

ставляют собой процессы, к внутренней структуре которых доступ исследователя либо невозможен, либо неизвестен. Вероятностные технологические процессы производства второго типа имеют графовую структуру, и на динамику их поведения влияют устройства оборудования. На организацию ВТПП исследователь воздействует только через это оборудование. САИМ-2 позволяет проектировать системы управления для таких ВТПП. Третий тип ВТПП также имеет графовую структуру взаимосвязей микротехнологических операций, ресурсные запросы которых известны исследователю. Поэтому имеется большая свобода действий в организации ВТПП. Внутри таких ВТПП осуществляется параллельно-последовательная реализация ветвей технологических операций. Поэтому с помощью САИМ-3 представляется возможность имитации технологии расхода ресурсов предприятия в динамике реализации технологических процессов производства. Предлагаемые версии САИМ имеют хорошую перспективу использования в различных предметных областях.

### **Литература**

1. Гончаров А.Н. Имитационное моделирование оперативного контроля технологическими процессами опасного производства. – Известия ГГУ им. Ф.Скорины, 2006, № 4(37). – С. 13 – 16.
2. Клименко А.В. Технология измерения оперативной информации с помощью имитационной модели для управления технологическими процессами дискретного производства. – Известия ГГУ им. Ф.Скорины, 2006, № 4(37). – С. 29 – 31.
3. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И. Система автоматизации экспериментов, реализующая агрегатный способ имитации технологических процессов – Информатика, 2005, № 1. – С. 25 – 31.

## **О ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ РЕГИОНА**

**И. В. Максимей, Е. И. Сукач, П. В. Гируц, Е. А. Ерофеева**  
Беларусь, г.Гомель

### **Введение**

Существенное увеличение числа транспортных средств в сетях региональных дорог привело к повышению требований к их рациональной организации. Для автомобильных дорог, как правило, оценивают максимальный поток в сети, находят наиболее эффективное распределение потока, выявляют “узкие места” и своевременно их ликвидируют. Одновременно с этими задачами оценивают суммарные затраты транспортных средств при их движении из начального пункта в конечный. Для решения задачи нахождения максимального потока в транспортной сети обычно используется алгоритм Форда-Фалкерсона [1]. Однако, алгоритм Форда-Фалкерсона имеет ряд ограничений, которые на практике не выполняются. Поэтому исследователи вынуждены прибегать к имитаци-

онному моделированию, позволяющему как можно точнее описать реальную ситуацию в региональной сети [2].

При планировании работы систем железнодорожного транспорта трудности возникают в организации работы узлов сети. Для нахождения рационального варианта организации работы сортировочных станций железной дороги региона (узлов сети), как правило, используются различные математические методы [3]. Обычно используются аналитические модели систем массового обслуживания (СМО), в которых в качестве параметров задаются усредненные величины, позволяющие находить детерминированные характеристики работы станции. Однако, из-за случайного характера изменения объёмов работ или структуры потоков станции, актуально применение имитационного моделирования с целью решения задач планирования на имитационной модели (ИМ) грузоперевозок и исследования технологического процесса (ТП) переработки транзитного “вагонопотока”.

Как видим, в обоих случаях имеют место одинаковые проблемы использования ИМ. Поэтому актуальна разработка единой программной системы имитационного моделирования для исследования транспортных потоков региона, сочетающей преимущества аналитических и имитационных методов исследования объектов моделирования типа систем автомобильных дорог и железнодорожных путей региона.

### *1 Определение интегрального максимального потока в региональной сети с помощью имитационного моделирования*

Для определения вариантов организации автомобильных транспортных потоков во времени, нахождения интегрального максимального потока и оценки интегральных затрат транспортных средств в динамике предлагается использовать имитационную модель транспортных потоков региона (ИМ ТПР) [3], модифицированную с учётом изменения состояния дорог и параметров внешней среды.

Обобщённая ИМ ТПР, реализуется на основе комплекса взаимосвязанных имитационных моделей разного уровня детализации. Модели первого уровня позволяют исследовать процессы износа отдельных участков дорог транспортной сети, которые описываются стационарными поглощающими цепями Маркова. Вершины цепи Маркова соответствуют последовательным состояниям участков дорог, которые изменяются случайным образом и влияют на пропускные способности этих участков, а так же величину стоимости проезда транспортных средств. Модель второго уровня, используя информацию первого уровня о текущем состоянии участков, позволяет найти значения интегрального максимального потока сети в выбранном направлении и определить узкие места в сети, устранение которых позволит достичь оптимального распределения транспортных потоков региона с учетом текущей ситуации.

Для построения модели используется следующая исходная информация: определяется сама сеть  $G(N,U)$ ; задаются значения матриц, определяющих параметры сети [4]; определяется множество входов и выходов для исследуемого направления, которое обозначается  $ZY$ . Вводится также матрица, элемента-

ми которой являются функции распределения внутренних потоков  $\|F_{ij}(\tau)\|$  внутри графа  $G(N,U)$ .

На первом уровне моделирования для каждого  $ij$ -го участка сети дорог реализуются имитационное моделирование изменения состояния дороги в соответствии с параметрами матрицы переходных вероятностей  $P_{ij}$ . Полученные статистики моделирования накапливаются, обрабатываются и передаются в блок управления моделированием.

Далее на основании данных моделирования первого уровня и информации блока управления формируются значения матриц пропускных способностей  $C(t) = \|c_{ij}(t)\|$  ветвей сети и матриц стоимостей проезда транспортных средств вдоль ветвей графа  $Q(t) = \|q_{ij}(t)\|$  в рассматриваемые моменты времени.

На втором уровне моделирования производится корректировка матрицы пропускных способностей  $C$ , с использованием матрицы  $\|F_{ij}(\tau)\|$  для определения пропускных способностей тех ветвей графа, у которых имеет место сочетание транзитных потоков с вероятностными внутренними потоками.

Затем по алгоритму Форда-Фалкерсона для очередной  $g$ -ой реализации процедуры Монте-Карло определяются значения максимальных потоков  $\|\varphi_{xy}^k\|$  и распределения этих потоков по ветвям транспортной сети  $\|X_{xy}^k\|$  ( $k=1, \dots, K$ ) для различных сочетаний входов и выходов, число которых равно числу транзитных потоков  $K$  исследуемого направления. Полученные отклики запоминаются в качестве элементов выборок статистик имитации.

Далее реализуется цикл из  $R$  итераций, который начинается повторением  $(g+1)$ -ой реализации метода Монте-Карло. По завершении  $R$  итераций исследователь имеет выборки статистик для различных сочетаний входов и выходов исследуемого направления по значениям максимальных потоков и их распределениям по ветвям сети.

По выборкам статистик вычисляются средние значения и выборочные дисперсии откликов моделирования. В итоге получают оценки средних значений статистик максимального потока  $\|\varphi_{xy}^k\|$  и их распределений  $\|X_{xy}^k\|$ . Далее, с использованием матриц  $\|X_{xy}^k\|$ , определяются показатели выгоды максимальных потоков  $\|F_{xy}^k\|$  в исследуемом направлении  $ZY$ .

Для нахождения наиболее эффективного варианта организации интегрального максимального потока  $\varphi_{xy}^g$ , обеспечивающего минимальные затраты на перемещение транспорта в заданном направлении анализируются значения двух матриц  $\|\varphi_{xy}^k\|$  и  $\|F_{xy}^k\|$ .

Для поиска и исключения "узких мест" в региональной сети при исследовании потоков в заданном направлении производится корректировка значений пропускных способностей отдельных ветвей сети. Поскольку все потоки суще-

ствуют внутри одной и той же сети, то формируется единая матрица распреде-

ления интегрального потока по ветвям сети  $\overline{X}_{xy} = \left\| \sum_{t=1}^k X_{xy}^t \right\|$ , который суммируется из нескольких потоков. Покомпонентное вычитание двух матриц  $\|C(t) - \overline{X}_{xy}\| = \|\Delta X_{xy}\|$  позволяет определить статистики "узких мест" и выдать рекомендации для своевременной их ликвидации.

## 2 Имитационное моделирование работы сортировочной железнодорожной станции региона

Железнодорожная сортировочная станция представляет собой сложный комплекс технологически взаимосвязанных элементов и операций, включающий различные технологические линии обслуживания транспортного потока. Из них сортировка транзитного "вагонопотока" является доминирующей технологической линией и поэтому выбрана в качестве предмета исследования.

Для построения модели сортировочной станции используется следующая исходная информация: состав и последовательность выполнения технологических операций (ТХО) по переработке транзитного "вагонопотока"; состав и количество используемых ресурсов; число подходов к станции; специализация путей в соответствии с подходами.

В соответствии с исходной информацией составляется иерархический граф технологических операций. Узлами этого графа являются переходы от одной технологической операции или группы технологических операций к другой. Ветвями являются сами технологические операции.

Далее по графу технологических операций составляется сетевой график. Вершинам сетевого графика соответствуют специфические процедуры свершения начала и конца ТХО (СНК). Процедуры не имеют продолжительности в модельном времени и выполняют в системе следующие функции: определяют последовательность выполнения ТХО, исходя из специальных таблиц смежности; фиксируют статистическую информацию о ходе имитации; выполняют операции, связанные с распределением ресурсов. Время выполнения каждой ТХО определяется на основе статистической информации реальной станции железнодорожной сети.

При выполнении технологических операций по сортировке "вагонопотоков" на сортировочной станции используются ресурсы трёх типов: путевые, которые зависят от схемы конкретной станции; маневровые локомотивы станции; людские ресурсы. Все ресурсы являются дискретными и неделимыми (то есть захватывается, передается и освобождается целиком некоторое число единиц ресурса).

Особенностями использования путевых ресурсов является то, что один и тот же ресурс может использоваться в нескольких последовательных ТХО, и одна ТХО может использовать последовательно несколько ресурсов. Поэтому формализация путевых ресурсов требует выполнения следующих действий: выделения множества ТХО  $\{TХО_k\}$ , для выполнения которых необходимы путевые ресурсы станции; разделения путевых ресурсов станции на непересе-

кающиеся подмножества  $\{RES_j\}$ , где  $RES_j$  – подмножество, необходимое для осуществления более чем одной ТХО<sub>k</sub>; составление соответствия между всеми ТХО из множества  $\{ТХО_k\}$  и подмножествами ресурсов, необходимых для их выполнения  $\{RES_j\}$ , где  $RES_j$  – подмножество необходимое для выполнения выбранной ТХО<sub>k</sub>, с указанием для каждого  $RES_j$  порядкового номера его захвата.

Система распределения ресурсов (СРР) осуществляет следующие операции: выделяет ресурс  $RES_j$  для ТХО<sub>k</sub> по запросу, если ресурс свободен; ставит ТХО<sub>k</sub> в очередь к ресурсу  $RES_j$ , если ресурс занят; освобождает ресурс  $RES_j$ , возвращенный ТХО<sub>k</sub>.

Поезда, поступающие в расформирование на станцию и, соответственно, сформированные составы поездов представлены в модели в виде сложных составных транзактов (ССТ), куда входят: информационный транзакт (INTR – имитатор вагона); кортеж (COR – имитатор группы вагонов с одной станцией назначения). Для представления составов при каждом подходе к станции используются аналитические либо табличные функции распределения следующих величин: числа отцепов в составе, числа групп (вагонов с одинаковым назначением по специализации путей), числа вагонов в группах.

Обслуживание ССТ технологическими операциями производится в соответствии с информацией, находящейся в «теле» ССТ, которая влияет на следующие аспекты функционирования модели: продолжительность модельного времени выполнения ТХО; переход между технологическими операциями в сетевом графике; выделение ресурсов СРР.

Особенностью формализации технологического процесса переработки транзитного «вагонопотока» является то, что ССТ, поступившие в систему, разбиваются на кортежи, затем по определенным правилам, собираются новые ССТ. Поскольку ССТ поступают не одновременно, то полученные в результате разбиения ССТ кортежи накапливаются в «пулах». Выбор «пула» для ожидания на накопление зависит от информации, содержащейся в кортеже. По окончанию накопления в «пуле» определенного числа транзактов, производится сборка содержащихся в «пуле» кортежей в новый ССТ, который движется дальше по сетевому графику для обслуживания технологическими операциями.

В ходе моделирования обычно решаются следующие задачи:

определение качества существующей станционной технологии в зависимости от «вагонопотока» (прямая задача);

определение характеристик системы при существующем «вагонопотоке» в зависимости от технических и путевых ресурсов (обратная задача).

В качестве основных критериев оценки результатов варианта технологии работы станции используются вагоно-часы простоя на станции и локомотиво-часы работы на станции.

## Литература

1. Жогаль С.И., Максимей И.В., Задачи и модели исследования операций. Ч. 1. Аналитические модели исследования операций: Учебное пособие. - Гомель: БелГУТ, 1999. - 109 с.

2. Максимей И.В., Имитационное моделирование на ЭВМ, Москва, Радио и связь, 1983, 232 с.

3. «Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на ж.д. транспорте» под ред. П.С. Грунтова – М: Транспорт – 1994, 543с.

4. Максимей, И.В. Исследование вероятностных транспортных потоков региона с использованием метода имитационного моделирования / Максимей И.В., Сукач Е.И., Гируш П.Л., Пикуль А.В. // Информационные системы и технологии (IST 2006): Материалы III Международной конференции, Минск, 1-3 ноября 2006 г. / Академия управления при Президенте Республики Беларусь. – Минск, 2006. – Ч. 2. – С. 178–183.

## **РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШАБЛОНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АРХИТЕКТУРНЫХ ШАБЛОНОВ**

**Д.В. Терлецкий, А.Н. Курбацкий**  
Беларусь, г. Минск

Ежедневно на рынок программного обеспечения (ПО) выходит огромное количество новых программных продуктов (ПП). Однако, качество большинства из них очень далеко от идеала. Для примера, рассмотрим статистику разработки ПО для военной сферы. На самом деле, данная сфера была выбрана не случайно. Всё дело в том, что ПО в этом случае разрабатывается надолго, в рамках ограниченного и известного бюджета и с исключительно высокими требованиями к надежности и качеству. Здесь нет маркетинга (по крайней мере, сразу после выбора поставщика услуг), четко обозначены сроки и бюджетные рамки. И, естественно, ведется строгий контроль над выполнением проекта и учёт всех возникающих проблем. Благодаря этому, мы можем проследить успешность выполнения проектов в данной сфере. В соответствии с данными Министерства обороны США (МО США), мы имеем следующие результаты:

- 47% заказов, оплаченных МО США, были выполнены, но разработанное ПО не используется по причине несоответствия требованиям;
- 29% заказов было оплачено, но программы так никогда и не были разработаны (не были завершены);
- 19% оплаченных контрактов на разработку ПО было расторгнуто по причине срыва сроков;
- 3% заказанного ПО было разработано в срок, эти программы используются, но после серьезных доработок силами собственных специалистов МО США;
- 2% заказанного ПО было одновременно и поставлено в срок, и не потребовало доработок.

Как видно из приведённых данных, реальная наблюдаемая производительность труда в программной индустрии составляет всего 2%. Это именно те 2% оплаченных, выполненных в срок и не нуждающихся в модификации программ, пригодных к использованию сразу с момента поставки заказчику. Добавим также, что большинство выпущенных ПП не обладает гибкими возможностями