

УДК 656.21.07:004.342

## **ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ЗАТРУДНЕНИЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

*В. Г. КОЗЛОВ*

*УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

Железнодорожный транспорт как объект научного исследования является сложной иерархической системой, которая состоит из множества компонентов, выполняющих отдельные задачи перевозочного процесса. На железной дороге осуществляются одновременно перевозки широкой номенклатуры грузов и пассажиров по различным маршрутам и назначениям. При этом совокупность технологических операций по организации вагонопотоков и движения поездов различных категорий взаимосвязаны и требуют синхронизации их выполнения на технических станциях, участках и в узлах.

Выполнение технологических операций параллельно, в частности пропуск транзитного вагонопотока с переработкой и без переработки, не позволяет традиционными аналитическими методами расчета осуществить достоверную оценку интегрированной наличной пропускной способности железнодорожного узла, а также технической станции с развитой инфраструктурой. Существующие подходы расчета пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных сооружений и устройств не учитывают специфику их взаимного размещения в топологии узла (станции). На практике появляются затруднения в эксплуатационной работе железнодорожной станции, но по отдельности объекты и устройства имеют значительный резерв пропускной и перерабатывающей способностей. Затруднения происходят на элементах, где осуществляется синхронизация процессов и имеется ограниченность ресурсов и, как следствие, образуется ожидание завершения параллельных операций.

Для комплексной оценки интегрированной наличной пропускной способности железнодорожной станции целесообразно применять имитационное моделирование перевозочного процесса, учитывающее структуру и технологию пропуска транспортного потока, а также взаимное размещение сооружений, устройств, объектов и отдельных элементов в топологии станции. При моделировании недетерминированных динамических систем с параллельными взаимодействующими компонентами, которыми являются железнодорожная станция и узел, рационально использовать сетевую асинхронную модель, построенную на основе иерархической временной раскрашенной сети Петри.

Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, состоящий из вершин двух типов – позиций и переходов, соединенных между

собой дугами. Вершины одного типа не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети. Событием называют срабатывание перехода, при котором метки из входных позиций этого перехода перемещаются в выходные позиции. События происходят мгновенно либо одновременно, при выполнении некоторых условий. Сеть Петри выполняется посредством запусков переходов, которые управляют количеством и распределением фишек в сети [1].

Для моделирования бизнес-процессов работы железнодорожной станции в качестве позиций и переходов выступают элементы станции и процессы, а метками обозначается транспортный поток, который может отличаться исходными входными параметрами (цветом метки). Например, для моделирования процесса пропуска поездов по однопутному перегону, который можно рассматривать как общий ресурс при выполнении параллельных процессов, необходимо использовать механизм взаимного исключения в сети Петри. Данный механизм подходит для моделирования элементов станции, где выполняются параллельные процессы и есть точки их синхронизации. Например, для моделирования работы горловины парка, путей парка и сортировочной горки структура сети Петри будет аналогичной (эквивалентной).

При создании имитационной модели эксплуатационной работы железнодорожной станции или узла производится декомпозиция системы на элементарные самостоятельные элементы: перегон, горловина, парк, вытяжной путь, сортировочная горка и др. Разрабатывается соответствующая модель сети Петри для каждого отдельного элемента, осуществляется непосредственно моделирование их работы, чтобы получить и проанализировать соответствующую логику на возникновение недопустимых ситуаций типа коллизий или блокировок. Далее осуществляется композиция отдельных моделей каждого элемента и разрабатывается единая иерархическая модель общей системы [2].

Для более детального описания эксплуатационной работы станций, с учетом времени на выполнение технологических операций, категории и характеристик транспортного потока, необходимо использовать возможности временной раскрашенной сети Петри. В такой сети переходы имеют затраты времени на выполнение, что приближает модель к поведению реальной системы или процесса. Метки могут отличаться и иметь собственные параметры, которые учитываются при активации и выполнения перехода. При этом раскрашенную сеть можно представить (привести) в виде простой сети Петри, что позволяет проводить анализ сети, основанный только на его свойствах.

Для прогнозирования эксплуатационных затруднений в работе железнодорожных узлов и станций используется основная задача анализа – достижимости сети Петри. Для ее решения имеется два основных подхода. Первый основан на построении ориентированного корневого дерева достижимости, вершинам которого соответствуют возможные маркировки, а дугам – переходы. Другой подход к анализу сетей Петри называется матричным и основан

на их матричном представлении. На основе анализа дерева достижимости или его матричного представления можно определить маркировку сети, которая приводит к принципиальной невозможности срабатывания отдельных переходов, что означает затруднение эксплуатационной работы на соответствующем элементе станции. Также для решения эксплуатационных задач можно производить анализ нежелательных или желательных свойств сетей Петри: ограниченность, безопасность, сохраняемость, живость и др. Моделировать различные эксплуатационные ситуации: изменение размера и структуры потока, закрытие пути, ограничение маневровых ресурсов и т. п.

### Список литературы

1 **Мараховский, В. Б.** Моделирование параллельных процессов. Сети Петри. Курс для системных архитекторов, программистов, системных аналитиков, проектировщиков сложных систем управления / В. Б. Мараховский, Л. Я. Розенблум, А. В. Яковлев. – СПб. : Профессиональная литература, АйТи-Подготовка, 2014. – 400 с.

2 **Кузнецов, С. К.** Применение сетей Петри для моделирования железнодорожных систем / С. К. Кузнецов, А. И. Потехин // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ–2014, Москва). – М. : ИПУ РАН, 2014. – С. 4937–4946.

---

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

■ Козлов Владимир Геннадьевич, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», заведующий НИЛ «Управление перевозочным процессом», vgzozlov@tut.by.

УДК 656.225

## ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ КЛАССАМИ ПРИОРИТЕТОВ

*С. Н. КОЛ*

*ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)»,  
г. Москва*

Для эффективного пропуска грузовых поездов по расписанию [1] требуются резервы пропускной способности полигона. Это требует определенных резервов инфраструктуры и ресурсов (поездных локомотивов и бригад ПТО), так как инфраструктурные и ресурсные ограничения снижают пропускную способность, вызывают задержки. Инфраструктурные задержки возникают в основном из-за недостатка свободных путей приема на технических станциях. Следует отметить, что пути занимаются не только на время выполнения технологических операций, но и ожидания бригады ПТО или поездного