа одного ребра или одного узла. Алгоритму на основе пошагового улучшения удалось построить графы маршрутизации, которые 100% устойчивы только при отказе одного из узлов. Необходимо, однако, отметить, что рассматриваемые шаблонные алгоритмы не всегда используют кратчайшие для данной топологии сети пути при построении графов маршрутизации. И как результат, стоимость построения СПД для алгоритмов на основе минимально необходимого числа шаблонов и на основе применения дополнительных шаблонов больше соответствующей стоимости модифицированного алгоритма ЕСМР на 1,24% (таблица 1).



Таблица 1

Сравнение алгоритмов проектирования

Алгоритм	O1 узлов	So узлов	N_{pq}	$P_{1v},$ %	$P_{2v},$ %	$P_{1e},$ %	$P_{2e},$ %	$P_{ve},$ %	D, у.е.
на основе пошагового улучшения	11	0	15	100	98,106	99,65	98,669	98,574	9572 5
на основе минимально необходимого числа шаблонов	0	0	11	100	99,647	100	99,757	99,67	930 00
на основе применения дополнительных шаблонов	0	0	11	100	99,647	100	99,757	99,67	930 00
модифицированный ЕСМР	16	3	0	99,697	98,838	99,46	98,565	98,757	9186 0

Таким образом, сравнение разработанных алгоритмов с алгоритмом неравных кратчайших путей (модифицированным алгоритмом ЕСМР) протокола маршрутизации OSPF, показало превосходство шаблонных алгоритмов практически по всем сравниваемым показателям. Главным преимуществом разработанных алгоритмов является то, что они, в отличие от алгоритмов-конкурентов, способны всегда обеспечить НМ, если топология сети позволяет это сделать. Оба шаблонных алгоритма обеспечивают НМ для любой сети, совместимой с НМ. В свою очередь алгоритм на основе минимально необходимого числа шаблонов является более предпочтительным, чем алгоритм на основе применения дополнительных шаблонов, в связи с более высокой скоростью его работы.

Заключение

Разработанные алгоритмы НМ предназначены заменить собой для определённых типов трафика использующийся на данный момент алгоритм поиска кратчайшего пути (алгоритм Дейкстры) в протоколах маршрутизации внутреннего шлюза, учитывающих информацию о состоянии каналов. Наиболее широко распространённым представителем данного семейства протоколов маршрутизации является протокол OSPF.

Таким образом, для практического применения алгоритмов необходимо перепрограммирование маршрутизаторов во всей автономной системе с тем, чтобы для протоколов OSPF вместо алгоритма Дейкстры использовался один из алгоритмов НМ. Это в свою очередь позволит применять их при проектировании новых и модернизации существующих СПД распределённых АСУ ПП.

Литература

1. Коннов В. В. Геометрическая теория графов / В. В. Коннов, Г. А. Клековкин, Л. П. Коннова. – М: Народное образование, 1999. – 240с.
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ: пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. – М.: МЦНМО, 2001. – 960 с.
3. Макконнелл Д. Анализ алгоритмов. Вводный курс: пер. с англ. / Д. Макконнелл. – М: Техносфера, 2002. – 304с.
4. Офицеров А. И. Методы управления информационными потоками в сетях передачи данных на основе резервирования ресурсов / А. И. Офицеров, В. Т. Еременко // Методы и устройства передачи и обработки информации. Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 11. – М.: «Радиотехника», 2009. – С. 340 – 346.
5. Офицеров А. И. Алгоритмы оптимизации мультимедийного трафика в многоприоритетных сетях / А. И. Офицеров // Известия Орловского государственного технического университета. Серия "Информационные системы и технологии". III Всероссийская научно-практическая Интернет-конференция "Методы прикладной математики и компьютерной обработки данных в технике, экономике, экологии". Труды конференции. – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2006.– № 2 – С.147 – 155.
6. Офицеров А. И. Алгоритмы выбора оптимального маршрута в корпоративных сетях / А. И. Офицеров, В. Т. Еременко, А. В. Еременко // Известия Тульского государственного университета. Серия "Технологическая системотехника". Выпуск 10.– Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – С. 101 – 107.



7. Тимофеев А. В. Проблемы и методы адаптивного управления потоками данных в телекоммуникационных системах / А. В. Тимофеев // "Информатизация и связь", 2003. – №№1-2. – С. 68-74.

8. Хоп Г. Шаблоны интеграции корпоративных приложений: пер. с англ. / Г. Хоп, Б. Вульф. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 672 с.

9. Reichert C. Two Routing Algorithms for Failure Protection in IP Networks / C. Reichert, Y. Glickman, T. Magedanz // Proceedings of 10th IEEE Symposium on Computers and Communications. IEEE Press, 2005. - P. 97-102.

SYNTHESES OF THE DATA NETWORKS OF AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS ON BASE OF CRITERION OF THE UNLOCKABLE ROUTING

V. T. EREMenko¹⁾

S. I. AFONIN¹⁾

A. I. OFICEROV²⁾

O. O. BASOV²⁾

¹⁾*State University – UNPK
(Orel)*

²⁾*Academy FSO, Russia*

e-mail: wladimir@orel.ru

e-mail: oficerow@mail.ru

e-mail: oobasov@mail.ru

The Article is dedicated to description of the algorithms of designing new data networks and changing the existing ones on base of criterion of the unlockable routing is offered. The advantage is shown and the proposals on designed algorithm usage in automated management systems of industrial enterprises are formulated.

Key words: data network, automated management systems, criterion, rule, unlockable routing, routing graph, algorithms of the designing, receiver address, reserve arc, analysis to topologies, incremental improvement stereotyped approach.