

Метод имитационного моделирования функционирования городской транспортной системы

В. Н. Галушко, Е. И. Сукач

Введение. Проблема моделирования ГТС по названию не нова. Начиная с первых шагов разработки ГТС, появились попытки проектного моделирования ГТС. Например, в работе [1] сообщается о методологии моделирования транспортных потоков. В последующих работах [2, 3, 4], посвященных проектному моделированию ГТС, отображен опыт 70-х годов прошлого столетия, накопленный при моделировании процессов управления транспортными потоками. Однако во всех этих попытках использования математических моделей (ММ) при проектном моделировании ГТС задача исследования максимально упрощалась до такой степени, что на практике эти ММ нельзя было затем использовать на этапах эксплуатации ГТС. Исследователи обычно сталкивались с двумя основными их особенностями: неопределенность поведения пассажиропотока во времени и многомерностью математических моделей, возникающих при описании этих процессов. Для многих исследований транспортных сетей [5] со сложившимся парком транспортных средств, обслуживающих маршрутные линии, характерно использование инструментария теории графов [6], на основе которого моделируется транспортный поток при помощи аналитических моделей [7], но установление регрессионных зависимостей в отрыве от остальных видов транспорта не позволяет в нашем исследовании использовать полученные результаты для описания транспортного потока. В работе [7], получившей активное внедрение во многих городах Евросоюза и РФ, описывается аналитическая модель, базирующаяся на дифференцированном установлении причин перемещений. В настоящее время на основе данного исследования широко используется программный пакет PTV Vision®, включающий имитационную программу моделирования транспортных ситуаций на перекрестках. Необходимо отметить, что предполагаемая степень детализации для генерации транспортных потоков по транспортным районам города не привязана к пассажиру, а основывается на обобщенных статистических данных. Такой способ моделирования существующих и прогнозируемых транспортных потоков дает большую неточность откликов моделирования при изменении транспортных маршрутов, к тому же в комплексной программе транспортной системы PTV Vision® VISUM достаточно сложно отобразить динамику изменения пассажиропотока. Проблема совершенствования существующей ГТС и адаптации имеющегося парка транспортных средств ($TRSR_{jk}$) под запросы вероятностного пассажиропотока до настоящего времени так и не решена. Поэтому тема исследования весьма актуальна для практики организации процесса обслуживания имеющимся составом $TRSR_{jk}$ реально функционирующей ГТС вероятностного пассажиропотока.

Идея метода имитационного моделирования функционирования ГТС

Метод *состоит* в поэтапном отображении транспортного обслуживания пассажиропотока на имитационной модели (ИМ) функционирования компонентов городской транспортной системы (ГТС) в течении суточного цикла ее функционирования. Он *основан* на применении принципов и правил формализации функционирования ГТС при построении, испытании и эксплуатации ИМ компонентов ГТС. Все исходные характеристики ИМ ГТС определяются на основе статистического анализа результатов мониторинга потока пассажиров за суточный цикл функционирования реальной ГТС и последующего измерения характеристик ГТС для имитации процесса обслуживания пассажиров i -го типа, поступающих в ГТС на r -ой остановке ($PASS_{ir}$). Во время имитации движения $TRSR_{kj}$ вдоль j -ой маршрутной линии ($MLIN_j$) за суточный цикл обслуживания ими множества $\{PASS_{ir}\}$ фиксируется стати-

стика моделирования, являющаяся исходной информацией для вычисления интегральных статистик и откликов имитационного моделирования ГТС. На тех $MLIN_j$, которые имеют в своем составе множества $\{TRSR_{kj}\}$ и пассажиров $\{PASS_{ir}\}$, согласно разработанной технологии мониторинга, измеряется статистика их поведения и определяется структура пассажиропотока, имевшая место в ГТС на момент проведения мониторинга. Эта статистика служит исходной информацией для имитационного моделирования ГТС. Далее в ходе имитации процесса обслуживания пассажиропотока по статистике мониторинга воспроизводится структура потока пассажиров, поступающих в ГТС за суточный цикл ее функционирования. Далее с помощью ИМ ГТС отображается на высоком уровне детализации функционирование компонентов ГТС и фиксируется такая же статистика использования ресурсов ГТС пассажирами и временные характеристики их обслуживания для каждого класса целевой поездки (поездки к месту работы, учебы и т.д.), которые в реально функционирующей ГТС определить практически невозможно. Кроме того, измеряются характеристики обслуживания существующего пассажиропотока при проектируемом составе транспортных средств на каждой $MLIN_j$. Поскольку сам пассажиропоток $\{PASS_{ir}\}$ непредсказуем, то его характеристики моделируются с помощью векторов вероятности появления пассажиров i -го типа на g -х остановках $MLIN_j$ (P_{jkr}). Интервалы между поступлениями пассажиров на этих остановках также являются случайными величинами и разыгрываются в ИМ ГТС с помощью функций распределения $F_{1jkr}(\tau_1)$ и $F_{2jkr}(\tau_2)$, где τ_1 и τ_2 соответственно интервалы между соседними поступлениями пассажиров от мест их проживания на остановку g и возврат пассажиров с мест их работы на ту же самую остановку. Использование розыгрыша появления пассажира на остановке g и случайных интервалов между соседними их поступлениями τ_{1l} и τ_{2l} в очередь на транспортные средства обуславливает необходимость использования при имитационном моделировании ГТС метода статистических испытаний [8]. Здесь l -номер реализации процедуры Монте-Карло ($l=1, \overline{N_R}$, где N_R – число реализаций ИМ ГТС, определяемое заранее на основании заданной точности имитации откликов модели по известным формулам [9]). После завершения N_R реализаций ИМ ГТС суточного обслуживания пассажиропотока заданным составом $\{TRSR_{kj}\}$ согласно процедуре Монте-Карло [9] осуществляется усреднение откликов и статистик имитации с определением оценок математического ожидания и дисперсий откликов моделирования.

Метод реализуется в две стадии. Первая стадия включает в себя двенадцать этапов создания новых ИМ ГТС, выполняемых специалистами, владеющими языками и основами имитационного моделирования. При создании ИМ ГТС необходимо реализовать следующие этапы: составление содержательного описания ГТС (этап 1); организация мониторинга состава и структуры пассажиропотока для получения исходной информации, необходимой при построении ИМ ГТС (этап 2); формализация всех уровней представления ГТС (этап 3); разработка библиотеки программы универсальных компонентов ГТС (этап 4); новая разработка или модификация существующего программно-технологического комплекса имитации процессов в ГТС (этап 5); постановка натуральных экспериментов (НЭ) на прототипах ГТС и получение исходной информации для “запитки” вариантов компонентов ИМ ГТС (этап 6); установка в тексте ИМ ГТС подпрограмм обеспечения технологий ИЭ (этап 7); перевод формального описания в текст ИМ, функционирующей в технологической среде ПТКИ ГТС (этап 8); разработка программы вторичной обработки статистики имитации, реализующей усреднение откликов и статистик, полученных при N_M реализациях ИМ ГТС по методу Монте-Карло (этап 9); формирование программы варианта ИМ ГТС на основе библиотеки компонентов ИМ ГТС с включением в базу данных модели информации, полученной при мониторинге реальной ГТС (этап 10); испытание и верификация универсальной программы ИМ ГТС, адаптированной для конкретной структуры исследуемой ГТС (этап 11); проверка адекватности варианта универсальной ИМ ГТС исследуемого ГТС с помощью средств ПТКИ ГТС (этап 12). По завершении этих этапов ИМ ГТС готова к эксплуатации и записывается в виде очередной версии ИМ ГТС в библиотеку ПТКИ ГТС.

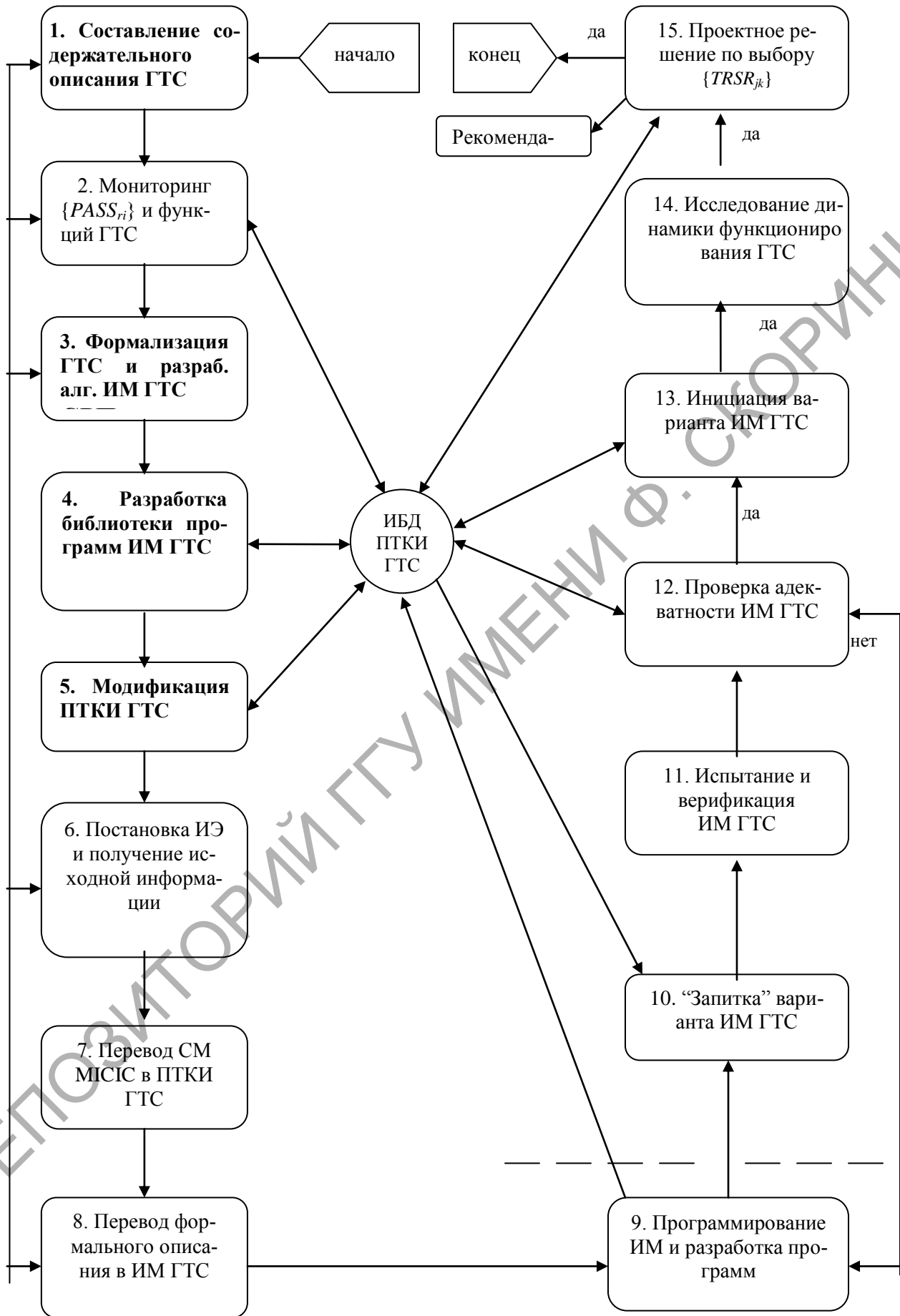


Рисунок 1 – Схема метода имитационного моделирования ГТС

На второй стадии реализацию метода обеспечивают сами специалисты, управления ГТС, которые эксплуатируют созданный вариант ИМ ГТС. Здесь уже не требуется высокой квалификации по программированию и моделированию, поскольку программа ИМ ГТС готова для использования этими специалистами и требуется только выполнение инструкции по эксплуатации ПТКИ ГТС. Вторая стадия метода реализуется тремя этапами эксплуатации вариантов ИМ исследуемой ГТС. На этапе 13 иницируется очередной вариант ИМ ГТС для исследования динамики функционирования ГТС в условиях того пассажиропотока, параметры которого были определены ранее в ходе мониторинга. При этом осуществляется информационная стыковка компонентов ИМ ГТС для конкретной структуры ГТС и состава транспортных средств в исследуемом варианте ГТС. Полученная на этапе 13 версия программы ИМ ГТС используется в дальнейшем в качестве базовой программы. Исследователю на этапе 14 (оценка технологических характеристик программы ИМ ГТС) необходимо определить: точность имитации, длину переходного периода, устойчивость и чувствительность имитационной модели конкретной структуры ГТС. Соответственно исследование функционирования динамики с помощью программы варианта ИМ ГТС осуществляется на этапе 14. По результатам имитации вариантов ГТС на этапе 14 принимается проектное решение по выбору варианта состава $\{TRSR_{kj}\}$ на этапе 15. Как видим, число этапов эксплуатации меньше числа этапов разработки универсальной программы имитационного моделирования ГТС. Только в тех случаях, когда универсальная, готовая к эксплуатации ИМ ГТС, не подходит для исследований ГТС (с нашей точки зрения, такая ситуация встречается довольно редко) приходится начать исследование с первого этапа. Основная же часть этапов реализуется тогда, когда специалисты ГТС желают разобраться в неэффективности организации обслуживания пассажиропотока и принять обоснованные решения по устранению этих причин. Как видим, *основная идея метода* состоит в отделении этапов создания от этапов использования ИМ ГТС. Первая стадия реализована в данной работе. На второй стадии используются готовые ИМ ГТС. Когда возникает необходимость изменения алгоритмов компонентов ИМ ГТС пользователю предлагается комплекс ПТКИ ГТС и технология его использования для реализации метода. На рис. 1 приведена схема этапов реализации метода имитационного моделирования ГТС. Связь между этапами метода осуществляется через информационную базу данных (ИБД) ПТКИ ГТС. Как видно из рис. 1, когда адекватности ИМ ГТС не удалось достичь, может иметь место возврат на любой из предыдущих этапов метода.

Заключение

Этапы разработки программ ИМ ГТС, которые могут реализоваться один раз специалистами по прикладной математике, обладающими навыками программирования на языке СИ и технологиями построения ИМ ГТС в среде базовой системы моделирования MICIS 4 [14], *отделены от этапов эксплуатации*. Этапы эксплуатации программ ИМ ГТС не требуют навыков по программированию и имитации, могут осуществляться многократно самими специалистами ГТС. При построении ИМ ГТС используется *высокий уровень детализации* процессов обслуживания отдельных типов пассажиров множеством компонент ИМ ГТС. В одном тексте ИМ ГТС *соединены декларативный и алгоритмический способы* описания компонент ИМ при сочетании транзактного и процессного способов описания динамики взаимодействия пассажиропотоков с процессами ИМ ГТС. Используется *информационная подкраска* транзактов в виде моделей поведения пассажиров за счет использования *маршрутных карт* движения пассажира по ГТС, которые хранятся в телах транзактов сложной структуры. *Использование реентерабельных программ* процессов ИМ ГТС *снимает проблему модификации вариантов структуры и состава ГТС*, поскольку нет необходимости перемоделировать параметризованную программу ИМ ГТС, так как достаточно без перепрограммирования указать только количественные характеристики основных компонентов ИМ ГТС.

Резюме. Дается описание универсальной параметризованной имитационной модели транспортного обслуживания пассажиропотока городской транспортной сети.

Abstract. The description of the universal parametrized imitating model of transport service of a city transport network passenger traffic volume is given.

Литература

1. Брановицкая С.В., Лопатин А.П., Половников В.С. Анализ технологических алгоритмов. – В сб.: Математические методы исследования и оптимизации систем. – Киев: ИК АН УССР, 1971. – С.71-94.
2. К. Филлер М. Ф. Один алгоритм нахождения кратчайших путей – В кн.: Исследования по дискретной оптимизации. – М., «Наука», 1976, С. 359-364.
3. Артынов А.П., Скалецкий В.В. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
4. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
5. Lohse, D.: Grundlagen der Strafenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2: Verkehrsplanung, 2. Auflage, Berlin, Verlag fur Bamvesen GmbH, 1997.
6. Domschke, W.: Logistik: Transport, Munchen, Oldenbourg Verlag, 1995.
7. Forschner, G.: Verkehrsplanerische Berechnungsmethode des Strafienguterverkehrs. WissenschaftundTechnikim Strqfienwesen, Heft 20, Berlin 1982.
8. Lohse, D.; Teichert, H.; Dugge, B.; Bachner, G.: Ermittlungvon Verkehrsstromen mit n-linearen Gleichungssystemen — Verkehrsnachfragemodellierung -, Schriftenreihe Heft 5, Dresden, Institutfur Verkehrsplanung und Strafenverkehr der TU Dresden, (1997).
9. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – Минск: Финансы и статистика, 1983. – 547 с.
10. Задачи и модели исследования операций. Ч.3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений: учебное пособие / И.В. Максимей [и др.] – Гомель: БелГУТ, 1999. – 150 с.

Белорусский государственный
университет транспорта

Поступило 08.05.08