

## Оценка пригодности модели перемещения пассажиров между остановками городского пассажирского общественного транспорта для выявления скрытых закономерностей поведения 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:** Проведена оценка модели перемещения пассажиропотока для выявления скрытых закономерностей в процессах формирования пассажиропотока с применением стандартных электронных вычислительных машин с программным обеспечением общего назначения. Проведено несколько сеансов моделирования перемещений пассажиров между остановками городского пассажирского общественного транспорта, принадлежащими разным уровням привлекательности остановок для пассажиров. Рассмотрены особенности квазидетерминированного перемещения пассажиров между остановками городского пассажирского транспорта, не включенными в список остановок массового привлечения пассажиропотока, и точками массового привлечения пассажиров. Приведены примеры типичных закономерностей в выборе остановок назначения и в часовом потоке пассажиров от остановок отправления. Проведено сравнение количества ежедневных посещений остановок массового привлечения пассажиропотока, полученных при обработке результатов моделирования с исходными статистическими данными.

**Ключевые слова:** пассажирский транспорт, модели пассажиропотока, паттерны поведения пассажиров, моделирование, прогнозирование, оценка привлекательности, квазидетерминированный пассажиропоток, статистика, коэффициент корреляции, часовое распределение.

### Введение

Современные подходы к совершенствованию управления социальной системой городского пассажирского транспорта основаны не только на традиционных методах, включающих реальные наблюдения, статистическую обработку отчетов и оперативное отслеживание обращений граждан, но и на проведении вычислительных экспериментов с моделями функционирования транспортной системы. Целью подобных вычислительных экспериментов является прогнозирование поведения элементов транспортной сети в условиях изменения ее параметров [1,2]. Очевидная польза проведения подобного предварительного компьютерного анализа для организаций [3],

ответственных за качество управления транспортной системой, свидетельствует об актуальности разработки соответствующих моделей.

Одна из сложнейших задач разработки математических моделей функционирования транспортных систем заключается в необходимости учета многочисленных факторов неопределенности, присущих формированию пассажиропотока. Такие факторы свойственны практически каждому компоненту общей модели [4]. Рассмотрим частную модель генерации пассажиропотока на остановках общественного транспорта. На нее влияют следующие факторы неопределенности: моменты времени прибытия пассажиров на остановку, намерения каждого пассажира выбрать определенный тип транспортного средства, численность населения в зоне доступности остановки и др. Классические инструменты статистического анализа не позволяют избежать подобных трудностей [5,6]. Для учета неопределенностей при проектировании частных моделей выбора конечных остановок требуется применение нестандартных методов анализа данных. Выбор конечной остановки индивидуален и непредсказуем даже для одного пассажира. Поэтому поток пассажиров от места отправления до места назначения рассматривается, как система элементов с хаотичным поведением.

Существуют различные подходы к решению этой задачи [7,8]. Однако попытки их применения к решению конкретных транспортных задач населенного пункта не всегда оказываются успешными из-за особенностей объекта моделирования. Как правило, для каждого объекта требуется индивидуальный подход. Если разработанная модель окажется успешной, то она может дополнить существующую библиотеку моделей и, как следствие, расширить область применения известных решений.

Цель работы – оценка пригодности модели перемещения пассажиропотока для выявления скрытых закономерностей в процессах

---

формирования пассажиропотока с применением стандартных ЭВМ с программным обеспечением общего назначения.

Авторами предложена модель перемещения пассажиропотока для выявления скрытых закономерностей в процессах формирования пассажиропотока с применением стандартных ЭВМ с программным обеспечением общего назначения, которая ранее рассматривалась в работе [9].

### **Этап проведения моделирования пассажиропотока**

Для проверки адекватности модели были произведены многократные сеансы моделирования пассажиропотока для различных остановок общественного транспорта (далее – остановка) г. Волгограда. Особенности моделирования:

1. Проведено моделирование пассажиропотока от каждой остановки до остановок массового привлечения пассажиров. Варианты поездки каждого пассажира до каждой остановки притяжения фиксируются с момента его появления на остановке отправления (чч:мм). Вклад каждой остановки в общее число посещений всех остановок оценивается как распределение заданного числа посещений привлекательных остановок между различными источниками пассажиропотока в зонах проживания пассажиров. При расчетах учитывается тип организаций, 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 временной интервал выполнения поездок;

2. Модель предусматривает разделение пассажиропотока на 2 категории с различными предпочтениями выбора маршрута. Первая категория – это рабочие и молодежь в возрасте от 18 до 24 лет, вторая – пенсионеры и школьники. Основные направления пассажирских потоков определяются отдельно для каждого временного отрезка рабочего дня: утренний поток пассажиров преимущественно направлен из жилых зон в районы расположения крупных, малых и средних предприятий и офисов; дневной поток в основном сосредоточен в пределах одного района; вечерний поток направлен обратно от рабочих мест к жилым зонам с соблюдением баланса между утренним отбытием и вечерним возвращением пассажиров;

3. Для всех остановок в модели определен балл "привлекательности" для пассажиров. Выбор конечной остановки в пределах района для каждого пассажира на остановке отправления осуществляется с учетом этого значения. Выбор транспортной остановки с определенной привлекательностью аналогичен известному правилу выбора пар кроссоверов в генетических алгоритмах [10]. Если балл выбранной конечной остановки превышает порог, назначенный для остановок с низкой привлекательностью, то выбор осуществляется между остановками 1-й группы (т. е. с высокими или средними баллами привлекательности). Выбор таких остановок детерминирован из-за уникальности оценок привлекательности. Остановка с низкой привлекательностью выбирается случайным образом среди остановок 2-й группы (на основании равномерного распределения случайных величин);

4. Данный этап моделирования завершается объединением пассажирских потоков, которые были рассчитаны отдельно. Затем отправления пассажиров с каждой остановки сортируются соответственно порядку увеличения моментов времени прибытия пассажиров.

## Результаты моделирования

Для анализа пригодности модели для выявления закономерностей пассажиропотока было проведено несколько сеансов моделирования. Часть полученных результатов описана ниже.

Пример 1. Рассмотрены особенности квазидетерминированного пассажиропотока от остановок отправления до точек массового привлечения пассажиров. Данные таких остановок, упорядоченные по уменьшению среднего числа ежедневных посещений, показаны на рисунке 1 (столбец 5).

Вид организаций, расположенных вблизи остановки (столбец 3), влияет на предпочтения пассажиров при ее выборе в качестве пункта назначения. В частности, количество посещений крупных образовательных центров, общегородских рынков, промышленных предприятий и больниц областного значения практически не зависит от района проживания пассажиров. Напротив, торгово-развлекательные центры, расположенные в определенном районе, посещают преимущественно жители этого же района.

ID остановки в базе данных остановок	ID остановки в базе данных всей транспортной системы	Вид остановки притяжения пассажиропотока	ID района остановки прибытия	Количество среднесуточных посещений (статистические данные)	Количество среднесуточных посещений (моделирование)	Относительная погрешность
03	Ост_033	Торгово-развлекательный центр	Район_1	26000	20613	20,7%
24	Ост_380	Крупный образовательный центр	Район_8	26000	26155	-0,6%
21	Ост_299	Торгово-развлекательный центр	Район_6	22000	21775	1,0%
12	Ост_118	Торгово-развлекательный центр	Район_7	20000	20799	-4,0%
13	Ост_139	Торгово-развлекательный центр	Район_2	20000	24218	-21,1%

Рис. 1. – База данных остановок массового привлечения пассажиров

На рисунке 2 представлены оценки количества ежедневных посещений остановок массового привлечения пассажиропотока, полученные при обработке результатов моделирования. Различия между результатами моделирования и исходными данными статистики незначительны, что свидетельствует об успешности моделирования (значение коэффициента корреляции равно 0,97).



Рис. 2. – Соответствие между результатами моделирования и исходными данными

Пример 2. Паттерны поведения пассажиров при отправлении с остановок, которые не включены в список остановок массового привлечения пассажиропотока. Рисунок 3 иллюстрирует паттерн 1: значения пассажиропотока от определенной остановки отправления такого типа, распределенные по часам. На графике прослеживается существование утреннего и вечернего пиков интенсивности пассажиропотока с преобладанием второго (интерпретация посещений торгово-развлекательных центров преимущественно в вечернее время).



Рис. 3. – Паттерн 1: часовой поток пассажиров от остановки отправления (St\_039, Район\_2, вне списка остановок массового притяжения пассажиропотока)

Рисунок 4 иллюстрирует паттерн 2: наиболее популярные остановки назначения выбираются пассажирами, которые отправляются с остановки, не входящей в список остановок массового притяжения пассажиров.



Рис. 4. – Паттерн 2: часовой пассажиропоток от остановок отправления к остановкам массового притяжения пассажиров

Первые три полосы диаграммы на рисунке 4 относятся к потокам, в которых конечные остановки с массовым притяжением пассажиров расположены в районе расположения остановки отправления (коды Attr\_18, 13, 22, специализация – торгово-развлекательные центры). Четвертая полоса диаграммы иллюстрирует величину пассажиропотока до остановки, расположенной рядом с самым крупным образовательным центром города (код Attr\_24). Поток к остальным конечным остановкам значительно меньше. На 12-ой и 14-ой позициях по количеству пассажиров находятся остановки, которые отсутствуют в списке наиболее привлекательных остановок (отмечены на рисунке 4 штриховкой).

Рисунок 5 иллюстрирует паттерн 3: результат объединения пассажиропотоков, направленных на наиболее привлекательные остановки и на оставшиеся остановки (в том числе на остановки с низким баллом привлекательности).

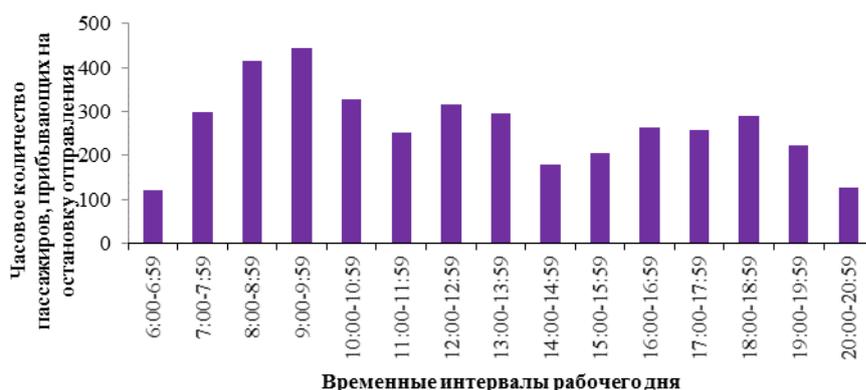


Рис. 5. – Паттерн 3: часовой поток пассажиров от остановки отправления, направленный на остановки с различными оценками привлекательности

Рисунок 5 иллюстрирует наличие утреннего и вечернего пиков интенсивности пассажиропотока (аналогично показанному на рисунке 3). Однако преобладает утренний пик, так как он приходится на начало учебных занятий.

Пример 3. Закономерности пассажиропотока от остановок отправления, которые присутствуют в списке наиболее привлекательных (группа остановок, количество посещений которых практически не зависит от расположения зон проживания граждан).

Рисунок 6 иллюстрирует паттерн 4: пассажиропоток от остановки отправления, расположенной рядом с мощным учебным центром (код Attr\_24).



Рис. 6. – Паттерн 4: часовой поток пассажиров от остановки отправления

Attr\_24

Остановка отправления является элементом списка наиболее привлекательных остановок (на рисунке 6 – крупный образовательный центр, код Attr\_24). Часовое распределение пассажиропотока отличается от приведенного на рисунке 3 для обычной остановки: пик интенсивности приходится на часы завершения учебной деятельности.

Рисунок 7 иллюстрирует паттерн 5: наиболее популярные остановки назначения выбираются пассажирами, отправляющимися от остановки из списка остановок с массовым притяжением пассажиров (тип остановки – крупный образовательный центр).

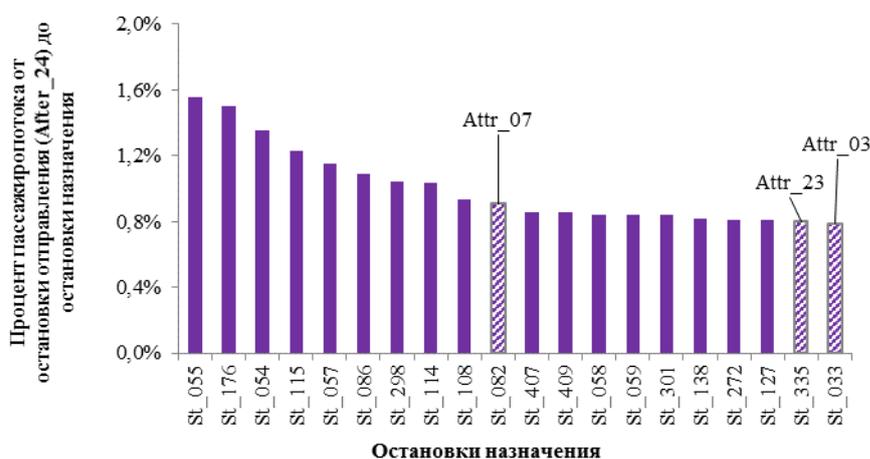


Рис. 7. – Паттерн 5: часовой поток пассажиров от остановки отправления, являющейся элементом списка наиболее привлекательных остановок (Attr\_24)

На этой диаграмме показана 20%-ная часть суммарного пассажиропотока от остановки отправления, являющейся элементом списка наиболее привлекательных остановок (самого крупного образовательного центра города, код Attr\_24), до остальных остановок с высокими баллами привлекательности. По сравнению с показанным на рисунке 5, пассажиропоток более равномерен. Основная часть остановок назначения находятся вне списка наиболее привлекательных остановок, исключения отмечены на рисунке 7 штриховкой. При этом интенсивность

пассажиропотока к конечным остановкам зависит, в основном, от количества граждан, проживающих вблизи этих остановок.

Пример 4. Закономерности пассажиропотока от остановок отправления, которые присутствуют в списке наиболее привлекательных (группа остановок, количество посещений которых существенно зависит от расположения зон проживания граждан).

Рисунок 8 иллюстрирует паттерн б: ежечасный пассажиропоток от остановки отправления, расположенной рядом с торгово-развлекательным центром (St\_224).



Рис. 8. – Паттерн б: часовой поток пассажиров от остановки отправления After\_18 (торгово-развлекательный центр)

Интенсивность пассажиропотока медленно возрастает без видимых пиков до 18:00, а затем медленно падает, оставаясь заметной даже после завершения транспортного рабочего дня (21:00), так как после этого момента закрываются торгово-развлекательные центры.

Рисунок 9 иллюстрирует паттерн 7: наиболее популярные остановки назначения выбираются пассажирами на остановке отправления, которая является элементом списка наиболее привлекательных остановок (тип остановки – торгово-развлекательный центр).

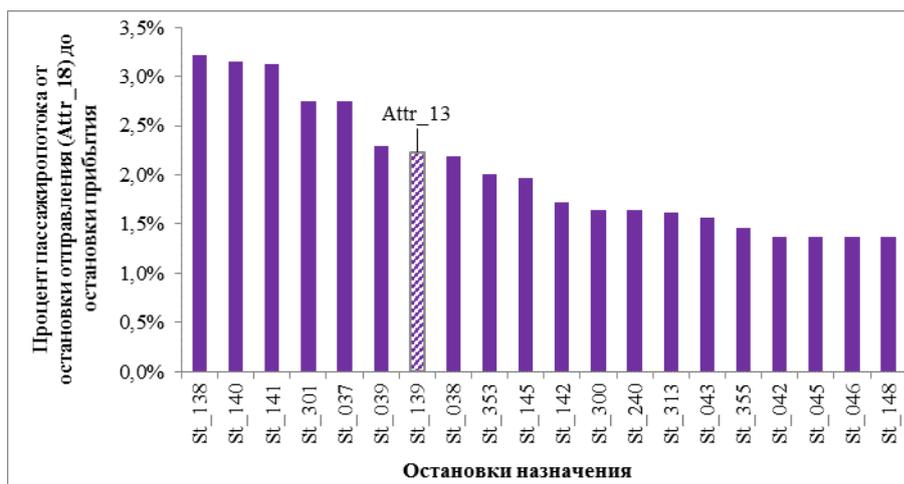


Рис. 9. – Паттерн 7: часовой поток пассажиров от остановки отправления, являющейся элементом списка наиболее привлекательных остановок (торгово-развлекательный центр)

На диаграмме показана 40%-ная часть суммарного пассажиропотока, движущегося от остановки отправления из списка наиболее привлекательных остановок (в примере – торгово-развлекательный центр) до остальных остановок с высокими баллами привлекательности. По сравнению с показанным на рис.8, пассажиропоток менее однороден, так как межрайонные потоки обладают меньшей интенсивностью. Уникальной остановкой из списка наиболее привлекательных остановок является остановка, расположенная рядом с другим торгово-развлекательным центром в том же районе, что и остановка отправления (Attr\_13, выделен штриховкой на рисунке 10). При этом интенсивность пассажиропотока зависит в основном от количества граждан, возвращающихся в свои жилые зоны из торгово-развлекательного центра, расположенного в районе их проживания.

### Заключение

В ходе выполнения исследования было проведено несколько сеансов моделирования перемещений пассажиров между остановками общественного транспорта г. Волгограда, которые относятся к разным уровням привлекательности для пассажиров. Сопоставление результатов, полученных

на данном этапе, со статистическими данными позволяет судить о том, что предложенная модель перемещения пассажиров пригодна для выявления скрытых закономерностей в процессах формирования пассажиропотока. Корреляция между полученными расчетными значениями и имеющимися статистическими данными равна 0,97.

Доступность подхода была проиллюстрирована примерами типичных закономерностей в выборе остановок назначения и в часовом потоке пассажиров от остановок отправления.

### **Благодарность за финансовую поддержку работы**

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

### **Литература**

1. Tao S., Corcoran J., Mateo-Babiano I., Rohde D. Exploring Bus Rapid Transit passenger travel behaviour using big data // Applied Geography. 2014. №53. pp. 90-104.
2. Kim J., Corcoran J., Papamanolis M. Route choice stickiness of public transport passengers: Measuring habitual bus ridership behaviour using smart card data // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2017. №83. pp. 146-164.
3. 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. 1665-1671.
4. 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

Conference2014, JCKBSE, vol. 466. Springer International Publishing, 2014. pp. 27-39.

5. Gonzalez M.C., Hidalgo C.A., Barabasi A.-L. Understanding individual human mobility patterns // Nature. 2008. №453 (5). pp. 779-782.

6. Maghraoui O.A., Vallet F., Puchinger J., Bernard Y. Modeling traveler experience for designing urban mobility systems // Design Science. 2019. №5. pp. E7.

7. Calabrese F., Diao M., Lorenzo G.D., Ferreira J. Jr., Ratti C. Understanding individual mobility patterns from urban sensing data: a mobile phone trace example // Transp. Res. Part C. 2013. №26. pp. 301-313.

8. Скудина А.А., Загутин Д.С., Бахтеев О.А., Косенко Е.Е., Морозов Д.С., Осипов И.Ю. Методика учета пассажиропотоков и транспортной подвижности населения в г. Ростове-на-дону // Инженерный вестник Дона, 2019, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5733](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5733).

9. Крушель Е. Г., Огар Т. П., Панфилов А. Э., Степанченко И. В., Степанченко О. В., Харитонов И. М. Разработка модели перемещения пассажиропотока, пригодной для выявления скрытых закономерностей в процессах формирования пассажиропотока // Инженерный вестник Дона, 2020, №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6703](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6703).

10. Mühlenbein H., Zinchenko L., Kureichik V., Mahnig T. Effective mutation rate for probabilistic evolutionary design of analogue electrical circuits // Applied Soft Computing. 2007. №7 (3). pp. 1012-1018.

### References

1. Tao S., Corcoran J., Mateo-Babiano I., Rohde D. Applied Geography. 2014. №53. pp. 90-104.

2. Kim J., Corcoran J., Papamanolis M. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2017. №83. pp. 146-164.



3. 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. 1665-1671.

4. 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. Springer International Publishing, 2014. pp. 27-39.

5. Gonzalez M.C., Hidalgo C.A., Barabasi A.-L Nature. 2008. №453 (5). pp. 779-782.

6. Maghraoui O.A., Vallet F., Puchinger J., Bernard Y. Design Science. 2019. №5. pp. E7.

7. Calabrese F., Diao M., Lorenzo G.D., Ferreira J. Jr., Ratti C. Transp. Res. Part C. 2013. №26. pp. 301-313.

8. Skudina A.A., Zagutin D.S., Bahteev O.A., Kosenko E.E., Morozov D.S., Osipov I.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5733](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5733).

9. Krushel' E. G., Ogar T. P., Panfilov A. Je., Stepanchenko I. V., Stepanchenko O. V., Haritonov I. M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6703](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6703).

10. Mühlenbein H., Zinchenko L., Kureichik V., Mahnig T. Applied Soft Computing. 2007. №7 (3). pp. 1012-1018.