

ВВЕДЕНИЕ

Состояние транспортной системы и дорожного хозяйства — одни из главных показателей благосостояния страны, без налаженной системы управления которыми невозможно свободное перемещение граждан внутри страны, своевременный подвоз продовольствия, медикаментов и прочих жизненно необходимых для современного человека средств существования. Основными видами транспорта являются железнодорожный, авиационный, водный (морской и речной) и, конечно же, автомобильный. Дорожное хозяйство подразумевает единый производственно-хозяйственный комплекс, включающий дороги общего пользования (автомобильные, железные) и инженерные сооружения на них. Автоматизации этих стратегически важных объектов инфраструктуры любого государства посвящен настоящий выпуск журнала.

Актуальность и своевременность предложенной для обсуждения темы подтверждает большое число публикаций, поступивших в адрес редакции. Транспортные системы и дорожное хозяйство не могут остановиться в развитии, несмотря на сложную экономическую обстановку, связанную с общемировым финансовым кризисом. В любых экономических условиях люди вынуждены пользоваться транспортными средствами.

Из многообразия современных транспортных проблем для обсуждения в очередном номере журнала авторы выбрали и рассмотрели материалы по следующим направлениям:

- регулирование городских транспортных потоков (авт. Левчук В.Д.; Ефимова Е.А.; Мальханов А.А. и Черненко В.Е.);
 - оперативное управление железнодорожными грузовыми терминалами (авт. Ольшанский А.М.);
 - автоматизированные системы диспетчерского управления электроснабжением и электромеханическим оборудованием метрополитена (авт. Зырянов В.П. и др.);
 - подход к модернизации электропривода трамвайных вагонов (авт. Васильев П.А.);
 - подходы к оптимизации расчета инфраструктуры в инвестиционных транспортных проектах на примере железнодорожного транспорта (авт. Владимирская И.П.);
 - вопросы технического аудита информационных систем на примере предприятий горно-транспортного комплекса (авт. Клебанов Д.А.);
 - особенности организации беспроводной связи на транспорте (авт. Маргарян С.А.);
 - встраиваемые компьютерные технологии для систем управления транспортом и дорожным хозяйством (авт. Клоков А.В. и Шаталов А.Г.; Золотарев С.В. и Дроздов С.Н.).
- Отметим, что в качестве инструментария для решения сформулированных транспортных проблем большинство авторов использует компьютерное моделирование (авт. Левчук В.Д.; Ефимова Е.А.; Мальханов А.А. и Черненко В.Е.; Ольшанский А.М.; Владимирская И.П.).

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЯ МАРШРУТОВ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

В.Д. Левчук (ГГУ им. Ф. Скорины)

Предлагается основанный на имитационной модели алгоритм планирования расписания маршрутов, обеспечивающий баланс интересов администрации транспортного предприятия и пассажиров. Приведен пример апробации алгоритма для сети, состоящей из трех маршрутов разных типов¹.

Ключевые слова: городская транспортная сеть, имитационная модель, автоматизация проектирования расписания маршрутов.

Введение

Транспортные системы — традиционная сфера применения АСУ, в основе которых находятся методы математического моделирования. В городских транспортных системах методы моделирования использовались, прежде всего, для решения задач управления транспортными потоками. В основополагающей работе этого направления [1] раскрывается методология моделирования транспортных потоков, и приводятся практические рекомендации и результаты. Моделирование городских пассажирских транспортных систем получило развитие в более позднее время. Наиболее широко используется моделирование для воспроизведения процессов планирования работы городского пассажирского транспорта. Основные задачи этого направления — моделирование пассажиропотоков и распределение транспортных средств по маршрутам, анализ и корректировка маршрутных сетей и расписаний движения транспортных средств.

Аналитическое моделирование пассажиропотоков на маршрутной сети в самом общем виде сводится к формированию матрицы корреспонденций и нагружению ее на маршрутную сеть. Модели нагружения маршрутных сетей пассажиропотоками весьма многообразны [2] и отличаются главным образом принимаемыми гипотезами выбора пассажирами путей следования, видом распределений для характеристики пассажиропотоков, алгоритмической реализацией. Во многих задачах управления городским пассажирским транспортом не требуется формировать потребность в поездках в виде матрицы корреспонденций. Например, для целей планирования движения маршрутного транспорта достаточно знать интенсивности подхода пассажиров на остановки и выхода транспортных средств из них. По этим данным можно формировать матрицы корреспонденций на маршрутах. Подавляющее большинство моделей допускают только численное решение.

¹ Статья подготовлена по материалам одноименного практической конференции ИММОД-2009.

доклада, прозвучавшего на IV Всероссийской научно-

Имитационное моделирование также широко используется для анализа, корректировки и проектирования транспортных сетей. В этой области исследований разработаны, программно реализованы и апробированы методики расчета маршрутных сетей [3, 4], а также намечены пути их дальнейшего совершенствования. В одной из работ этого направления [4] представляется пакет прикладных программ для анализа вариантов сети маршрутов пассажирского транспорта, обеспечивающий формирование графа транспортных и пеших передвижений, определение множества возможных путей следования между каждой корреспонденцией зонами, поиск вариантов рассредоточения потока пассажиров по путям следования и маршрутам, получение показателей и характеристик маршрутов.

Большое внимание уделяется изучению особенностей функционирования системы городского пассажирского транспорта средствами имитационного моделирования на научно-практических конференциях "Имитационное моделирование. Теория и практика" (2003, 2005, 2007, 2009 гг.). В докладах демонстрировался ряд визуальных сред автоматизации разработки имитационных моделей. Однако главную ценность для предметных специалистов транспортных предприятий представляют методы решения задач проектирования и эксплуатации маршрутов. Задача вычисления рациональной интенсивности выхода транспортных средств на маршрут является ключевой в управлении маршрутом. Ее решения в общем виде автору неизвестно. В данной статье предлагается алгоритм поиска рациональной интенсивности выхода транспортных средств на взаимосвязанные маршруты, обеспечивающий баланс интересов администрации транспортного предприятия и пассажиров, и демонстрируется его применение.

Состав данных имитационной модели

Для решения типовых задач проектного моделирования сети городского пассажирского транспорта была разработана имитационная модель городской маршрутной транспортной сети. Она реализована средствами системы имитационного моделирования MICIC4 [5]. Алгоритм решения задачи предполагает многократные запуски имитационной модели для оценки необходимых характеристик маршрута.

Функционирование городской маршрутной транспортной сети происходит с изменяемыми интервалами движения транспортных средств и интенсивностями прихода пассажиров в течение суток. Выделяются следующие группы входных данных:

- число и названия остановочных пунктов;
- число, названия и параметры работы светофоров;
- расстояния между объектами маршрутов (остановками и светофорами);
- число маршрутов и маршруты транспортных средств;

- параметры (режим работы по времени суток) и названия мест работы;
- интенсивность прихода пассажиров на остановки по времени суток;
- интервалы выхода на линию транспортных средств по времени суток;
- маршрутные карты пассажиров, указывающие тип пассажира, подходящие маршруты и, при необходимости, остановку пересадки.

Для обеспечения высокой точности задания входных данных основные параметры и переменные модели, задающие интенсивность движения транспорта и частоту прихода пассажиров, разбиты на интервалы по времени суток. Необходимость в таком разбиении обусловлена тем, что интенсивность работы городской транспортной сети значительно меняется в течение суток. В ночные часы загрузка маршрутной транспортной сети минимальна. В рабочее время держится на некотором среднем уровне. В период начала и окончания работы предприятий, организаций и учреждений города маршрутная пассажирская транспортная сеть функционирует в режиме максимальной загрузки (часы "пик").

Имитационная модель вычисляет большое число входных величин, среди которых:

- время движения транспортного средства между остановками и по маршруту;
- наполнение транспортного средства при движении по маршруту;
- время ожидания транспортного средства на остановке.

Алгоритм вычисления рациональной интенсивности выхода транспортных средств на маршрут

Интенсивность выпуска транспортных средств на линию с конечных остановочных пунктов оказывает главное влияние на эксплуатацию маршрута. Увеличение интервалов между выпуском двух транспортных средств с одной стороны, увеличивает их наполняемость пассажирами, так как пассажиры собираются на остановках в течение большего интервала времени. Это приводит к увеличению прибыли предприятий транспорта. Однако слишком редкое движение транспорта может увеличить время его ожидания пассажирами до недопустимо большой величины. Поэтому задача выбора рациональной интенсивности не имеет тривиального решения. С одной стороны, требуется обеспечить наполняемость транспорта η не ниже некоторого заданного уровня η_{min} , а с другой – обеспечить время ожидания пассажирами на остановке τ , не более некоторой заданной величины τ_{max} :

$$\eta \geq \eta_{min} \ \& \ \tau \leq \tau_{max} \quad (1)$$

Основными наблюдаемыми значениями в этом методе являются среднее время ожидания маршрутного транспортного средства пассажирами на остановочном пункте $\tau \geq 0$ и коэффициент наполняемости транспортного средства пассажирами $\eta \in [0; 1]$. Нулевое значение

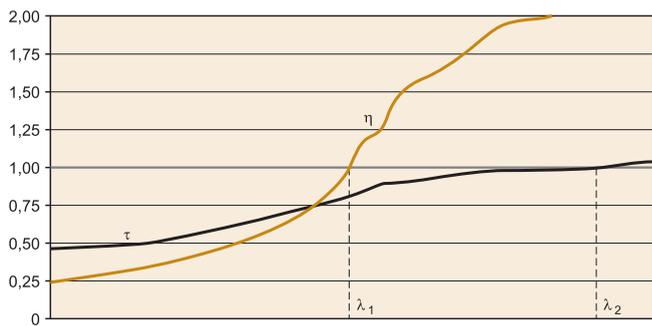


Рис. 1. Первый вариант зависимости

коэффициента означает пустое транспортное средство, единичное — полностью заполненное пассажирами, максимально возможное число последних зависит от типа транспортного средства и известно заранее.

Поиск рациональной интенсивности выпуска транспортных средств на линию предлагается выполнять следующим образом. Для рассматриваемого маршрута следует провести однофакторный эксперимент, варьируя интенсивность или обратную ей величину — интервал выпуска на линию маршрутных транспортных средств λ в некотором временном диапазоне. Диапазон может быть получен как отклонение в обе стороны текущего значения λ на некоторую величину δ . При проектировании новой транспортной сети для выбора интервала могут быть использованы экспертные оценки. Далее следует для каждой остановки маршрута рассмотреть изменение коэффициента наполнения транспортного средства и времени ожидания его пассажирами. Имитационные эксперименты подтверждают, что при увеличении временного интервала λ выхода транспортных средств на линию, наполнение транспортного средства и время его ожидания пассажирами нестрого *возрастают*:

$$\eta(\lambda_1) \leq \eta(\lambda_2), \tau(\lambda_1) \leq \tau(\lambda_2), \lambda_1 < \lambda_2. \quad (2)$$

Увеличение временного интервала между выпуском двух транспортных средств на линию приводит к тому, что транспортные средства выбранного маршрута будут реже подъезжать к остановочным пунктам. С одной стороны, это положительно влияет на наполняемость транспорта, так как за большее время на остановочном пункте успевают собраться большее число пассажиров. Однако, с другой — увеличение интервала между выпуском двух транспортных средств на линию приводит к росту времени ожидания пассажирами маршрутного транспорта на остановочном пункте. Наоборот, уменьшение временного интервала между выпуском двух маршрутных транспортных средств на линию приводит к уменьшению времени ожидания транспорта пассажирами на остановках, так как транспорт выбранного маршрута будет чаще подъезжать к остановочному пункту. Однако при этом наполняемость транспорта может оказаться низкой, так как за более короткий отрезок времени на остановочном пункте может не успеть набраться требуемое для достаточного значения коэффициента наполнения число пассажиров.

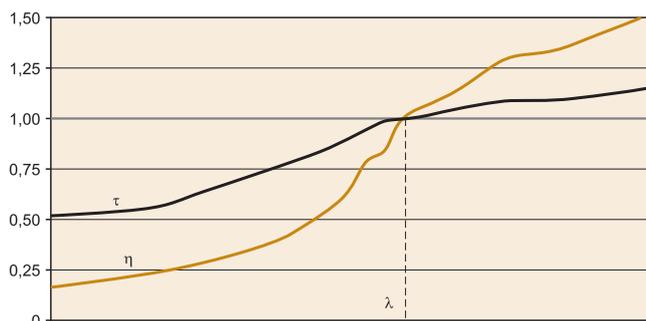


Рис. 2. Второй вариант зависимости

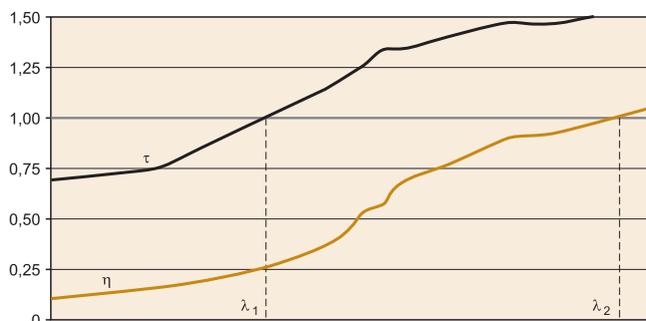


Рис. 3. Третий вариант зависимости

Для более точного анализа значения коэффициента наполнения η и времени ожидания τ запишем выражения:

$$\eta^* = \eta / \eta_{min}, \tau^* = \tau / \tau_{max}. \quad (3)$$

При этом условие (1) примет вид:

$$\eta^* \geq 1 \text{ \& } \tau^* \leq 1. \quad (4)$$

В зависимости от функционирования сети городского пассажирского транспорта возможно рассмотреть *три типовых варианта* зависимости коэффициента наполнения и времени ожидания пассажирами от интенсивности выпуска маршрутного транспорта на линию.

1. *Первый* типовой вариант приведен на рис. 1, из которого видно, что при увеличении интервала λ значение наполняемости η^* первым становится больше единицы, а затем — время ожидания τ^* . Исходя из условия (4) видно, что оно выполняется при $\lambda \in [\lambda_1; \lambda_2]$. Следовательно, для данного остановочного пункта существует диапазон изменения интервала времени между выпуском двух маршрутных транспортных средств на линию, при котором удовлетворяется условие (1).

2. На рис. 2 представлен второй типовой вариант, где значения времени ожидания и коэффициента наполнения одновременно достигают единичного значения $\eta^* = \lambda^* = 1$. В таком случае только при одном значении времени между выпуском двух маршрутных транспортных средств на линию условие (4), а следовательно, и условие (1) будут выполняться.

3. *Третий* вариант типовой представлен на рис. 3. Здесь при увеличении времени между выпуском двух транспортных средств на линию время ожидания

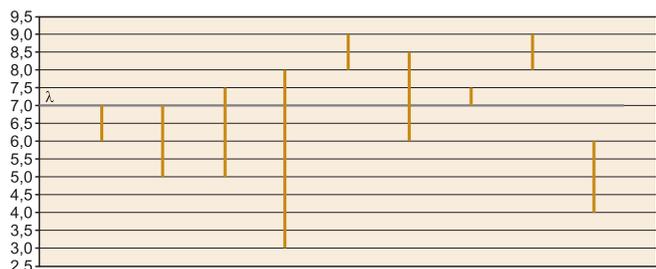


Рис. 4. Поиск рационального значения интенсивности

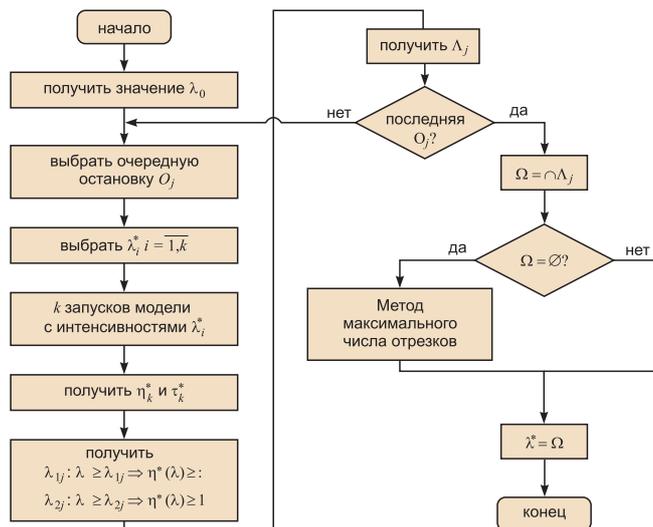


Рис. 5. Схема алгоритма поиска рациональной интенсивности выхода транспортных средств на маршрут

пассажирами на остановочном пункте начинает превышать допустимое значение ($\tau^* > 1$), а коэффициент наполнения остается ниже допустимого уровня ($\eta^* < 1$). То есть получается, что интервал λ должен быть не больше λ_1 и одновременно не меньше λ_2 , но при этом $\lambda_1 < \lambda_2$. Поэтому не существует такой интенсивности выпуска транспорта на линию, при которой выполнялось бы условие (4).

Следует отметить, что согласно (2), коэффициент наполнения и время ожидания нестрого возрастают, тогда в случае существования в преобразованном значении постоянного участка, равного единице, для преобразованного коэффициента наполнения берется минимальное значение λ , а для преобразованного значения времени ожидания — максимальное значение λ .

Подытожим полученные результаты. При заданных η_{min} и τ_{max} для каждого остановочного пункта маршрута возможны следующие варианты:

1) существует отрезок $[\lambda_1; \lambda_2]$ такой, что если интервал выпуска транспортных средств $\lambda \in [\lambda_1; \lambda_2]$, то условие (1) выполняется;

2) существует единственное значение интервала λ , при котором условие (1) выполняется;

3) при любых значениях интервала выпуска транспортных средств на линию λ условие (1) не выполняется.

Для рационального функционирования транспортной сети требуется, чтобы условие (1) выполнялось для всех остановочных пунктов рассматриваемого маршрута. Если хотя бы для одного остановочного пункта имеет место третий вариант, то нужно либо выбрать новые значения η_{min} и τ_{max} , либо отбросить этот остановочный пункт, допуская невыполнение для него условия (1). Если для всех остановочных пунктов справедливы варианты 1 и 2, нужно построить множество $\Omega = \cap [\lambda_{1i}; \lambda_{2i}]$, $i = 1...N$ по всем N остановочным пунктам. При втором варианте принимается $\lambda_{1i} = \lambda_{2i} = \lambda_{1i}$. Если при этом множество $\Omega \neq \emptyset$, то рациональным будет любой интервал $\lambda \in \Omega$. Если множество $\Omega = \emptyset$, то при заданных η_{min} и τ_{max} невозможно выполнение условия (1) для всех остановочных пунктов маршрута. В этом случае следует выбрать новые значения η_{min} и τ_{max} или допустить невыполнение условия (1) на некоторых остановочных пунктах. Для этого можно воспользоваться предлагаемым методом максимального числа отрезков. Требуется выбрать такое значение λ , чтобы условие (1) выполнялось на максимальном числе остановочных пунктов маршрута. Графически пример использования этого метода приведен на рис. 4.

Отрезки $[\lambda_{1i}; \lambda_{2i}]$ размещаются последовательно на координатной плоскости, в качестве концов i -го отрезка берутся точки (i, λ_{1i}) и (i, λ_{2i}) , $i = 1...N$ по всем N остановочным пунктам. Затем выбирается такое значение λ , чтобы прямая $y = \lambda$, пересекала максимальное число отрезков. В примере на рис. 4 при $\lambda = 7$, условие (1) будет выполняться для 6 остановочных пунктов из 9.

Упрощенная схема алгоритма поиска рациональной интенсивности поступления транспортных средств приведена на рис. 5.

Практический пример

Для апробации алгоритма вычисления рациональной интенсивности выпуска на линию маршрутных транспортных средств было проведено исследование функционирования участка городской транспортной сети, состоящего из трех маршрутов, два из которых являются кольцевыми с односторонним движением, а один — с двухсторонним движением (рис. 6). На участке сети имеются светофоры S_i , $i = 1..10$, остановочные пункты O_j , $j = 1..37$ и места приложения труда MPT_k , $k = 1..5$.

Для остановочных пунктов заданы прямые и возвратные маршрутные карты пассажиров. Пассажиры перемещаются к местам приложения тру-

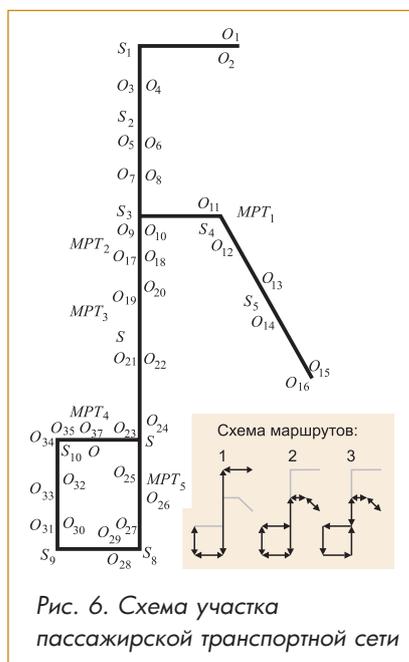


Рис. 6. Схема участка пассажирской транспортной сети

да и обратно по окончании работы, службы или учебы. С помощью имитационной модели городской маршрутной транспортной сети был осуществлен поиск рациональной интенсивности выхода транспортных средств на линию с конечных остановок маршрутов. Метод поиска рациональной интенсивности выпуска маршрутных транспортных средств на линию основан на введении пороговых минимально допустимой наполняемости транспортного средства η_{min} и максимально допустимого времени ожидания транспортного средства пассажирами на остановочном пункте τ_{max} . Значения этих параметров выбраны $\eta_{min} = 50\%$ и $\tau_{max} = 9$ мин.

Для каждого остановочного пункта исследуемого маршрута по результатам постановки однофакторного имитационного эксперимента рассмотрим изменение коэффициента наполнения и времени ожидания пассажирами при изменении интенсивности выпуска транспорта этого маршрута на линию. Следует учесть, что чем дальше остановочный пункт находится от начальной остановки маршрута, тем позже будут доезжать к нему выпущенные с конечного остановочного пункта транспортные средства. Поэтому для исследования следует брать значения коэффициента наполнения и времени ожидания из тех интервалов откликов по времени суток, которые зависят от изменения времени между выпуском двух транспортных средств в рассматриваемом интервале времени суток. Например, при рассмотрении интервала времени суток с 7:40 по 8:00, если среднее время проезда маршрутного транспортного средства от конечной остановки до остановочного пункта O_j составляет 30 мин, тогда для остановочного пункта O_j следует брать значения откликов из часового интервала 8:00 – 9:00. Пример изменения времени ожидания и коэффициента наполнения для остановочного пункта O_9 для первого маршрута представлен на рис. 7.

Графики на рис. 7 нестрого возрастают, что согласуется с условием (2). Действительно, увеличение времени между выпуском маршрутных транспортных средств на линию приводит к значительному увеличению числа пассажиров на остановках и большей заполняемости транспортного средства. Преобразуем по формулам (3) и (4) значения времени ожидания и коэффициента наполнения. График изменения преобразованных времени ожидания и коэффициента наполнения от интенсивности выхода транспорта на линию для остановочного пункта O_9 приведен на рис. 8.

При этом интенсивность выпуска маршрутных транспортных средств будет удовлетворять условию (1), когда график преобразованного значения наполнения η^* не ниже линии $y = 1$, а график значения преобразованного времени ожидания τ^* не выше линии $y = 1$. Для рассматриваемого остановочного пункта O_9 допустимой будет интенсивность выпуска транспортных средств на линию с интервалом между двумя маршрутными транспортными средствами 5...6,5 мин (обозначена утолщением на горизонтальной оси). Из графика видно, что если время между выпуском двух маршрутных транспортных средств на линию взять больше чем 6,5 мин, то время ожидания пассажирами на остановке превысит допустимые по условию 9 мин. При времени между выпуском двух маршрутных транспортных средств на линию меньше 5 мин не будет достигаться положенная минимальная наполняемость в 50%.

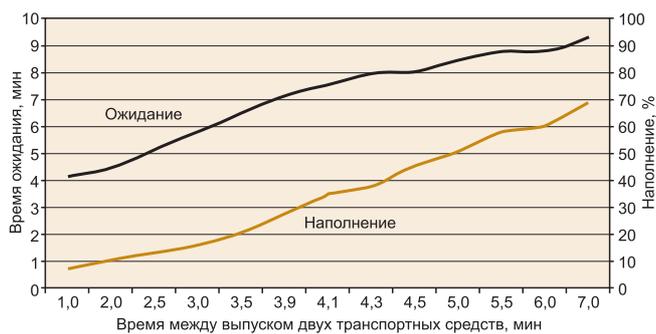


Рис. 7. Зависимость наполнения транспортного средства и времени ожидания пассажирами на остановках от интенсивности выпуска транспорта на линию

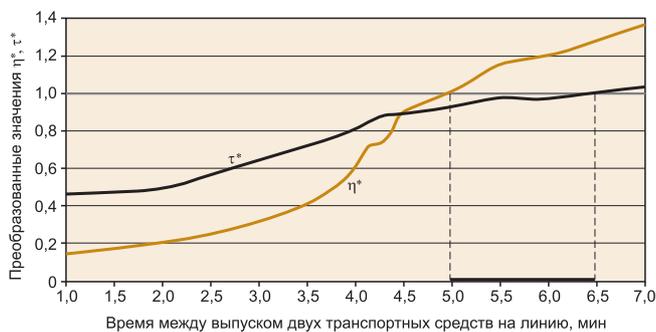


Рис. 8. Зависимость преобразованных наполнения и времени ожидания от интенсивности выпуска транспорта

Аналогично данная операция выполняется для всех остановочных пунктов маршрута. Затем эта операция повторяется по всем остановочным пунктам оставшихся двух маршрутов. Способом, который был описан выше, для каждого маршрута были вычислены интервалы Ω_i , $i = 1...3$ допустимых значений времени между выпуском двух транспортных средств на линию. В результате применения алгоритма вычисления рациональной интенсивности выпуска на линию маршрутных транспортных средств получаем для рассматриваемого участка городской пассажирской транспортной сети при заданных $\eta_{min} = 50\%$ и $\tau_{max} = 9$ мин следующие значения интервалов выпуска (таблица).

Исходя из результатов, полученных в ходе имитационного эксперимента в данное время суток, рациональным для маршрута "Маршрут 1" будет выпуск транспортных средств на линию с интервалом 6,5...7 мин, для маршрута "Маршрут 2" — с интервалом 8...10 мин, для маршрута "Маршрут 3" — с интервалом 5...7,2 мин.

В процессе применения алгоритма вычисления рациональной интенсивности выпуска маршрутных транспортных средств на линию часто возникает ситуа-

Таблица. Интервалы выпуска транспорта на линию

Значение интенсивности	Маршруты, мин		
	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3
Минимальное	6,5	8	5
Максимальное	7	10	7,2

ция, когда множество допустимых значений интенсивностей выпуска маршрутных транспортных средств Ω пусто. Поэтому в некоторых случаях целесообразно задание граничных параметров \min и \max , различных для каждого остановочного пункта, то есть задания $\eta_{\min i}$ и $\tau_{\max i}$ для $i = 1 \dots N$, где N – число остановочных пунктов рассматриваемого маршрута. Такое деление имеет смысл, так как коэффициент наполнения салона маршрутного транспортного средства в начале и конце маршрута ниже, чем в середине маршрута. Несмотря на некоторое усложнение алгоритма при делении граничных параметров для каждого остановочного пункта, использование отдельных граничных параметров может помочь изначально получить непустое множество Ω , при этом отпадает необходимость использования метода максимального числа отрезков для вычисления рационального значения интенсивности выпуска маршрутных транспортных средств на линию с конечных остановочных пунктов маршрута.

Заключение

Алгоритм поиска рационального значения интенсивности позволяет получить гарантированные

Левчук Виктор Дмитриевич – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой автоматизированных систем обработки информации Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины.

Контактные телефоны: (0232) 57-88-63; 375-29-618-78-28. E-mail: lv@gsu.by

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Е.А. Ефимова (Астраханский государственный университет)

Представлена контрольно-измерительная система, обеспечивающая контроль и регулирование движения транспортных потоков. Система может быть использована для управления дорожным движением в целях предотвращения автомобильных заторов на дорогах.

Ключевые слова: радиолокационные сенсоры, скорость движения, транспортное средство, предзаторовые ситуации, пропускная способность.

Стремительный рост автомобильного парка ведет к возникновению транспортной проблемы во всех городах страны с населением более 200 тыс. Увеличение автомобильного парка приводит к высокой плотности транспортных потоков. Средняя скорость движения транспорта на большинстве магистралей в час пик приближается к скорости пешехода. Значительная перегруженность дорожной сети, неправильная парковка ведут к возникновению транспортной проблемы.

Одной из важнейших транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильной дороги является ее пропускная способность (ПС), т. е. максимальное число автомобилей, которое без заторов может пройти через данный участок автомобильной дороги в течение определенного промежутка времени (на-

значения времени ожидания и коэффициента наполнения либо на всех остановочных пунктах маршрута, либо на их максимальном числе. Этот метод может быть использован как для исследования уже существующей маршрутной городской транспортной сети, так и при проектировании новой. Данный метод является инвариантным по отношению к реализованной имитационной модели. Достаточно, чтобы модель являлась адекватной по расчету коэффициента наполнения транспортного средства и времени ожидания на остановке. Разработанные имитационная модель и алгоритм вычисления интенсивности выпуска транспортных средств на маршрут были внедрены на одном из белорусских транспортных предприятий.

Список литературы

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт. 1972.
2. Антошвили М.Е., Либерман С.Ю., Спиринов И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок. М.: Транспорт. 1985.
3. Лопатин А.П., Ольховский С.Ю. Комплекс имитационных моделей планирования ресурсов городской пассажирской транспортной системы // В кн.: Развитие транспортных узлов. М.: ИКТП. Вып. 73. 1977.
4. Яковлев Л.А. Программное обеспечение технического расчета системы городских путей сообщения, представленной в сетевой форме. М.: Стройиздат. 1996.
5. Левчук В.Д., Максимей И.В. Программно-технологические комплексы имитации сложных дискретных систем. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины. 2006.

пример за час). Величина ПС в основном зависит от ширины и числа полос движения, радиусов закруглений и продольных уклонов, состава транспортного потока, скорости движения, погоды. Максимальная ПС двухполосной автомобильной дороги шириной 7...7,5 м при благоприятных дорожных условиях (сухое покрытие, открытый незастроенный прямолинейный и горизонтальный участок без пересечений в одном уровне и т. д.) составляет около 2 тыс. легковых автомобилей в час или ~ 20 тыс. легковых автомобилей в сутки. Наличие грузового движения резко снижает ПС и при 70...80% грузовых автомобилей в транспортном потоке ПС двухполосной автомобильной дороги шириной 7...7,5 м составляет 8...9 тыс. автомобилей в сутки. Если фактическая интенсивность