

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. Е. Воронин, В. С. Куранцева (Саратов)

Введение

В современных российских городах постоянно обостряются транспортные проблемы. Неуклонно растет численность населения городов и площадь их территории, резко увеличивается число автомобилей, находящихся как в личном пользовании горожан, так и используемых предприятиями и организациями различных форм собственности. Увеличивается число средств общественного транспорта. При этом, как видно на примере родного Саратова и других крупных городов Нижнего Поволжья, существующая транспортная инфраструктура не соответствует современным требованиям. На дорогах образуются автомобильные пробки, затрудняющие движение транспорта, и автомобили, как в песне поется, буквально все загромодили. Неэффективность транспортных систем приводит к обострению экологических проблем крупных городов. В Волгограде, Саратове и Астрахани разрабатываются во многом схожие концепции развития, в том числе, оптимизации управления системой общественного транспорта. Например, в Саратове утверждена «Концепция развития городского общественного транспорта Саратова на 2006–2008 годы», в которой предусматривается использование электротранспорта (трамваев и троллейбусов) или транспортных средств большой вместимости везде, где существуют регулярные пассажиропотоки соответствующего объема. Табу накладывается также на полное дублирование микроавтобусами маршрутов городского электротранспорта.

По нашему мнению, в процессе выработки упомянутых концепций развития транспортных систем и стратегий их воплощения в жизнь полезно было бы использовать компьютерное моделирование. Моделирование может использоваться для осмысления особенностей существующей транспортной системы, выявления в ней «узких мест» для прогнозирования поведения системы в будущем и для анализа возможных последствий реализации различных управляющих воздействий на исследуемую систему. Прогнозирование с использованием имитационных моделей позволит обеспечить качественное обслуживание пассажиров и избежать негативных последствий нововведений.

Концептуальное моделирование

Рассмотрим возможные варианты концептуальной модели, пригодные для решения задачи анализа функционирования системы городского общественного транспорта. Наиболее простой представляется концептуальная модель, в рамках которой динамическими объектами являются пассажиры и отдельные транспортные средства различных видов, осуществляющие перевозку пассажиров. Статическими объектами в этой модели являются остановочные пункты, в которых осуществляется посадка пассажиров в транспортные средства и выход пассажиров в пунктах назначения.

Для формализации такой модели требуется относительно небольшой объем исходных данных. Во-первых, требуется статистическими методами оценить интенсивность прихода пассажиров на отдельные остановочные пункты в конкретное время суток. Во-вторых, требуется получить оценку вероятности выбора пассажиром конкретного пункта назначения и вероятности предпочтения определенного вида транспорта. В-третьих, требуется получить статистические оценки времени проезда транспортных средств различных видов между конкретными остановочными пунктами в различное время суток, а также оценки затрат времени на посадку и высадку пассажиров на оста-

новочных пунктах. Располагая формальным описанием перечисленных параметров, можно приступить к программной реализации модели.

Имитационные эксперименты с такой моделью позволяют исследовать нелинейные процессы в рассматриваемой транспортной системе при различном числе транспортных средств каждого вида на отдельных маршрутах и различных графиках движения этих транспортных средств. Даже в такой простой интерпретации имитационное моделирование позволяет получить разнообразные прогнозные данные об отклике исследуемой транспортной системы на изменение параметров ее функционирования.

Более сложный вариант построения концептуальной модели исследуемой системы предполагает непосредственное представление в модели в виде динамических объектов не только транспортных средств, осуществляющих пассажирские перевозки, но и иных транспортных средств, использующих ту же дорожную сеть. В качестве статических элементов такой модели необходимо рассматривать и остановочные пункты, и участки дорог, соединяющие остановочные пункты, и перекрестки, и обеспечивающие регулирование дорожного движения светофоры. Характеристики всех этих элементов модели должны быть определены и должным образом формализованы. Очевидно, что для формализации такой модели требуется уже значительно больший, чем в ранее рассмотренном варианте, объем исходных данных. Особые трудности вызывает формальное описание логики "поведения" на дороге отдельных транспортных средств.

Программная реализация модели

Программная реализация для первого из описанных выше вариантов концептуальной модели получается весьма простой. На практике могут быть использованы различные инструментальные средства (с учетом требований заказчика). Рассмотрим в качестве примера, как данная задача может быть решена средствами языка GPSS.

Моделирование входящих в систему потоков пассажиров можно осуществить следующим образом. Для каждого остановочного пункта разрабатывается отдельный сегмент модели. Случайная величина интервала поступления транзактов-пассажиров в модель через блоки GENERATE задается с помощью встроенных функций, например, функции экспоненциального распределения. Кроме того, в нашей модели используются построенные на основе статистических данных функции для изменения интенсивности пассажиропотоков в зависимости от времени суток, для выбора случайным образом пункта назначения пассажира, для определения предпочтения пассажира при выборе определенного вида транспорта. Аккумуляирование транзактов-пассажиров в очередях на остановочных пунктах моделируется с помощью списков пользователя.

Транспортные средства различных видов представляются в модели транзактами различных типов. Заданное число транзактов каждого типа поступает в модель через соответствующие блоки GENERATE. Определенные графики выхода транспортных средств на маршрут задаются с помощью соответствующих операндов этих блоков. Далее задаются параметры транспортных средств.

В отдельных сегментах модели программируется прохождение транспортными средствами последовательности остановочных пунктов с посадкой в них и выходом из них пассажиров. На каждом остановочном пункте транзакты, представляющие в модели выходящих пассажиров, извлекаются из списка, соответствующего транспортному средству. Если пассажир прибыл в конечный пункт назначения, соответствующий транзакт удаляется из модели. Если же пассажиру предстоит пересадка, соответствующий ему транзакт помещается в очередь на данной остановке. При наличии свободных мест в транспортном средстве транзакты, представляющие в модели входящих пассажиров, извлекаются из очереди на остановочном пункте и помещаются в соответствующий транспортному средству список.

Продолжительность интервала времени, в течение которого транспортное средство преодолевает расстояние от одного остановочного пункта до следующего, является случайной величиной. Значение этой случайной величины зависит от расстояния между остановочными пунктами и скорости движения транспортного средства конкретного вида. На основе этих двух параметров может быть вычислено математическое ожидание рассматриваемой случайной величины. Скорость движения на рассматриваемом участке маршрута может изменяться в результате влияния разнообразных случайных факторов, поэтому для данной случайной величины целесообразно использовать нормальный закон распределения. В нашей модели для этого в блоке ADVANCE в качестве операнда используется встроенная функция нормального распределения, а ее параметры, в свою очередь, изменяются в зависимости от времени суток с помощью определяемой разработчиком модели функции пользователя. Случайной величиной является продолжительность интервала времени, в течение которого на остановочном пункте осуществляется высадка и посадка пассажиров. Значение этой случайной величины зависит от числа выходящих из транспортного средства и входящих в него пассажиров и задается в модели с помощью операндов соответствующего блока ADVANCE.

В реальных условиях движение каждого транспортного средства регулируется установленным диспетчером графиком. В имитационной модели задержка транспортного средства на конечной остановке с помощью специально заданной функции регулируется таким образом, чтобы соблюдался упомянутый график движения.

Описанная простая модель позволяет решать широкий круг задач анализа поведения исследуемой системы городского общественного транспорта. Добавив в эту модель дополнительные сегменты, можно моделировать различные нештатные ситуации в работе общественного транспорта. Например, можно моделировать временное удаление отдельных транспортных средств с маршрута из-за их технической неисправности, или временное прекращение движения всех транспортных средств определенного вида на некоторый период времени. Также возможно моделирование изменения пропускной способности отдельных участков дорожной сети и другие особенности движения транспорта на заданном маршруте.

Ограниченный объем данной публикации не позволяет привести даже в самых общих чертах описание программной реализации второго варианта концептуальной модели, приведенного выше.

Практическая ценность результатов имитационного моделирования

На основе всестороннего анализа результатов экспериментов с имитационными моделями могут быть решены разнообразные задачи оптимизации управления пассажирскими перевозками городским общественным транспортом. Например, может быть определена средняя загруженность транспортных средств каждого вида в определенное время суток. С учетом этих данных может быть оптимальным образом назначено количество транспортных средств каждого вида, задействованных на заданном маршруте, а также выбран оптимальный график движения транспортных средств с учетом изменчивости интенсивности пассажиропотоков во времени. Может быть изучено влияние на эффективность работы общественного транспорта погодных условий, состояния и загруженности транспортных магистралей.

Особое значение имеет возможность изучения переходных режимов работы системы общественного транспорта. Нами, в частности, моделировались и всесторонне анализировались ситуации временного прекращения движения электротранспорта различной продолжительности. Практическая значимость этих исследований обусловлена тем, что, с одной стороны, концепция развития городского общественного транспорта

предусматривает использование на основных городских маршрутах преимущественно электротранспорта, с другой стороны, нередки случаи временного прекращения движения электротранспорта. Такие ситуации возникают, например, из-за обрывов контактной электросети, прекращения подачи электроэнергии в контактную сеть, дорожно-транспортных происшествий, при которых электротранспорт не может объехать место аварии. Если электротранспорт на определенном маршруте не дублируется иными видами транспорта, то даже непродолжительное прекращение движения электротранспорта приводит к продолжительному нарушению обслуживания пассажиров, поскольку восстановить регулярное движение транспортных средств на всем протяжении маршрута весьма затруднительно.

Результаты модельных экспериментов показали, что если электротранспорт на определенном маршруте дублируется лишь микроавтобусами, то такое дублирование в случае временной остановки электротранспорта не позволяет эффективно перераспределить пассажиропотоки с электротранспорта на маршрутные такси, которые обладают малой вместимостью. Лишь при очень большом числе на маршруте микроавтобусы, мало загруженные в нормальном режиме работы всех видов транспорта, могут принять пассажиропотоки, резко увеличивающиеся при временном прекращении движения электротранспорта. Однако, именно уменьшение числа микроавтобусов на городских магистралях является одной из основных задач, декларируемых городскими властями областных центров Нижнего Поволжья.

Если же электротранспорт дублируется на данном или параллельном маршруте автобусами большой вместимости, то в моменты пиковой нагрузки возможно удовлетворительное качество обслуживания пассажиров (среднее время ожидания пассажирами возможности посадки в транспортное средство не превышает предельной величины ожидания).

В заключение отметим, что, согласно многочисленным прогнозам, в ближайшее время острота транспортных проблем в крупных городах России будет обостряться. В таких условиях компьютерное моделирование позволит, с одной стороны, прогнозировать состояние системы общественного транспорта, выявлять будущие проблемы и, с другой стороны, позволит повысить качество управления системой городского общественного транспорта как на уровне муниципальных служб, так и на уровне отдельных перевозчиков. Использование имитационных моделей позволит выбирать оптимальные схемы маршрутов общественного транспорта; обоснованно выбирать стратегию формирования парка различных видов транспортных средств; минимизировать издержки перевозчиков и улучшать качество обслуживания пассажиров за счет оптимизации графиков работы общественного транспорта и выбора оптимального количества транспортных средств каждого вида на заданном маршруте.

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать ряд практических выводов. Во-первых, имитационное моделирование является эффективным инструментом исследования транспортных систем. Во-вторых, для построения адекватной имитационной модели системы городского общественного транспорта требуется сбор и статистическая обработка большого объема исходных данных. В-третьих, современные инструментальные средства, например GPSS World, позволяют с приемлемыми трудозатратами осуществлять программную реализацию имитационных моделей транспортных систем. В-четвертых, использование имитационного моделирования в процессе модернизации системы городского общественного транспорта позволит выбирать оптимальные параметры этой системы и, в конечном счете, позволит повысить качество обслуживания пассажиров.

Литература

1. **Боев В. Д.** Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: Учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 368 с.
2. **Воронин В. Е., Куранцева В. С.** Имитационное моделирование: Учеб. пособие. Саратов: Поволжская академия государственной службы им. П. А. Столыпина, 2006.
3. **Томашевский В., Жданова Е.** Имитационное моделирование в среде GPSS World. М.: Бестселлер, 2003. 416 с.