

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*Омский государственный университет путей сообщения,  
Омский государственный университет имени Ф.М. Достоевского*

*Рассматриваются вопросы моделирования технологических процессов ремонта подвижного состава. Предлагается методология модульного моделирования с использованием паттерновых сетей.*

*Ключевые слова: ремонт подвижного состава; технологические процессы; имитационное моделирование; оценка проектных решений.*

*Simulation matters of operating procedures rolling stock repairing. The methodology of modular modeling with use pattern networks is offered.*

*Keywords: car repair; operating procedures; simulation; optimization of project parameter.*

Имитационное моделирование технологических процессов позволяет получить данные о динамическом поведении производственной системы на этапе планирования нового строительства, модернизации или реконструкции предприятий. Основой динамического моделирования является представление технологического процесса в форме динамической имитационной модели.

Современное производство предприятий транспортного машиностроения является сложной многокомпонентной динамической системой, моделирование которой связано с рядом сложных проблем, одна из которых это выделение основных функциональных элементов и их взаимосвязей. Графовый и табличный методы, обладающие рядом несомненных достоинств, не всегда позволяют адекватно описать динамическое поведение системы [1]. Часть возникающих проблем, как показал опыт авторов в моделировании сложных технологических процессов железнодорожного транспорта, может быть решена с помощью дискретных паттерновых сетей [2].

Основываясь на базовых принципах «парадигмы модульного мышления», учеными и специалистами Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС) совместно с Институтом математики и информационных технологий Омского государственного университета разработали методологию использования теории паттернов и ориентированных паттерновых сетей для решения задач моделирования технологических процессов производства, ремонта и технического обслуживания железнодорожной техники.

Основным понятием теории паттернов является понятие абстрактной образующей (паттернового модуля) и неотделимых от нее связей. Паттерновые сети строятся из образующих, путем попарного объединения связей различных образующих в связки [2, 3]. Множество всех образующих называется составом сети, а множество всех связок – структурой.

Множество  $G$  образующих сети конечно и образующие занумерованы. Каждая образующая  $g \in G$  полностью определяется вектором своих признаков:

$$a_g = a_i, \gamma_{i1}, \dots, \gamma_{il_i}, \beta_{i1}^{in}, \dots, \beta_{im_i}^{in}, \beta_{i1}^{out}, \dots, \beta_{ir_i}^{out}, \quad (1)$$

где  $i$  – порядковый номер образующей;  $\gamma_{ik}, k = 1, \dots, l_i$  – атрибуты образующей;

$m_i$  и  $r_i$  – количество входящих и исходящих связей;  $\beta_{ik}^{in}, k = 1, \dots, m_i$  и  $\beta_{ik}^{out}, k = 1, \dots, r_i$  – показатели входных и выходных связей образующей.

Атрибуты и показатели связей образующих являются переменными величинами. Множества  $D_{ik}, D_{ik}^{in}$  и  $D_{ik}^{out}$  допустимых значений переменных  $\gamma_{ik}, \beta_{ik}^{in}$  и  $\beta_{ik}^{out}$  определяют информационное содержимое образующей и называются доменами соответствующих переменных. Для дискретных паттерновых сетей домены всех переменных являются конечными или счетными множествами. Состав, структура и содержание определяют структурный скелет сети.

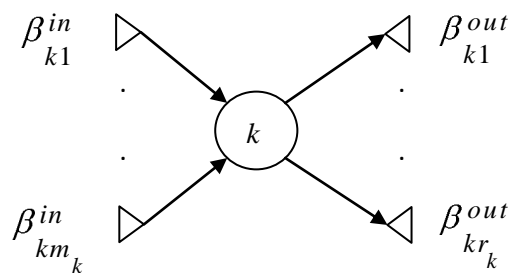
Если переменным заданы значения из соответствующих доменов, то получившаяся сеть называется ассоциированной с исходной.

На каждой связке паттерновой сети устанавливается бинарное отношение между двумя переменными  $\beta^{out}$  и  $\beta^{in}$ , называемое отношением связей и

обозначаемое символом  $\rho$ , которое имеет имя "соединено". В общем случае связка сети может быть представлена в виде:  $\beta^{out} \rho \beta^{in}$ , где  $\rho$  принимает значение либо "истина", либо "ложь".

Все связки абстрактных и конкретных паттерновых сетей всегда являются истинными, а каждая связка ассоциированной паттерновой сети может находиться в двух состояниях - истинном (соединенном) или ложном (разъединенном). Состояние связки зависит от значений соответствующих показателей связей.

Образующая может быть визуально представлена в виде графической схемы. Изображенные на схемах входные и выходные связи ориентированных образующих наглядно представляют входы и выходы технологических операций с номером  $k$  (рис. 1).



**Рис. 1. Представление образующей в виде графической схемы**

Для технологической сети образующие являются технологическими операциями. Количество входящих и исходящих связей образующей определяется типом технологической операции и логистикой производственного процесса. Домены атрибутов образующих содержат возможные значения параметров технологических операций, условия их выполнения и другую необходимую информацию: наименование операции, функциональный тип позиции на которой производится операция; тип деталей, подвергающихся технологической обработке; детерминированный или вероятностный способ задания технологической связи с другими операциями; время выполнения операции.

Несоединенные (не участвующие в связках) связи ориентированных паттерновых сетей имитируют внешние, открытые для соединений выходы и

входы. Технологические позиции и участки представляют собой стандартные фрагменты общей технологической сети, составленные из комбинаций паттерновых модулей, связи между которыми полностью определяются технологическим процессом производства. По терминологии теории паттернов данные фрагменты являются регулярными конфигурациями.

Данная конкретная сеть является средой для дискретного динамического моделирования процессов производства. В качестве условия соединения связей в простейшем случае может выступать завершение выполнения технологической операции на рабочем месте. Для более сложных объектов моделирования (например, производственных участков, использующих общие средства доставки), связи соединяются при выполнении группы условий.

Методология имитационного моделирования технологических процессов ремонта подвижного состава с использованием паттерновых сетей может быть описана следующими основными положениями:

1) структурной и информационной основой моделирования является конкретная паттерновая сеть, формируемая на основании формализованного описания технологического процесса;

2) время изменяется дискретно, при каждом изменении времени обновляются значения переменных и, тем самым, определяется новая ассоциированная сеть;

3) время изменяется в моменты разъединения хотя бы одной связки ассоциированной сети;

4) разъединение связей происходит при перемещении деталей оборудования с одной рабочей позиции на другую и, в свою очередь, вызывает выполнение технологических операций и соединение других связей;

5) при перемещении деталей используются общие производственные ресурсы (например, мостовой кран).

Проведенные в работе исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение модульного принципа теории паттерновых сетей позволяет формализовать создание имитационных моделей технологических процессов ремонта, производства и технического обслуживания подвижного состава, обеспечить преемственность их алгоритмической и информационной структуры.

2. Предлагаемая методология позволяет моделировать основные элементы производственного комплекса ремонтных предприятий, включая технологическое оборудование, склады, накопители и средства доставки общего пользования.

3. С помощью имитационных моделей, созданных на основе теории паттернов, можно эффективно решать комплекс разноплановых задач по модернизации существующих и проектированию новых предприятий, в том числе: задачу оптимизации размещения оборудования, управления производством, логистики, контроля качества и другие.

#### Литература:

1. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. – С.Пб.: Питер; Киев: Издательская группа BNV, 2004. – 847 с.
2. Гренандер У. Лекции по теории образов. - М.: Изд-во "Мир", 1979.
3. Шуткин Л.В. Новое мышление компьютерного мира // - М.: НТИ, Сер. 2, - 2000. - № 12.