

## Разработка модели перемещения пассажиропотока, пригодной для выявления скрытых закономерностей в процессах формирования пассажиропотока

*Е.Г. Крушель, Т.П. Огар, А.Э. Панфилов, И.В. Степанченко, О.В. Степанченко,  
И.М. Харитонов*

*Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного  
технического университета*

**Аннотация:** Предложена модель перемещения пассажиропотока, пригодная для выявления скрытых закономерностей в процессах формирования пассажиропотока. Выполнено разделение пассажиропотока на четыре составляющие, для которых разработаны отдельные подмодели пассажиропотока: квазидетерминированный пассажиропоток от остановок отправления до точек массового притяжения пассажиров; стохастический почасовой пассажиропоток от каждой остановки прибытия до различных районов города; стохастический поток, моделирующий распределение пассажиров между конечными остановками в соответствии со степенью популярности остановок; хаотичное распределение пассажиропотока между остановками с малым числом ежедневных посещений. Приведена оценка результатов вычислений подмодели квазидетерминированного пассажиропотока от остановок отправления до точек массового притяжения пассажиров.

**Ключевые слова:** пассажирский транспорт, модели пассажиропотока, паттерны поведения пассажиров, моделирование.

### Введение

Совершенствование пассажирской транспортной системы в современном мире является одним из приоритетных направлений развития многих стран. Известны различные подходы к решению транспортных задач [1-2]. Однако попытки их реализации в конкретном населенном пункте не всегда оказываются успешными из-за специфики объекта моделирования. Классические инструменты статистического анализа не применимы к решению транспортных задач для каждого из объектов [3-4]. Для различных объектов требуется индивидуальный подход.

Ниже представлены результаты разработки метода для создания модели пассажиропотока входящей в состав общей модели системы пассажирского транспорта крупного города со следующими специфическими особенностями:

1. Наряду с тысячами малых городских предприятий и офисов (промышленных, торговых, сервисных, образовательных, медицинских и др.) инфраструктура мегаполиса включает уникальные объекты массового притяжения пассажирских перевозок – в частности: промышленные предприятия федерального значения, крупные

образовательные учреждения, торгово-развлекательные центры, региональные предприятия здравоохранения. Общее количество таких объектов примерно на 2 порядка меньше количества малых предприятий. Разница между количеством ежедневных посещений самого малого из крупных предприятий и самого большого из малых обеспечивает возможность кластеризации данных объектов;

2. Длина мегаполиса в продольном направлении значительно преобладает над длиной в поперечном. Такая форма обуславливает объективную тенденцию размещения большинства малых предприятий и офисов в центральной части города с целью сокращения суммарных временных затрат для граждан, прибывающих от дома к местам работы и обслуживания;

3. Инфраструктура мегаполиса состоит из территориально компактных районов, поэтому предприниматели стремятся размещать торгово-развлекательные комплексы в одной-двух точках каждого района, чтобы поддерживать стабильный поток потребителей, проживающих в пределах одного района;

4. Поток граждан в точки расположения крупных промышленных предприятий, вузов, специализированных учреждений здравоохранения регионального значения практически не зависит от места их проживания.

Указанные выше особенности характерны для города Волгограда (Российская Федерация). Население города превышает миллион человек. Общая задача моделирования пассажиропотока для населенных пунктов с любыми особенностями обладает свойствами систем больших данных [5]. Выявление скрытых закономерностей формирования пассажиропотока (в терминах data mining [6]) для транспортных систем мегаполисов возможно только на основе анализа и обработки результатов многократных сеансов моделирования.

### **Постановка задачи**

Цель работы – предложить и обосновать модель перемещения пассажиропотока, пригодную для выявления скрытых закономерностей в процессах формирования пассажиропотока с применением стандартных ЭВМ с программным обеспечением общего назначения. Достижение поставленной цели основано на упрощениях с учетом указанных выше специфических особенностей объекта моделирования.

Реализация модели основана на разделении общей модели формирования пассажиропотока на отдельные подмодели, отличающиеся друг от друга присущими им

---

уровнями неопределенности предпочтений пассажиров при выборе маршрута, и последующем объединении полученных результатов этих подмоделей.

Модель формирования пассажиропотока интегрирована в общую имитационную модель управления транспортной системой [7]. Последняя моделирует перевозку пассажиров между транспортными остановками, а также движение автобусов по маршрутам с оценкой следующих показателей эффективности ежедневной эксплуатации [8]:

1. Общее количество ежедневных автобусных поездок;
2. Суточное количество пассажиров: (1) которые появились на конечных остановках; (2) которые использовали муниципальные транспортные средства для поездок; (3) которые отказались от поездок на муниципальных транспортных средствах из-за неприемлемого времени ожидания прибытия транспортного средства; (4) Количество пассажиров, ожидающих на остановках;
3. Значения среднесуточных показателей эффективности: (1) количество поездок пассажиров за час; (2) степень загруженности транспортного средства; (3) расстояние поездки; (4) суточный доход.

### **Общее описание модели**

Согласно допущению, принятому для построения модели пассажиропотока, весь пассажиропоток поток разделяется на четыре составляющие:

1. Квазидетерминированный пассажиропоток от остановок отправления до точек массового притяжения пассажиров;
2. Стохастический почасовой пассажиропоток от каждой остановки прибытия до различных районов города;
3. Стохастический поток, моделирующий распределение пассажиров между конечными остановками в соответствии со степенью популярности остановок. Этот поток направляется на предприятия средней промышленности, образовательные и медицинские учреждения и другие предприятия районного значения;
4. Хаотичное распределение пассажиропотока между остановками с малым числом ежедневных посещений.

Вышеупомянутые компоненты в совокупности образуют общую модель пассажиропотока.

Преимущества данного подхода заключаются в следующем:

---

1. Идентификация модели может быть осуществлена на основе статистической обработки отчетов, накопленных предприятиями городского транспорта за многолетний период их деятельности. Это преимущество особенно важно для мегаполисов, поскольку исследования транспортной системы в условиях реальной эксплуатации сложны и затратны, а их регулярное повторение является проблематичным [9];

2. Возможности отдельного моделирования составляющих пассажиропотока позволяют снизить размерность каждой подзадачи до уровня, приемлемого для малозатратной реализации на обычных компьютерах с широко применяемым программным обеспечением [10].

### **Моделирование пассажиропотока**

В ходе выполнения исследования было проведено моделирование перемещения пассажиропотока от каждой транспортной остановки до остановок массового притяжения пассажиропотока [11]. При проведении моделирования учитывается тип предприятий, находящихся рядом с конечной остановкой. В частности, количество посещений вузов, специализированных региональных учреждений здравоохранения, центральных рынков и крупных предприятий федерального значения практически не зависит от района проживания пассажиров. Напротив, огромные торгово-развлекательные центры, расположенные в определенном районе, посещают преимущественно жители этого же района. При проведении моделирования учитывается фактический временной интервал, требуемый для выполнения поездок.

Пассажиропотоки между районами города рассчитываются отдельно для двух групп пассажиров с различными предпочтениями выбора маршрута. Первый – это рабочие и молодежь в возрасте от 18 до 24 лет, а второй – пенсионеры и школьники. Основные направления пассажирских потоков определяются отдельно для фрагментов рабочего дня: утренний поток пассажиров, перемещающихся из жилых зон в районы расположения основных малых и средних предприятий и офисов; средний дневной поток, распределенный, в основном, между остановками, расположенными в пределах одного района; вечерний поток пассажиров, возвращающихся от рабочих мест к жилым зонам.

Выбор конечной остановки в пределах района для каждого пассажира, находящегося на остановке отправления, осуществляется с использованием балла привлекательности конечной остановки [12]. Выбор таких остановок детерминирован из-за уникальности их оценок привлекательности.

---

Моделирование завершается объединением пассажирских потоков, которые были рассчитаны отдельно. Затем отправления пассажиров с каждой остановки сортируются соответственно порядку увеличения моментов времени прибытия пассажиров. После этого результаты моделирования пассажиропотока будут готовы к дальнейшей обработке.

Поддержка этапа моделирования была реализована в программном проекте “пассажиропоток”, встроенном в программные средства моделирования управления Волгоградской пассажирской транспортной системой. Фрагмент результатов моделирования для определенной остановки отправления показан на рисунке 1. В 6-м столбце указывается типовая характеристика выбранного маршрута (значения 0, 1, 2 соответствуют маршруту без пересадок, с одной пересадкой и с двумя и более пересадками соответственно).

Остановка отправления	Район отправления	Время отправления	Район прибытия	Остановка прибытия	Достижимость 0/1/-1
Ост_018	Район_2	6:02	Район_4	Ост_054	1
		6:07	Район_6	Ост_322	1
		6:09	Район_2	Ост_390	1
		6:20	Район_2	Ост_310	1
		6:27	Район_2	Ост_351	1
		6:27	Район_8	Ост_442	1
		6:33	Район_8	Ост_396	1

Рис. 1. – Фрагмент результатов моделирования пассажиропотока от места отправления до места назначения

Далее приведена оценка результатов вычислений подмодели квазидетерминированного пассажиропотока от остановок отправления до точек массового привлечения пассажиров.

На рис.2 представлены оценки количества ежедневных посещений остановок массового привлечения пассажиропотока, полученные при обработке результатов моделирования.



Рис. 2. – Соответствие между результатами моделирования и средние данные

Различия между результатами моделирования и исходными статистическими данными незначительны (рисунок 2), что свидетельствует об успешности моделирования (значение коэффициента корреляции равно 0,97).

### Заключение

Учет специфических особенностей мегаполиса позволил разработать модель передвижения пассажиропотока, пригодную для выявления закономерностей выбора маршрутов в общей задаче моделирования пассажиропотока городской социальной транспортной системы. Выявление закономерностей основано на разделении общей модели между подмоделями в соответствии с различными уровнями неопределенности намерений пассажиров при выборе маршрута и последующем объединении вычислительных результатов, полученных для подмоделей.

Основными результатами представленной работы являются следующие:

1. предложены допущения, позволяющие выявить скрытые закономерности в выборе маршрута предпочтения пассажиров городской транспортной системы.
2. проведены и обоснованы алгоритмы моделирования пассажиропотока на остановках с высокой привлекательностью путем сравнения со статистическими данными функционирования транспортной системы.

Возможности обнаружения паттернов поведения пассажиров городского общественного транспорта будут полезны при разработке недорогой и простой системы отслеживания пассажиропотока в режиме онлайн.

### Благодарность за финансовую поддержку работы

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90150.*

*Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-37-90150.*

## References

1. Li W., Zhu W. A dynamic simulation model of passenger flow distribution on schedule-based rail transit networks with train delays. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 3(4), 2016, pp. 364-373.
2. Chen C., Ma J., Susilo Y., Liu Y., Wang M. The promises of big data and small data for travel behavior (aka human mobility) analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 68, 2016, pp. 285-299.
3. Dijk J. Identifying activity-travel points from GPS-data with multiple moving windows. *Computers, Environment and Urban Systems* 70, 2018, pp. 84-101.
4. Bai Y., Sun Z., Zeng B., Deng J., Li C. A multi-pattern deep fusion model for short-term bus passenger flow forecasting. *Applied Soft Computing* 58, 2017, pp. 669-680.
5. Dieleman F.M., Dijst M., Burghouwt G. Urban form and travel behaviour: micro-level household attributes and residential context. *Urban Stud.* 39, 2002, pp. 507–527.
6. Gärling T., Axhausen K.W. Introduction: habitual travel choice. *Transportation* 30, 2003, pp. 1–11.
7. Krushel E.G., Stepanchenko I.V., Panfilov A.E., Berisheva E.D. An experience of optimization approach application to improve the urban passenger transport structure. In: Kravets A., Shcherbakov M., Kultsova M., Iijima T. (eds.) *Knowledge-based software engineering: Proceedings of 11th Joint Conference 2014, JCKBSE*, vol. 466, pp. 27-39. Springer International Publishing.
8. Horn M. An extended model and procedural framework for planning multi-modal passenger journeys. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 37, 2003, pp. 641-660.
9. Li D., Yuan J., Yan K., Chen L. Monte Carlo simulation on effectiveness of forecast system for passengers up and down buses. *3RD International Symposium on intelligent information technology application*, Nanchang, 2009, pp.359-361.
10. Schelenz T., Suescun A., Wikstrom L., Karlsson M. Passenger-centered design of future buses using agent-based simulation. *Conference on transport research arena*, vol. 48, Athens, 2012, pp. 1662-1671.



11. Krushel E.G., Stepanchenko I.V., Panfilov A.E. The Passengers' Turnout Simulation for the Urban Transport System Control Decision-Making Process. In: Kravets A., Shcherbakov M., Kultsova M., Groumpos P. (eds.) Creativity in intelligent technologies and data science. Second Conference 2017 CIT&DS, vol. 754, pp. 389-398. Springer International Publishing AG.

12. Bure V.M., Mazalov V.V., Plaksina N.V. Estimating passenger traffic characteristics in transport systems. Automation and remote control 76, 2015, pp. 1673-1680.