

УДК 623.004.67

И.В. Толлок<sup>1</sup>, А.В. Коваль<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Генеральный штаб Вооруженных Сил Украины, Киев

<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

## СЕТЕВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ СРЕДСТВАМИ

*В статье рассмотрена методология построения сетевого представления информации для автоматизированной системы управления активными средствами при их техническом обслуживании, учтены дополнительные ограничения, рассмотрены примеры представления обслуживающей системы смешанными графами.*

**Ключевые слова:** сетевое представление информации, смешанные графы.

### Введение

**Постановка задачи.** Использование сетевого представления информации для автоматизированной системы управления активными средствами при их техническом обслуживании, на основе теории графов представляет собой важную научно-техническую задачу, актуальность которой определяется поддержанием активных средств противодействующих сторон в состоянии постоянной готовности к применению.

**Анализ литературы.** В известной литературе, посвящённой поддержанием активных средств противодействующих сторон в состоянии постоянной готовности к применению [1 – 3] рассматриваются вопросы поддержанием активных средств народного хозяйства. В работе [4] проанализированы основные определения теории графов. В работе [5] предложена схема технологического процесса диагностирования состояния активных средств и предложены её критерии эффективности для предприятий Министерства Обороны Украины. Однако в этих работах не рассматриваются вопросы построения сетевого представления информации для автоматизированной системы управления активными средствами при их техническом обслуживании, на основе теории графов для противодействующих сторон.

**Целью статьи** является методология построения сетевого представления информации для автоматизированной системы управления активными средствами при их техническом обслуживании, на основе теории графов для активных средств противодействующих сторон.

### Основной материал

При техническом обслуживании активных средств противодействующих сторон используются специализированные приборы, используемые автоматизированной системой управления при решении задач, возникающих в теории расписаний [5]. Типичные для задач теории расписаний ограничения на порядок выполнения операций, возможности их

одновременного выполнения и т.п. могут быть описаны посредством задания так называемого взвешенного смешанного графа  $G = (Q, U, V)$ , структура которого описана ниже [4].

$Q = \{1, 2, \dots, q\}$  – множество вершин графа, изображающих различные операции. Под операцией в теории расписаний понимается процесс обслуживания отдельного требования отдельным прибором при некотором конкретном обращении к этому прибору [4]. При построении графа  $G$  к таким вершинам могут быть добавлены некоторые вершины, соответствующие фиктивным операциям, не связанным с использованием каких-либо приборов. Таковы, например, операции окончания обслуживания некоторого или всех требований (как правило, такие фиктивные операции включаются в рассмотрение), операция начала обслуживания всех требований (включается в рассмотрение в случае одновременного поступления требований в систему и в некоторых иных случаях).

Компоненты  $U$  и  $V$  графа  $G$  связаны с характеристиками заявок на обслуживание являются диспетчерской и технологической характеристиками [1, 2].

Под диспетчерской характеристикой поступающей в момент  $t_0$  заявки с порядковым номером  $i$  понимается вектор

$$D^i(t_0) = \{D_1^i, \dots, D_j^i, \dots, D_m^i\}, \quad (1)$$

где нижний индекс указывает тип обслуживающего прибора (тип канала обслуживания),  $D_j^i$  – плановая продолжительность обслуживания требование  $i$  любым прибором типа  $j$  (любым постом  $j$ -го канала) [1, 2]. Если  $D_j^i = 0$ , то заявка  $i$   $j$ -м каналом не обслуживается.

Под технологической характеристикой той же заявки понимается вектор  $B^i = \{B_1^i, \dots, B_m^i\}$ , компоненты которого натуральные числа или ноль, указы-

вающие последовательность прохождения требования  $i$  через приборы различного типа: если  $V_j^i = 0$ , то требование прибором типа  $j_1$  не обслуживается; если  $V_{j_1}^i < V_{j_2}^i$  то требование прибором типа  $j_1$  должно быть обслужено раньше, чем прибором типа  $j_2$  если  $V_{j_1}^i = V_{j_2}^i$ , то требование может обслуживаться приборами типа  $j_1$  и  $j_2$  в любом порядке [1, 2].

Рассмотрим методологию построения сетевого представления информации для автоматизированной системы управления активными средствами при их техническом обслуживании, на основе теории графов для активных средств противоборствующих сторон.

Пусть  $U$  – некоторое множество упорядоченных пар вершин из множества  $Q$ , называемых дугами графа  $G$ , каждой из которых  $(i, j)$  приписано вещественное число  $a_{ij}$  (вес дуги). Включение дуги  $(i, j)$  во множество  $U$  с весом  $a_{ij}$  означает, что моменты начала выполнения операций  $i$  и  $j$  должны быть разделены промежутком времени, не меньшим  $a_{ij}$  т.е.

$$\bar{t}_j - \bar{t}_i \geq a_{ij}. \quad (2)$$

Числа  $a_{ij}$  рассчитываются, как правило, по формуле

$$a_{ij} = t_i + \tau_{ij}. \quad (3)$$

где  $t_i$  – продолжительность операции;  $\tau_{ij}$  – затраты времени при переходе от операции  $i$  к операции  $j$ , связанные с переналадкой приборов, транспортировкой требований и т.д.

Множество  $U$  строится при помощи диспетчерской и технологической характеристик всех требований согласно следующим правилам.

1. Если заявка на обслуживание с номером  $i$  поступает в момент  $t_0 \neq 0$ , то вершину графа, изображающую начало всех операций, соединяем дугой с каждой из вершин, соответствующей операции, которой в технологической характеристике  $V^i$  присвоен номер 1, и помечаем каждую из этих дуг весом  $t_0$ .

2. Всякую вершину, отвечающую операции с технологическим номером  $K$ , соединяем дугой с каждой вершиной, отвечающей операции по обслуживанию того же требования с технологическим номером  $K+1$ , и помечаем ее числом  $a_{ij}$ , согласно формуле (1) для соответствующих  $i$  и  $j$  (числа  $t_1$  указаны в диспетчерской характеристике заявки  $D^i(t_0)$ ,  $\tau_{ij}$  – характеристика обслуживающей системы).

3. Если вершина соответствует операции с максимальным технологическим номером, то дугу проводим к вершине, соответствующей фиктивной операции – окончание обслуживания всех требований (или промежуточной операции – окончание обслуживания данного требования). Если помимо упорядочивания последовательности выполнения операций по обслуживанию требования согласно технологической характеристике следует учесть дополнительные ограничения, то вводятся дополнительные дуги и, если надо, дополнительные вершины.

**Учет директивных сроков.** Если, например, обслуживание требования, поступившего в момент  $d_k$ , предполагает выполнение четырех операций с длительностью  $t_1, t_2, t_3, t_4$  на различных приборах, то ограничить продолжительность пребывания этого требования в системе директивным сроком  $D_k$  можно при помощи фрагмента графа  $G$ , изображенного на рис. 1, где фиктивная операция  $O$  означает начало обслуживания всех требований. Разумеется, для выполнимости ограничения необходимо, чтобы вес полученного контура был неположительным, т.е.,  $d_k + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 - D_k \leq 0$  или  $d_k + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \leq D_k$ .

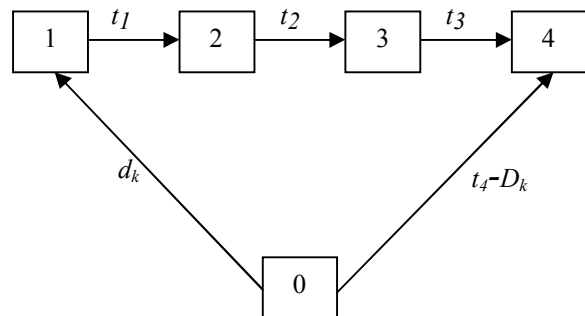


Рис. 1. Учет директивных сроков

**Учет продолжительности простоя прибора.** Если поставлено ограничение на величину простоя некоторого прибора при выполнении ряда операций, например, с номерами 1, 2, 3, то в граф системы  $G = (Q, U, V)$  следует включить фрагмент, изображенный на рис. 2.

Число на рис. 2. равно сумме  $(t_1 + t_2 + t_3)$  и величины допустимого простоя. Соединение вершин 1, 2, 3 неупорядоченными отрезками (ребрами) отвечает распределению соответствующих операций на один прибор, о чем будет сказано ниже при описании третьего компонента графа  $G$  – множества  $V$  ребер графа  $G$ .

**Учет одновременности начала выполнения операций.** Если выполнение операций 1, 2, 3 должно начаться одновременно, то в граф  $G$  вводится следующий фрагмент, рис. 3.

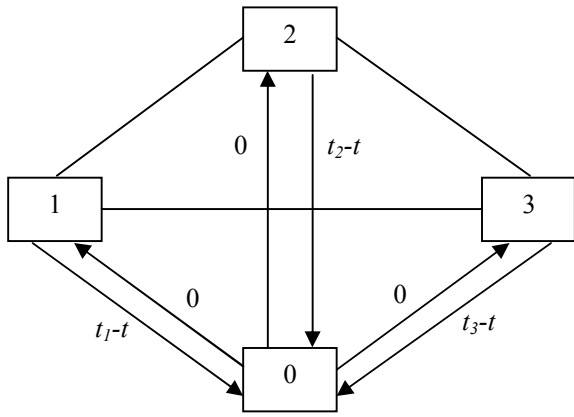


Рис. 2. Учет продолжительности простоя прибора

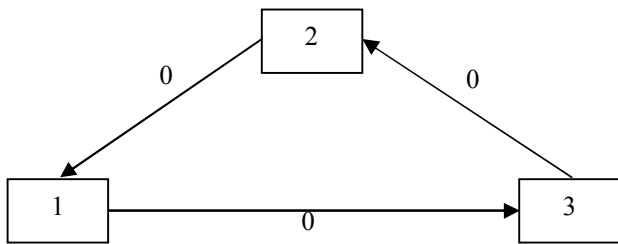


Рис. 3. Учет одновременного начала операций

**Учет директивного ранжирования требований.** Если необходимо обеспечить более раннее начало обслуживания требования  $i$  по сравнению с началом обслуживания требования  $j$ , то в граф  $G$  вводят две вершины и соединяющую их дугу с весом  $\Delta_{ij}$  (рис. 4.)

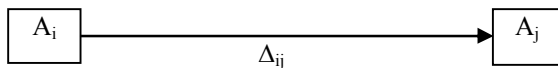


Рис. 4. Учет директивного ранжирования

где  $A_i$  – фиктивная операция начала обслуживания требования  $i$ ;  $A_j$  – фиктивная операция начала обслуживания требования  $j$ ;  $\Delta_{ij}$  – директивный промежуток между началом обслуживания требований.

Если  $\Delta_{ij} = 0$ , то просто требование  $j$  должно начать обслуживаться позже требования  $i$ , без выдерживания какой-либо заранее заданной паузы (что, конечно, не исключает разные времена начала обслуживания этих требований, сложившиеся согласно выработанному по графу  $G$  в результате учета всех ограничений оптимальному расписанию).

Аналогично учитывается условие опережающего окончания обслуживания заявки  $i$  по сравнению с заявкой  $j$ . Последний компонент  $V$  смешанного графа  $G$  является некоторым множеством неупорядоченных пар вершин из множества  $Q$ , называемых ребрами графа  $G$ , каждому из которых  $[i, j]$  приписана пара вещественных чисел  $a_{ij}, a_{ji}$  (вес ребра). Включение ребра  $[i, j]$  в множество  $V$  с весами  $a_{ij}, a_{ji}$  означает, что операции  $i$  и  $j$  могут быть выполнены одним и тем же прибором, поэтому при распределении опе-

раций по приборам следует либо назначить операциям  $i$  и  $j$  разные приборы (тогда ребро  $[i, j]$  удаляется из графа), либо установить очередность выполнения операций  $i$  и  $j$ , не допуская их конфликта из-за обслуживающего прибора (в этом случае ребро  $[i, j]$  заменяется дугой  $(i, j)$  или дугой  $(j, i)$  и снабжается весом соответственно  $a_{ij}$  или  $a_{ji}$ .

Пусть  $Q_k$  обозначает множество операций, каждая из которых должна быть выполнена без прерываний одним из приборов типа  $k$ . Тогда множество ребер  $V$  смешанного графа  $G$  определяется следующим образом. Ребро  $[i, j]$  принадлежит  $V$  тогда и только тогда, когда операции  $i$  и  $j$  принадлежат одному и тому же множеству  $Q, k = 1, \dots, m$ . Каждому ребру  $[i, j] \in V$  приписывается пара весов  $a_{ij}, a_{ji}$ , рассчитанных, например, по формуле (1).

Рассмотрим пример представления обслуживающей системы смешанным графом  $G = (Q, U, V)$ .

Пусть обслуживающая система (ОС) включает два канала обслуживания, причем первый из них состоит из двух параллельных однотипных постов, второй – одного (рис. 5).

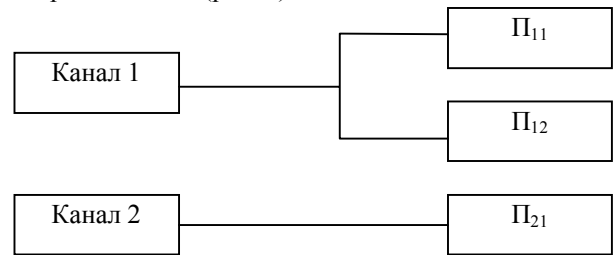


Рис. 5. Двухканальная ОС

Требуется обслужить три заявки с характеристиками

$$\begin{aligned} D^1(0) &= \{80, 10\} & V^1 &= \{1, 2\} \\ D^2(0) &= \{40, 0\} & V^2 &= \{1, 0\} \\ D^3(0) &= \{100, 40\} & V^3 &= \{2, 1\} \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, требуется распределить по приборам и определить моменты начала выполнения 5 операций. Добавим к ним две фиктивные операции начала и конца обслуживания и занумеруем их согласно табл. 1. Будем считать затраты времени  $\tau_{ij}$  на транспортировку требований и переналадку приборов равными нулю (можно считать, что они учтены в диспетчерской характеристике).

Таблица 1

Нумерация операций

№ операции	1 начало	2	3	4	5	6	7 конец
№ требования	-	1	1	2	3	3	-
тип прибора	-	1	2	1	2	1	-

В результаті получим граф  $G=(Q,U,V)$  с компонентами  $Q=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ .

В матрице  $U$  строки составлены из чисел  $i, j, a_{ij}$ , причем первыми перечислены строки, соответствующие операциям, использующим прибор типа 1, за ними строки, связанные с прибором 2 и т.д. Последними следуют строки, соответствующие дугам, выходящим из вершины, обозначающей фиктивную операцию начала всех операций с использованием приборов.

$$U = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 80 \\ 4 & 7 & 40 \\ 6 & 7 & 100 \\ \text{-----} \\ 3 & 7 & 10 \\ 5 & 6 & 40 \\ \text{-----} \\ 1 & 2 & 0 \\ 1 & 4 & 5 \\ 1 & 5 & 30 \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} 2 & 6 & 80 & 100 \\ 2 & 4 & 80 & 40 \\ 4 & 6 & 40 & 100 \\ \text{-----} \\ 3 & 5 & 10 & 40 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Аналогичный порядок принят при построении матрицы  $V$ : строки составлены из чисел  $i, j, a_{ij}, a_{ji}$  и упорядочены по возрастанию типа приборов (напомним, что ребра графа предназначены для последующего упорядочивания использования однотипных приборов в различных операциях).

Граф  $G=(Q,U,V)$  для рассматриваемого примера изображен на рис. 6.

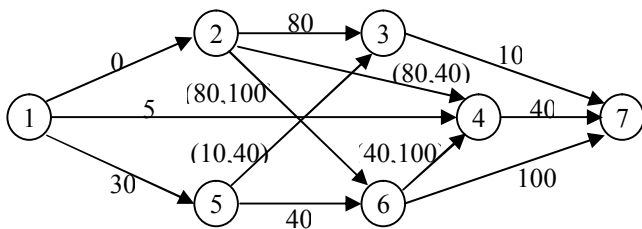


Рис. 6. Граф примера

Итак, в этой задаче множество требований  $N=1, 2, 3$  множество приборов  $M=\{1, 2, 3\}$ , количество разновидностей приборов  $m=2$ , множество приборов первого типа  $M_1=\{1, 2\}$ , множество приборов второго типа  $M_2=\{3\}$ . Длительность обслуживания требований различными приборами  $t_{ij}$ :

$$\begin{bmatrix} 80 & 80 & 10 \\ 40 & 40 & 0 \\ 100 & 100 & 40 \end{bmatrix},$$

где равенство  $t_{23}=0$  означает, что требование 2 третьим прибором не обслуживается. Моменты поступления требований в систему  $d_1=0, d_2=5, d_3=30$ . Директивные сроки  $D_i$ , к которым желательно завершить обработку требований, в данном примере не заданы.

### Выводы

1. В статье рассмотрена методология построения сетевого представления информации для автоматизированной системы управления активными средствами при их техническом обслуживании, на основе теории графов для активных средств противоборствующих сторон.

2. Рассмотрены примеры представления обслуживающей системы смешанными графами.

3. Методология построения сетевого представления информации при их техническом обслуживании, основанная на теории графов может быть учтена при построении автоматизированной системы управления активными средствами противоборствующих сторон.

### Список литературы

1. Вахламов В.К. Автомобили. Теория и конструкция автомобиля и двигателя / В.К. Вахламов. – М.: Академия, 2007. – 232 с.
2. Вахламов В.К. Техника автомобильного транспорта подвижного состава / В.К. Вахламов. – М.: Академия, 2004. – 160 с.
3. Козиник С.И. Автомобили. Теория и конструкция автомобиля и двигателя / С.И. Козиник. – М.: Вече, 2004. – 466 с.
4. Оре Д. Теория графов / Д. Оре. – М.: Мир, 1982. – 420 с.
5. Определение системы технического обслуживания и ремонта автомобильной техники на предприятиях МО Украины и её критерии эффективности // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2008. – Вип. 4(8). – С. 95-97.

Поступила в редколлегию 24.09.2010

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В.Б. Кононов, Харьковский университет Воздушных сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### МЕРЕЖЕВЕ НАДАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АКТИВНИМИ ЗАСОБАМИ

І.В. Толлок, О.В. Коваль

В статті розглядається методологія шукання мережевого подання інформації щодо автоматизованої системи управління активними засобами при їх технічному обслуговуванні, враховані додаткові обмеження, розглянуті приклади подання системи, яка обслуговується, змішаними графами.

**Ключові слова:** мережеве подання інформації, змішані графи.

### NETWORK PRESENTATION OF INFORMATION FOR THE AUTOMATED CONTROL ACTIVE FACILITIES SYSTEM

I.V. Tolok, O.V. Koval

In the article methodology of construction of network presentation of information is considered for the automated control active facilities system at their technical service, additional limitations are scientific, the examples of presentation of the attendant system the mixed columns are considered.

**Keywords:** network presentation of information, mixed graphs.