

УДК 656.072

М.Е. Корягин, О.С. Семенова

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА г. МЕЖДУРЕЧЕНСКА

Введение

Развитие современного города неотъемлемо связано с совершенствованием системы перемещения населения. Чем выше размеры города, плотность населения, уровень автомобилизации тем большие затраты как населения на перемещение, так и муниципалитета на строительство дорог, организацию движения и общественный транспорт. В России быстрыми темпами повышается уровень автомобилизации, однако до сих пор основным способом передвижения населения является общественный транспорт. В настоящее время данному виду перевозок необходимо уделять больше внимания, так как он проигрывает личному автомобилю в борьбе за клиентов (население города). С точки зрения экологии и безопасности движения для города выгоднее поездка на общественном транспорте, чем на личном автомобиле, поэтому дополнительное финансирование общественного транспорта неизбежно.

Важность задачи моделирования системы общественного транспорта в условиях быстрого изменения внешних факторов трудно переоценить. Одна из наиболее сложных проблем, возникающая при моделировании, состоит в определении, является ли модель точным представлением системы, то есть, адекватна ли модель системе. Модель сложной системы (какой является система городского пассажирского транспорта) может только приблизительно соответствовать оригиналу, независимо от того, сколько усилий потрачено на её разработку [3]. Является ли модель точным представлением системы для конкретных целей ис-

следования можно установить с помощью валидации. Сложность или простота проверки валидации моделируемой системы зависит от того, существует ли эта система на данный момент.

Предложенная в [4,6] модель была рассмотрена при решении задачи оптимизации городского пассажирского транспорта в Междуреченске [7]. Однако для доказательства правильности предложенных решений необходимо определить насколько модель адекватно отражает действительность.

Основные допущения, использованные при расчетах

При моделировании работы

транспортной системы г. Междуреченска использовано несколько допущений, которые упрощают связи между данными и соответственно постановку задачи.

Первым допущением является расчет реальной интенсивности движения городского пассажирского транспорта по маршрутам. Так как время начала рейса и его окончания могли находиться в разных периодах времени (расчеты проводились за интервал времени в 1 час), то такие рейсы разбивались на пропорциональные доли и записывались в два смежных периода времени.

Вторым допущением явля-

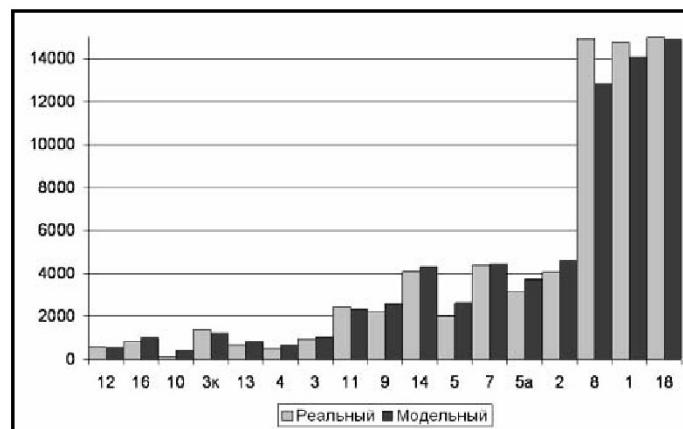


Рис. 1. Абсолютное сравнение реального и модельного пассажиропотока по маршрутам за 17 марта 2006г.

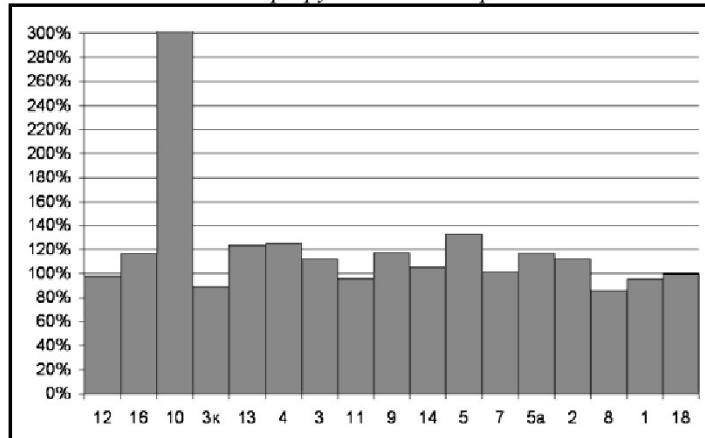


Рис. 2. Относительное сравнение реального и модельного пассажиропотока по маршрутам за 17 марта 2006г.

ется объединение потока транспорта в прямом и обратном направлении (например, если в прямом было 2 рейса, а в обратном 0, то в модели считалось, что есть рейс с интенсивностью 1 в прямом и обратном направлении).

В-третьих, пассажиропоток рассчитывается в момент посадки пассажиров в автобус.

В-четвертых, матрица корреспонденций была получена на основе приближенного метода, погрешность которого может достигать 20%.

В-пятых, поток транспорта считался пуассоновским и, следовательно, пассажиропотоки распределялись по маршрутам пропорционально количеству выполненных рейсов [1, 8].

Исследовать точность каждого из этапов расчетов довольно сложно. К тому же большой объем информации приводит к трудности осмысления результатов сравнения (относительная и абсолютная погрешности могут дать кардинально противоположные результаты).

Проверка адекватности математических моделей и численных алгоритмов

17 и 18 марта 2006 года студентами филиала Кузбасского государственного технического университета проводилось натурное обследование пассажиропотоков в г. Междуреченске. На каждый автобус выделялось по два учетчика, которые собирали информацию о количестве входящих и выходящих пассажиров на каждом остановочном пункте. Информация заносилась в предварительно составленные таблицы.

В будний день 17 марта автобусами выполнялось 1186 рейсов, а количество перевезенных пассажиров составило 72114. В выходной день 18 марта выполнялось 1014 рейса, на которых перевезено 54426 пассажиров.

Для проверки адекватности сразу всех предложенных допущений был рассмотрен сле-

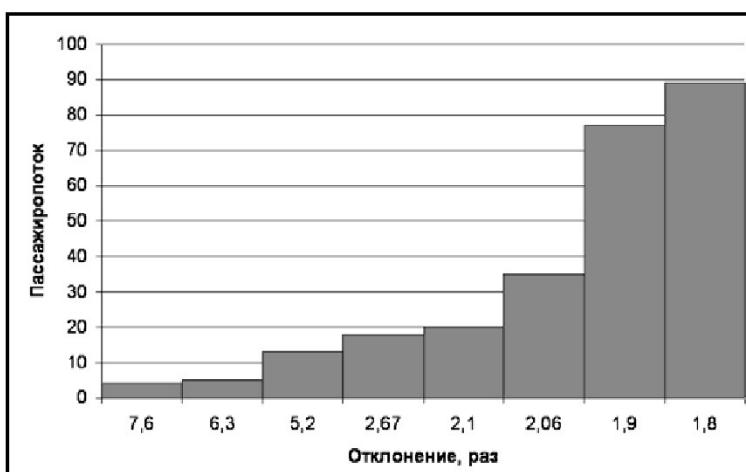


Рис. 3. Относительное отклонение модельного пассажиропотока

дующий подход. Для реальной интенсивности движения городского пассажирского транспорта имеется информация о реальном количестве перевезенных пассажиров. С другой стороны приближенным методом восстановлена матрица корреспонденций. И если предположить, что пассажиропотоки разделяются пропорционально количеству выполненных на маршруте рейсов (1), то возможно получить модельный пассажиропоток на каждом маршруте. Этот пассажиропоток является модельным, так как прошел ряд преобразований. Поэтому, если модельный пассажиропоток близок к реальному, то нет достаточных оснований отвергать предложенные в модели допущения.

Основные параметры моде-

ли:

- $K=17$ – количество маршрутов;
- μ_k – интенсивность движения по k -му маршруту (рейсов в час);
- λ^k – реальная интенсивность пассажиропотока перевозимого на k -м маршруте (человек в час).

Исходные данные представлены в виде таблиц. На каждом остановочном пункте i маршрута k известно количество входящих и выходящих пассажиров:

- η_j^k – среднее количество входящих (если данного пункта нет на маршруте, то пассажиропоток равен 0);
- ξ_j^k – среднее количество выходящих пассажиров.

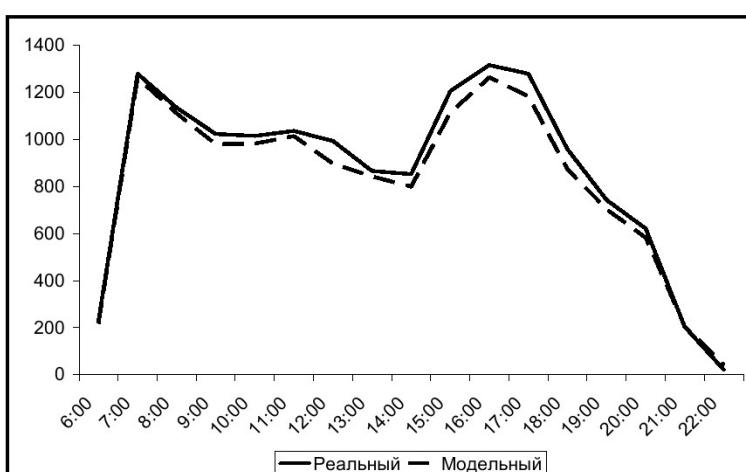


Рис. 4. Распределение пассажиропотока на маршруте №1
17.03.2006.

Отметим, что

$$\sum_{j=1}^N \xi_j^k = \sum_{i=1}^N \eta_i^k = \lambda^k.$$

Пусть $A_{i,j}^k = 1$, если по k -му маршруту можно переехать с i -го пункта на j -й, иначе $A_{i,j}^k = 0$.

Тогда получим приближенным «методом рекуррентного вычисления матрицы корреспонденций» [2] получим пассажиропоток между остановочными пунктами – $\tilde{\lambda}_{i,j}^k$ за единицу времени.

Пассажиропоток должен удовлетворять требованиям

$$\sum_{j=1}^N A_{i,j}^k \tilde{\lambda}_{i,j}^k = \mu_k \eta_i^k;$$

$$\sum_{i=1}^N A_{i,j}^k \tilde{\lambda}_{i,j}^k = \mu_k \xi_j^k.$$

Соответственно суммарный пассажиропоток между пунктами i и j составит

$$\tilde{\lambda}_{i,j}^k = \sum_{k=1}^K \tilde{\lambda}_{i,j}^k$$

С учетом марковской природы транспортного потока [1, 2], получим оценочный поток

$$\hat{\lambda}_{i,j}^k = \tilde{\lambda}_{i,j}^k \frac{\mu_k}{\sum_{l=1}^K A_{i,j}^l \mu_l}$$

Условие адекватности состоит в близости реального и модельного пассажиропотоков на маршруте, т.е.

$$\hat{\lambda}_{i,j}^k \approx \tilde{\lambda}_{i,j}^k$$

В первую очередь рассмотрим суммарный пассажиропоток в течение суток на каждом маршруте (рис.1). Реальный поток составляет λ^k , а модельный

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \hat{\lambda}_{i,j}^k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\tilde{\lambda}_{i,j}^k \mu_k}{\sum_{l=1}^K A_{i,j}^l \mu_l}.$$

Отметим, что нет значительного отклонения реально-го от пассажиропотока модель-



Рис. 5. Распределение пассажиропотока на маршруте №2 17.03.2006.

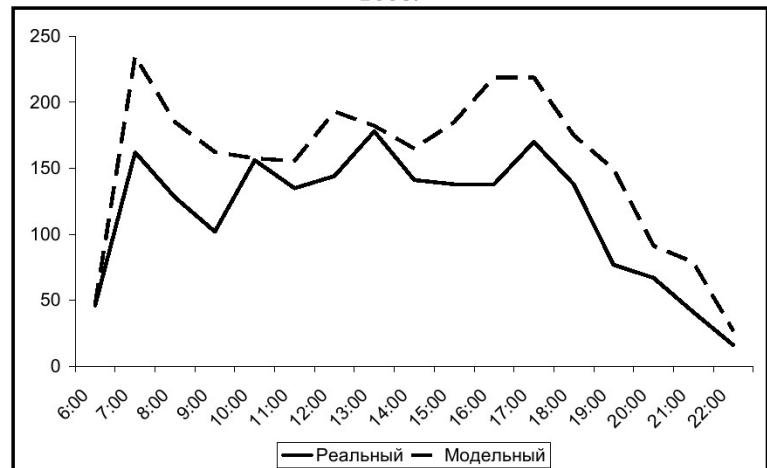


Рис. 6. Распределение пассажиропотока на маршруте №5 17.03.2006.

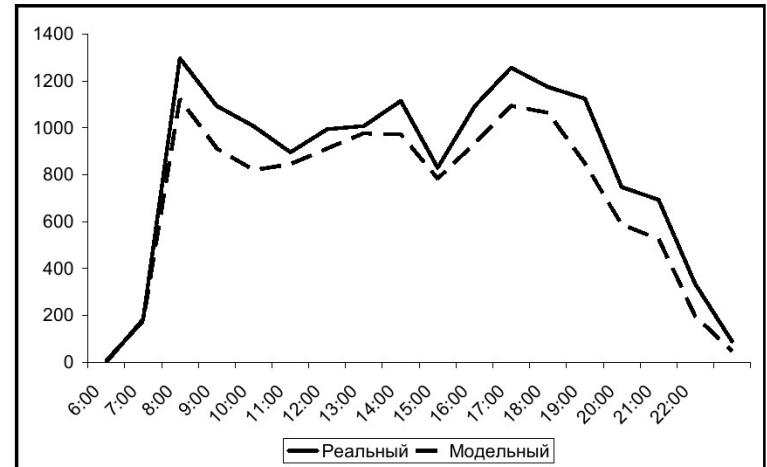


Рис. 7. Распределение пассажиропотока на маршруте №8 17.03.2006

ного. Лишь на маршруте №8 отклонение составляет около 2 тысяч пассажиров, в остальных случаях отклонение не превышает 700 человек в сутки. На рис. 2 представлено отношение модельного потока пассажиров к реальному

$$\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \hat{\lambda}_{i,j}^k}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\tilde{\lambda}_{i,j}^k \mu_k}{\sum_{l=1}^K A_{i,j}^l \mu_l}}.$$

При сравнении относительных показателей, отклонение для маршрута №1 не превышает 13%. Минимальное значение модельного пассажиропотока составляет 87% от реального, максимальное – 130% (за исключением маршрута №10). На самом деле, в абсолютном значении на маршруте №10 незначительный объем перевозок. Поэтому отклонение более чем в 3 раза на данном маршруте не приводит к серьезному изменению результатов моделирования. Ошибка обусловлена тем, что маршрут №10 является кольцевым, в результате чего данный маршрут не эффективно использовать для перемещения между некоторыми остановочными пунктами из-за движения в обьезд. Это доказывает, что на данном маршруте имеется остановка “Рынок”, являющаяся одной из основных пассажирообразующих и пассажироглощающих, но для передвижения к ней использовать маршрут №10 не рационально.

Условием адекватности является близости реального и модельного пассажиропотоков на маршруте, т.е.

$$\hat{\lambda}_{i,j}^k \approx \tilde{\lambda}_{i,j}^k$$

Особенно необходимо выполнения данного условия для значительных потоков пассажиров. На рис. 3 показано, что значительные отклонения (более двух раз) имеют место для небольших пассажиропотоков не более 35 человек в сутки. Поэтому распределение пассажиропотоков (и построение матрицы корреспонденций) является достаточно адекватной моделью.

Также необходимо рассмотреть, на сколько адекватно распределение пассажиропотоков по маршрутам в различные периоды времени. На рисунках показано несколько маршрутов с разным соотношением реальных и модельных пассажиропотоков.

Отметим, что на маршруте №1 наблюдается практически полное совпадение реального и модельного пассажиропотоков.

На маршруте №2 в утреннее время пассажиропотоки совпадают, однако во второй половине дня модельный пассажиропоток выше.

Маршрут №5 описан недостаточно хорошо с помощью предложенных моделей, так как пассажиропоток оказался завышенным во все периоды времени в среднем на 30% (это наихудший показатель из всех маршрутов).

На маршруте №8 наоборот пассажиропоток оказался завышенным в среднем на 13%.

Заключение

Результаты проверки адекватности модели показывают эффективность применения математического аппарата и приближенных алгоритмов для анализа распределения пассажиропотоков между маршрутами городского пассажирского транспорта в Междуреченске.

Это позволяет использовать предложенные в [4-7] модели для оптимизации интервалов движения ГПТ по маршрутам города. Этот результат дает надежду на возможность использования предложенных моделей и для оптимизации работы транспорта в других городах России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Appak A.O.* Социально-экономическая эффективность пассажирских перевозок. – Таллинн: Ээсти раамат, 1982. – с. 200.
2. *Артынов А.П., Скалецкий В.В.* Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами / М.: Наука, 1981. – 272 с.
3. *Кельтон В., Лоу А.* Имитационное моделирование. Классика CS. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – с. 317-319.
4. *Корягин М.Е.* Интервал движения по маршруту, минимизирующий суммарные затраты транспорта и пассажиров // Вестник КузГТУ. – 2005. – №1. – С. 92-93.
5. *Корягин М.Е.* Конкуренция транспортных потоков // Автоматика и телемеханика, 2006. – № 3. – С. 143-152.
6. *Корягин М.Е.* Минимизация суммарных затрат времени пассажиров и городского пассажирского транспорта // Устойчивость и процессы управления Т.3: Секция 9-10: Труды международной конференции (Санкт-Петербург, 29 июня – 1 июля 2005) / Под ред. Д.А. Овсянникова, Л.А. Петросяна. – СПб, СПБГУ, НИИ ВМ и ПУ, ООО ВВМ, 2005. – С. 1557-1565.
7. *Корягин М.Е., Семенова О.С.* Оптимизация общественного транспорта в условиях пересечения маршрутов // Политранспортные системы: материалы V Всероссийской НТК, Красноярск 21-23 ноября 2007 г., в 2-х ч. Ч. 1. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т; Политехн. ин-т, 2007. – С. 134-143.
8. *Лигум Ю.С.* Автоматизированные системы управления технологическими процессами пассажирского автомобильного транспорта / К.: Тэхника, 1989. – 239 с.

□ Авторы статьи:

Корягин
Марк Евгеньевич
– канд. техн. наук, доц. каф.
автомобильных перевозок

Семенова
Ольга Сергеевна
– старший преподаватель
каф. автомобильных перевозок