



Модульный принцип моделирования ремонта ПС



Виктор СМИРНОВ
Victor A. SMIRNOV

Александр СЕМЕНОВ
Alexander M. SEMENOV



Смирнов Виктор Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения.
Семенов Александр Михайлович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математический анализ» Омского государственного университета им. Ф. М. Достоевского.

Подходы к моделированию технологических процессов ремонта подвижного состава. Предлагается модульный принцип с использованием паттерновых сетей. Рассматриваются методология, основы классификации и системные свойства паттерновых модулей.

Ключевые слова: ремонт подвижного состава, оптимизация технологических процессов, имитационное моделирование, паттерновые сети.

Моделирование, будучи прежде всего инструментом проектирования, предоставляет широкие возможности для анализа и расчета параметров, оптимизации и проверки функционирования производственно-технологических структур, систем материальных потоков и логистики [1, 2].

На железнодорожном транспорте одним из наиболее сложных и ответственных является технологическое проектирование предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава, механизированных пунктов подготовки к перевозкам. Сложность подобных объектов обуславливается значительной номенклатурой технологических операций, высокой степенью механизации и автоматизации производства, разнообразием типов подвижного состава, жесткими требованиями к эффективности проекта, окупаемости инвестиционных затрат [3].

I.

При использовании методов моделирования существенно повышается качество процесса и результатов проектирования, появляется возможность выявить пробле-

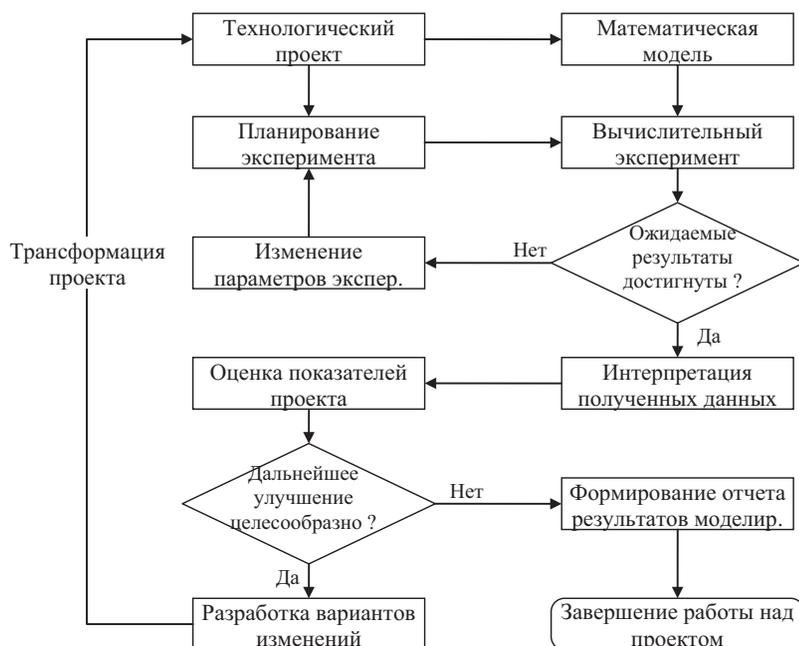


Рис. 1. Алгоритм оптимизации проектных решений методами моделирования.

мы, возникающие позднее в ходе производства (после реализации проекта), внести коррекции в планово-инвестиционные вложения. Последнее обстоятельство связано с масштабом инвестиционных затрат при создании, модернизации или реконструкции предприятий по ремонту подвижного состава. Так, по данным открытых источников средние затраты на реконструкцию крупного ремонтного предприятия составляют от 250 млн руб. в вагонном и до 1,2 млрд руб. в локомотивном хозяйствах. Рост проектной мощности на каждую 1000 вагонов обходится в среднем около 60–70 млн рублей без учета затрат на проектно-изыскательские работы.

Особую актуальность при подготовке проектных решений имеет так называемое динамическое моделирование, позволяющее использовать данные о поведении во времени исследуемых технических систем [4]. Основой здесь является детальное представление технологического процесса в форме динамической имитационной модели.

Можно выделить следующие приоритетные задачи математического моделирования процессов ремонта подвижного состава:

- определение потребностей основного и вспомогательного технологического оборудования;

- оптимизация размещения технологического оборудования, производственных цехов и участков;

- определение показателей загрузки, количества и оптимального размещения средств доставки общего пользования (цеховые мостовые краны, электрокары, погрузчики);

- выбор размещения и размерных параметров складских систем и накопителей;

- оптимизация объектно-планировочных решений при разработке генерального плана предприятия;

- расчет необходимого путевого развития, обеспечивающего заданные производственно-технологические показатели;

- сравнительный анализ возможных вариантов организации производства и режимов работы предприятия, подтверждение граничных показателей производительности труда, программы ремонта и времени простоя подвижного состава при выполнении технологических операций;

- динамический ресурсно-энергетический анализ работы предприятия, выявление максимальных нагрузок систем энергообеспечения, загрузки производственного персонала в течение рабочей смены;

- анализ технологических рисков, связанных с выходом из строя оборудования, перебоями в поставке комплектующих;



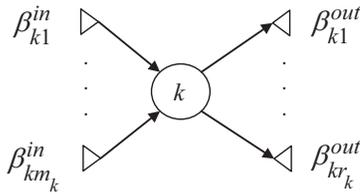


Рис. 2. Представление образующей в виде графической схемы.

■ комплексное сравнение нескольких вариантов технологических решений.

Основные принципы моделирования для оптимизации проектных решений иллюстрирует рис. 1.

Имитационное моделирование широко применяется для теоретического исследования и проектирования технических, экономических, биологических и других систем. Обусловлено это, преимущественно, тем, что сложность применения аналитических методов многократно возрастает при увеличении количества системных динамических компонент. Популярность компьютерного имитационного моделирования многокомпонентных систем привела к созданию ряда специализированных пакетов прикладных программ. В то же время в универсальных математических пакетах (Matlab, MathCad, Mathematica, Maple и др.) с каждой новой версией появляется все больше возможностей и для конструирования имитационных моделей.

Тем не менее при моделировании любой многокомпонентной динамической системы специалисты сталкиваются с рядом проблем. Одна из них – это анализ системы, включающий выделение основных функциональных элементов и их взаимосвязей. Графовый и табличный методы, обладающие рядом несомненных достоинств, не всегда позволяют адекватно описать динамическое поведение системы. Часть возникающих проблем, как показал опыт моделирования, может быть решена с помощью дискретных паттерновых сетей и основанной на них парадигмы модульного мышления. Теория паттернов создана У. Гренандером [5] в конце XX века. Ограничение области значений переменных в этой теории привело к созданию дискретной теории паттернов.

Цель статьи – применение положений

нового направления анализа систем (теории паттернов и ориентированных паттерновых сетей) для решения задач моделирования технологических процессов производства, ремонта и технического обслуживания подвижного состава железнодорожного транспорта.

II.

Основным в теории паттернов является понятие абстрактной образующей (паттернового модуля). Паттерновые сети строятся путем попарного объединения связей различных образующих в связки. Множество всех образующих называется составом сети, а множество всех связей – структурой.

Дадим необходимые определения и введем стандартные обозначения (см., например, [6]). Пусть 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; $y_{ik}, k=1, \dots, l_i$ – 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 β_{ik}^{out} определяют информационное содержимое образующей и называются доменами соответствующих переменных. Для дискретных паттерновых сетей домены всех переменных выступают конечными или счетными множествами. Состав, структура и содержание – структурный скелет сети.

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

На каждой связке паттерновой сети устанавливается бинарное отношение между двумя переменными β^{out} и β^{in} , называемое отношением связей и обозначаемое символом ρ – «соединено». В общем случае связка сети может быть представлена в виде $\beta^{out} \rho \beta^{in}$, где ρ принимает значение либо «истина», либо «ложь».

Все связки абстрактных и конкретных паттерновых сетей всегда бывают 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 показывают входы и выходы технологических операций с номером k (рис. 2).

В случае технологической сети образующие являются технологическими операциями и в этом смысле – конкретны. 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 прочими операциями и времени выполнения.

Такая сеть – среда дискретного динамического моделирования процессов производства. В каждый момент модельного времени переменным присваиваются значения из соответствующих доменов, то есть определяется ассоциированная с исходной паттерновая сеть. При этом значение показателя каждой связи задает время, начиная с которого связь готова к соединению. Если текущее время больше значений показателей исходящей и входящей связей, то ρ принимает значение «истина».

Для предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава типичны следующие технологические операции:

- подача оборудования подвижного состава в цех (рис. 3а), предполагающая наличие единого физического канала доставки (передаточная тележка, конвейер, трансбордер);

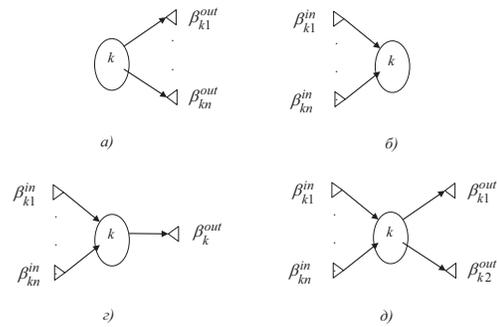


Рис. 3. Основные типы технологических операций.

- выдача отремонтированного оборудования из цеха (рис. 3б);
- технологическая обработка – например, очистка оборудования подвижного состава, сушка, окраска, сварка и наплавка, замена изношенных элементов, станочная обработка (рис. 3г);
- контроль и испытания – операции входного и выходного контроля, диагностирования, приемо-сдаточные испытания после ремонта с вероятностным характером исходящих связей (маршрутов возможного перемещения, рис. 3д);
- разборка – изменение структуры и состава сборочной единицы оборудования с детерминированным характером исходящих связей, однозначно установленными технологическими маршрутами обработки отдельных деталей (рис. 3д);
- сборка (рис. 3г, $n \geq 2$), выполнение которой становится возможной, если в соединенном состоянии находятся не менее двух входящих связей.

III.

Ориентированные паттерновые сети благодаря возможности соединения и разъединения связок моделируют соединение и разъединение выходов и входов модулей, из которых состоят реальные технологические процессы. Связки паттерновых сетей определяют структуру модульных систем.

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 моду-



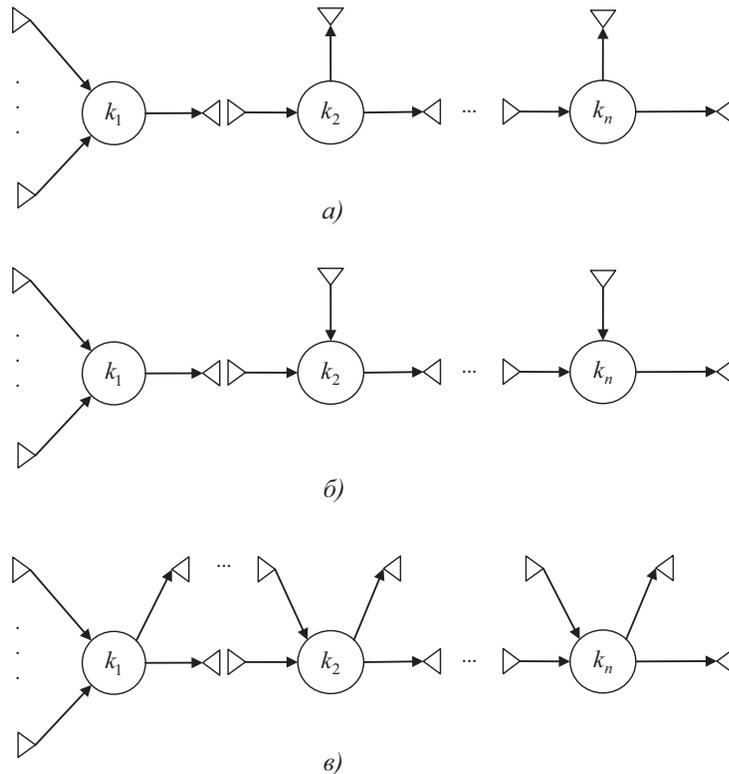


Рис. 4. Примеры моделей технологического оборудования, применяемого при ремонте подвижного состава.

лей, связи между которыми полностью детерминированы процессом производства. По терминологии теории паттернов такие фрагменты являются регулярными конфигурациями.

Как и образующие, регулярные конфигурации существуют формально и в виде наглядных схем. Но если схемы образующих изображают отдельные модули, то регулярные конфигурации моделируют открытые системы, состоящие из взаимосвязанных модулей, например:

- 1) позиция разборки (рис. 4а), где k_i — образующие разборки;
- 2) позиция сборки (рис. 4б), где k_i — образующие сборки;
- 3) станция контроля и испытания (рис. 4в), где k_i — вероятностные образующие контроля.

В качестве условия соединения связей в простейшем случае может выступать завершение технологической операции на рабочем месте. Для более сложных объектов моделирования (например, производственных участков, использующих общие средства доставки) связи возникают при выполнении группы условий, где

непосредственно сопрягаются цели технологической обработки изделия и возможность выполнения заявки на его транспортное перемещение с одной рабочей позиции на другую. Причем при таком перемещении разъединяется соответствующая связка.

Организация ремонтного производства традиционными методами предусматривает наличие промежуточных накопителей входящих для обработки деталей и выходящих обработанных. На рис. 5 приведено графическое изображение паттерновой модели, описывающей взаимодействие технологических позиций при наличии обоих видов накопителей.

Методология имитационного моделирования технологического процесса ремонта подвижного состава с использованием паттерновых сетей может быть описана следующим образом:

- структурной и информационной основой моделирования является паттерновая сеть, представляющая собой формализованный технологический процесс;
- время изменяется дискретно, при этом обновляются значения переменных

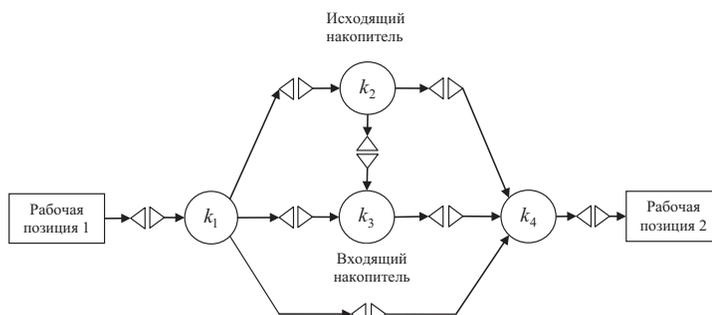


Рис. 5. Модель логистической связи технологических позиций.
 Здесь k_1 – операция перемещения обработанной детали с рабочего места, k_4 – операция перемещения на рабочее место для обработки, k_2 – операция перемещения детали из исходящего накопителя, k_3 – операция перемещения детали из входящего накопителя.

и тем самым определяется новая ассоциированная сеть;

- время изменяется в моменты разъединения хотя бы одной связки ассоциированной сети;
- разъединение связок происходит при перемещении деталей оборудования с одной рабочей позиции на другую и, в свою очередь, приводит к выполнению технологических операций и соединению других связок;
- при перемещении деталей используются общие производственные ресурсы (например мостовой кран).

ВЫВОДЫ

1. Паттерновые сети, как и табличные и графовые методы представления и анализа технических систем, можно считать инструментом инженерного проектирования технологических процессов.
2. Применение модульного принципа теории паттерновых сетей помогает формализовать создание имитационных моделей технологических процессов изготовления, ремонта и технического обслуживания

подвижного состава, обеспечить преемственность их алгоритмической и информационной структуры.

3. Предлагаемая классификация и формальное описание паттерновых модулей позволяют моделировать основные элементы производственного комплекса предприятий локомотивного и вагонного хозяйств, включая технологическое оборудование, склады, накопители, средства доставки общего пользования, контрольно-испытательные станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование операций: В 2-х томах. Пер. с англ./Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981.
2. Проектирование промышленных предприятий: Принципы. Методы. Практика/Кlaus-Герольд Грундиг; Пер. с нем. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.
3. Технология вагоностроения и ремонта вагонов: Учебник для вузов/В. С. Герасимов, И. Ф. Скиба, Б. М. Кернич и др.; Под ред. В. С. Герасимова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988.
4. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. – СПб.: Питер; Киев: Изд. группа ВНУ, 2004.
5. Гренандер У. Лекции по теории образцов. – М.: Изд-во «Мир», 1979.
6. Шуткин Л. В. Новое мышление компьютерного мира// – М.: НТИ, Сер. 2, – 2000. – № 12. ●

MODULAR PRINCIPLE OF SIMULATION OF ROLLING STOCK REPAIRING

Smirnov, Victor A. – Ph.D. (Tech), associate professor of the department of rolling stock of electric railways of Omsk State University of Railway Engineering.

Semenov, Alexander M. – Ph.D. (Phys.-Math.), associate professor of the department of mathematical analysis of Omsk State University named after F. Dostoevsky.

The authors describe some approaches towards engineering processes of rolling stock repairs and propose modular principle based on pattern networks. They study methodology, classification, and system properties of pattern modules.

Key words: rolling stock repairs, optimization of engineering process, simulation, pattern networks.

Координаты авторов (contact information): Смирнов В. А. – smirnovva@bk.ru, Семенов А. М. – almsemenov@mail.ru.

