

Формализованное представление логистической цепи городского маршрутизированного транспорта

© 2009 Х.Ю. Эльдарханов

доктор экономических наук, профессор

Пятигорский государственный лингвистический университет

© 2009 Т.И. Дубинина

Ростовский социально-экономический институт

Эффективная транспортная система является важнейшим фактором социально-экономического развития мегаполиса. Формализованное представление логистической цепи городского маршрутизированного транспорта позволяет исследовать и оптимизировать процессы общественной транспортировки людских ресурсов.

Ключевые слова: экономика, управление, пассажиры, транспортировка, логистика, развитие.

В структуре экономики народного хозяйства городской маршрутизированный транспорт представляет собой систему, включающую подвижной состав, линейную сеть и объекты транспортного сервиса¹. Эффективность работы каждого элемента системы определяется присущей только ему спецификой. Получение общего эффекта зависит от решения кластерных задач, направленных на повышение качества транспортных услуг, предоставляемых пассажирам. В этой связи формализованное представление безальтернативной логистической цепи городского маршрутизированного транспорта в целях ее оптимизации приобретает актуальность и становится предметом особого внимания ученых и специалистов - практиков в области транспортной логистики².

Предлагаемая структурно-функциональная экономико-математическая модель логистической цепи пассажирского маршрутизированного транспорта системно отображает его технологические, организационные и экономические взаимосвязи. При этом материальный поток в формализованной логистической цепи может поэтапно исследоваться с использованием различных методологических подходов с целью обнаружения объективных причин появления нерациональных логистических потерь и определения степени возможной их минимизации в допустимых пределах. Формализованное описание логистической цепи опорного маршрута городского пассажирского транспорта осуществляется исходя из типовых элементов линейной транспортировки людских ресурсов (см. рисунок).

При этом используются следующие обозначения: L_m - протяженность маршрута; E_0 - начальная точка опорного маршрута; E_k - конечная точка опорного маршрута. Выделенные на опор-

ном маршруте пассажирского маршрутизированного транспорта структурные элементы - остановочные пункты, перегоны, регулируемые перекрестки и пункты логистического контроля - обозначены как точки (E_j), в совокупности они составляют множество промежуточных звеньев логистической цепи:

$$E_j; 1 < j < k, \quad (1)$$

где j - текущий номер промежуточного пункта.

Расположение на маршруте произвольного пункта характеризуется абсолютной координатой (X_j) - расстоянием от начала маршрута до рассматриваемого пункта и относительной координатой (e_j) - расстоянием от предыдущего пункта до рассматриваемого пункта.

Из общей совокупности промежуточных пунктов (E_j) выделяются однотипные, которые в математическом описании представляются тремя пространственными распределениями, обуславливающими, соответственно, расположение остановочных пунктов, регулируемых перекрестков и контрольных пунктов на маршруте.

Распределение остановочных пунктов. Через (Q) обозначим общее количество остановочных пунктов на маршруте, сами остановочные пункты обозначим (A_1, A_2, \dots, A_Q). Длины перегонов между ними обозначим:

$$aq; 1 < q < Q - 1, \quad (2)$$

где q - текущий номер остановочного пункта.

Распределение регулируемых пересечений. Обозначим количество регулируемых пересечений на трассе маршрута через (R_r), сами пункты пересечений (B_1, B_2, \dots, B_R). Расстояния между пересечениями обозначим:

$$ar; 1 < r < R - 1, \quad (3)$$

где r - текущий номер регулируемого пересечения.

Распределение контрольных пунктов. Обозначим через (S) общее число контрольных пунк-

¹ Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения. М., 2001.

² Миротин Л.Б. Логистика. М., 2003.

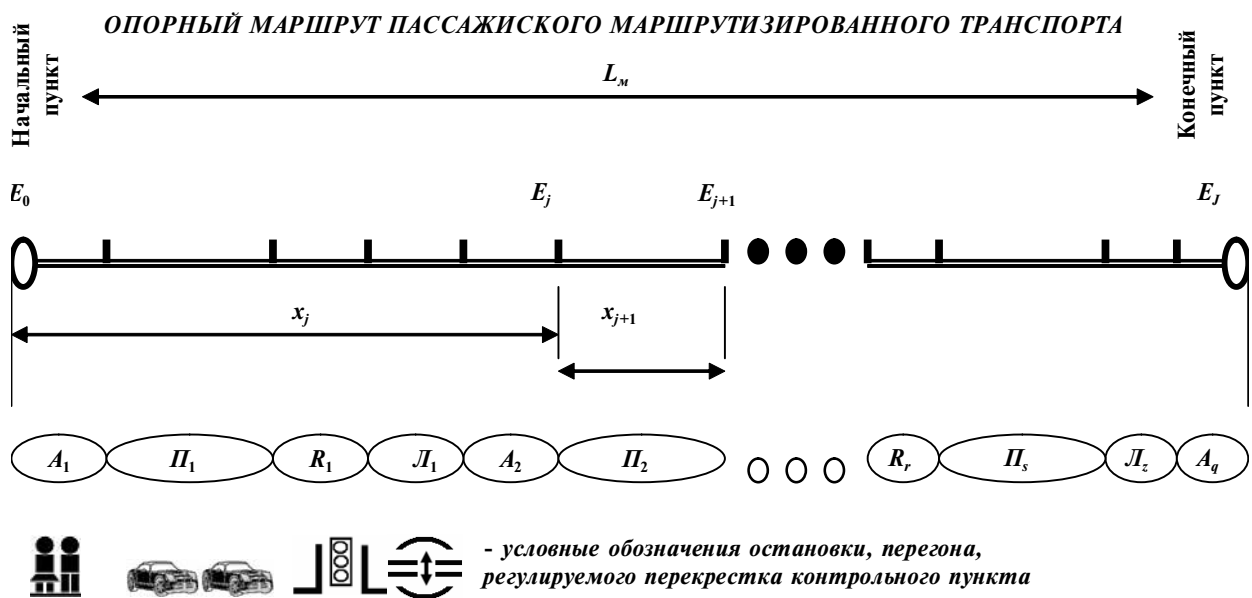


Рис. Формализованное представление маршрута (логистической цепи продвижения пассажирского транспортного потока)

тов, а контрольные пункты - буквами (L_1, L_2, \dots, L_z). Расстояния между контрольными пунктами обозначим:

$$\tilde{a}_z; 1 < z < Z - 1. \quad (4)$$

Распределение перегонов на маршруте. В математическую запись транспортного маршрута перегоны включены как участки непрерывного движения подвижного состава между пунктами (E_j) - регулируемыми пересечениями, контрольными пунктами в соответствии с последовательностью их расположения на опорном маршруте.

Поскольку процессы формирования задержек в звеньях логистической цепи являются стохастическими, постольку имитация проезда подвижного состава по маршруту в целом осуществлялась последовательным перебором всех звеньев логистической цепи с имитацией случайных ситуаций, возникающих в указанных звеньях. При этом интервал выпуска подвижного состава на маршрут рассчитывается по формуле

$$I_0 = H_0 \cdot L_m / P_{jm} \cdot s_n, \quad (5)$$

где H_0 - среднее допустимое наполнение подвижного состава;

L_m - длина маршрута;

P_{jm} - интенсивность пассажиропотока на рассматриваемом направлении маршрута;

s_n - средняя дальность поездки пассажира.

Время выхода на маршрут транспортной единицы, выполняющей рейс за номером (m), рассчитывается как момент отправления с начальной точки по формуле

$$t_0 m_1 = t_{00} + I_0 \cdot m, \quad (6)$$

где t_{00} - момент времени, с которого начинаем отслеживание движения на маршруте.

Время прибытия транспортной единицы на произвольный промежуточный пункт (E_j) рассчитывается по формуле

$$t_{jm} = t_{(j-1)m_1} + e_j / V_j, \quad (7)$$

где $t_{(j-1)m_1}$ - момент отправления транспортной единицы с предшествующей точки $E_{(j-1)}$.

Технологией эксплуатации маршрутизированного транспорта предусмотрено условие необгона для подвижного состава, работающего на маршруте. Поэтому, если расчетное время прибытия на пункт задержки для рассматриваемой единицы (m) больше фактического времени отправления с данного пункта предшествующей единицы ($m-1$), движение необходимо корректировать с учетом формирования задержки от предыдущей подвижной единицы:

$$Z_{ne} = t_{(j-1)расч} - t_{(j-1)m_1}. \quad (8)$$

Тогда фактическим моментом прибытия единицы (m) будет время:

$$(t_{jm})_{факт} = (t_{j(m-1)1})_{факт}. \quad (9)$$

Сумма задержек (Z_{ne}) на всем протяжении маршрута в течение исполненного рейса формирует временные затраты (T_{ne}) на вынужденные задержки от предыдущей подвижной единицы.

В соответствии со структурой маршрута рассматриваемый пункт (E_j) может быть либо остановкой, либо регулируемым перекрестком. Время стоянки на пункте (E_j) будет определяться случайной задержкой ($Z_{on'jm}$, $Z_{pn'jm}$), которая формируется в соответствии со схемой, составленной по результатам экспериментального исследования.

Так, задержка ($Z_{on'jm}$) на остановочном пункте определяется по формуле

$$(Z_{on})_{jm} = I_{jm} \cdot (\ddot{e}_{jm} + \ddot{e}_{jml}) \cdot (t_{n-e})_{jm} + (t_d)_{jm}, \quad (10)$$

где $(t_{n-e})_{jm}$ - случайная величина времени, приходящегося на посадку-высадку одного пассажира, распределена по нормальному закону;

\ddot{e}_{jm} - случайные величины интенсивности входящего и выходящего пассажиропотока на данном остановочном пункте распределены по закону Пуассона;

$(t_d)_{jm}$ - случайная величина времени, затраченного на подготовку для выполнения посадки-высадки, распределена по нормальному закону.

Задержка на регулируемом перекрестке $(Z_{pn})_{jm}$ рассчитывается в соответствии с приведенными в экспериментальной части формулами. Входящая в состав этих формул неизвестная (t_x) - момент прибытия транспортной единицы относительно начала цикла светофорного регулирования - определяется как случайная величина распределения по закону равномерной плотности. Тогда время отправления с пункта (E_j) с учетом случайной задержки $(Z_e)_{jm}$ будет рассчитано по формуле

$$t_{jm1} = t_{jm} + (Z_e)_{jm}. \quad (11)$$

Время сообщения применительно к участку e_j - участок от предыдущего пункта E_{j-1} до пункта E_j - будет равно:

$$T_{jm} = t_{jm1} - t_{(j-1)} m_j. \quad (12)$$

Время сообщения на участке между контрольными пунктами (например, с номерами 1 и K) вычисляется как сумма времени (T_{jm}) по составляющим участкам, которые определены наличием промежуточных остановочных пунктов и регулируемых перекрестков:

$$T_{2m} = \sum T_{jm}, \quad (13)$$

где j - принимает значения пунктов задержки от 1 до K .

Моменты прибытия (t_{km}) и отправления (t_{km1}) с контрольного пункта будут получены по формулам последовательного перехода от предыдущего промежуточного пункта (E_{K-1}) к рассматриваемому (E_K) .

Описанное выше движение было неконтролируемым движением. В отличие от него специфика маршрутизированного транспорта предусматривает управление временем передвижения подвижного состава с применением графика движения³. Потому в математической модели маршрутизированного транспорта предусмотрено составление расписания движения на основе нормированной скорости сообщения $(V_{норм})$ с расчетом нормированных моментов прохождения контрольных пунктов для каждой подвижной единицы:

$$(t_k m_1)_{норм} = t_0 m_1 + X_k / V_{норм}, \quad (14)$$

где X_k - абсолютная координата пункта (E_k) .

Если в условиях контролируемого движения время проследования контрольного пункта $(t_k m_1)$ будет меньше нормированного времени $(t_k m_1)_{норм}$ вследствие малых случайных задержек на промежуточных пунктах, то такое движение корректируется с наложением управляющего воздействия. Механизм ограничения во времени передвижения заключается в том, что подвижной единице предписывается искусственно использовать созданный резерв времени методом замедления скорости движения по контрольному участку. Эти затраты времени будут технологической задержкой:

$$(Z_{mn})_{km} = (t_k m_1)_{норм} - (t_k m_1)_{факт}. \quad (15)$$

В результате технологического воздействия транспортная единица, ликвидируя случайно созданный резерв времени, проследует контрольный пункт в соответствии с расписанием движения.

В другом случае, возможно, подвижная единица, подвергнувшись большим случайным задержкам, прибудет на контрольный пункт с опозданием. Тогда из-за невозможности увеличения скорости по условию безопасности движения фактическое время проследования контрольного пункта будет временем неконтролируемого движения $(t_k m_1)$.

Разность фактического и нормированного времени проследования через контрольный пункт есть опоздание прибытия транспортной единицы, которое рассчитывается по формуле

$$\Delta_{km} = (t_k m_1)_{факт} - (t_k m_1)_{норм}. \quad (16)$$

Зная фактические моменты прибытия на каждый остановочный пункт рассматриваемой подвижной единицы (m) и моменты прибытия на эти пункты предыдущей $(m-1)$ единицы, имеем возможность определить фактический интервал движения (I_{jm}) в момент прибытия на произвольный остановочный пункт (E_j)

$$I_{jm} = t_{jm} - t_{j(m-1)}. \quad (17)$$

Количество пассажиров в очереди к моменту прибытия подвижной единицы (m) определяется умножением интенсивности входящего пассажиропотока (p_{jm}) на интервал движения

$$P_{jm} = p_{jm} \cdot I_{jm}. \quad (18)$$

Число пассажиров, перевезенных подвижной единицей в течение рейса (m) , определяется как сумма

$$P_{jm} = \sum P_{jm}. \quad (19)$$

Разность фактического интервала (I_{jm}) и расчетного (I_0) используется для характеристики нерегулярности движения транспортной единицы через среднеквадратичное отклонение (\ddot{a}_j) .

³ Эльдарханов Х.Ю. Транспорт и логистика. Тамбов, 2008.

Среднее время ожидания пассажира для накопившейся очереди (P_{jm}) на пункте (E_j) может быть определено как половина интервала (I_{jm}), откуда суммарное время ожидания пассажиров на рассматриваемом остановочном пункте к моменту прибытия единицы (m) равно:

$$(\sum t_{ож})_{jm} = P_{jm} \cdot I_{jm} / 2 . \quad (20)$$

Фактическое время логистического цикла для рассматриваемой транспортной единицы определяется разностью момента прохождения конечного пункта и момента входа на маршрут в начальной точке. В соответствии с полученным временем логистического цикла экономико-математическая модель цепи логистической транспортировки позволяет достоверно рассчитать скорость сообщения для отдельно взятой транспорт-

ной единицы и для потока маршрутизированного транспорта в целом.

Таким образом, разработанная схема формализованного представления логистической цепи городского маршрутизированного транспорта дает возможность представлять опорные транспортные маршруты в единой сети, систематизировать их через обобщенные показатели, проводить анализ и сравнение, чтобы на этой основе переносить мероприятия логистического управления с эффективных маршрутов на другие, менее эффективные. Разработанные методы логистического управления позволят также осуществлять выбор оптимальных градостроительных и организационных решений, направленных на реконструкции городской транспортной инфраструктуры.

Поступила в редакцию 08.09.2009 г.