

($\tau_{\text{эвак}}$). С момента t_{0A} на $\{MLIN\}$ моделируется поступление дополнительного количества TS_{ij} . Целью моделирования является определение этих величин и составление расписания их поступления в течение времени эвакуации $\tau_{\text{эвак}}$. Интенсивность поступления пассажиров в момент t_{0A} возрастет до λ_i^m . Критерием пригодности варианта подачи резервного состава TS_{ij} является суммарная длина очередей на тех $OSTr_j$, у которых имел место рост интенсивности поступления $\{PASS\}$ при возникновении аварии. Поскольку реально возможное число вариантов увеличения числа TS_{ij} за время $\tau_{\text{эвак}}$ ограничено, то можно утверждать о выборе рационального состава дополнительных $\{TS_{ij}\}$ на $MLIN_j$, обеспечивающих эвакуацию пассажиров из $\{PM\}$.

Приведенный пример возникновения аварии на PM_i показывает на возможность использования ИМ ГТС для расчета рационального резервного состава транспортных средств на $MLIN_j$ на случай возникновения аварии на любом месте трудовой деятельности $\{PM_k\}$ и даже в любом месте проживания пассажиров $\{ЖМ_k\}$. Проведя серию ИЭ, руководство ГТС и соответствующие надзорные службы с помощью ПТКИ ГТС смогут рассчитать требуемые резервы транспортных средств и составить соответствующие инструкции их использования при возникновении аварийных ситуаций в пределах зоны действия ГТС.

УДК 629.4. 082.3

МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

В. Н. ГАЛУШКО, Н. А. ОЛЕШКЕВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта

Достаточно большое количество попыток исследования городской транспортной сети (ГТС) с помощью моделирования функционирования городских транспортных средств говорит о том, что проблема эта настолько сложна, что в каждом случае удавалось достичь лишь ее частичного решения. При исследовании ГТС города, в котором специфика расселения населения и мест приложения труда зачастую определяет состав и структуру ГТС, очень важен высокий уровень детализации процессов обслуживания пассажиропотоков имеющимся составом транспортных средств, а известные средства автоматизации имитационного моделирования трудно использовать при отображении технологии обслуживания пассажиропотока в ГТС. Поэтому актуальна разработка способов формализации технологических процессов в ГТС и средств реализации имитационных моделей (ИМ) технологии обслуживания пассажиропотока в ГТС.

В данной работе излагается методика построения и использования ИМ ГТС, основанная на использовании транзактно-процессного способа имитации динамики обслуживания пассажиров существующим подмножеством транспортных линий ГТС с высоким уровнем их детализации.

Метод имитационного моделирования функционирования городского транспорта состоит из следующих этапов:

- 1 Формализация процесса обслуживания пассажиров в ГТС.
- 2 Организация мониторинга ГТС.
- 3 Разработка ИМ ГТС на основе мониторинга.
- 4 Испытание и исследование свойств ИМ ГТС.
- 5 Проверка адекватности модели.
- 6 Эксплуатация модели при решении задачи проектного моделирования ГТС.
- 7 Разработка технологии эксплуатации ИМ ГТС.
- 8 Апробация ИМ и технологии ее использования в практике эксплуатации ГТС.

На первом этапе формализации ГТС предлагается применить транзактно-процессный способ описания динамики поведения пассажиров в сети и их обслуживание обслуживающими устройствами с управляющими входами. Динамическими элементами имитационной модели (ИМ) ГТС являются транзакты (модели поведения пассажиров в ГТС), которые затем объединяются в картежи транзактов, представляющие собой модели подмножества пассажиров, находящихся внутри транс-

портного средства и следующих до одной и той же станции назначения. Статическими элементами ИМ ГТС являются обслуживающие устройства с управлением: имитаторы появления, имитаторы транспортного средства, станции посадки-пересадки пассажиров, имитаторы светофоров.

Целью мониторинга ГТС (этап 2) является изучение структуры пассажиропотоков маршрутных линий на предмет построения имитационных моделей (ИМ) самого пассажиропотока. С помощью ИМ данного класса появится возможность изучения динамики пассажиропотоков в течение суток на транспортной линии. Данные мониторинга являются исходной информацией для "запитки" ИМ городской транспортной маршрутной системы (ГТС). Поставленная цель определила актуальность разработки программы анализа результатов, а также средств построения ИМ и технологий проведения исследования. В качестве составной части средств обработки результатов явилась программа анализа результатов мониторинга.

При разработке ИМ ГТС на основе мониторинга (этап 3) выполняется параметризация модели и выбирается технологическое средство для реализации ИМ ГТС. В нашем исследовании объектом исследования является фрагмент ГТС, состоящий из маршрутных линий с двухсторонним движением транспортных средств. На транспортных линиях расположены светофоры, регулирующие очередность пересечения перекрестков транспортными средствами. Выделяется три типа остановочных станций: конечных, обычных и пересадочных. ГТС обслуживает пассажиропоток, обеспечивая перевозку пассажиров по их маршрутам, каждый пассажир обладает маршрутной картой его передвижения по ГТС. На этапе 4 происходит определение наиболее важных параметров (количество перевезенных пассажиров, степень заполняемости транспортных средств, суммарное время ожидания на остановках и т. д.), выбираются данные для запитки и верификации ИМ ГТС.

На этапе 5 определяется соответствие полученной ИМ ГТС и реальных данных, полученных в результате натурного эксперимента на маршрутной линии при проведении мониторинга. Адекватность ИМ ГТС осуществляется путем сравнения по коэффициентам Литла и реальной накопленной статистике тех же характеристик реальной сети.

Целью этапа 6 является иллюстрация возможностей использования транзактов сложной структуры при решении типовых задач проектного моделирования ГТС (поиска узких мест в технологии обслуживания пассажиров ГТС; оценки пропускной способности ГТС при заданном составе транспортных средств; определение состава дополнительных транспортных средств в случае возникновения аварии на одном из городских объектов).

На этапе разработки технологии ИМ ГТС (этап 7) требуется много ресурсов ЭВМ и затрат труда исследователя, поэтому для облегчения исследований предлагается многоэтапная методика использования программно-технологического комплекса (ПТКИ) ГТС. Технология использования ПТКИ ГТС предполагает многоуровневый характер его использования. На уровне 1 осуществляется построение ИМ ГТС средствами технологической оболочки ПТКИ ГТС. На уровне 2 организуется натурный эксперимент (НЭ) на реальной основе ГТС с целью получения исходной информации для "запитки" ИМ ГТС реальной статистикой поведения пассажиров, функционирования транспортных средств и светофоров. На уровне 3 осуществляется запитка и верификация варианта ИМ ГТС. На уровне 4 проводится испытание и исследование свойств ИМ ГТС. На уровне 5 организуется эксплуатация ИМ ГТС в среде ПТКИ ГТС на основе использования процедур Монте-Карло и формирования множества откликов с целью достижения заданной достоверности моделирования. На уровне 6 исследователь принимает решение о завершении исследований с помощью ИМ ГТС, используя при этом средства технологической оболочки ПТКИ ГТС.

Апробация ИМ и технологии ее использования в практике эксплуатации ГТС (этап 8) заключается в том, что разработанная технология использования ИМ ориентирована на пользователя-предметника, не являющегося профессионалом в области программирования и имитационного моделирования. С помощью средств оконной технологии СМ МІСІС облегчается овладение технологиями имитации ГТС и автоматизируются основные этапы обработки и анализа.