

## **Моделирование спасательных работ с помощью временных сетей Петри**

*Петраков А.П.*

E-mail: petrakov@syktsu.ru

ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина»

В статье рассмотрено моделирование спасательных работ по деблокированию пострадавших, находящихся в завалах. Моделирование построено на основе сетей Петри. Учитывается механическая разборка завалов с помощью тяжелой техники, поиск людей с помощью специальных приборов и извлечение пострадавших.

Ключевые слова: моделирование, завалы, деблокирование, сети Петри, позиции, переходы.

### **Rescue modeling with Petri nets taking into account work time**

*Petrakov A.P.*

The article discusses the simulation of rescue operations to release victims in the rubble. Modeling is based on Petri nets. It takes into account the mechanical dismantling of rubble with the help of heavy equipment, the search for people with the help of special devices and the extraction of victims.

Key words: modeling, blockages, unlocking, Petri nets, position, transitions.

Анализ военных конфликтов в последние десятилетия свидетельствуют о стремлении воюющих сторон захватить городские населенные пункты [1]. В таких боевых операциях, часто применяется оружие, использующее энергию взрывчатых веществ, что приводит к образованию больших завалов в городах. В связи с этим становится актуальной разборка завалов. Работы по деблокированию пострадавших, находящихся на значительной глубине от поверхности завалов, ведутся с использованием инженерной техники и аварийно-спасательных инструментов [2].

Математическое моделирование аварийно-спасательных работ способствует развитию аналитического мышления и творческого отношения к организации и ведению этих работ. Одним из вариантов моделирования могут служить Сети Петри [3]. Сети Петри представляют собой двудольный ориентированный граф с двумя типами вершин, одни из которых

называются позициями, а другие – переходами. Графически, они изображаются четырьмя элементами: позициями, переходами, дугами и маркерами. Позиции изображаются кружками, а переходы – прямоугольниками. Позиции и переходы связаны направленными дугами. Позиции, из которых дуги выходят, и упирается в переход, называются входными (по отношению к переходам), а позиции, в которые дуги входят – выходными. В позиции помещают маркеры, количество которых соответствует их емкости. Каждой позиции можно поставить в соответствие натуральное число, указывающее число маркеров в позиции. При определенных условиях переходы срабатывают (открываются) и маркеры переходят из входных позиций в выходные. Количество переходящих маркеров соответствует кратности дуг. Пример срабатывания перехода показан на рис.1.

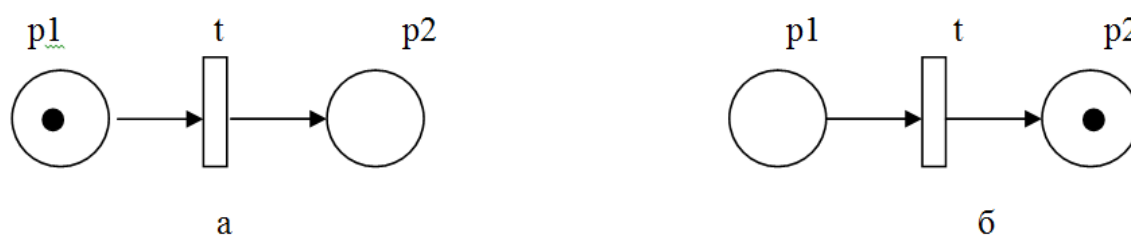


Рис.1. Работа сети Петри, где:  
p1 и p2 – позиции, t – переход,  
а – до срабатывания перехода, б – после срабатывания

Сеть Петри отражает структуру системы и динамику изменения её состояний. Аналитически, сети можно записать в вида  $N=(P,T,E,M_0)$ , где P – количество позиций; T – количество переходов; E – количество дуг  $M_0$  – начальная маркировка сети [4]. В стандартных сетях Петри срабатывание переходов считается мгновенным. Если ввести время срабатывания переходов отличное от нуля, то получится разновидность сети называемая временной.

Целью работы является моделирование, с помощью временных сетей Петри, спасательных работ по извлечению людей из завалов. Моделирование начинается с этапа, предполагающего использование тяжелой техники. Работы разбиты на три вида: механическую разборку завалов с помощью техники, обнаружение людей с привлечением специальных приборов и извлечение пострадавших. В последнем случае предполагается использование аварийно-спасательных инструментов. Начальное состояние сети показано на рис. 2.

Во-входной позиции p1 присутствует три маркера в соответствии с типами работ. Для открытия перехода t1 необходимо наличие маркера в позицию p3. Это предусмотрено правилами работы сети, согласно которым переход срабатывает только в том случае, если число маркеров в каждой входной позиции перехода не меньше количества дуг, соединяющих

эту позицию с переходом. Сеть прекратит работу тогда, когда не сможет сработать не один из ее переходов. Это произойдет после перемещения всех маркеров из позиции p1 в p4.

При открытии перехода t1, один маркер переходит из позиции p1 в позицию p2, что указывает на ведение работ первого типа (рис. 3).

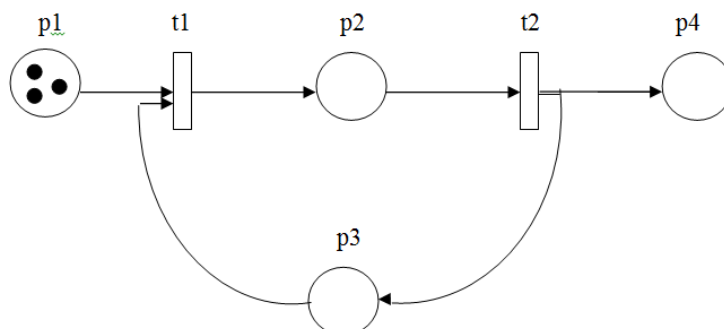


Рис.2. Состояние сети Петри перед началом аварийно-спасательных работ

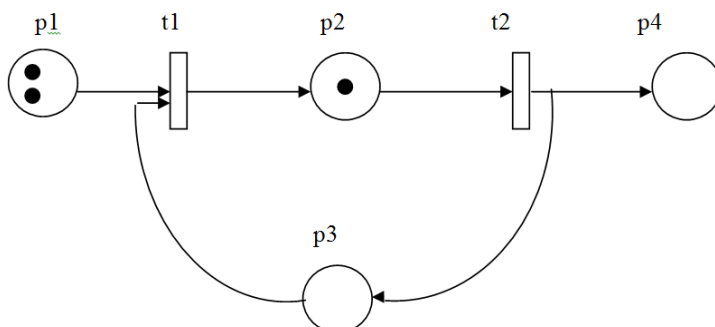


Рис.3. Состояние сети Петри во время выполнении работ первого типа

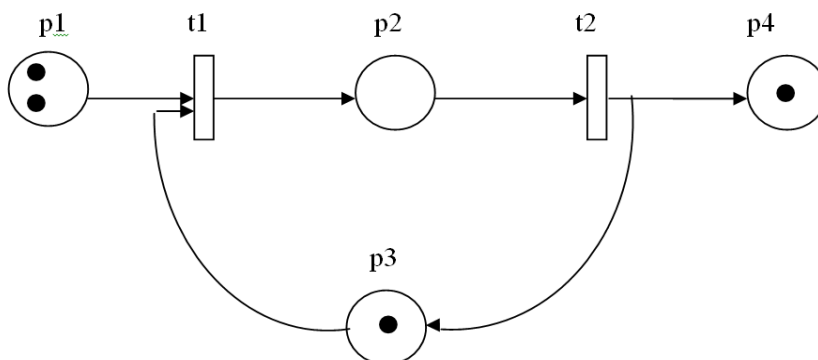


Рис.4. Состояние сети Петри после выполнении работ первого типа

После выполнения работ этого типа маркер из позиции p2 переходит в позицию p4 и в позиции p3 также появляется маркер, указывающий на то, что рабочая площадка свободна для выполнения следующего типа работ (рис. 4). Переходы t1 и t2 отличаются друг от друга, t1 – переход

объединения, а  $t_2$  – разветвления. Срабатывание перехода объединения заключается в удалении, по одному маркеру, из всех входных позиций с занесением одного маркера в выходную позицию. При открытии перехода разветвления убирается один маркер из входной позиции и помещается по одному маркеру во все выходные позиции.

Время задержки в переходе  $t_1$  определим временем необходимым для приведения в рабочее состояние короткобазового крана КС-6371 – 5 мин (первый тип работ), временем разворачивания акустического прибора поиска пострадавших – 1.5 мин (второй тип работ) и максимальным временем приведения аварийно-спасательного инструмента в рабочее состояние 1 мин (третий тип работ). Аналогичные времена задержки определим и в переходе  $t_2$ , только здесь задержка связана с приведением в исходное состояние техники, приборов и инструментов.

Время нахождения в позиции  $p_2$  определим продолжительностью работы тяжелой техники – 45 мин, максимальным временем обнаружения пострадавшего в завалах (высотой 3 – 5 м) – 30 мин и временем извлечения пострадавшего – 15 мин.

Сети можно маркировать цифрами, указывающими число маркеров в позициях, например, исходное состояние записывается набором цифр: 3,0,0,0, а для первого открытия перехода  $t_1$  должно выполняться условие: 3,0,1,0. Процесс выполнения работ первого типа записывается в виде: 2,1,0,0, а завершение работ: 2,0,1,1. Маркировка позволяет применять компьютерное моделирование и определять длительность выполнения аварийно-спасательных работ (табл.1).

Таблица 1

**Состояние сети и длительность выполнения работ**

№ п/п	Открытый переход	Задержка в переходе, мин	Маркировка позиции				Задержка в позиции $p_2$ , мин
			$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	
1	-	-	3	0	0	0	
2	$t_1$	5	2	0	1	0	
3	-	-	2	1	0	0	45
4	$t_2$	5	2	0	0	0	
5	-	-	2	0	0	1	
6	$t_1$	1.5	1	0	1	1	
7	-	-	1	1	0	1	30
8	$t_2$	1.5	1	0	0	1	
9	-	-	1	0	0	2	
10	$t_1$	1	0	0	1	2	
11	-	-	0	1	0	2	15
12	$t_2$	1	0	0	0	2	
13	-	-	0	0	0	3	
<b>Суммарное время, мин</b>		10					90

Из таблицы видно, что суммарное время в переходах составляет всего 10 мин, в то время как задержка в позиции  $p_2$  – 90 мин. Для сокращения времени спасательных работ необходимо увеличить производительность тяжелой техники. В рассматриваемую модель не включен первоначальный визуальный осмотр завала и извлечение пострадавших, не требующее применения тяжелой техники. В модели можно предусмотреть цикличность работ. Время одного цикла составит 100 мин. Последовательность работ задается цветными маркерами. Если маркерам в данном примере присвоить три цвета: красный, желтый и зеленым, согласно типам выполняемых работ, получится цветная сеть Петри. Переходу  $t_1$  необходимо указать предпочтение срабатывания в первую очередь для красного маркера, во вторую – синего и в третью – зеленого.

При компьютерном моделировании необходимо использовать матрицы позиций (Q) и переходов (R). В обеих матрицах столбцами являются позиции, а строками переходы. Элементы матриц состоят из нулей и единиц. Если от некоторой позиции ( $p_i$ ) к переходу ( $t_j$ ) направлена дуга, то в матрице позиций, на пересечении их ставится 1, в противном случае 0. В матрице переходов единицы ставятся при наличии дуг, направленных от переходов к позициям. Матричное задание сети, изображенной на рис. 2 приведено в табл. 2, 3.

Таблица 2

**Матрица позиций**

<b>Q</b>	<b>p1</b>	<b>p2</b>	<b>p3</b>	<b>p4</b>
t1	1	0	1	0
t2	0	1	0	0

Таблица 3

**Матрица переходов**

<b>R</b>	<b>p1</b>	<b>p2</b>	<b>p3</b>	<b>p4</b>
t1	0	1	0	0
t2	0	0	1	1

На основе проведенных исследований можно сделать вывод что, сети Петри являются хорошим инструментом моделирования в области аварийно-спасательных работ. Графическое изображение сети позволяет наглядно смоделировать процесс спасательных работ. Анализ сетей позволяет получить информацию о динамическом поведении системы аварийно-спасательных работ. Для получения временных характеристик необходимо ввести весовую характеристику переходов в виде продолжительности срабатывания. Последовательность работ задается цветными сетями. Аналитический и матричный способ задания сетей Петри позволяет исследовать процесс с помощью компьютерных программ.

## Литература

1. Бахтиярова А.Н., Казаков В.Ю., Глушаченков А.А., Шарыкина О.В. Методический подход к обоснованию рационального способа защиты населения от поражающих факторов при применении обычных средств поражения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, №1 от 2019г – 19-24 с.
2. Харисов Г.А., Калайдов А.Н., Неровных А.Н., Фирсов А.В. Сборник заданий для практических занятий по дисциплине «Организация и ведение аварийно-спасательных работ». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 51 с.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
4. Проститенко О.В., Халимон В.И., Рогов А.Ю. Моделирование дискретных систем на основе сетей Петри. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2017. – 69 с.