

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ПОДХОДОВ В СОВРЕМЕННОЙ ПРАКТИКЕ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Э.С. Темнов

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
г. Тула, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Отмечается актуальность транспортного моделирования, которое является основой для внедрения различных технических решений, направленных на внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением на основе дорожных контроллеров нового поколения. Указывается обстоятельство, согласно которому транспортное моделирование приобретает существенно динамический подход. Ставится цель исследования и формулируются задачи, заключающиеся в обобщении и формализации задач транспортного моделирования.

Методы. Для решения поставленных задач используются методы системного анализа, теории транспортных систем, а также методики, которые широко распространяются в сообществе транспортных инженеров, в том числе различные варианты расчетно-экспериментальной методики моделирования транспортных потоков и транспортных систем для города или агломерации.

Результаты. На основе обобщения информации об этапах транспортного моделирования предложена последовательность действий, приводящая к получению требуемой транспортной модели, с помощью которой можно выполнять решение конкретной задачи. Сформулирован список основных задач транспортной инженерии, указана значимость динамического подхода и особая роль теории транспортных макросистем, согласно положениям которой стохастические процессы на микроуровне приводят к детерминированному поведению транспортных систем на макроуровне.

Заключение. Основным результатом настоящей работы является выработка комплекса управляющих воздействий для функционирования интеллектуальной транспортной системы, равномерно распределяющей транспортные потоки по сети и предотвращающей возникновение заторовых ситуаций в режиме реального времени. Основой для этого служит постановка и решение различных задач транспортного моделирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортное моделирование, транспортная макросистема, алгоритмы генерирования поездок, загрузка улично-дорожной сети

© Э.С. Темнов



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ANALYSIS OF SOME APPROACHES IN CURRENT PRACTICE OF TRANSPORT MODELLING

E.S. Temnov
Tula State University,
Tula, Russia

ABSTRACT

Introduction. *The urgency of transport modeling, which is the basis for the implementation of various technical solutions aimed on the automated traffic control systems usage based on a new generation of road controllers, is noted. The circumstance according to which the transport modeling acquires essentially dynamic approach is specified. The aim and the problems of the study are formulated, consisting in the generalization and formalization of the tasks of transport modelling.*

Materials and methods. *To solve such problems the author uses methods of system analysis, theory of transport systems, as well as techniques that are widely used in the community of transport engineers, including various options for computational and experimental methods of modeling traffic flows and transport systems for the city or agglomeration.*

Results. *On the basis of generalization of information about stages of transport modeling the sequence of actions leading to obtaining the required transport model, by means of which it is possible to carry out the decision of a specific task, is offered. The list of the main tasks of transport engineering is formulated, the importance of the dynamic approach and the special role of the theory of transport macro systems are indicated, according to the provisions of which stochastic processes at the micro level lead to the deterministic behavior of transport systems at the macro level.*

Discussion and conclusions. *The main result of the research is the development of the control actions for the operation of the intelligent transport system that evenly distributes traffic flows through the network and prevents the occurrence of congestion in real time. The basis for it is the formulation and solution of various problems of transport modeling.*

KEYWORDS: *transport modeling, transport macro system, algorithms for trips generating, loading of the road network.*

© E.S. Temnov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в регионах Российской Федерации активно выполняются работы, связанные с созданием комплексных схем организации дорожного движения (КСОДД), а также внедряются новые технические средства организации дорожного движения (ТСОДД), обеспечивающие решение транспортных проблем в городах на новом технологическом уровне. К таким решениям относятся, прежде всего, автоматизированные системы организации движения (АСУД), построенные на базе дорожных контроллеров новых поколений, а также элементы интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Необходимым условием внедрения новых ТСОДД является достаточно глубокая проработка будущих решений на уровне имитационного, прогнозного и оптимизационного моделирования. Не останавливаясь подробно на перечислении всех доступных для моделирования программных инструментов, отошлем заинтересованных читателей к достаточно подробному отчету по этой тематике [1], а также к современным российским руководствам [2,3,4,5], которые, безусловно, должны использоваться в практике транспортного моделирования.

Так как в условиях широкого распространения различных методических подходов к вопросам транспортного планирования не обнаруживается стандартизованных и общепринятых методик, то становится актуальной задача обобщения практического опыта, который зафиксирован в некоторых известных рекомендациях [6].

Целью настоящего исследования является определение списка наиболее часто решаемых задач, когда транспортные инженеры применяют транспортное моделирование, а также обобщение и формализация подходов к транспортному моделированию. При этом обращается внимание на обстоятельство, которое в современных условиях играет существенную роль: транспортное моделирование приобретает существенно динамический подход, когда рассматривается динамика движения множества отдельных транспортных средств в течение некоторого интересующего интервала времени либо исследуется изменение осредненных показателей транспортных потоков в течение суток, что необходимо для установления алгоритмов управления транспортными потоками.

МЕТОДЫ

Для решения поставленной задачи используются методы системного анализа, теории

транспортных систем, а также методики, которые в настоящее время широко распространяются в сообществе транспортных инженеров. Чаще всего разрабатываются и применяются различные варианты расчетно-экспериментальной методики моделирования транспортных потоков и транспортных систем для города или агломерации. Поэтому в статье будут рассмотрены не только расчетные, но и натурные методы, используемые для обеспечения транспортного моделирования.

Выполнение работ по изучению транспортной системы города (агломерации, региона) требует создания цифровой модели улично-дорожной сети (УДС), а также комплексных данных о состояниях транспортной системы в определенные моменты времени (например, загрузки УДС транспортными потоками, состояниях стоков-источников транспорта и т.д.). УДС города в модели реализуется в виде графа, где перекрестки представлены в виде узлов, а перегоны – в виде дуг.

Таким образом, для разработки модели обычно требуется следующий набор данных.

1. Граф УДС, выполненный в некотором программном комплексе.

1.1. Растровое (векторное) изображение карты города в высоком разрешении в виде картосхемы или спутниковых изображений.

1.2. Панорамы улиц города из интернет-ресурсов, позволяющие получить наглядные характеристики схем организации дорожного движения (ОДД).

1.3. Характеристики дуг (связей):

- число полос;
- длина дуги (связи);
- пропускная способность полосы;
- свободная скорость.

1.4. Характеристики узлов:

- разрешенные направления движения;
- значения ценовой функции для каждого направления движения;
- параметры светового объекта.

1.5. Схемы организации дорожного движения (ОДД).

1.6. Интенсивность движения на различных участках УДС.

2. Матрица межрайонных корреспонденций.

2.1. Состав каждого расчетного района (принадлежность различных типов зон и объектов притяжения населения к району) и др.

Создание графа УДС может быть реализовано в различных программно-аналитических комплексах (ПАК), например «TransNet», разработанный В. И. Швецовым и А. С. Алиевым

[7], который представляет собой современное графическое приложение и по функциональным возможностям может быть охарактеризован как интегрированная среда разработчика в области транспортного планирования и моделирования.

На практике, например в работе [8], для каждой дуги указываются индивидуальные исходные данные, для этого используется встроенный редактор сети. Свободная скорость выбирается в зависимости от качества дорожного покрытия, длины дуги и ширины проезжей части от 20 до 90 км/ч. Длина дуги указывается равной существующей длине участка УДС. Данные о числе полос берутся из паспортов улиц и схем ОДД. Формирование графа УДС связано с калибровкой получаемых карт города с возможностями программной среды таким образом, что модель выполняется в масштабе 1:1.

В соответствии с полученными параметрами вводится ценовая функция, которая позволяет сравнивать и выбирать определенные перегоны с лучшими характеристиками для создания оптимальных маршрутов:

$$C_i = \frac{L}{1000 \cdot P_2} \cdot 60 \cdot \left(1 + \frac{F}{N \cdot P_1} \right)^4,$$

где P_1 – пропускная способность; P_2 – свободная скорость (км/ч); N – число полос движения (в одном направлении); L – длина i -й дуги (перегона), в м; F – поток автотранспорта.

Пропускная способность считается по формуле

$$P_1 = \frac{1000 \cdot P_2}{L_{\bar{a}}}.$$

Для ее подсчета необходимо вычислить динамический коэффициент, определяющий расстояние между машинами при различной скорости движения:

$$L_{\bar{a}} = l_a + P_2 + 0,03P_2 + 1,$$

где l_a – средняя длина машины, обычно принимается равной 4,5 м, P_2 используется в м/с.

Как правило, различные варианты ценовых функций уже заложены в возможностях программных комплексов для транспортного моделирования и позволяют решать задачу о расщеплении маршрутов: каждый возможный маршрут корреспонденций имеет свою долю,

которая определяется в зависимости от значения ценовых функций всех участков маршрута. Для применения аппарата ценовых функций требуется достаточно точная информация относительно входящих в формулу величин.

Разрешенные направления движения выбираются в соответствии со схемами ОДД. При наличии светофорного объекта на перекрестке для каждого направления задаются процентные доли зеленого света – приоритета движения.

Для определения матрицы корреспонденций территория города разбивается на зоны с различным типом застройки и на условные транспортные районы в каждой зоне. Для каждого района определяется его центр и связи, по которым сеть насыщается потоками автотранспорта. Так же как и дугам сети, связям назначены параметры длины, скорости и пропускной способности.

Следующим элементом разработки модели является анализ транспортной подвижности, необходимый при проведении иных, в том числе комплексных, исследований в пассажирских транспортных системах городов (рисунок 1).

В целом городскую застройку можно классифицировать по трем типам: зоны малоэтажных строений (частный сектор), зоны многоэтажных зданий и зоны промышленной застройки. Для удобства расчетов и визуализации проведения зонирования используются программы для обработки растровых изображений, такие как GIMP, Adobe Photoshop и др. Далее, с учетом вышеуказанной классификации производится расчет средней удельной плотности населения, основанный на статистических данных о количестве жителей, этажности зданий и т.д. Следующим действием может осуществляться условное транспортное районирование и определение характеристик полученных районов – площадь, количество жителей, плотность населения, определенные с учетом результатов расчета удельной плотности населения. Полученные данные суммируются в целом по рассматриваемой территории, сравниваются с данными официальной статистики и при необходимости соответствующим образом калибруются.

В ходе выполнения этого этапа осуществляется разделение на условные транспортные районы. Формирование данных районов удобно проводить с учетом схемы территориального планирования, границ, разработанных при выполнении первого этапа зонирования, а также иных факторов, влияющих на застройку и трассы маршрутов общественно-

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

го и личного транспорта, например, крупных магистральных автодорог, водных преград, лесных и парковых зон, промышленных зон, имеющих большую протяженность. При разделении изучаемой территории на укрупненные транспортные районы необходимо максимально избегать попадания в один такой район различных типов застройки, определенных нами выше. Отдельно необходимо рассматривать окраины города или городской агломерации, так как там возможно снижение плотности застройки, соответственно, в данном случае используются определенные допущения: для таких районов плотность застройки усредняется. Следующим действием может выполняться определение характеристик маршрутной транспортной сети (МТС) исследуемой территории. Результатом решения данной задачи являются данные о плотности МТС каждого из видов транспорта и общей плотности МТС в границах каждого укрупненного транспортного района.

Для получения данных о межрайонных корреспонденциях в первую очередь необходимо определить межрайонные связи: маршруты городского пассажирского транспорта общего

пользования (ГПТОП) и УДС, связывающую районы между собой. Далее формируется список всех значимых мест приложения труда, учебы и т.п. и определяется их принадлежность к тому или иному району, количество сотрудников, обучающихся и т.д. Аналогичная операция может быть проведена для мест культурно-бытового назначения. Для каждого полученного транспортного района определяется общее количество жителей, процент работоспособного населения, количество детей дошкольного и школьного возраста, студентов. Следующим действием определяются межрайонные корреспонденции с учетом их взаимной транспортной доступности – наличия общественного транспорта и уровня автомобилизации города.

Представленная здесь методика подробно описана в цитируемой выше литературе и имеет множество конкретных реализаций, которые применяются в соответствии с выбранными программными инструментами и типом решаемой задачи. Тем не менее следует указать, что несмотря на вполне устоявшийся характер методов подготовки транспортных моделей, в каждом конкретном случае выпол-

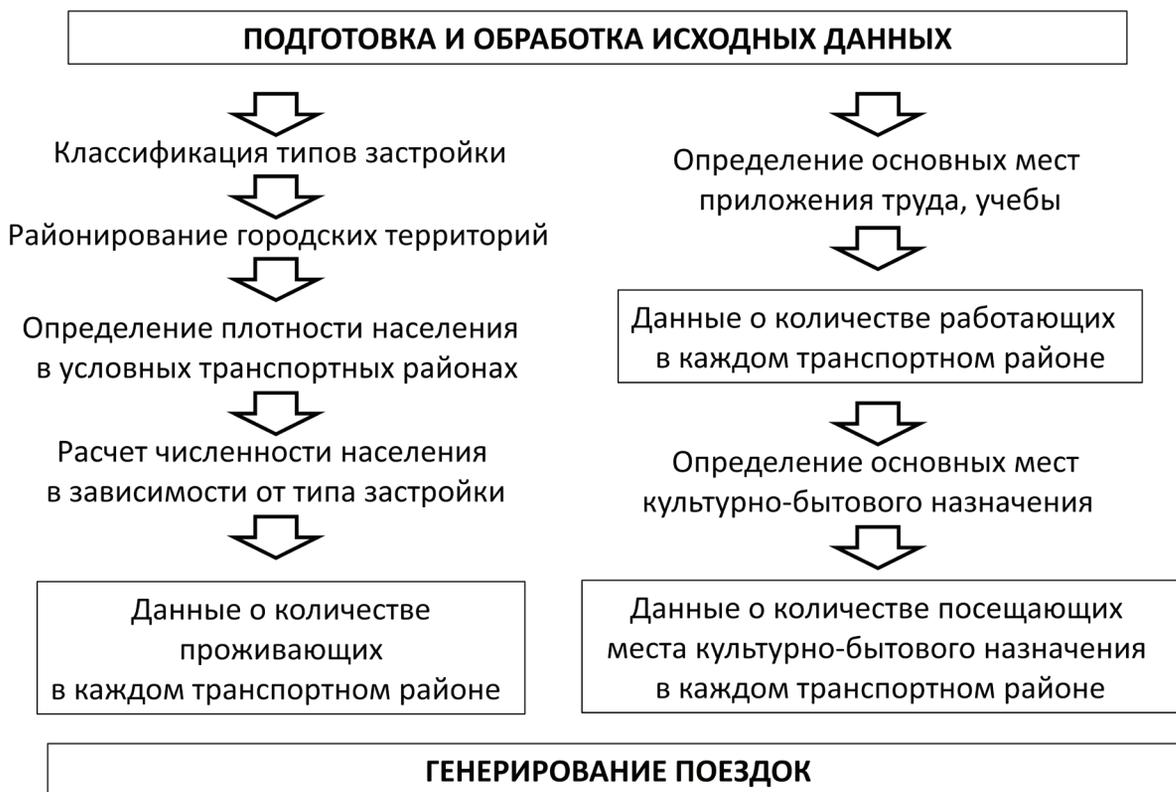


Рисунок 1 – Генерирование поездок для транспортной модели

Figure 1 – Trip generating for the transport model

няется довольно сложный комплекс действий, направленный на получение качественной транспортной модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для правильного использования модели конкретной транспортной системы требуется четко определить принадлежность исследуемой системы к тому или иному классу. Затем необходимо обоснование, что применяемая модель соответствует выявленному типу транспортной системы. В большинстве случаев такое обоснование, к сожалению, не выполняется. Отчасти это объясняется тем, что в настоящее время не существует единой и полной классификации транспортных систем. Такие попытки делаются, и для грузовых транспортных систем можно указать работы [9, 10]. В них представлен четкий подход, который позволяет различать транспортные системы, выполняющие грузовые автомобильные перевозки в городах не только от масштаба системы, но и от некоторых особенностей (типы маршрутов, характер выполняемой задачи, методы планирования работы и др.). Возможно, что такой подход мог бы распространяться и на классификацию систем пассажирского транспорта, транспортных потоков, систем транспортной инфраструктуры. Этот подход можно обозначить как классификацию системы одновременно по двум признакам: масштаб – характер выполняемой задачи. Предельным масштабом для транспортной системы является макросистема. Теория макросистем, в том числе применительно к транспорту, рассматривается в трудах многих ученых. Отметим работу Ю.С. Попкова [11], которая дает максимально исчерпывающее описание теории, на основе которой могут быть построены различные, еще не разработанные варианты транспортных систем. В рамках таких описаний могут рассматриваться мультиагентные системы, включающие в себя не только различные виды транспорта, но и, например, движение пешеходов.

На основе обобщения информации об этапах транспортного моделирования предложена последовательность действий, приводящая к получению требуемой транспортной модели, с помощью которой можно выполнять решение конкретной задачи.

А) Определение задачи транспортного планирования и обоснование выбора применяемой для ее решения типа математической модели.

Б) Подготовка и сбор исходных данных, включая выполнение необходимых натуральных исследований.

В) Создание цифровой транспортной модели улично-дорожной сети (УДС) города, например, с помощью программного комплекса «Transnet» (Институт системного анализа РАН, г. Москва) [7] или с помощью иного аналогичного комплекса, в котором предусмотрено решение задачи о загрузке УДС.

Г) Выполнение калибровки модели с помощью данных видеонаблюдений, организованных путем подключения к системам видеокамер города или иными способами натуральных измерений.

Д) Выполнение расчетов загрузки улично-дорожной сети для требуемого периода времени (прогнозного года, прогнозного времени суток, для наиболее загруженных часов суток или иного временного интервала, а также экспериментальное уточнение модели; приемлемая погрешность расчетов обычно не должна превышать 15...18%).

Е) Формулировка на основе результатов расчетов предложений по изменению существующих схем ОДД (например, циклов светофорного регулирования для светофорных объектов (СО), сравнение полученных циклов с действующими, изменение схемы ОДД в целом и т.п.).

Одной из основных проблем, которая чаще всего возникает при проведении моделирования транспортных сетей, является определение корреспонденций, которые соответствуют конкретному отрезку времени, выбранному для моделирования. Наиболее часто встречающийся вариант – расчет трудовых корреспонденций, проявляющихся в наибольшей степени в часы максимальной загрузки УДС (часы пик). Обычно это утренние (с 7-00 до 10-00) и вечерние (17-00 до 20-00) часы, в зависимости от особенностей моделируемого населенного пункта. Даже в эти отрезки времени характер перемещений не является полностью однородным: в общей массе трудовых корреспонденций присутствуют и другие типы поездок. Если же речь идет об иных временных интервалах, то ситуация становится еще более сложной. Меняется не только характер поездок, но и сложность маршрутов, которые могут представлять собой достаточно протяженные и разнообразные цепочки (например, «дом – детский сад – работа», или «дом – поликлиника – школа – работа», или «работа – магазин – школа – музыкальная школа – дом» и т.п.).

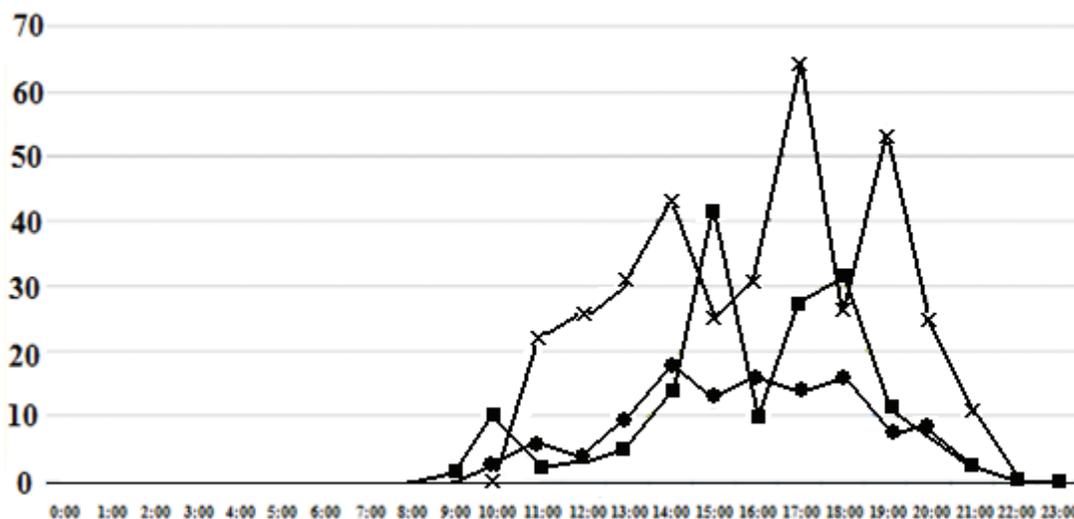


Рисунок 2 – Количество транспортных средств, находящихся на парковке у трех исследуемых торговых центров в г. Туле. День недели – понедельник

Figure 2 – Number of vehicles in the parking lot of three shopping centers in Tula. Day of week – Monday

Для разработки комплексной методики обследования транспортных потоков и транспортных систем (УДС, объекты, порождающие и поглощающие транспортные и пассажиропотоки, маршрутные системы, парковки, остановочные пункты и т.д.) необходим подход, учитывающий, как было указано выше, стохастические и динамические факторы их функционирования.

А) Выполнение исследований, выявляющих стохастические и динамические факторы функционирования УДС.

Б) То же, для парковок возле торговых центров и иных центров притяжения.

В) То же, для внутриворотовых стоянок автомобильного транспорта и других источников-стоков автотранспорта, необходимых для создания полноценной цифровой модели УДС города, которая могла бы использоваться для любого временного интервала в течение времени суток.

Приведем некоторые примеры, которые явились результатом некоторых исследований.

Закономерности стохастического функционирования отдельных элементов транспортных систем.

Парковки. Исследование посещаемости парковок торговых центров города как стохастических элементов транспортной системы

осуществлялось¹ для приближения к полному пониманию функционирования УДС города, распределения транспортных потоков и загруженности сети, путем получения информации о закономерностях потоков посетителей (по типам торговых или торгово-развлекательных центров, по характеру временных рядов, по периодам времени и др.).

Пассажиры остановки. Полученные авторами [12] временные ряды содержат информацию об изменении количества транспортных средств (загруженности остановочного пункта) и количестве вышедших и вошедших пассажиров (пассажирообмене) на данной остановке за время наблюдения.

Так как для перевозки пассажиров используются различные виды транспорта (автобусы, троллейбусы, микроавтобусы), в процессе обработки полученных данных для большей информативности было решено представить количество транспортных средств на остановочном пункте с применением коэффициентов, учитывающих физические габариты транспортных средств, что в свою очередь наглядно показывает загруженность (перегруженность) остановочного пункта (вследствие несогласованности либо нарушения маршрутных расписаний). Степень загруженности остановки автобусом большой вместимости

¹ Коржанков В.Б. Парковки у торговых центров как часть транспортной инфраструктуры города // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. Вып. 1. Тула: Изд-во Тульского государственного университета. 2017. С. 281 – 286.

или троллейбусом взята за единицу, автобусом средней вместимости – 0.5, микроавтобусом – 0.3.

С помощью полученных данных были построены фазовые портреты транспортного и пассажирского потоков, что позволяет в дальнейшем произвести фазовый (графический) анализ транспортного процесса происходящих в зоне влияния остановочного пункта.

Таким образом, имея информацию, представленную в примерах, для каждого стока-источника транспорта в математической модели транспортной системы, мы можем решать задачу о движении транспортных средств в любое время суток, так как известны или могут быть оценены количества автомобилей, находящихся вне УДС.

Средства измерения транспортных потоков. Выше было указано, что моделирование транспортных систем основано, по сути дела, на расчетно-экспериментальных методиках. С целью получения экспериментальных данных всегда требуются те или иные технические средства. Чаще всего требуется информация о потоках транспорта или пешеходов. На сегодняшний день имеется большое количество исследований, посвященных поведению транспортных потоков. Исследователи различных научных школ не приходят к единому мнению, каким образом описывать существующий в классических теориях транспортных потоков фазовый переход от свободного потока к плотному.

В указанную проблему внес ясность Б. С. Кернер, предложив широко известную альтернативную теорию транспортных потоков, содержащую в себе 3 фазы. Б.С. Кернер предполагает, что плотную фазу можно разделить на синхронизованный поток и широкий движущийся кластер машин. Его исследования проводились на скоростных автомагистралях с целью объяснения поведенческих особенностей транспортного потока, в том числе переходных процессов, образующих пространственно-временные структуры в плотном транспортном потоке, а также фиксации появления узких мест и определения возникновения заторных ситуаций.

В городских условиях, чтобы определить закономерности фазовых переходов в потоках с целью получения возможности интеллектуального управления дорожным движением, необходимо не только проведение большого количества замеров, но и учет дополнительных воздействий на управление транспортным потоком, таких как светофорное регулирование и геометрические особенности улиц в связи с исторически сложившейся архитектурной застройкой города и др. Очереди и заторы в таком случае могут образовываться из-за неудачного распределения транспортных потоков, поэтому необходимо иметь представление об изменении характеристик движения транспортных потоков на перегонах перед пересечениями, в том числе оборудованными техническими средствами управления дорожным движением.

Отдельные исследования посвящены изучению изменения свойств транспортных потоков в вышеописанных условиях^{2 3}. Основной сложностью проведения наблюдений является либо большая стоимость существующих комплексов (при их использовании), либо низкая точность и/или большие временные затраты. Для измерения характеристик транспортных потоков, а также для исследования динамики поведения стоков и источников транспорта могут использоваться различные комплексы, включающие видеоаналитику, детекторы транспорта, основанные на различных физических принципах (гидравлика, электромагнетизм, ультразвук и др.) [13]. Среди экспериментальных методов изучения транспортных систем наибольшее распространение получили методы непосредственного наблюдения. В современных условиях эти методы оснащены разнообразным ассортиментом камер видеонаблюдения, фотокамер и дополнительным оборудованием, позволяющим записывать, хранить и обрабатывать получаемые видеоизображения. Не ушли из употребления и традиционные методы проведения обследований (табличное, анкетное, визуальное и др.), которые требуют большого числа учетчиков. Сложность экспериментальных работ с транспортными системами обусловлена

² Волков С.А., Пышный В.А., Темнов Э.С. О проведении исследований характеристик транспортных потоков на перегонах // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. Вып. 1. Тула: Изд-во Тульского государственного университета. 2017. С. 256 – 261.

³ Андреев К.П., Терентьев В.В., Темнов Э.С. Проблемы качества транспортного обслуживания населения // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. Вып. 2. Тула: Изд-во Тульского государственного университета. 2017. С. 105 – 110.

значительными масштабами систем и нестационарностью происходящих в них процессов. Вследствие этого, а также стохастического характера функционирования транспортные системы должны подвергаться периодически повторяющимся обследованиям, статистическим измерениям и обработке получаемых данных. Последнее для повышения точности транспортного моделирования имеет очень высокое значение.

В завершение представим список некоторых задач транспортного моделирования систем с помощью различных ПАК: 1) загрузка УДС; 2) анализ схем ОДД; 3) оценка качества МТС; 4) строительство объектов притяжения; 5) введение в действие платных участков дороги; 6) определение характеристик транспортных потоков; 7) расчет и обоснование циклов светофорного регулирования; 8) изменение структуры графа УДС (по различным причинам); 9) управление инцидентами на дорогах; 10) анализ интеллектуального управления транспортными системами; 11) выполнение моделирования мультиагентных систем; 12) моделирование пассажиропотоков и движения ГПТОП; 13) моделирование грузопотоков; 14) моделирование пешеходных потоков; 15) построение отчетов о работе АСУДД; 16) решение задач транспортной связанности и транспортной доступности.

Для рассмотрения некоторых примеров решаемых задач можно рекомендовать работы [2,3,4,5,6,7,8], однако некоторые из перечисленных здесь задач находятся на начальных стадиях проработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ряд проведенных по данной методике наблюдений позволил выявить закономерности поведения стоков и источников транспорта, а именно определить различные состояния элементов транспортной макросистемы, построить диаграммы, а также определить влияние стохастических факторов на общее поведение макросистемы. Основным ожидаемым результатом настоящей работы является выработка комплекса управляющих воздействий для функционирования интеллектуальной транспортной системы, равномерно распределяющей транспортные потоки по сети и предотвращающей возникновение заторных ситуаций в режиме реального времени. Основой для этого служит постановка и решение различных задач транспортного моделирования, в том числе и в рамках динамического описания [14].

Представленные подходы к исследованию стохастических элементов транспортных систем могут использоваться при определении методики рационализации транспортных потоков и составить базовые алгоритмы управления СО с переменными планами координации или других элементов ИТС в течение суток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Boxill S. A., Yu L. An Evaluation of traffic simulation models for supporting ITS development. Report SWUTC/00/167602-1. URL: <http://swutc.tamu.edu/publications/technicalreports/167602-1.pdf>.

2. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография. М.: Логос, 2013. 188 с.

3. Якимов М.Р., Арепьева А. А. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография. М: Логос, 2016. 280 с.

4. Якимов М.Р., Попов Ю.А. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM: монография. М.: Логос, 2014. 200 с.

5. Якимов М.Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография. Пермь: Пермский государственный технический университет, 2011. 175 с.

6. Руководство по применению транспортных моделей в транспортном планировании и оценке проектов. СПб.: ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2016. 128 с. (Серия «Библиотека транспортного инженера»).

7. Швецов В.И., Алиев А.С. Математическое моделирование загрузки транспортных сетей. М.: Изд-во УРСС, 2003. 61 с.

8. Агуреев И.Е., Швецов В.И., Пышный В.А. Моделирование загрузки улично-дорожной сети // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 6–2. С. 127 – 139.

9. Николин В.И., Витвицкий Е.Е., Мочалин С.М. Грузовые автомобильные перевозки. Омск: Изд-во «Вариант-Сибирь», 2004. 480 с.

10. Витвицкий Е.Е. Теория транспортных процессов и систем (грузовые автомобильные перевозки). Омск: СибАДИ, 2014. 216 с.

11. Попков Ю.С. Теория макросистем: Равновесные модели. М.: Едиториал УРСС, 1999. 320 с.

12. Агуреев И.Е., Денисов М.В. Математическое описание динамики пассажирских транс-

портных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 1 (32). С. 15 – 22.

13. Traffic Detector Handbook. Third Edition. Report FHWA-HRT-06-108. URL: www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/06108.pdf

14. Агуреев И.Е., Атлас Е.Е. Хаотическая динамика в системах транспорта // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2012. № 1. С. 94 – 106.

REFERENCES

1. Boxill S. A., Yu L. An Evaluation of traffic simulation models for supporting ITS development. Report SWUTC/00/167602-1. URL: <http://swutc.tamu.edu/publications/technicalreports/167602-1.pdf>.

2. Jakimov M.R. *Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnyh modelej gorodov: monografija*. [Transport planning: creation of transport models of cities: monograph]. Moscow, Logos, 2013. 188 p.

3. Jakimov M.R., Arep'eva A. A. *Transportnoe planirovanie. Osobennosti modelirovanija transportnyh potokov v krupnyh rossijskih gorodah: monografija*. [Transport planning. Features of modeling traffic flows in major Russian cities: monograph]. Moscow, Logos, 2016. 280 p.

4. Jakimov M.R., Popov Ju.A. *Transportnoe planirovanie: prakticheskie rekomendacii po sozdaniju transportnyh modelej gorodov v programmnom komplekse PTV Vision® VISUM: monografija*. [Transport planning: practical recommendations for the creation of transport models of cities in the PTV Vision VISUM program complex: monograph]. Moscow, Logos, 2014. 200 p.

5. Jakimov M.R. *Koncepcija transportnogo planirovanija i organizacii dvizhenija v krupnyh gorodah: monografija*. [Concept of transport planning and traffic management in large cities: monograph]. Perm': Permskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet, 2011. 175 p.

6. *Rukovodstvo po primeneniju transportnyh modelej v transportnom planirovanii i ocenke projektov*. [Guidance on the application of transport models in transport planning and project evaluation]. St. Petersburg.: ООО "Izdatel'sko-poligraficheskaja kompanija "KOSTA", 2016. 128 p. (Serija "Biblioteka transportnogo inzhenera").

7. Shvecov V.I., Aliev A.S. *Matematicheskoe modelirovanija zagruzki transportnyh setej* [Mathematical modeling of the transport networks loading]. Moscow, Izd-vo URSS, 2003. 61p.

8. Agureev I.E., Shvecov V.I., Pyshnyj V.A. *Modelirovanie zagruzki ulichno-dorozhnoj seti*

[Modelling of the road network loading]. *Izvestija TuIGU. Tehnicheskie nauki*, 2013, no 6-2. pp. 127 – 139.

9. Nikolin V.I., Vitvickij E.E., Mochalin S.M. *Gruzovye avtomobil'nye perevozki*. [Freight road transport]. Omsk: Izd-vo "Variant-Sibir", 2004. 480 p.

10. Vitvickij E.E. *Teorija transportnyh processov i sistem (gruzovye avtomobil'nye perevozki)*. [Theory of transport processes and systems (freight road transport)]. Omsk: SibADI, 2014. 216 p.

11. Popkov Ju.S. *Teorija makrosistem: Ravnovesnye modeli* [Theory of macro-systems: an Equilibrium model]. Moscow, Editorial URSS, 1999. 320 p.

12. Agureev I.E., Denisov M.V. *Matematicheskoe opisanie dinamiki passazhirskih transportnyh sistem* [Mathematical description of the dynamics of passenger transport systems] *Mir transporta i tehnologicheskij mashin*, 2011, no 1 (32), pp. 15 – 22.

13. Traffic Detector Handbook. Third Edition. Report FHWA-HRT-06-108. URL: www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/06108.pdf.

14. Agureev I.E., Atlas E.E. *Haoticheskaja dinamika v sistemah transporta* [Chaotic dynamics in transport systems]. *Slozhnost'. Razum. Postneklassika*, 2012, no 1. pp. 94 – 106.

Поступила 07.09.2018, принята к публикации 19.10.2018.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Темнов Эдуард Сергеевич (г. Тула, Россия) – канд. техн. наук, доц. кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, проректор по учебно-воспитательной работе, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, пр. Ленина, 92, e-mail: etemnov@gmail.com)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Temnov Eduard Sergeevich (Tula, Russia) – PhD (Engineering), Associate Professor at the Department of Automobiles and Automobile Economy, Vice-Rector at Tula State University (300012, Tula, 92, Lenin Av., e-mail: etemnov@gmail.com)