УДК 681.5 + 06

В.Н. Наконечный, В.А. Фирсов, И.В. Лебедева
(Ростовский государственный университет путей сообщения;
e-mail: inwas@mail.ru)

АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Разработан алгоритм повышения устойчивости системы управления железнодорожным транспортом, который может быть использован и при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: система управления, железнодорожный транспорт, чрезвычайные ситуации.

V.N. Nakonechnyj, V.A. Firsov, I.V. Lebedeva

ALGORITHM FOR IMPROVING THE SUSTAINABILITY OF MANAGEMENT SYSTEM OF RAILWAY TRANSPORT

An algorithm for improving the sustainability of management system of railway transport, which can be used in emergency situations, was developed.

Key words: management system, railway transport, emergency situations.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 13 мая 2014 г.

Изменения, происходящие в оснащённости, составе и структуре железнодорожного транспорта, вызывают объективную необходимость решения проблемы повышения эффективности управления перевозками, в том числе и при возникновении ***чрезвычайных ситуаций*** (***ЧС***).

Повышение эффективности управления железнодорожными перевозками способно повлиять на общее состояние процесса перевозок, повысить конкурентоспособность и рентабельность железнодорожного транспорта. Сфера управления приобретает решающее значение, обусловленное многократным повышением возможностей информационного обеспечения процесса перевозок.

Особую остроту проблема повышения эффективности управления процессами перевозок приняла в связи с повышением требований к транспортной безопасности, вызванными такими факторами, как увеличение скорости и объема перевозок, акты незаконного вмешательства. Следовательно, должностным лицам необходимо обеспечить эффективное управление процессами перевозок в любой обстановке. Пути решения этой проблемы многообразны: создание систем управления процессами перевозок и обеспечение их функционирования; развитие и внедрение высокоэффективных технических средств управления; совершенствование организационных форм и методов работы органов управления и т.д.

Одним из основных требований, предъявляемых к системе управления в условиях ЧС, является её устойчивость, то есть способность органов управления выполнять свои функции в сложной, резко меняющейся обстановке при воздействии на систему различных внешних факторов.

Особую актуальность проблема повышения устойчивости систем управления приобретает при создании и применении данных систем на фоне проведения реформ, призванных оптимизировать состав и структуру органов управления организаций различного уровня и назначения. При возникновении чрезвычайных ситуаций возможно воздействие непосредственно на систему управления внешних факторов (природного, техногенного или антропогенного), что может привести к катастрофическим последствиям.

Наглядным примером тому может служить авария на Саяно-Шушенской ГЭС, когда от органов управления требовалось принятие оперативных решений по локализации и ликвидации последствий аварии, но при этом система управления была полностью выведена из строя.

В настоящее время существуют различные способы повышения устойчивости управления [2, 3], вместе с тем одним из приоритетных является совершенствование структуры системы управления [1]. В связи с этим возникает необходимость исследования структур системы управления как на этапе применения, так и на этапе проектирования.

Для исследования структур различных организованных систем в последнее время нашли широкое применение алгоритмы на основе методов теории графов. Среди прикладных задач теории графов определенный практический интерес представляет задача, связанная с построением всех максимальных независимых множеств [1].

Систему управления можно интерпретировать как неориентированный граф $G = (X, A)$, в котором вершины $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ представляют пункты управления, а ребра $A = \{a_1, a_2, \ldots, a_m\}$ – каналы связи. Независимое множество вершин есть множество вершин графа G, в котором любые две вершины не намечены, то есть никакая пара вершин не соединена ребром. Следовательно, любое множество вершин $S \subset X$ является независимым, если оно удовлетворяет условию:

$$S \cap \Gamma(S) = \varnothing, \tag{1}$$

где $\Gamma(S)$ – соответствие S.

Независимое множество является максимальным, когда нет другого независимого множества, в которое оно бы входило, то есть

$$S \cap \Gamma(S) \neq \varnothing; \quad \forall H \supset S. \tag{2}$$

Таким образом, множество, удовлетворяющее условиям (1) и (2), является максимальным независимым.

Если в графе больше одного максимального независимого множества, то это свидетельствует о семействе всех максимальных независимых множеств – Q.

Если Q является семейством всех максимальных независимых множеств графа G, то число

$$\alpha[G] = \max_{S \in Q} |S| \tag{3}$$

называется числом независимости графа G, а множество S^*, на котором этот максимум достигается, называется наибольшим независимым множеством.

Наиболее простым способом нахождения всех максимальных независимых множеств является способ последовательного перебора независимых множеств с одновременной проверкой каждого множества на максимальность [1] и запоминанием максимальных множеств. Подобным способом можно определить максимальные независимые множества для небольших графов с числом вершин не более 15-20. В [1] рассматривается систематический способ перебора Брона-Кэрбоша. Существенным недостатком рассматриваемых способов является необходимость наличия геометрического представления графа.

Из существа определения независимого множества вершин следует, что для нахождения всех максимальных независимых множеств можно воспользоваться матрицей смежности $A = (a_{ij})$, поскольку она полностью определяет структуру графа. Для обыкновенного (неориентированного, без петель и кратных ребер) графа $G = (X, A)$ с множеством вершин $X = n$ и множеством ребер $A = m$ ставится в соответствие матрица смежности $A = (a_{ij})$ – квадратная симметричная матрица с нулевой диагональю. Элементы этой матрицы связаны соотношением $a_{ij} = a_{ji}$ (симметрия относительно главной диагонали).

Следовательно, для нахождения всех максимальных независимых множеств можно оперировать не со всей матрицей, а только с правой или левой её частью, включая главную диагональ. В дальнейшем будем оперировать только с правой частью исходной матрицы (табл. 1):

Таблица 1

$A' =$

a_{11}	a_{12}	$\cdots$	a_{1n}
	a_{22}	$\cdots$	a_{en}
		a_{23}	$\cdots$
			a_{nn}

,

где $a_{11} = a_{22} = \cdots = a_{nn} = 0.$

Обозначим через A_{oi} множество элементов i-й строки матрицы смежности, для которого $a_{ij} = 0$, и назовем его множеством нулевых элементов i-й строки. Данное множество показывает, с какими вершинами графа i-я вершина не имеет связи.

В общем случае это будет множество

$$A_{oi} = \{a_{ij}, a_{ik}, a_{il} \ldots a_{ip}\}. \qquad (4)$$

В процессе определения всех максимальных независимых множеств множество A_{oi} сужается путём операции пересечения с множеством нулевых элементов A_{ok}, соответствующего k-й вершине, то есть определяется новое множество

$$Q_{ik} = A_{oi} \cap A_{ok} = \{ a_{ij}, a_{ik}, \ldots a_{il}, \ldots, a_{ip}, \ldots \}. \qquad (5)$$

Затем проводится новый шаг сужения, путём пересечения множества Q_{ik} с множеством нулевых элементов A_{ol}, соответствующего l-й вершине графа

$$Q_{il} = Q_{ik} \cap A_{ol} = \{ a_{ij}, a_{ik}, a_{il}, \ldots \}. \qquad (6)$$

Множество Q_{ik} будет максимальным независимым только тогда, когда невозможно его дальнейшее сужение, то есть когда

$$Q_{ik} \cap A_{oi} = Q_i . \qquad (7)$$

Для определения следующего максимального независимого множества вновь производится сужение множества A_{oi} путём операции пересечения A_{oi} с множеством нулевых элементов A_{ol}, соответствующих l-й вершине и т.д., пока не находим некоторое множество Q_{il}. Если найденное множество не входит ни в одно ранее определенных, то оно будет максимальным.

Подобным образом определяются и остальные максимальные независимые множества, соответствующие i-й строке. На этом заканчивается первый этап поиска максимальных независимых множеств, соответствующих i-й строке.

Затем по ранее описанному алгоритму определяются максимальные независимые множества, соответствующие оставшимся строкам.

Однако нетрудно заметить, что вышеизложенный алгоритм является громоздким и найденные максимальные множества будут к концу решения задачи повторяться, что свидетельствует о низкой производительности алгоритма.

Для сокращения этапов поиска максимальных независимых множеств воспользуемся тем, что матрица смежности вышеуказанного графа является симметричной (табл. 1).

Дальнейшее сокращение поиска основывается на свойстве максимальности искомых независимых множеств при вычеркивании тех строк из матрицы $A^{/}$, множество нулевых элементов которых входят в множества нулевых элементов, соответствующих другим строкам, то есть

$$A_{ok} \subset A_{oi} . \qquad (9)$$

На основе проведенной операции сформируем матрицу $A^{\|} = (a_{ij})_{mn}$ (табл. 2):

Таблица 2

$A^{\|} =$ (8)

	x_1	x_2	$\cdots$	x_n
x_1	a_{11}	a_{12}	$\cdots$	a_{1n}
x_2		a_{22}	$\cdots$	a_{2n}
$\vdots$			$\cdots$	
x_n				a_{nn}

В этой матрице $a_{11} = a_{22} = \cdots = a_{nn} = 0$.

С целью дальнейшего сокращения поиска, основываясь на свойстве максимальности искомых независимых множеств, вычеркнем те строки из матрицы (8), множество нулевых элементов которых входят в множества нулевых элементов, соответствующих другим строкам, то есть

$$A_{ok} \subset A_{oi} . \qquad (9)$$

С учётом сделанных изменений, блок-схема алгоритма определения всех максимальных независимых множеств будет иметь вид, представленный на рис. 1.

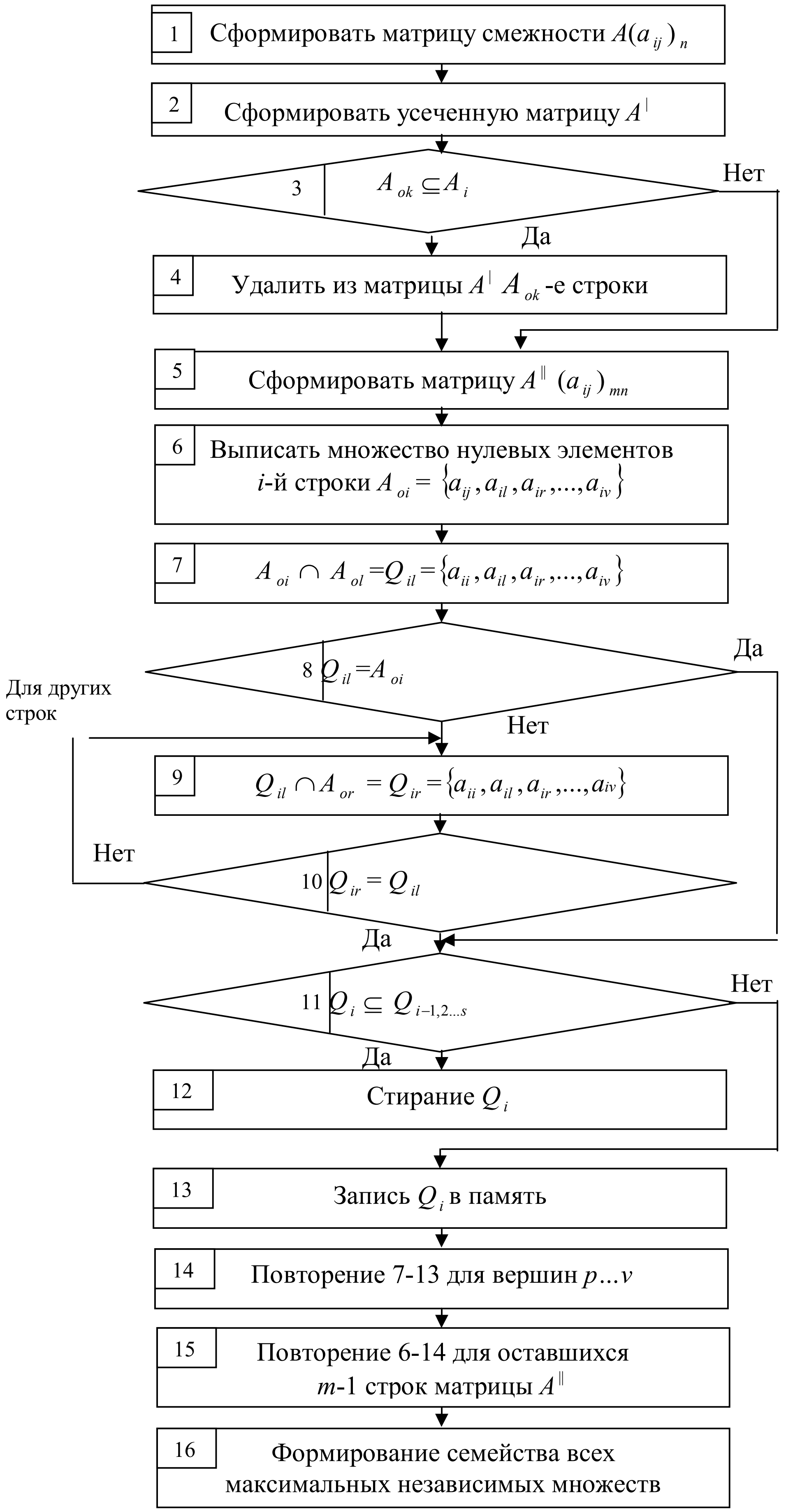

Рис. 1. Схема алгоритма определения всех максимальных независимых множеств

Данные, полученные с использованием изложенного алгоритма, позволяют сформировать оптимальную структуру системы управления с точки зрения её устойчивости.

Представленный алгоритм и изложенные в данной статье подходы позволяют разработать методику проектирования системы управления, применение которой будет способствовать повышению устойчивости управления и, как следствие, снижению вероятности потери управления при возникновении чрезвычайных ситуаций как природного, техногенного, так и антропогенного характера.

Литература

1. ***Кристофидес Н.*** Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978. 432 с.

2. ***Смирнов Э.А.*** Управленческие решения.М.: Инфра, 2001. 264 с.

3. ***Хохлачев Е.Н.*** Организация и технология выработки решений при управлении системой и войсками связи. Часть 1. Методические основы выработки военно-управленческих решений. М.: РВСН, 1999. 284 с.