

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Олейник Е.С.

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж, РФ

Вопросы повышения транспортно-эксплуатационных качеств дорог являются актуальными в течение многих лет. Последнее вызвано тем, что дорожное строительство весьма капиталоемко и возведение объектов на дальнюю перспективу требует значительных единовременных затрат. Это обуславливает необходимость использования научных подходов к решению задач составной части автоматизированного проектирования - имитационной подсистемы, позволяющей видеть дорогу в действии, прогнозировать комплекс транспортно-эксплуатационных качеств дороги в процессе проектирования по результатам моделирования на ЭВМ движения автомобилей и автомобильных потоков. При этом ЭВМ выступает в роли полигона для испытания проектируемой дороги.

К настоящему моменту сформировались новые отрасли лесного дорожного строительства, требующие глубинных изменений в процессах проектирования, строительства и эксплуатации дорог:

– сложность, иногда взаимная противоречивость требований, которые предъявляются к дороге (безопасность движения, снижение стоимости строительства, снижение стоимости и энергоемкости перевозок, экономические требования, надежность дорожных сооружений и т.п.);

– тенденция сокращения сроков реконструкции дорожных сооружений, вызванная бурным ростом автомобилизации, требующая снижения сроков проектирования дороги.

Эти свойства дорожной отрасли сводят главную задачу проектировщика не только к расчету конструкции и выпуску чертежей, сколько к прогнозированию процесса функционирования, дороги как основной части автомобильного транспорта, и определению последствий проектных решений.

Решению этих проблем способствуют развивающиеся системы имитационного моделирования автомобильных лесовозных дорог. Центральное место занимает подсистема имитации процессов функционирования дороги и без этой подсистемы невозможно оценивать и направленно формировать оптимальное проектное решение. Коренное отличие системного проектирования от эпизодического применения компьютерной техники при традиционном проектировании заключается в том, что все подсистемы взаимосвязаны и результаты проектных разработок по одной из систем непосредственно используются в виде исходной информации для последующего проектирования без промежуточной переподготовки данных. Эти

результаты, кроме того, могут выдаваться на экран монитора в виде цифровой или графической информации, которая при необходимости непосредственно корректируется инженером-проектировщиком. Таким образом, осуществляется диалог инженера с компьютером.

Разработка систем имитационного моделирования является прогрессивным направлением повышения качества проектных решений.

Важнейшее место занимает система имитационного моделирования процессов функционирования проектируемой дороги, которая позволяет производить оценку транспортно-эксплуатационных качеств пути на стадии применения проектных решений. Среди оригинальных работ в этом направлении необходимо выделить моделирование движения автомобилей с использованием результатов теории массового обслуживания работы В.В. Сильянова и исследователей МАДИ по имитационному моделированию

Одним из направлений оценки транспортно-эксплуатационных качеств АЛД в САПР является построение эпюр (скорости движения по Н.Ф. Хорошилову, Е.А. Бельскому, К.А. Хавкину, В.В. Сильянову; коэффициентов аварийности и коэффициентов безопасности движения по В.Ф. Бабкову; пропускной способности и уровня загрузки по В.В. Сильянову отдельных показателей).

Хотя проблемы, связанные с системами управления дорожным движением, постепенно решаются путем теоретического анализа и натурных экспериментов, при рассмотрении крупномасштабных систем не всегда легко предложить достаточно точную теорию или провести адекватные их масштабу экспериментальные исследования. Поэтому важно уметь компенсировать недостаток средств для исследования путем использования нематематических моделей. Имеются некоторые примеры использования аналоговых моделей, основанных на применении специализированных вычислительных устройств, для целей подобного нематематического моделирования обычно применяют цифровые ЭВМ, поскольку малая общность аналоговых моделей делает невыгодными капиталовложения в разработку реализующих их средств вычислительной техники. Попытки подобного применения цифровых ЭВМ для имитационного моделирования дорожного движения предпринимались достаточно давно, поскольку модель автомобиля интуитивно понятна и сравнительно просто представляется кодами цифровой ЭВМ. Однако имитационное моделирование транспортного потока не является простым делом в связи со сложностью системы и невозможностью моделировать все факторы, воздействующие на нее. Поэтому, для того чтобы решить некоторую задачу методом моделирования, необходимо сузить как ее постановку, так и масштабы модели.

Теоретический анализ. Хотя методами моделирования были решены многие задачи, трудно представить себе универсальную программу имитационного моделирования; вместо этого имитацию обычно проводят с помощью моделей, служащих определенным конкрет-

ным целям, примерами которых могут служить:

теоретические исследования транспортного потока (анализ интенсивности движения, задержек, обгонов, слияний, шума ускорения, потребления энергии, загрязнения окружающей среды);

проектирование дорог (анализ пропускной способности дороги, конфигурации примыканий, въездов и съездов и т. д.);

проектирование дорожных сетей (планирование прокладки новых дорог, прогнозирование транспортного спроса и т. д.);

определение эффективности управления дорожным движением (оценка алгоритмов управления и схем организации движения);

определение оптимальных управлений (поиск наборов оптимальных сдвигов);

исследование свойств, присущих моделям дорожного движения (оценка точности, требуемой в модели для теоретического анализа или имитационного моделирования);

оценка влияний различных типов транспортных средств.

Результаты моделирования на ЭВМ движения автомобилей в потоке при его различных режимах служат основой технико-экономического сравнения вариантов проектных решений плана и продольного профиля с оценкой показателей автомобильных потоков на участках стационарного и переходных режимов движения. Методики моделирования используются при разработке алгоритмов и программ оценки транспортно-эксплуатационных характеристик дорог в системе автоматизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Методика. Имитационное моделирование должно планироваться в виде ряда последовательных этапов:

1. Постановка задачи.
2. Составление модели процесса (теория, измерение, сравнение, обработка).
3. Подготовка исходной информации.
4. Программирование
5. Контрольный счёт.
6. Моделирование.
7. Обработка.

Наиболее важным шагом из представленных выше является составление модели процесса. Модель, которая имитирует реальную систему, не может быть определена единственным образом, и даже очень сложная система может иногда с пользой имитироваться простой моделью с использованием техники округления и агрегирования. Это означает, что многочисленные элементы вводятся в модель в составе единственного блока. И наоборот, сложная

модель может потребоваться для простой системы, если последняя должна подвергнуться детальному исследованию. Точность модели должна определяться в соответствии с целью моделирования и характеристиками имитирующей системы. С этой точки зрения мы можем разделить имитационные модели на три категории: представляющие индивидуальные транспортные средства (микроскопические модели); представляющие группы из нескольких автомобилей (макроскопические модели); рассматривающие транспортный поток как жидкость (жидкостная модель).

Еще одним фактором, влияющим на точность модели, является корректность учета случайных возмущений. Это, в первую очередь, относится к микроскопическим моделям; если ликвидировать в них элементы случайности, они начинают работать аналогично жидкостной модели. И наоборот, исследуя макроскопическую или жидкостную модель, можно до некоторой степени игнорировать случайные факторы, поскольку они уже вошли в эти модели в усредненном виде.

Далее различаются методы «продвижения» времени при имитационном моделировании, которые могут быть разделены на методы с *периодическим продвижением и продвижением по событиям*. При периодическом продвижении каждый автомобиль передвигается через каждый фиксированный интервал времени Δt , и процесс моделирования переходит к анализу ситуации, происходящей в следующем интервале Δt . При продвижении по событиям время в системе изменяется только в момент, когда происходит какое-либо качественно новое событие, и процесс моделирования продолжается путем розыгрыша появления следующего события.

Теперь рассмотрим организацию памяти в процессе моделирования. Существуют два метода хранения информации об автомобилях в системах имитационного моделирования на ЭВМ.

В первом из них дорога разделяется на блоки достаточной длины и для каждого блока отводится участок памяти. Существование автомобиля (скорость и направление), если он существует в данном блоке, запоминается в участке памяти, соответствующем месту нахождения автомобиля, и движение автомобилей представляется передачей информации между участками памяти. Во втором методе для каждого автомобиля отводится участок памяти, и индивидуальные характеристики автомобиля (место нахождения, скорость), хранятся в участках. Движение автомобилей представляется изменением содержимого участков памяти.

Экспериментальная часть. *Имитационная модель скоростной дороги.* Моделирование скоростных дорог и других внегородских автомобильных магистралей связано со взаимодействием автомобилей в процессе движения, поэтому в данном случае используется микроскопическая модель. Когда используется физическая модель, то дорога делится на участки

протяженностью, равной средней длине автомобиля, и, если игнорируется распределение длин автомобилей, то каждый автомобиль представляется двоичной единицей. Если учитывается длина автомобилей, то дорога разбивается на участки меньшей длины и каждый автомобиль представляется цепочкой единиц. Поскольку автомобили «физической» модели обычно передвигаются на основе простых логических посылок, такая модель не может быть использована для детального исследования.

В математической модели автомобиль, попадающий на дорогу на въезде или в начале дороги (возможно фиктивной), получает идентификационный номер и информация относительно места его нахождения, скорости и т. д. записывается в участок памяти, соответствующий данному номеру. Обгоны автомобилей могут представляться различными способами. Один из них состоит в использовании списочной структуры, в рамках которой вместе с информацией, относящейся к данному автомобилю, заполняются номера автомобилей, едущих впереди и сзади него. Другой заключается в подготовке перечня номеров автомобилей, представляющего порядок их следования. «Математическая» модель может быть использована для имитационного моделирования таких сложных ситуаций. Для проведения имитационного моделирования должны быть определены следующие данные: параметры, связанные с индивидуальными автомобилями: делаемая скорость, тип или размер автомобиля, максимальное ускорение и т. д.; общие характеристики: характеристики следования за лидером, характеристики обгонов и т. д.; характеристики дороги: число полос, ограничение скорости, знаки, светофоры, расположение въездов и съездов и т. д.

Для каждого автомобиля в каждом периоде времени Δt определяется величина ускорения \ddot{x}_i , скорость пересчитывается по формуле $y + \ddot{x}_i \Delta t$ и автомобиль сдвигается на расстояние $y \Delta t$. Для различных ситуаций, в которые попадает автомобиль, ускорение x по-разному определяется. Существуют различные типичные модели:

1. Модель свободного движения: автомобиль, не имеющий препятствий в движении по участку некоторой длины (автомобиль $i = 1$), согласно работе [1], может быть передвинут с ускорением

$$\ddot{x}_i(t + \tau) = K_1 \{v_{di} - x(t)\}, \quad (1)$$

где τ — время реакции водителя, K_1 — константа, v_{di} — желаемая скорость i -го автомобиля.

2. Автомобиль, следующий за лидером: i -й автомобиль (автомобиль 2 на рис.1), впереди которого движется более медленный автомобиль j (автомобиль 1 на рис.1), может быть передвинут на основе модели следования за лидером, например

$$x_i(t + \tau) = [k_2 \{x_j(t) - x_i(t)\} / \{x_j(t) - x_i(t)\}]. \quad (2)$$

Для того чтобы определить, к какому типу в данный момент времени относится конкретный автомобиль, свободно движущемуся или следующему за лидером, может быть использована величина интервала времени между этим автомобилем и движущимся впереди. По экспериментальным данным [2], граничным является интервал в 7 с для легкового автомобиля и 4 с для грузового.

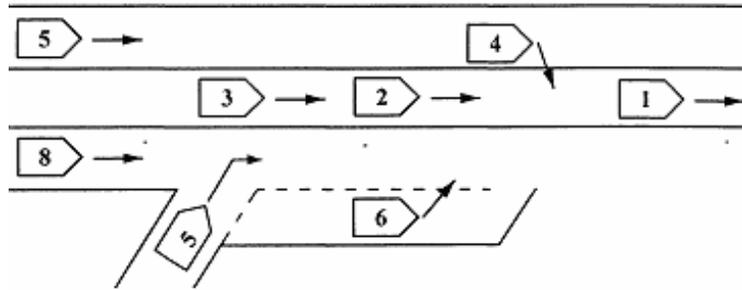


Рис.1. Расположение автомобилей

3. Автомобиль, изменяющий полосу движения. Смена полосы движения (автомобиль 3 на рис.1) может рассматриваться путем введения вероятности этого события, определяемой по величине временного интервала t между данным и движущимся сзади по соседней полосе автомобилями (автомобиль 5 на рис.1).

4. Автомобиль, выполняющий маневр слияния. Автомобиль, въезжающий на дорогу с въезда, может рассматриваться аналогично предыдущему случаю, если имеется полоса ускорения (автомобиль 6 на рис. 1).

Назовем отношение времени, необходимого для моделирования на ЭВМ, к длительности моделируемого процесса *отношением реального времени*. Это отношение колеблется в широких пределах зависимости от точности модели, масштабов сети и даже эффективности ЭВМ. В примере [3], в котором моделировался участок дороги длиной 400 м на ЭВМ IBM I ($\Delta t = 0,25$ с), отношение реального времени составило 35÷38, в то время как в примере, использующем ЭВМ IBM II ($\Delta t = 1$ с), отношение реального времени составило 0,3 для 20,0 автомобилей.

Текущие оценки пока еще существенно хуже.

Имитационное моделирование улиц, включая перекрестки. Целью моделирования является нахождение задержек, пропускной способности, длины очереди и т.д. Для этой модели техника имитационного моделирования может быть разделена на две категории.

- 1) использование той же самой модели, что и для автомобильных магистралей;
- 2) игнорирование пространственной составляющей и моделирование только последо-

вательности прибытий и убытий.

При использовании модели 1 мы можем представить перекресток как два пересекающихся участка и передвигать автомобили по ним аналогично модели автомобильной магистрали, принимая во внимание необходимость учета работы сигнализации, движения пешеходов и особенно поворотных направлений движения. В модели 2, в которой мы пренебрегли пространственной составляющей, прибытие автомобилей определяется случайными числами; длина очереди устанавливается путем подсчета накапливаемых автомобилей, а убытие представляется вычитанием единицы из содержимого счетчика очереди. Для такой модели эффективнее продвижение времени по событиям.

Поскольку имитационное моделирование малой части городской территории не может обеспечить получение характеристик всей дорожной сети, то необходимо выполнение для этих целей крупномасштабных работ по имитационному моделированию, что приводит обычно к использованию макроскопических моделей.

С другой стороны, если перекресток моделируется на основе принципа 2, т.е. без пространственной компоненты, возможно моделировать без учета этой составляющей и движение на перегоне. Подобная приближенная модель близка к действительности, поскольку задержки на улицах в основном вызваны работой светофорной сигнализации, а не взаимодействием автомобилей при движении по перегону.

Имитационное моделирование групп автомобилей. Если в процессе моделирования несколько автомобилей рассматриваются как группа, то дорога делится на участки длиной несколько десятков метров каждая и транспортный поток представляется числом автомобилей на участке и их средней скоростью. Таким образом, расстояние вдоль дороги здесь дискретно с шагом, равным длине участка (вообще говоря переменным), а автомобили в пределах участка не различаются. Время в модели изменяется методом периодического продвижения, а шаг Δt выбирается одного порядка с минимальной величиной времени проезда участка.

Автомобили на регулируемом перекрестке относят к фиктивным участкам, вплотную примыкающим к перекрестку. Из этих участков передвигают вперед по ходу движения количество автомобилей, пропорциональное длительности периода горения зеленого сигнала, пришедшейся на время Δt , правые или левые повороты могут быть определены с помощью случайных чисел и с учетом движения по улице, пересекающей данную. Подобная модель является довольно грубой для нерегулируемого перекрестка. Однако в случаях, когда основная магистраль пересекается второстепенной, оборудованной знаком обязательной остановки, такой моделью можно пользоваться, если ввести зависимость между интенсивностью движения на основной магистрали и пропускной способностью второстепенной.

Выводы. Техника имитационного моделирования на ЭВМ позволяет иметь дело с более детальными моделями, чем аналитические методы, и выполнять более безопасные, дешевые и быстрые эксперименты, чем при натурном экспериментировании.

Имитационное моделирование является мощным средством решения проблем, которые невозможно решить аналитически. Оно обладает следующими свойствами:

- возможность выполнения детального анализа явлений и проникновения в сущность исследуемого процесса, которые невозможны при обычном натурном эксперименте;

- появляется возможность выполнения таких экспериментов, которые невозможно проводить на реальных дорожных сетях, по соображениям, например, безопасности движения;

- появляется возможность прогнозирования и анализа разнообразных ситуаций, которые могут случиться в будущем, но еще не случались на практике;

- долговременные явления и процессы в реальной системе могут быть проанализированы за короткий промежуток времени;

- имитационное моделирование не так дорого, как выполнение натуральных экспериментов;

- возможность оценить важность отдельных параметров, что облегчает создание теоретических моделей;

- улучшается интуитивное восприятие системы при исследовании сложных ситуаций в дорожном движении.

Имитационное моделирование является мощным средством решения проблем, которые невозможно решить аналитически. Реализация такой методологии становится возможной, с одной стороны, вследствие насыщения более содержательными и близкими к объективной реальности математическими моделями, с другой – вследствие совершенствования интерактивных методов работы с моделями проектируемых объектов.