



Системный анализ и моделирование транспортных и пассажирских потоков



Евгений МАСЛОВ

Evgeny S. MASLOV

System Analysis and Modeling of Transport and Passenger Flows

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 150)

В статье анализируются подходы к моделированию транспортных и пассажирских потоков для оптимизации и повышения эффективности функционирования имеющихся маршрутов и пересадочных узлов. Приведена методика оценки транспортных потоков в системе крупного города на основе транспортной модели. Выделены ключевые показатели для обеспечения взаимодействия в управлении транспортными и пассажирскими потоками. Описан системный подход при анализе возможностей интеграции частей (элементов) интеллектуальной транспортной системы.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная модель, системный подход, управление транспортными потоками, управление пассажиропотоками, оптимизация, информационная модель, взаимодействие транспортных и пассажирских потоков.

Маслов Евгений Сергеевич – аспирант кафедры интеллектуальных транспортных систем Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Постоянно нарастающая нагрузка на транспортную сеть и пересадочные узлы города приводит к тому, что существенно возрастает интенсивность транспортных потоков, а расширять пути и увеличивать количество подъездных линий зачастую уже нет возможности. В этих условиях особое значение приобретает способность системы поднимать пропускную способность станций и остановочных пунктов при минимальных изменениях архитектурно-планировочных решений, без капитальной реорганизации, с помощью внутренних ресурсов транспортных объектов.

Возникает задача оптимизации транспортных потоков, повысить эффективность функционирования имеющихся дорог, максимально сэкономив материальные средства на дорогостоящей реконструкции, а также избавить улицы от пробок и заторов, отнимающих много времени и нервов у водителей и пассажиров и к тому же серьезно загрязняющих окружающую среду.

Решение задачи по увеличению пропускной способности при текущей транспортной инфраструктуре можно найти при детальном изучении движения транспорт-

ных потоков, транспортных средств, пассажиров, их взаимодействия между собой и элементами транспортной сети, условий и логики управления потоками.

1.

Какие параметры определяют транспортный поток? Является ли данное множество автомобилей на дороге транспортным потоком или нет? С какого количества транспортных средств начинается поток? Эти вопросы никогда не были чисто умозрительными.

Одно транспортное средство не является потоком, а два — вероятно, уже могут им быть (например, в модели «следования за лидером» рассматривают две транспортные единицы). То есть понятие транспортного потока определяется в рамках той теории или модели транспортных процессов и систем, в которой используется. И для каждого типа моделей и уровня детализации поток будет иметь свой характер и свойства движения.

Например, в абстрактной теории транспортных процессов и систем, построенной на использовании математической модели, которую условно можно назвать транспортной машиной от профессора В. В. Доенина [1], транспортный поток (ТП) — это совокупность транспортных объектов, проходящих через заданную точку сети в определённый момент времени. Транспортный процесс и учёт влияния факторов взаимодействия объектов на характер его развития может быть осуществлён с помощью модели движения объектов [2]:

$$\begin{aligned} z_v^i &= f_z^i(x_v^i, s_v^i), \\ s_{v+1}^i &= f_s^i(x_v^i, s_v^i), \\ d_{v+1}^i &= f_d^i(x_v^i, s_v^i), \\ x_v^i &= f_x^i(z_{v-1}^1, z_{v-1}^2, \dots, z_{v-1}^k, t_v), \\ t_v &= t_{v-1} + \Delta t, i=1, 2, \dots, k, \end{aligned} \quad (1)$$

где z_v^i — функция реакции транспортного объекта в v -й момент времени; s_{v+1}^i — состояние объекта в $v + 1$ момент времени для рассматриваемого i -го процесса; d_{v+1}^i — местоположение объекта в среде в $v + 1$ момент времени для i -го процесса; x_v^i — переменная, указывающая на наличие

места в зоне по ходу движения объекта для i -го процесса; Δ — дискретный шаг изменения времени t .

Модель (1) отражает факт влияния каждого из k объектов системы на рассматриваемый i -й процесс, проявляющийся через изменение входных воздействий x_v^i как результат формирования совокупности реакций $z_{v-1}^1, z_{v-1}^2, \dots, z_{v-1}^k$. Опираясь на данную модель, можно обеспечить анализ свойств динамических систем любого рода, предназначенных для перемещения объектов различного вида.

Согласно другой версии [3], ТП — это совокупность транспортных средств, движущихся по проезжей части дороги. Здесь же, в зависимости от числа полос и разрешённых направлений движения, транспортный поток подразделяют на однополосный односторонний, двух-, трёхполосный (и более) односторонний или двусторонний.

Определение пассажиропотока в абстрактной теории В. В. Доенина обобщено понятием интеллектуального транспортного потока. И формулируется оно так [1]: интеллектуальным будем называть дискретный транспортный поток, управление транспортным процессом в котором реализуется либо внешним по отношению к объекту транспортным оператором (централизованное управление), либо самими интеллектуальными транспортными объектами самостоятельно (автономное управление), либо одновременно тем и другим (комбинированное управление). Важнейшими характеристиками транспортных потоков в данном случае являются управляемость, устойчивость и сходимости транспортных процессов.

В ином источнике [4] пассажиропоток определён как совокупность поездок, объединённых единым направлением и совершаемых в рассматриваемый период.

Однако, несмотря на всё разнообразие трактовок и многовариантность подходов к понятию, анализ транспортных потоков остаётся сложным этапом управления дорожным движением и может базироваться на:

- статистических данных, в основе которых транспортное обследование, использование автоматизированных пунктов



учёта движения транспортными детекторами, экспертные оценки, вынесенные при помощи транспортной модели;

- моделировании дорожно-транспортных ситуаций посредством специального компьютерного обеспечения;
- комплексном подходе.

Комплексный или комбинированный подход, когда объединяются статистические данные, собранные при помощи всех доступных методов, и результаты моделирования, даёт обычно наилучшие решения.

Согласно анализу, универсальными для моделирования транспортных потоков и возможности воспроизведения совокупности как отдельных деталей движения, так и системного процесса в целом являются методы имитационного моделирования.

2.

С помощью методов имитационного моделирования возможно использование многоподходного варианта, что позволяет построить транспортную модель для анализа свойств и поведения индивидуальных объектов (применяя агентное моделирование) и для системного синтеза. При описании системы с участием транспортных процессов (применяя дискретно-событийное моделирование) или глобальных зависимостей (применяя системную динамику) вполне допустима и комбинация таких подходов.

Первоочередной задачей анализа транспортных потоков на основе транспортной модели является формулировка заданий по разработке мероприятий, направленных на оптимизацию дорожного движения, среди которых могут быть:

- реконструкция улично-дорожной сети, территории или архитектурной планировки станции, транспортного узла;
- оптимизация работы имеющихся в наличии технических средств организации дорожного движения (информационных табло, светофоров и др.);
- подготовка новых ИТС-решений.

Информация, характеризующая транспортные потоки, обычно разнородна и состоит из больших объёмов данных.

Эффективный их анализ возможен лишь при условии построения имитационной модели и применения специализированного программного обеспечения, которое способно:

- предоставлять данные в стандартизованном и наглядном виде;
- сравнивать структуры и массивы данных;
- осуществлять проверку информации на достоверность.

Многолетний опыт научных исследований и практических наблюдений за транспортными потоками позволил выделить наиболее объективные показатели. Среди них выделяются: интенсивность транспортного потока, его состав по типам транспортных средств, плотность потока, скорость движения, задержки движения.

Интенсивность транспортного потока — это число транспортных средств, проезжающих через сечение дороги за единицу времени. В качестве расчётного периода времени для определения интенсивности движения принимают год, месяц, сутки, час и более короткие промежутки (минуты, секунды) в зависимости от поставленной задачи и средств измерения.

Плотность транспортного потока является пространственной характеристикой, определяющей степень стеснённости движения на полосе дороги. Её измеряют числом транспортных средств, приходящихся на один км протяжённости пути. Предельная плотность достигается при неподвижном состоянии колонны автомобилей, расположенных вплотную друг к другу на полосе. Для потока современных легковых автомобилей теоретически предельное значение составляет около 200 авт./км.

Задержки движения — показатель, на который должно быть обращено особое внимание при оценке состояния дорожного движения. К задержкам следует относить потери времени на все вынужденные остановки транспортных средств не только перед перекрёстками, железнодорожными переездами, при заторах на перегонах, но также из-за снижения скорости транспортного потока по сравнению со сложившейся средней скоро-

стью свободного движения на данном участке дороги.

Для характеристики пассажирских потоков используются такие основные показатели:

- транспортная подвижность;
- коэффициент пересадочности;
- время передвижения по маршруту;
- мощность или напряжённость;
- затраты на пересадку (время, работа);
- объём пассажиров;
- интенсивность потока;
- плотность потока;
- направление потока;
- коэффициент сменяемости пассажиров.

Уточним некоторые ключевые показатели:

— мощность пассажирских потоков — это количество пассажиров, которое проезжает в определённое время на заданном участке маршрута в одном направлении;

— объём пассажиров есть их количество, перевозимое за определённый промежуток времени (час, сутки, месяц, год);

— коэффициент сменяемости определяет- ся как отношение длины маршрута к средней дальности поездки пассажиров.

Концепцией системного подхода к транспортной системе подразумевается прежде всего взаимосвязь территориально-сетевых частей или транспортных подсистем города. В настоящее время транспортные системы обладают недостаточной эффективностью, поскольку им не удаётся связать существующие части или этапы (функции) в единый механизм. Как правило, функции подготовки груза к перевозке осуществляются без должной координации с погрузочными работами, а последние с потребностями и запросами получателей и т.д. Выделение отдельных функций в самостоятельные производства и неспособность объединить части в единое целое обусловлены различными причинами, включая узость взглядов специалистов, недостатки в организации и транспортном планировании и др. Но во всех случаях это подчёркивает лишь одно: потребность в более рациональном решении транспортной задачи и оптимизации транспортных процессов в целом.

ВЫВОДЫ

Анализ и синтез частей сложной системы, к разряду которых, несомненно, относится транспортная система большого города, подразумевают использование системного подхода. Он позволяет организовывать и перераспределять, мультипликсировать потоки, обеспечивая население городов транспортными услугами с минимальными задержками и затратами на обслуживание. Благодаря детальному изучению взаимодействия всех транспортных единиц и транспортной инфраструктуры между собой, а также в совокупности с пассажирами, участвующими в транспортном процессе, достигается эффект эмерджентности системы, помогающий оптимизировать пропускную способность и увеличить транспортную доступность сети. А в этом случае и легче оценить и по возможности улучшить маршрутизацию транспортной системы города по любому пересадочному узлу или интермодальной станции, без капитального изменения архитектурно-планировочных решений, за счёт экономной реорганизации уже имеющейся транспортной инфраструктуры и более рационального управления параметрами движения транспортных и пассажирских потоков.

Реализация системного подхода при решении подобных задач управления может быть обеспечена научным моделированием транспортных и пассажирских потоков, предоставлением клиентам транспортных услуг возможности анализа и построения маршрутов с помощью комбинированного пользования различными видами транспорта, что становится реальным на основе имитационных моделей и объединения данных всех систем и модулей в интеллектуальную транспортную систему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доенин В. В. Интеллектуальные транспортные потоки. — М.: Спутник+, 2007. — 306 с.
2. Доенин В. В. Основы абстрактной теории транспортных процессов и систем. — М.: Спутник+, 2011. — 348 с.
3. СП 122.13330.2012. Тоннели железнодорожные и автодорожные.
4. Варелуполо Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. — М.: Транспорт, 1990. — 208 с.

Координаты автора: **Маслов Е. С.** — ecmaslov@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 22.12.2016, принята к публикации 03.02.2017.

