

## ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Гармаев В.Д., Гармаева С.С., Чимитова В.В.

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
Россия, Улан-Удэ, gavede@mail.ru*

*Для построения модели процесса функционирования предприятия используется аппарат теории сетей Петри. Определение всех возможных состояний процесса и переходов между состояниями строится граф достижимости сети. Вероятностные характеристики процесса определяются с помощью соответствующей цепи Маркова.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, сети Петри, цепи Маркова.

## CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF THE NETWORK MODEL OF FUNCTIONING ENTERPRISE

Garmaev V.D., Garmaeva S.S., Chimitova V.V.

*East Siberia State University of Technology and Management,  
Russia, Ulan-Ude, gavede@mail.ru*

*To build a model of the process of enterprise functioning, the apparatus of Petri nets theory is used. Determination of all possible process states and transitions between states is done by constructing the network reachability graph. Probabilistic characteristics of the process are defined by means of appropriate Markov chain.*

**Key words:** mathematical modeling, Petri nets, Markov chains.

**Введение**

Сети Петри имеют достаточно широкое применение при разработке и анализе моделей функционирования предприятий различного рода деятельности. Полученная при этом информация позволяет оценить процесс функционирования данного предприятия, определить состояния в которых может находиться предприятие в процессе своей деятельности, выявить нежелательные состояния и выяснить каким образом можно их избежать, каким образом можно добиться требуемого состояния.

**Постановка задачи**

Согласно [1], сеть Петри представляет собой набор объектов  $C = (P, T, I, O)$ , где  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  – совокупность переходов, отражающих происходящие события,  $k \geq 0$ .  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – совокупность позиций, отражающих условия, предшествующие реализации события (предусловия) и условия, возникающие в результате его наступления (постусловия),  $n \geq 0$ .

Состояние процесса определяется вектором маркировки  $\vec{m} = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ ,  $n = |P|$  сети Петри. Начальное состояние процесса определяется вектором  $\vec{m}^{(0)} = (m_1^{(0)}, m_2^{(0)}, \dots, m_n^{(0)})$ . Множество достижимости сети Петри  $D(C, \vec{m}^{(0)})$  представляет собой совокупность маркировок, которые могут получиться в результате реализации переходов сети исходя из начальной маркировки.

Рассмотрим вопрос построения модели функционирования предприятия в виде сети Петри, с последующим представлением в виде графа достижимости и привлечением цепей Маркова для анализа процесса. На рис. 1 представлена сеть Петри, моделирующая функционирование страховой компании, занимающейся страхованием физических лиц и предприятий различной формы собственности.

Совокупность  $P$  содержит 7 позиций:  $p_1$  – имеется возможность работы с клиентом;  $p_2$  – проведен анализ представленного комплекта документов;  $p_3$  – подготовлены документы для

выплаты страхового возмещения;  $p_4$  – подготовлены документы для отказа в выплате страхового возмещения;  $p_5$  – проведен судом анализ представленного комплекта документов;  $p_6$  – подготовлены судом документы для отказа в выплате страхового возмещения;  $p_7$  – подготовлены судом документы о выплате страхового возмещения и штрафа за несоблюдение в добровольном порядке удовлетворения требований потребителя.

Совокупность  $T$  содержит 9 переходов:  $t_1$  – заявление принято к рассмотрению;  $t_2$  – принято решение о выплате страхового возмещения;  $t_3$  – принято решение об отказе в выплате страхового возмещения;  $t_4$  – представление документов в суд;  $t_5$  – судом принято решение о выплате страхового возмещения и штрафа за несоблюдение в добровольном порядке удовлетворения требований потребителя;  $t_6$  – судом принято решение об отказе в удовлетворении иска;  $t_7$  – компанией добровольно выплачено страховое возмещение;  $t_8$  – компанией доведены до клиента решения суда;  $t_9$  – решения суда о выплате страхового возмещения и штрафа за несоблюдение в добровольном порядке удовлетворения требований потребителя.

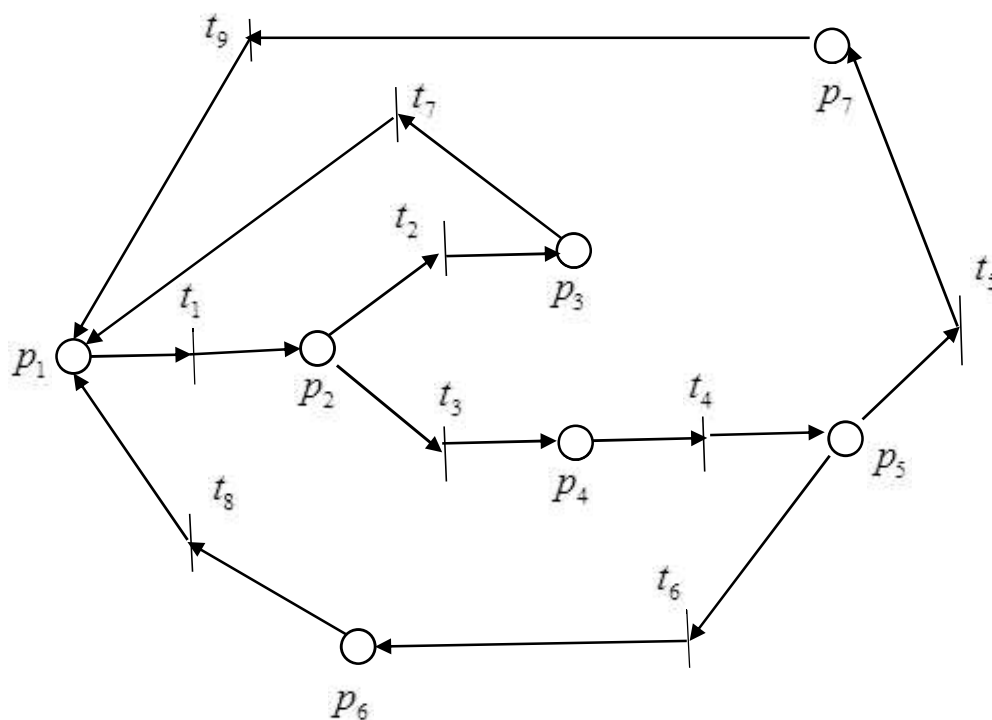


Рисунок 1 – Модель обслуживания заявления страхователя

Граф достижимости  $G = (M, R)$  сети Петри, моделирующей процесс представляет собой совокупность всех возможных состояний процесса и последовательность в их изменении.

Пусть начальное состояние процесса определяется вектором  $\vec{m}^{(0)} = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ , которое означает готовность к работе с поступившим заявлением от клиента. Дальнейшие состояния  $S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 7$  можно представить в виде графа достижимости (рис. 2):

$$\begin{aligned}
 & (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0) - S_1 \\
 & \quad \downarrow t_1 \\
 & (0, 1, 0, 0, 0, 0, 0) - S_2 \\
 & \quad \swarrow t_2 \quad \searrow t_3
 \end{aligned}$$

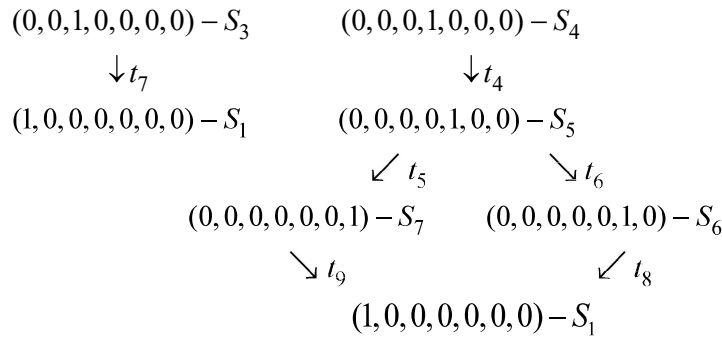


Рисунок 2 – Граф достижимости маркировок сети Петри

Цепь Маркова для данного процесса имеет вид:

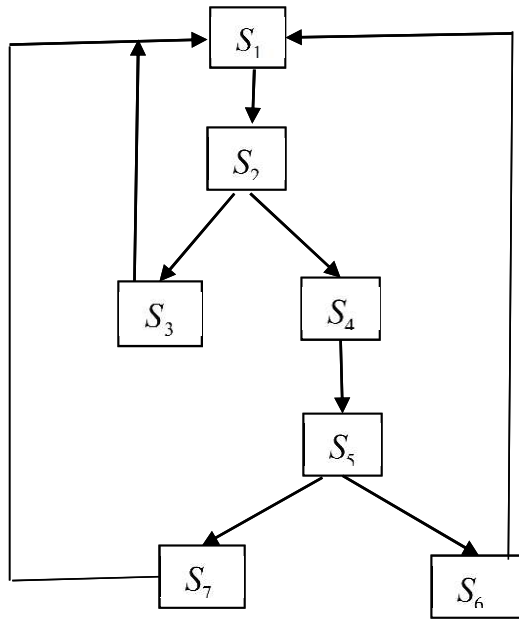


Рисунок 3 – Представление процесса в виде цепи Маркова

По структуре представленной на рис. 3 цепи Маркова видно, что она является эргодической [2], то есть с возрастанием номера шага  $k$  в ней устанавливается стационарный режим.

Система уравнений, состоящая из балансовых уравнений для всех состояний, кроме первого, и нормировочного условия, для определения предельных вероятностей имеет вид:

$$\begin{cases}
r_1 = r_2, & r_2 p_{23} = r_3, \\
r_2 p_{24} = r_4, & r_4 = r_5, \\
r_5 p_{56} = r_6, & r_5 p_{57} = r_7, \\
r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 = 1.
\end{cases}$$

Решая систему находим, что

$$r_1 = r_2 = \frac{1}{3 + 2p_{24}}, \quad r_3 = \frac{p_{23}}{3 + 2p_{24}}, \quad r_4 = r_5 = \frac{p_{24}}{3 + 2p_{24}}, \quad r_6 = \frac{p_{24}p_{56}}{3 + 2p_{24}}, \quad r_7 = \frac{p_{24}p_{57}}{3 + 2p_{24}}.$$

Как видно, полученное решение в значительной степени зависит от численного значения переходной вероятности  $p_{24}$ , вероятности перехода из состояния  $S_2$  в состояние  $S_4$ , то есть принятия компанией решения об отказе в выплате страхового возмещения.

### Заключение

Рассмотренный подход можно применить к моделированию процесса функционирования предприятий различного рода деятельности, в частности предприятий сферы услуг.

### Библиография

1. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ.— М.: Мир, 1984—264с.
2. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — М.: КНОРУС, 2013.— 448 с.

#### Bibliography

1. Peterson J. Petri nets theory and system modeling: Trans. from English— М.: Mir, 1984. — 264p.
2. Wentzel E.S., Ovcharov L.A. Theory of random processes and its engineering applications. — М.: KNORUS, 2013. — 448 p.