

ИМИТАЦИОННАЯ ЭКСПЕРТИЗА ПРОЕКТОВ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОБЛЕМ

Рассматриваются задачи и средства выполнения имитационной экспертизы проектов, предлагаемых для решения транспортных проблем мегаполисов. Приводятся примеры имитационной экспресс-экспертизы решений, принятых для улучшения дорожной ситуации в городе Омске.

Ключевые слова: имитационное моделирование, улично-дорожная сеть, автоматизированная система управления дорожным движением.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-00149-а.

Введение. Проблема совершенствования транспортной инфраструктуры больших городов является одной из наиболее острых проблем повышения уровня жизни людей, и в обозримом будущем ее острота будет возрастать, поскольку темпы развития улично-дорожных сетей (УДС) городов значительно отстают от темпов автомобилизации населения и темпов строительства. При постоянном росте числа автомобилей построить адекватную транспортную сеть становится невозможно даже в условиях отсутствия финансовых ограничений из-за дефицита свободных площадей и экологических последствий [1].

В городе Омске также имеется множество транспортных проблем, в числе которых перегруженный общественный транспорт, недостаточное количество парковочных мест, недостаточно эффективное управление дорожным движением, систематические транспортные заторы и т.д. Для решения этих проблем приходится регулярно принимать и осуществлять решения, направленные на устранение «узких мест» УДС и оптимизацию управления дорожным движением. Обоснование принимаемых решений посредством расчета усредненных характеристик транспортных потоков (ТП), расчета пропускных способностей дорог и перекрестков, циклов и фаз светосигнальных установок (ССУ) и т.д. не вполне корректно, поскольку не позволяет адекватно учитывать стохастические составляющие дорожного движения. Тем более что особенно значимыми эти стохастические составляющие становятся в условиях высокой транспортной нагрузки и в часы пик.

Одним из наиболее адекватных современных инструментов, используемых для выработки и экспертизы решений в области совершенствования транспортной инфраструктуры, является имитационное моделирование (ИМ).

Существуют три основных подхода к ИМ: макро моделирование, микро моделирование и мезомоделирование.

Макромоделирование описывает движение автомобилей в усредненных терминах, таких как

средняя плотность, средняя скорость, усредненный поток и т.д. При таком подходе транспортный поток уподобляется движению сжимаемой мотивированной жидкости, поэтому этот подход называют также гидродинамическим.

Микро моделирование описывает каждый автомобиль индивидуально, и потому в явном виде моделируется движение каждого автомобиля.

Мезомоделирование — это промежуточное звено между двумя предыдущими типами моделей. Моделирование основано на кинетических уравнениях. Поток в таких моделях описывается плотностью распределения автомобилей в фазовом пространстве, т.е. пространстве координат и скоростей автомобилей.

Модели для проведения имитационной экспертизы разрабатываются на уровне микро моделирования.

Одной из наиболее популярных концепций в микро моделировании является концепция следования за лидером с безопасной дистанцией. Модели следования за лидером позволяют составить общую картину поведения транспортных потоков, учитывая индивидуальное поведение транспортных средств и его вероятностный характер. Самой распространенной моделью следования за лидером в настоящее время считается психофизиологическая модель восприятия Видемана [2].

1. Психофизиологическая модель Видемана. Основная идея модели Видемана состоит в том, что водитель транспортного средства (ТС) ориентируется на впереди движущийся автомобиль [2]. Модель была представлена Видеманом в 1974 году, с тех пор она постоянно совершенствуется.

Модель Видемана использует случайные числа для создания разнородного потока ТС. Модель индивидуальных ТС основывается на реагировании водителей в контексте режимов пространственного взаимодействия ТС. Эти режимы в модели Видемана определяются через разделяющие их границы — пороги. Пороги же, в свою очередь, зависят от скоростей ТС и расстояний между следующими друг за другом ТС. Модель Видемана содержит

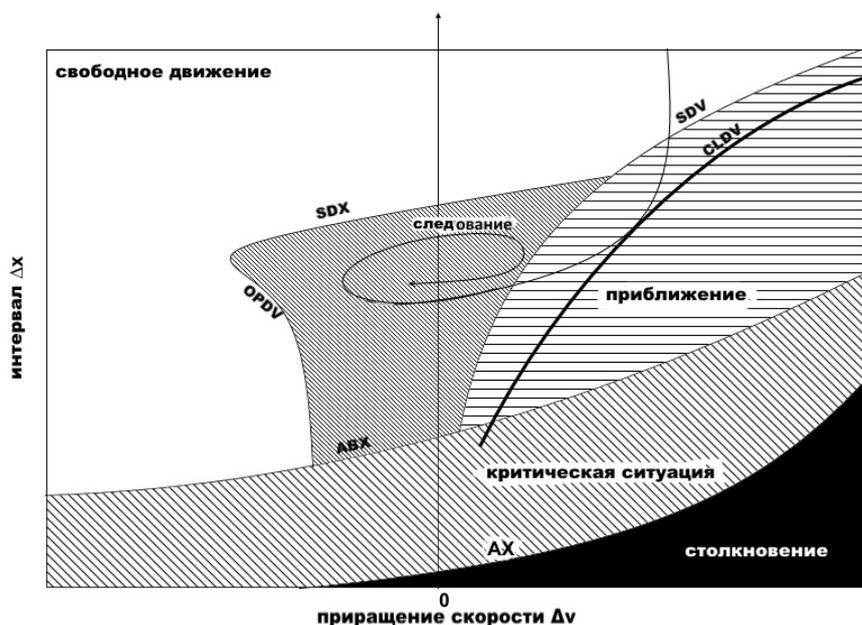


Рис. 1. Схематичное представление режимов модели Видемана [2]

режимы: свободное движение, приближение, критическая ситуация, следование [3]. Каждый из четырех режимов использует разные правила определения ускорения. Когда изменяются режимы модели, изменяются и правила ускорения. На рис. 1 показаны режимы в модели Видемана и пороги между ними.

Опишем пороги, которые используются в модели.

Пороги AX , ABX , SDX указывает минимально допустимую дистанцию между автомобилями в зависимости от их скоростей и расстояния между ними.

Порог восприятия SDV описывает момент, когда водитель замечает, что он приближается к более медленному ТС.

Порог восприятия $CLDV$ проявляется на малых расстояниях между ТС, когда требуется начинать снижение скорости (в PTV VISSIM принято, что этот порог SDV и порог $CLDV$ равны).

Порог восприятия $OPDV$ обозначает момент, когда водитель осознает, что он едет слишком медленно и можно ускориться.

На рис. 1 также показано, как функционируют следующие режимы:

Свободное движение. Этот режим наступает, когда ТС находится выше всех порогов, то есть движется свободно. ТС использует максимальное ускорение, пока не достигнет предпочитаемой скорости.

Следование. Пороги SDV , SDX , $OPDV$ и ABX образуют режим следования, когда ТС движутся друг за другом с практически неизменными интервалами.

Приближение. Когда ТС проходит порог SDV и $CLDV$, водитель замечает, что он приближается к более медленному ТС и, соответственно, тормозит, чтобы избежать столкновения.

Критическая ситуация. Модель переходит в этот режим, когда расстояние до ближайшего впереди идущего ТС меньше, чем ABX . Водитель начинает тормозить, чтобы избежать столкновения.

Столкновение. Ситуация, когда ТС сталкиваются, происходит авария и движение далее не происходит, не рассматривается в модели Видемана.

Эта модель стала эталонной. Одним из ее плюсов является то, что изменение с течением лет манеры

езды и модернизация ТС корректно отображаются в данной модели. Психофизиологическая модель Видемана используется в среде PTV VISSIM [3].

В студенческой научно-исследовательской лаборатории «Информационные технологии и автоматизация управления» при кафедре АСОИУ ОмГТУ для изучения проблем, связанных с имитационным моделированием транспортных потоков и сетей, используется пакет программ PTV VISION [4], в состав которого входит программа PTV VISSIM для микромоделирования транспортных потоков. С использованием этого пакета проводится экспертиза проектов решений, принимаемых для улучшения организации дорожного движения. В качестве примеров такой экспертизы ниже приводится экспертиза решения о запрете левого поворота с улицы 70 лет Октября на улицу Конева и о ликвидации нерегулируемого пешеходного перехода у остановки «Консум-центр».

2. Моделирование перекрестка «улица 70 лет Октября — улица Конева». Рассмотрим пример экспертизы на реальном участке УДС город Омска. Одним из проблемных мест улично-дорожной системы город Омска является перекресток «улица 70 лет Октября — улица Конева». Высокая нагрузка на него обусловлена находящимися вблизи мостом, крупными торговыми центрами и плотной жилой застройкой.

Данные для построения модели были получены следующим образом.

Все размеры, направления, расположение объектов (остановки, пешеходные переходы, светофоры и т.д.) получены по картам Google и Яндекс.

Параметры режимов работы светосигнальных установок (ССУ) были измерены на месте вручную.

Интенсивность транспортного потока была установлена экспериментально в час пик.

Количество общественного транспорта и его маршруты были получены из справочника 2Гис. На моделируемом участке 6 остановок общественного транспорта, через которые проходит 116 маршрутов.

Расписание общественного транспорта получено из интернет-ресурсов.

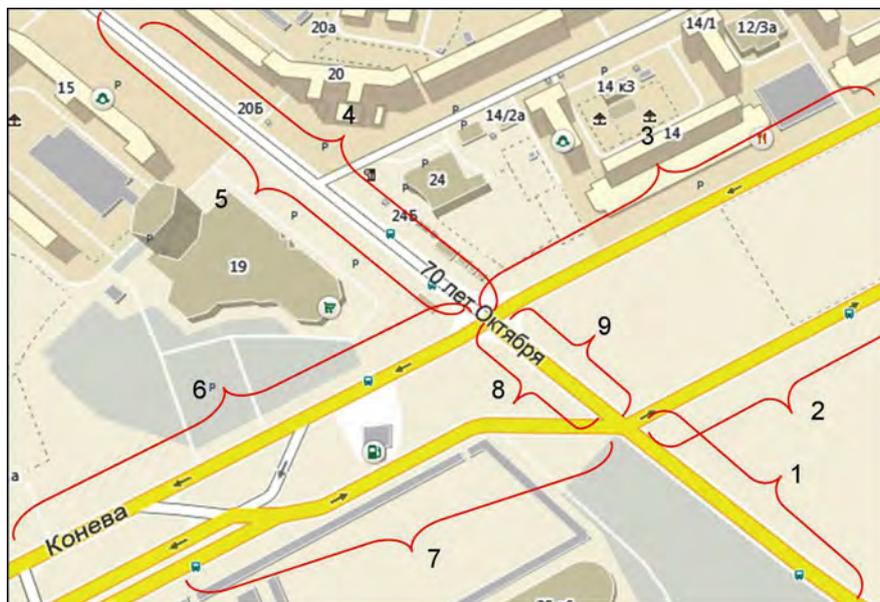


Рис. 2. Контрольные участки

Таблица 1

Сравнение оценок средних скоростей

Номер участка	Длина, м	Среднее время, с	Средняя скорость, км/ч	Средняя скорость по «Яндекс.пробки», км/ч	Разница средних скоростей, км/ч
1	150	284	1,8	5	3,2
2	420	31	48,6	50	1,4
3	450	1495	1,8	5	3,2
4	230	16	52,2	50	2,2
5	100	166	1,8	5	3,2
6	120	10	43,2	44	0,8
7	370	70,85	18	21	3
8	170	12,14	50,4	50	0,4
9	110	153	1,8	5	3,2
10	100	179	1,8	5	3,2

По этим данным была построена модель в PTV VISSIM.

Приближенно о достоверности построенной математической модели в пакете VISSIM можно судить, сравнивая визуализацию модели с реальной ситуацией на перекрестке.

Для более точной оценки достоверности проводилось сравнение выходных данных модели и данных, полученных из сервиса «Яндекс.пробки». Модель была разбита на контрольные участки, как показано на рис. 2, и на них замерялись средние скорости проезда. Перекресток был разбит на 10 участков. В модели на этих участках устанавливались «датчики», которые замеряли среднее время проезда через участок за все время моделирования (1000 минут). Так как длины участков известны, средние скорости проезда через каждый участок определялись расчетным путем.

Из сервиса «Яндекс.пробки» были получены средние скорости ТС на этих участках, которые вместе с другими данными приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что средние скорости на участках, полученные путем моделирования, совпадают с полученными из сервиса «Яндекс.пробки» (раз-

личия не превышают 3,2 км/ч), что свидетельствует об адекватности построенной модели.

В начале 2014 года правила проезда перекрестка были изменены городской администрацией. Был запрещен поворот налево с ул. 70 лет Октября на ул. Конева. Эти изменения были внесены в модель, затем проведено сравнение на одинаковых потоках. Запрет левого поворота улучшил ситуацию на перекрестке, и в модели это наглядно подтверждено. Время проезда участка изменилось с 71,27 с до 32,59 с, т. е. уменьшилось более чем вдвое.

3. Экспертиза решения о ликвидации нерегулируемого пешеходного перехода и остановки общественного транспорта. Аналогично проведена проектная экспертиза участка от пешеходного перехода на остановке «Технический университет» до пешеходного перехода на остановке «Медицинская академия». Пример визуализации математической модели данного участка с помощью PTV VISSIM представлен на рис. 3.

Для проектной экспертизы было выбрано решение о ликвидации нерегулируемого пешеходного перехода и остановки «Консум-центр».



Рис. 3. Пример визуализации участка

Промоделировано две ситуации: первая — с пешеходным переходом и остановкой, вторая — без них. В обоих случаях в системе проходил один и тот же случайный поток машин. В случае с переходом и остановкой в этом месте происходит затор, что увеличивает время простоя. Среднее время прохождения участка при наличии перехода и остановки составило 74,02 с, а без перехода и остановки — 35,88 с. Таким образом, в результате ликвидации перехода и остановки среднее время прохождения участка уменьшилось более чем в 2 раза.

Выводы. С помощью имитационного моделирования [5] можно оперативно производить экспертизу различных проектных решений в транспортных системах. Использование такого подхода позволяет быстро оценивать проектные решения, делать выводы об их качестве.

В ряде европейских стран регулярно выполняются транспортные проекты с помощью имитационного моделирования [6]. В Германии пакет моделирования PTV VISION одобрен и используется министерством транспорта ФРГ [7]. В последние годы PTV VISION начинает приобретать популярность и в России.

Транспортная система города Омска требует серьезных изменений, об этом свидетельствуют заторы на дорогах, большое количество дорожно-транспортных происшествий, проблемы парковки и т.д. Если применять имитационную экспертизу проектных решений, можно отклонять неудачные проекты и тем самым предупреждать большое количество проблем, которые могли бы возникнуть после их реализации, и оптимизировать те решения, реализация которых целесообразна.

Экономическая и социальная эффективность некоторых реализованных в городе Омске транспортных решений оценивается неоднозначно. И введение в практику принятия подобных решений обязательного проведения их предварительной имитационной экспертизы, несомненно, принесло бы городу весьма ощутимую пользу.

Библиографический список

1. Горев, А. Э. Основы теории транспортных систем / А. Э. Горев. — СПб. : СПбГАСУ, 2010. — 210 с.

2. Treiber, M. Christian Thiemann Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation / M. Treiber, A. Kesting. — London : Springer, 2012. — С. 221–222.

3. Olstam, J. J. Comparison of Car-following models / J. J. Olstam, A. Tapani // Swedish National Road and Transport Research Institute. — 2004. — 45 с.

4. Задорожный, В. Н. Обзор программ моделирования транспортных потоков / В. Н. Задорожный, Е. Б. Юдин // Динамика систем, механизмов и машин. — Омск : ОмГТУ, 2012. — № 1. — С. 254–257.

5. Задорожный, В. Н. Оптимизация ресурсов транспортной сети города методом направляющих гипербол / В. Н. Задорожный, М. А. Корнач, Е. Б. Юдин // Динамика систем, механизмов и машин. — Омск : ОмГТУ, 2014. — № 3. — С. 169–172.

6. Толуев, Ю. И. Инженерные традиции в имитационном моделировании производственных и логистических систем / Ю. И. Толуев, Д. А. Иванов // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2011) : материалы конф. : в 2 т. — СПб., 2011. — Т. 1. — С. 75–82.

7. Бекмагамбетов, М. М. Анализ современных программных средств транспортного моделирования / М. М. Бекмагамбетов, А. В. Кочетков // Журнал автомобильных инженеров. — 2012. — № 6 (77). — С. 25–34.

ЗАДОРОЖНЫЙ Владимир Николаевич, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Адрес для переписки: zwn@yandex.ru

ЗАВАЛЬНЫЙ Александр Сергеевич, магистрант гр. ИВМ-524 факультета информационных технологий и компьютерных систем.

Адрес для переписки: sanchopa@mail.ru

ШИКЛО Ольга Борисовна, магистрант гр. ИВМ-524 факультета информационных технологий и компьютерных систем.

Адрес для переписки: shikloolga@gmail.com

Статья поступила в редакцию 18.12.2014 г.

© В. Н. Задорожный, А. С. Завальный, О. Б. Шикло