

УДК 656.01

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-143-148

© А. А. Фадюшин, ассистент

© А. А. Fadyushin, assistant lecturer

© Д. А. Захаров, канд. техн. наук, доцент

© D. A. Zakharov, PhD in Sci. Tech, Associate Professor

(Тюменский индустриальный университет,  
Тюмень, Россия)(Industrial University of Tyumen,  
Tyumen, Russia)

E-mail: fadyush72@gmail.com, zaharov1976@rambler.ru

E-mail: fadyush72@gmail.com, zaharov1976@rambler.ru

## ВЛИЯНИЕ СТОИМОСТИ ПРОЕЗДА В ГОРОДСКОМ ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ НА СТРУКТУРУ ПОДВИЖНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

### THE INFLUENCE OF THE URBAN PUBLIC TRANSPORT FARE ON THE STRUCTURE OF THE POPULATION'S MOBILITY

Рассматривается влияние стоимости проезда в общественном транспорте на структуру подвижности населения крупного города, не имеющего внеуличного транспорта, с численностью жителей 800 тыс. человек. Применен критерий перевода финансовых затрат на передвижение различными видами транспорта во временные. В транспортной макромоделе города учитывались затраты при передвижении на индивидуальном и общественном транспорте, такси, автомобилях краткосрочной аренды (каршеринг), а также велосипедном и пешем передвижении. При отмене оплаты проезда на общественном транспорте его доля в общей структуре подвижности может повыситься с 35 до 42 %.

*Ключевые слова:* структура подвижности населения, бесплатный проезд в общественном транспорте, транспортное моделирование, городская транспортная система.

The article considers the influence of the public transport fare on the population's mobility structure in a large city that does not have off-street transport with a population of 800 thousand people. The authors used the criterion of transferring the financial costs of travel by various transport modes into time consumption costs. The city transport macro-model considered the costs of transportation by individual and public transport, taxis, short-term rental cars (car sharing system), as well as by cycling and walking. According to the authors, if public transport fares were canceled, its share in the total mobility structure could increase from 35 to 42 %.

*Keywords:* population mobility structure, free transportation by public transport, transport modeling, urban transport system.

Одним из двигателей развития стран во всем мире является укрупнение городов и увеличение численности жителей в них [1, 2]. При увеличении численности населения в городе увеличивается количество автомобилей и пользователей индивидуального транспорта, а переход к общественному транспорту складывается как нежелательный переход от пеших передвижений [3]. Также численность жителей в городах влияет и на количество поездок на общественном транспорте [4]. С ростом численности жителей крупные города получают не только конкурентные преимущества в экономике, но и проблемы в обеспечении устойчивой мобильности горожан, и загрязнение воздуха отработавшими газами автомобилей.

Профессор М. Е. Корягин изучал модели выбора людьми способа передвижения в городах [5]. В работе [6] показано, что с повышением уровня доходов вероятность использования личного автотранспорта для передвижения увеличивается.

Для обеспечения устойчивой мобильности в городах активно развивается общественный транспорт [7]. В работе [8] проводится анализ факторов, влияющих на изменение доли использования общественного транспорта. Наибольшее влияние оказывает условие существенно меньшей стоимости проезда на общественном транспорте по отношению к стоимости проезда на легковом автомобиле. В работе [9] показана необходимость учета мест проживания и уда-

ленность от центра, доход, возраст и социальный статус людей, характеристики маршрута общественного транспорта при принятии решения о компенсации части расходов на поездки в общественном транспорте. Дифференцирование компенсации за проезд в общественном транспорте с учетом суммарных и удельных затрат человека позволяет повысить доступность общественного транспорта и достичь большей социальной справедливости.

Авторы исследования [10] показывают, что при введении бесплатного проезда на общественном транспорте увеличивается среднее количество поездок одного пассажира общественного транспорта и снижается доля пешеходных передвижений и поездок на велотранспорте. При этом доля передвижений на легковых автомобилях снизилась незначительно, и цель достижения устойчивой мобильности в городах с бесплатным проездом не была достигнута. В работе [11] отмечается, что бесплатный проезд проще и эффективнее внедрять в малых и средних городах. В крупных городах добиться устойчивой мобильности за счет бесплатного проезда сложнее. Данное мероприятие должно быть очень качественно просчитано и смоделировано, так как отменить такое решение впоследствии будет очень сложно.

Результаты опроса жителей городов в работе [12] показывают, что наиболее важными факторами при выборе общественного транспорта являются развитость маршрутной сети и регулярность. Стоимость проезда как наиболее важный фактор указали 9,8 % респондентов. Авторы делают вывод о том, для жителей мегаполисов качество работы общественного транспорта важнее цены проезда, и введения бесплатного проезда на общественном транспорте недостаточно для перехода от владения личным автомобилем на использование общественного транспорта.

На долю передвижений на общественном транспорте влияет стоимость и количество платных парковок в центральной части города, а также уровень развития инфраструктуры для общественного транспорта, велосипедистов и пешеходов [13].

Внедрение бесплатного проезда в общественном транспорте в городах и уменьшение количе-

ства пользователей личного транспорта позволяет получить ряд эффектов [14–15]:

- обеспечить устойчивую мобильность, в том числе людей с низким уровнем доходов;
- уменьшить транспортные заторы на автомобильных дорогах;
- снизить потребность в строительстве новых дорогостоящих дорожных объектов;
- обеспечить экологическую устойчивость города.

Минтранс России в 2020 году анонсировал возможность введения бесплатного проезда на общественном транспорте в городах к 2035 году и оплаты для автовладельцев за передвижения по автомобильным дорогам как регионально-го значения, так и в пределах агломераций. Однако анализ ранее выполненных исследований показал, что введение бесплатного проезда на общественном транспорте требует тщательного изучения и детального анализа.

Цель данного исследования — установить зависимость доли передвижений различными видами транспорта от стоимости проезда в общественном транспорте для крупного города.

Для проведения оценки изменения структуры транспортного спроса в работе применялась транспортная макроскопическая модель города и программа PTV Visum. В процедуре «Выбор транспорта» на основе критерия «Полезность поездки на  $i$ -м виде транспорта» определяется вероятность поездки  $i$ -м видом транспорта, согласно Logit-модели распределения. Обычно чем больше полезность поездки на  $i$ -м виде транспорта, тем больше вероятность такой поездки.

В исследовании вероятность передвижения на  $i$ -м виде транспорта определяется исходя из затрат времени на передвижение. В руководстве пользователя PTV Visum<sup>1</sup> полезность является обратной функцией сопротивления и затрат на передвижение.

Профессор М. Р. Якимов отмечает, что сопротивление — это затраты, которые рассчитываются на совершение поездки в рублях, минутах или другой единице измерения [16]. Сопротивление представляет собой сумму стоимости времени (стоимость времени, умноженная на время

<sup>1</sup> PTV AG, PTV Visum. Руководство пользователя. URL: [http://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISUM\\_18\\_RUS/](http://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISUM_18_RUS/) (дата обращения: 11 мая 2021 г.).

в пути) и стоимости эксплуатационных затрат (стоимость 1 км пробега автомобиля, умноженная на длину пути).

В данном исследовании сопротивление определяется как сумма времени в пути и затрат на передвижение, пересчитанная во время с помощью специального коэффициента:

$$R_i = T_i + kF_i \quad (1)$$

где  $R_i$  — сопротивление для  $i$ -й системы транспорта, мин;  $T_i$  — время в пути, мин;  $k$  — коэффициент перевода денег во время, мин/руб.;  $F_i$  — затраты на реализацию корреспонденции, руб.

Коэффициент перевода денег во время рассчитывается исходя из средней заработной платы за стандартную 40-часовую рабочую неделю. В итоге данный коэффициент «деньги — время» для Тюмени в 2021 г. составляет 0,2 минуты, или 12 секунд, на 1 руб. При расчете по методике [16] коэффициент перевода времени в деньги для Тюмени 2021 г. составлял 5 руб. в 1 мин.

Затраты на реализацию корреспонденции для разных видов транспорта рассчитаны исходя из

действующих в городе тарифов на 2021 г<sup>2</sup>. Затраты на совершение поездки на личном автомобиле определены по данным стоимости владения автомобилем аналитического агентства «Автостат»<sup>3</sup>.

Затраты на реализацию корреспонденции для разных видов транспорта рассчитывались по формулам

$$F_{taxi} = 80 + 6 \cdot (L_i - 2); \quad (2)$$

$$F_{cs} = 7,9T_i; \quad (3)$$

$$F_{car} = 7,5L_i; \quad (4)$$

$$F_{bus} = 27n, \quad (5)$$

где  $F_i$  — затраты на реализацию корреспонденции  $i$ -м видом транспорта (taxi — такси; cs — каршеринг; car — индивидуальный транспорт; bus — общественный транспорт), руб.;  $T_i$  — время в пути, мин;  $L_i$  — длина маршрута, км;  $n$  — количество поездок на транспорте.

В таблице представлены исходные данные и расчетное значение сопротивления в макро-модели для поездки из центра города в один из

<sup>2</sup> Яндекс, Яндекс. Такси. Цена на такси. URL: [https://taxi.yandex.ru/ru\\_ru/tumen/tariff/](https://taxi.yandex.ru/ru_ru/tumen/tariff/) (дата обращения 11 мая 2021 г.).

<sup>3</sup> Цена. Авто. Оценка стоимости владения автомобилем. URL: <https://cena-auto.ru/calculator/tco/> (дата обращения: 11 мая 2021 г.).

### Затраты на передвижение по разным видам транспорта

Затраты	Вид транспорта и способ передвижения					
	Велосипед	Пешеходное движение	Личный автомобиль	Такси	Каршеринг	Автобус
Длина маршрута, км	11	10		13		10
Время в пути в транспорте, мин	54	121		28		30
Время подхода пешего передвижения, мин	–	–	–		2	8
Время ожидания транспорта, мин	–	–	–	6	2	5
Время сдачи транспорта, мин	–	–	–	–	2	–
Время ухода, мин	–	–	–	–	–	5
Время пешком для пересадки, мин	–	–	–	–	–	0
Время ожидания 2-го транспорта, мин	–	–	–	–	–	0
Итоговое время в пути, мин	54	121	28	34	34	48
Тариф, руб./км (руб./мин для каршеринга)	–	–	7,5	6	7,9	27
Платная парковка, руб./ч	–	–	40	–	–	–
Часы на платной парковке, ч	–	–	4	–	–	–
Затраты на реализацию корреспонденции, руб.	0	0	258	146	269	27
Средняя заработная плата, руб./месяц	48 000					
Коэффициент перевода деньги во время, мин/руб.	0,2					
Сопротивление, мин	54	121	80	63	88	53

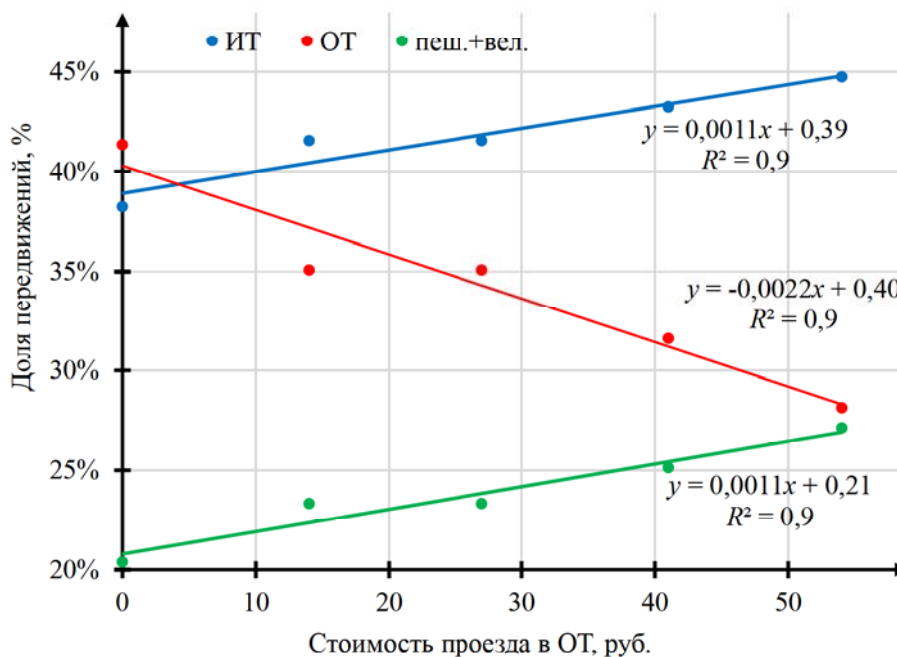


Рис. 1. Влияние стоимости проезда на общественном транспорте на долю передвижений по видам транспорта

периферийных районов Тюмени для различных видов транспорта.

Максимальное значение сопротивления по данной корреспонденции — у пешеходов, а минимальное — у велосипедистов и пользователей общественного транспорта. Посередине диапазона значений находится сопротивление для личных автомобилей и такси.

При внедрении бесплатного проезда на общественном транспорте доля передвижений на автобусах в Тюмени может увеличиться, при этом уменьшится доля для других видов транспорта (рис. 1). Также определены изменения параметров дорожного движения. При увеличении стоимости проезда на общественном транспорте увеличивается время в пути на индивидуальном транспорте (рис. 2) и уменьшается средняя скорость движения.

Такие изменения напрямую связаны с увеличением количества пользователей индивидуального транспорта и интенсивностью движения индивидуального транспорта в городе. Однако изменения параметров дорожного движения незначительные. Например, при изменении стоимости проезда в автобусе от 0 до 54 руб. среднее время в пути увеличилось на 1 мин, или на 4 %,

а средняя скорость движения уменьшилась с 26 до 25 км/ч. Однако в данных моделях с бесплатным проездом на общественном транспорте не отображены возможные затраты автовладельцев за пользование автомобильными дорогами и платными парковками.

При внедрении бесплатного проезда на общественном транспорте для компенсации расходов перевозчикам из регионального бюджета потребуется дополнительно свыше 2 млрд руб. в год. Для достижения запланированных в ПКРТИ города Тюмени показателей качества транспортного обслуживания населения требуется комплекс мероприятий по повышению привлекательности общественного транспорта и демотивации использования личного транспорта для части поездок с рабочими целями в центральную часть города.

Дальнейшие исследования по данному направлению применительно к столице Тюменской области предполагают несколько этапов и учет в макромоделе города:

- введения платного парковочного пространства в центральной части города;

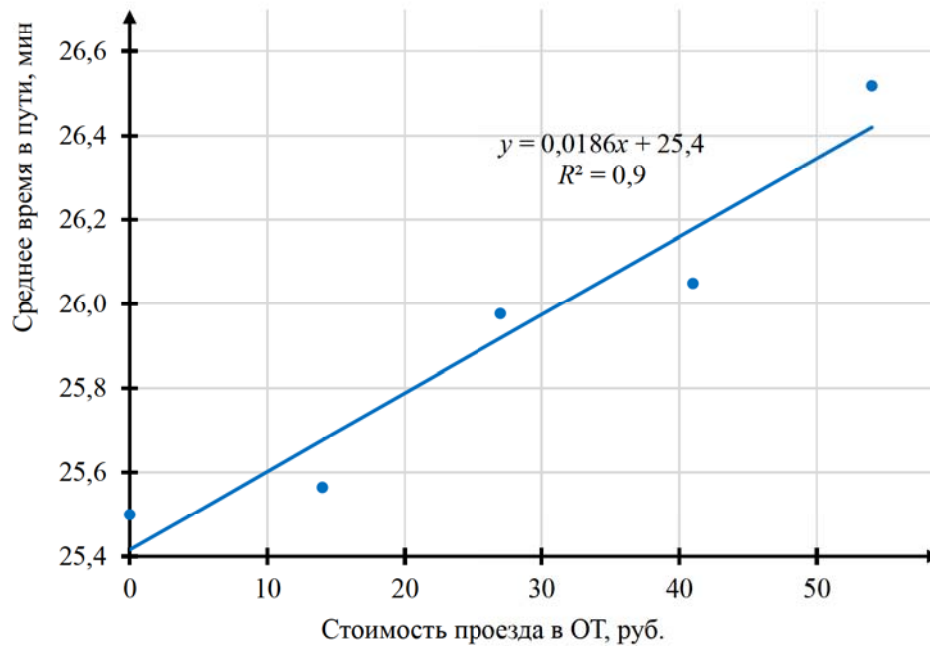


Рис. 2. Влияние стоимости проезда на общественном транспорте на среднее время в пути на индивидуальном транспорте

- дифференциации жителей города по группам с учетом доходов населения (обучающиеся, пенсионеры, работающие и др.);

- развития в модели систем краткосрочной аренды (каршеринг, байкшеринг), такси, систем RideSharing и Park&Ride с учетом влияния тарификации поездок на изменение структуры транспортного спроса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Тюменской области в рамках научного проекта № 20-48-720006 «Модель трансформации городских транспортных систем с учетом влияния на общество и экономику пандемии коронавируса Covid-19».

#### Библиографический список

1. Зубаревич Н. В., Сафронов С. Г. Развитие больших городов России в 2010-х годах // Региональные исследования. 2019. № 1 (63). С. 39–51.

2. Аношкина Е. Л. Задачи устойчивого развития крупнейших российских городов // Вопросы новой экономики. 2012. № 3 (23). С. 74–79.

3. Cats O., Susilo Y. O. & Reimal T. The prospects of fare-free public transport: evidence from Tallinn // Transportation. 2017. Vol. 44. Pp. 1083–1104.

4. Аземша С. А., Скирковский С. В., Горев А. Э. Установление закономерностей в изменении объема

пассажирских перевозок от численности жителей населенного пункта // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 5 (76). С. 206–216.

5. Корягин М. Е., Декина А. И. Математические модели принятия решений пассажирами в городской транспортной системе // Инженер: научное и периодическое издание инженерной академии Кыргызской Республики. 2015. № 10. С. 100–103.

6. Корягин М. Е., Нестерова А. А. Сравнение детерминированной и вероятностной модели выбора способа перемещения на примере г. Кемерово // Вестник Кузбасского гос. техн. ун-та. 2009. № 5 (75). С. 120–123.

7. Андреева Е. А., Бёттгер К., Белкова Е. В. и др. Управление транспортными потоками в городах / под общ. ред. А. Н. Бурмистрова, А. И. Солодкого. М.: ИНФРА-М, 2019. 207 с.

8. Якунина Н. В., Нестеренко Д. Х., Арсланов М. А. Факторный анализ направлений повышения активности использования городского пассажирского автомобильного транспорта // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2018. Т. 21. № 4. С. 533–540.

9. Börjesson M., Eliasson J., Rubensson I. Distributional effects of public transport subsidies // Journal of Transport Geography. 2020. Vol. 84. 102674.

10. Tomanek R. Free-fare public transport in the concept of sustainable urban mobility // Transport Problems. 2017. Vol. 12. Pp. 95–105.

11. Štraub D., Jaroš V. Free fare policy as a tool for sustainable development of public transport services // *Human Geographies*. 2019. Vol. 13. Issue 1. Pp. 45–59.

12. Grzelec K., Jagielło A. The effects of the selective enlargement of fare-free public transport // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Issue 16. 6390.

13. Захаров Д. А., Фадюшин А. А. Изменение подвижности населения при развитии в городах инфраструктуры для общественного транспорта, велосипедистов и пешеходов // *Вестник гражданских инженеров*. 2020. № 5 (82). С. 187–193.

14. Storchmann K. Externalities by Automobiles and Fare-Free Transit in Germany — A Paradigm Shift? // *Journal of Public Transportation*. 2003. Vol. 6. Issue 4. Pp. 89–105.

15. Rye T., Mykura W. Concessionary bus fare for older people in Scotland — are they achieving their objectives? // *Journal of Transport Geography*. 2009. Vol. 17. Pp. 451–456.

16. Якимов М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. М.: Логос, 2013. 188 с.

## References

1. Zubarevich N. V., Safronov S. G. *Razvitie bol'shikh gorodov Rossii v 2010-kh godakh* [The development of large cities in Russia in the 2010-s]. *Regional'nye issledovaniya – Regional Studies*, 2019, no. 1 (63), pp. 39–51.

2. Anoshkina E. L. *Zadachi ustoychivogo razvitiya krupneyshikh rossiyskikh gorodov* [Issues of sustainable development of the largest Russian cities]. *Voprosy novoy ekonomiki – Issues of the New Economy*, 2012, no. 3 (23), pp. 74–79.

3. Cats O., Susilo Y. O. & Reimal T. The prospects of fare-free public transport: evidence from Tallinn. *Transportation*, 2017, vol. 44, pp. 1083–1104.

4. Azemsha S. A., Skirkovsky S. V., Gorev A. E. *Ustanovlenie zakonomernostey v izmenenii ob'ema passazhirsikh perevozok ot chislenosti zhiteley naselennogo punkta* [Determination of regularities in the change of the passenger transportation volume depending on the number of residents in residential places]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 5 (76), pp. 206–216.

5. Koryagin M. E., Dekina A. I. *Matematicheskie modeli prinyatiya resheniy passazhirami v gorodskoy transportnoy sisteme* [Mathematical models of passenger decision-making in the urban transport system]. *Inzhener: nauchnoe i periodicheskoe izdanie inzhenernoy akademii Kyrgyzskoy Respubliki – Engineer: scientific and periodical publication of the Engineering Academy of the Kyrgyz Republic*, 2015, no. 10, pp. 100–103.

6. Koryagin M. E., Nesterova A. A. *Sravnenie determinirovannoy i veroyatnostnoy modeli vybora sposoba peremeshcheniya na primere g. Kemerovo* [Comparison of a deterministic and probabilistic model for choosing a method of transportation on the example of Kemerovo]. *Vestnik Kuzbasskogo gos. tekhn. un-ta – Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2009, no. 5 (75), pp. 120–123.

7. Andreeva E. A., et al. *Upravlenie transportnymi potokami v gorodakh* [Traffic flow management in cities]. Ed. by Burmistrov A. N., Solodkiy A. I. Moscow, INFRA-M Publ., 2019, 207 p.

8. Yakunina N. V., Nesterenko D. Kh., Arslanov M. A. *Faktorniy analiz napravleniy povysheniya aktivnosti ispol'zovaniya gorodskogo passazhirskego avtomobil'nogo transporta* [Factor analysis of the directions of increasing the activity of using urban passenger road transport]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Moscow State Technical University. Proceedings of the Murmansk State Technical University*, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 533–540.

9. Börjesson M., Eliasson J., Rubensson I. Distributional effects of public transport subsidies. *Journal of Transport Geography*, 2020, vol. 84, pp. 102674.

10. Tomanek R. Free-fare public transport in the concept of sustainable urban mobility. *Transport Problems*, 2017, vol. 12, pp. 95–105.

11. Štraub D., Jaroš V. Free fare policy as a tool for sustainable development of public transport services. *Human Geographies*, 2019, vol. 13, issue 1, pp. 45–59.

12. Grzelec K., Jagielło A. The effects of the selective enlargement of fare-free public transport. *Sustainability*, 2020, vol. 12, issue 16, pp. 6390.

13. Zakharov D. A., Fadyushin A. A. *Izmenenie podvizhnosti naseleniya pri razviti v gorodakh infrastruktury dlya obshchestvennogo transporta, velosipedistov i peshekhodov* [Changes of the urban population mobility at the development of infrastructure for public transport, cyclists and pedestrians]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 5 (82), pp. 187–193.

14. Storchmann K. Externalities by Automobiles and Fare-Free Transit in Germany — A Paradigm Shift? *Journal of Public Transportation*, 2003, vol. 6, issue 4, pp. 89–105.

15. Rye T., Mykura W. Concessionary bus fare for older people in Scotland — are they achieving their objectives? *Journal of Transport Geography*, 2009, vol. 17, pp. 451–456.

16. Yakimov M. R. *Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnykh modeley gorodov* [Transport planning: creating transport models of cities]. Moscow, Logos Publ., 2013, 188 p.