

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-4-336-344>

УДК 656.11

## Изменение параметров городской транспортной системы при введении платы с владельцев автомобилей за использование улично-дорожной сети и варьировании стоимости проезда в общественном транспорте

Кандидаты тех. наук, доценты Д. А. Захаров<sup>1)</sup>, Е. М. Чикишев<sup>1)</sup>,  
докт. техн. наук, проф. Д. В. Капский<sup>2)</sup>,  
канд. тех. наук, доц. С. В. Скиркоцкий<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Тюменский индустриальный университет (Тюмень, Российская Федерация),

<sup>2)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2024  
Belarusian National Technical University, 2024

**Реферат.** В статье рассматриваются вопросы городской мобильности населения. В последние десятилетия в России и Беларуси наблюдаются активная урбанизация и увеличение доли жителей в крупных городах. Этот процесс сопровождается автомобилизацией. Муниципальные власти внедряют концепцию приоритета общественному транспорту, развивают метро, трамваи и инфраструктуру для велосипедов. Также приведенные исследования отмечают сложность изменения отношения людей к личному транспорту и необходимость развития общественного транспорта. Подтверждается гипотеза о влиянии мер стимулирования и демотивации использования личных автомобилей при передвижении и эффективности проводимых мероприятий, включая организацию платных парковок и сокращение парковочных мест. Разработаны математическая модель влияния стоимости проезда по 1 км автодороги на количество передвижений по видам транспорта и общее время в пути, а также двухфакторная математическая модель влияния стоимости проезда по 1 км автодороги и стоимости проезда в общественном транспорте на долю перемещений по видам транспорта и видам передвижения. Приведен анализ изменения структуры мобильности населения и параметров дорожного движения, рассчитанных с использованием макромодели г. Тюмени, построенной в программе PTV VISUM для утреннего времени суток. При введении платы за проезд по улично-дорожной сети города с тарифом 30 руб. за 1 км доля передвижений на легковых автомобилях снижается с 40 до 16 %. Дальнейшие исследования направлены на учет влияния других социально-экономических и технологических факторов на структуру мобильности населения, а также на разработку методики определения сбалансированных тарифов для городской транспортной системы.

**Ключевые слова:** транспортное моделирование, макроскопическая модель, структура подвижности населения, пешеходное движение, легковой автомобиль, общественный и велотранспорт, время в пути, коэффициент загрузки

**Для цитирования:** Изменение параметров городской транспортной системы при введении платы с владельцев автомобилей за использование улично-дорожной сети и варьировании стоимости проезда в общественном транспорте / Д. А. Захаров [и др.] // *Наука и техника*. 2024. Т. 23, № 4. С. 336–344. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-4-336-344>

### Адрес для переписки

Капский Денис Васильевич  
Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь  
просп. Независимости, 66,  
220072, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 368-11-57  
[d.kapsky@gmail.com](mailto:d.kapsky@gmail.com); [d.kapsky@bntu.by](mailto:d.kapsky@bntu.by)

### Address for correspondence

Kapski Denis V.  
Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus  
66, Nezavisimosty Ave.,  
220072, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 368-11-57  
[d.kapsky@gmail.com](mailto:d.kapsky@gmail.com); [d.kapsky@bntu.by](mailto:d.kapsky@bntu.by)

## Changing the Parameters of the Urban Transport System with Introduction of Fees from Car Owners for Using the Road Network and Variations in Public Transport Fare

D. A. Zakharov<sup>1</sup>, E. M. Chikishev<sup>1</sup>, D. V. Kapski<sup>2</sup>, S. V. Skirkovski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Industrial University of Tyumen (Tyumen, Russian Federation),

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** The paper discusses issues of urban mobility of the population. In recent decades, Russia and Belarus has seen active urbanization and an increase in the proportion of residents in large cities. This process is accompanied by motorization. The municipal authorities are introducing the concept of priority to public transport, developing metro, trams and bicycle infrastructure. The above studies also note the difficulty of changing people's attitudes towards personal transport and the need to develop public transport. The hypothesis of the impact of measures to stimulate and demotivate the use of personal cars when traveling and the effectiveness of measures, including the organization of paid parking and reduction of parking spaces, is confirmed in the paper. A mathematical model has been developed for the effect of the cost of travel along 1 km of a highway on the number of movements by type of transport and the total travel time. A two-factor mathematical model has been developed for the effect of the cost of travel along 1 km of a highway and the cost of travel in public transport on the share of movements by type of transport and types of movement. The analysis of changes in the structure of population mobility and traffic parameters calculated using the macro model of the city of Tyumen, built in the PTV VISUM program for the morning time of day, is presented. With the introduction of tolls on the city's street and road network with a tariff of 30 rubles per 1 km, the share of movement by passenger cars decreases from 40 to 16 %. Further research is aimed at taking into account the influence of other socio-economic and technological factors on the structure of population mobility, as well as at developing a methodology for determining balanced tariffs for the urban transport system.

**Keywords:** transport modeling, macroscopic model, structure of population mobility, pedestrian traffic, private car, public and bicycle transport, total travel time, congestion coefficient

**For citation:** Zakharov D. A., Chikishev E. M., Kapski D. V., Skirkovski S. V. (2024) Changing the Parameters of the Urban Transport System with Introduction of Fees from Car Owners for Using the Road Network and Variations in Public Transport Fare. *Science and Technique*. 23 (4), 336–344. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-4-336-344> (in Russian)

### Введение

В последние десятилетия в России и Беларуси идет активная урбанизация территорий и увеличение доли жителей в городах. Данный процесс сопровождается автомобилизацией городов [1]. Для обеспечения качества транспортного обслуживания жителей городов муниципальные власти взяли курс на реализацию концепции приоритета общественному транспорту [2]: развивается скоростное автобусное сообщение, метро, трамваи, а также инфраструктура для езды на велосипеде. Параллельно в городах реализуются мероприятия по демотивации использования личных автомобилей, в том числе введение платных парковок и уменьшение количества парковочных мест в центральной части городов [3, 4]. С развитием информационных технологий, Интернета вещей (IoT), смартфонов и мобильных приложений началась активная реализация отдельных мероприятий в рамках концепции «Мобильность как услуга» (MaaS) [5]. Однако эти мероприятия не привели

к существенному изменению структуры мобильности населения. По-прежнему в часы пик в городах образуются транспортные заторы, которые влияют на затраты в экономике, потере времени людьми и ухудшение состояния окружающей среды.

В мегаполисах Индии транспортные заторы на дорогах и потеря времени на поездку на личном автомобиле не приводят к отказу от использования личного транспорта [6]. Для сокращения количества поездок на личных автомобилях важно повышать скорость передвижения на общественном транспорте, особенно на дальние расстояния, уровень сервиса и безопасности, а также увеличивать стоимость платных парковок.

В [7] изучалось влияние антропогенной среды на частоту использования общественного транспорта с учетом индивидуальных ценностей и мнения людей. Социологические опросы показали, что общественным транспортом чаще пользуются люди, живущие в районах с высокой плотностью населения, женщины, студенты

и безработные. Владельцы автомобилей реже пользуются общественным транспортом на дальние расстояния и велосипедами на короткие расстояния. Для общественного транспорта важны более низкая стоимость проезда пассажиров по сравнению с автомобилем и более короткое время в пути по сравнению с пешеходным движением или ездой на велосипеде.

Реализация концепции МaaS может повлиять не только на снижение индивидуальных поездок на автомобиле, но и на число передвижений на общественном транспорте за счет увеличения доли совместных поездок и использования автомобилей [8]. Авторы исследования отмечают сложность изменения отношения людей к личному автотранспорту и отказу от их использования, а также необходимость развития общественного транспорта и демотивации автовладельцев.

В [9] была выдвинута и подтверждена гипотеза, что меры стимулирования, связанные с минимизацией затрат и улучшением работы общественного транспорта, оказывают меньший эффект, чем меры демотивации автовладельцев, связанные с более высокими затратами на использование автомобилей. Выявлено, что мера стимулирования приемлема, когда у людей есть возможность сократить использование автомобиля и, следовательно, когда мера стимулирования связана с меньшими личными расходами. Отношение людей к мерам стимулирования различается в разных странах. Одним из способов снижения нагрузки на дорожную сеть является снижение общего пробега автомобилей за счет совместных поездок, когда несколько человек, движущихся в одном направлении, объединяются и едут в одном транспортном средстве [10]. Авторы исследования оценили потенциал совместного использования поездок в гипотетической системе мобильности по запросу, предназначенной для обслуживания всех поездок, совершаемых в режиме реального времени на личном автомобиле в Праге (Чехия). Результаты показывают, что при использовании стратегии совместного использования поездок, гарантирующей увеличение времени в пути не более чем на 10 мин, средняя вместимость транспортного средства увеличится на 2,7 пассажира. Следовательно,

общий пробег частных автомобилей снизится до 60 %.

Платные дороги в городах были введены в некоторых европейских городах более 30 лет назад. Важно изучить отношения населения к этим мероприятиям и тарифам, чтобы сформировать взвешенную политику в этом вопросе. В исследовании [11] был проведен опрос в Осло (Норвегия) за период 1989–1990 гг. и разработана многофакторная модель для выявления причин, определяющих отношение пользователей к дорожным сборам. Результаты показывают, что, хотя большинство пассажиров выступают против системы взимания сборов, разрыв между теми, кто против, и теми, кто выступает за систему взимания платы, со временем сокращается. Авторы приходят к выводу, что для достижения большей приемлемости дорожных сборов как средства финансирования дорожной инфраструктуры необходимы более широкие маркетинговые усилия.

Высокая интенсивность движения приводит к негативным последствиям: потере времени из-за заторов на дорогах, загрязнению воздуха и почвы, шуму, вкладу в изменение климата, вызванному выбросами парниковых газов, износу и повреждению дорог, увеличению риска аварий, дополнительному расходу топлива, снижению качества жизни [12]. Введение платы за проезд на городских дорогах направлено на снижение негативных последствий, поскольку схемы ценообразования варьируются в разных городах. Кроме того, введение платы за проезд приносит доход муниципалитетам. В исследовании [12] сравниваются три основных примера ценообразования на городских дорогах в Европе: Лондоне (Великобритания, функционирует с 2003 г.), Стокгольме (Швеция, работает с 2007 г., после испытательного периода в 2006 г.), Милане (Италия, используется с 2008 г., взимание платы за загрязнение окружающей среды в связи с пробками в 2012-м). С момента введения платных дорог на городских улицах были скорректированы тарифы и области применения. Факторы, определяющие различия в эффективности схем ценообразования, оценены с учетом эластичности спроса на транспорт для разработки мер воздействия на перегруженность дорог и оценки их эффективности.

Тарифы на проезд по городским дорогам влияют на спрос на транспорт и интенсивность движения, что, в свою очередь, влияет на экономические показатели развития территории. А уровень экономического развития влияет на спрос на транспорт и количество поездок на личном автомобиле [13]. Чем выше плотность населения и доля работающих, чем лучше планировка улиц и состояние функционирования общественного транспорта, тем меньше негативного влияния на регион оказывает введение платных дорог. Такие факторы, как небольшое количество рабочих мест и населения, плохая планировка улиц, малое число точек притяжения, будут влиять на величину платы за проезд на дорогах.

В 2020 г. Минтранс России анонсировал, что ведомство рассматривает вопрос введения в городах России бесплатного проезда на общественном транспорте и возможность введения платы за пользование городскими автомобильными дорогами. Информация получила широкий отклик от жителей городов. При этом представители ведомства не приводили никаких прогнозов о возможных изменениях, эффектах и тарифах. Через 1,5 года было объявлено о прекращении изучения данного вопроса. Однако, по мнению некоторых российских экспертов, например М. Я. Блинкина, в долгосрочной перспективе реализация такого подхода в обеспечении транспортного обслуживания населения городов станет возможной и необходимой.

### Методы исследования

Целью данного исследования является оценка изменения параметров городской транспортной системы при введении платы с владельцев автомобилей за проезд по городским автомобильным дорогам.

При изучении структуры подвижности населения и учете в макромоделе выбора пользователем способа поездки применяются эмпирические модели и модели, основанные на вероятностном дискретном выборе. Критерием выбора выступает максимальная полезность  $U_{ik}$  для пользователя, или минимальные затраты пользователя. Для вычисления вероятности выбора  $i$ -м пользователем  $K$ -го способа поездки в макромоделе используется мультимодальная логит-модель [14], по которой вычисляется вероятность выбора пользователем способа поездки  $K$

$$P(K) = \frac{e^{U_k}}{\sum_x e^{U_k}}. \quad (1)$$

В основе логит-модели используется логистическая функция вида

$$F(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}. \quad (2)$$

где  $z$  – линейная регрессия,  $z = a + a_1x_1 + \dots = a_kx_k$ .

Важным преимуществом применения в транспортной макромоделе города данного подхода является возможность спрогнозировать спрос на поездки и исследовать его изменение при реализации мероприятий транспортной политики: изменение стоимости или времени поездки за счет развития транспортной инфраструктуры.

Изучение влияния отдельных факторов (технологических, экономических, социально-демографических) на структуру подвижности населения выполняется для существующих городов в действующих транспортных моделях, при этом применяется вложенная логит-модель. Адекватность применяемой логит-модели проверяется на этапе разработки транспортной модели города при валидации и калибровке.

В данном исследовании применяется действующая транспортная модель с логит-моделью, которая имеет вид

$$f(U) = e^{cU}. \quad (3)$$

Объектом исследования является городская транспортная система крупного города, не имеющего внеуличного транспорта на примере г. Тюмени (Россия). Предмет исследования – структура передвижений по городу различными способами и видами транспорта при различных затратах на движение автомобилей по его дорогам.

Гипотеза исследования заключается в том, что зависимость количества и доли перемещений на индивидуальном и общественном транспорте от стоимости проезда по дорожной сети будет описываться экспоненциальным уравнением.

Математическая модель количества передвижений по видам транспорта в общем виде описывается уравнением

$$N_i = ae^{bS}, \quad (4)$$

где  $N_i$  – количество передвижений  $i$ -м видом транспорта/способом, ед.;  $S$  – стоимость проезда по 1 км городской автодороги, руб./1 км,  $a$ ,  $b$  – параметры математической модели,  $b < 0$  – для общественного транспорта и общего

количества передвижений,  $b > 0$  – для индивидуальных легковых автомобилей.

Вторая гипотеза исследования заключается в том, что введение платы с автовладельцев за использование дорожной сети приводит к уменьшению доли поездок по городу на личном транспорте и увеличению доли поездок на другом транспорте и методе передвижения.

Для проверки гипотезы и определения параметров математической модели (4) проведено имитационное моделирование и создана макроэкономическая модель в программе PTV VISUM. Выбор метода исследования обусловлен тем, что изучить влияние тарифа в реальных условиях невозможно по социальным и технологическим причинам. Для изучения таких сложных и больших систем, как транспортная система города, применяется моделирование, проводится построение модели системы и изучаются ее отдельные свойства [15]. Невозможно постоянно менять стоимость проезда в общественном транспорте, чтобы обеспечить область варьирования данного фактора в заданном диапазоне. Это вызовет путаницу в работе системы городского общественного транспорта, огромное недовольство людей и перевозчиков. Повышение тарифов требует обоснования и расчета финансовым департаментом муниципалитета и утверждения на уровне городской думы. Эксперимент с оценкой подвижности населения и изменение структуры подвижности в зависимости от затрат на проезд по городским автодорогам невозможно провести технически.

Использование макроэкономических транспортных моделей позволяет прогнозировать транспортный спрос и его перераспределение по видам транспорта, а также определять параметры функционирования городской транспортной системы в целом по городу, в каждом узле, участке и по отдельным маршрутам движения. Применение макроэкономического моделирования получило широкое распространение в мире, в том числе в мероприятиях и вариантах развития городских транспортных систем, направленных как на совершенствование транспортного предложения, так и на корректировку транспортного спроса.

Исследование проведено на макроэкономической транспортной модели города, для которой коэффициент корреляции составляет 0,89, а средняя относительная погрешность не превышает 20 %.

## Результаты исследования

При моделировании учитывались экономические параметры средней (55 тыс. руб.) и медианной (30 тыс. руб.) заработной платы в месяц в г. Тюмени. Матрица затрат на проезд различными видами транспорта и стоимости владения автомобилями в макроэкономической модели сформирована в ценах 2020 г. Результаты моделирования показывают изменение количества передвижений по видам транспорта и структуры мобильности населения при введении платы с владельцев автомобилей за движение по городским дорогам. При увеличении стоимости проезда количество (рис. 1а) и доля поездок (рис. 1б) на личных автомобилях снижается, а на общественном транспорте, велосипедах, средствах индивидуальной мобильности (СИМ) и пешком – увеличивается.

При повышении тарифа дорожного сбора до 100 рос. руб. за 1 км количество передвижений на легковых автомобилях снижается в 4,33 раза, а количество передвижений на общественном транспорте, велотранспорте и средствах индивидуальной мобильности, пешеходных передвижений увеличивается соответственно в 2; 2,07 и 1,78 раза. Увеличение общего количества перемещений связано с увеличением количества поездок на общественном транспорте с пересадками. При поездке на общественном транспорте с пересадками одна поездка на личном автомобиле заменяется двумя поездками на разных автобусных маршрутах. Общее количество поездок увеличивается на 23,6 %.

Результаты первого этапа исследования показали, что влияние стоимости проезда в общественном транспорте на количество и долю передвижений по видам транспорта и способам передвижения описывается линейной моделью и имеет коэффициент корреляции 0,9. Двухфакторная модель влияния стоимости проезда в общественном транспорте и улично-дорожной сети города на долю проезда по видам транспорта описывается двухфакторной математической моделью на смешанных эффектах

$$\Delta N_i = \Delta N_{io} + aS_{PT} + be^{cS_{priv}} + dS_{PT}e^{cS_{priv}}, \quad (5)$$

где  $\Delta N_i$  – доля поездок на личном и общественном транспорте на велосипеде и пешком;  $S_{PT}$  – стоимость проезда в общественном транспорте, рос. руб.;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – параметры математической модели.

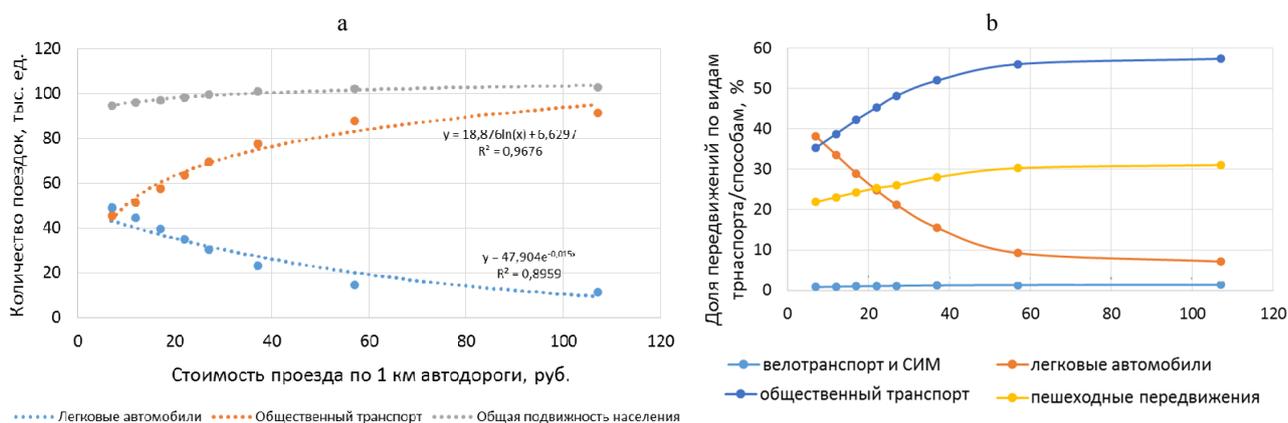


Рис. 1. Влияние стоимости проезда по 1 км дороги на количество поездок и долю поездок на видах транспорта в городах: а – количество поездок; б – доля поездок

Fig. 1. Influence of the cost of travel per 1 km of road on the number of trips and the share of trips by type of transport in cities: а – number of trips; б – share of trips

Графические изображения двухфакторной модели влияния стоимости проезда в общественном транспорте и стоимости проезда

по 1 км автодороги на долю передвижений пешком и по видам транспорта представлены на рис. 2.

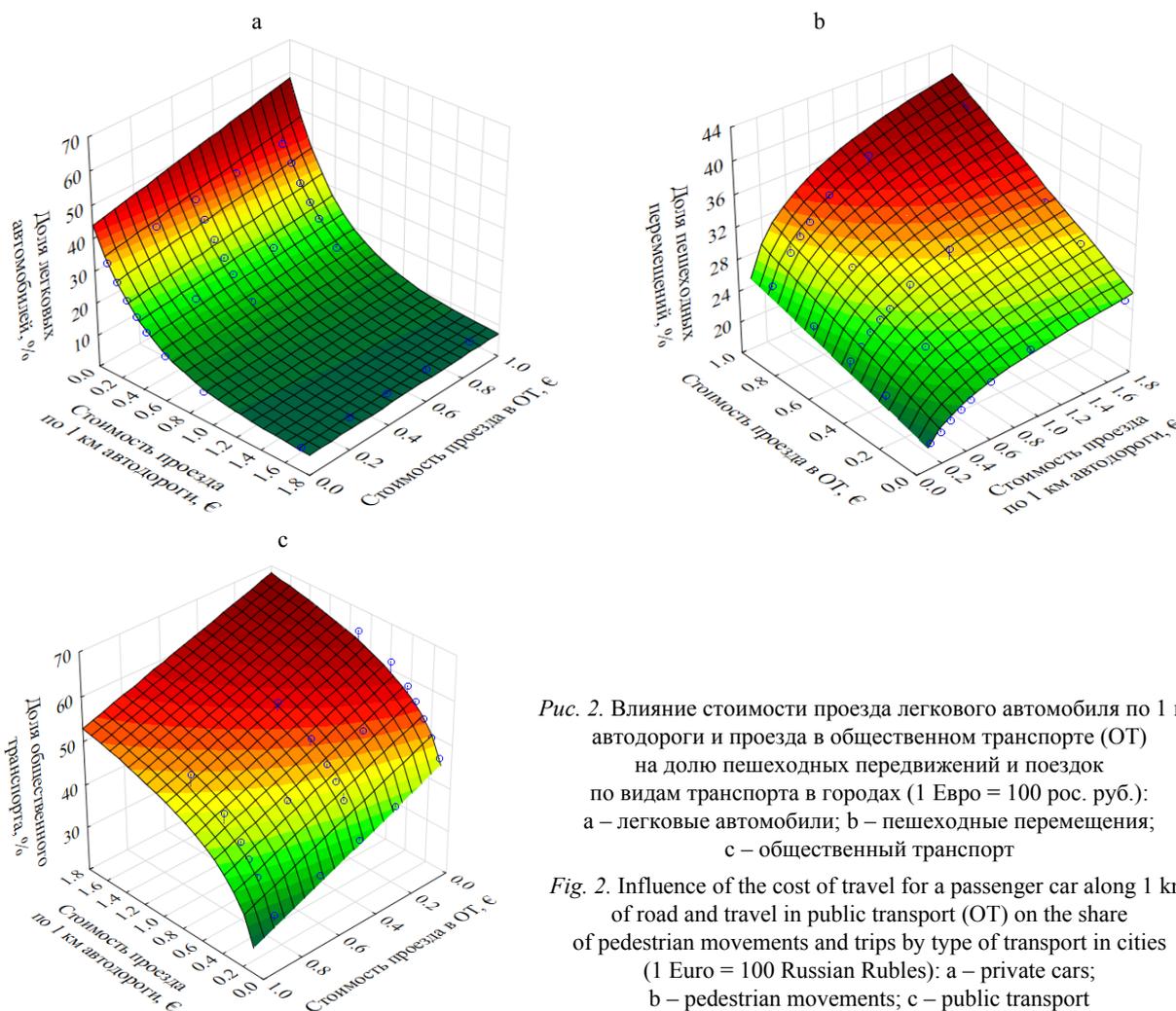


Рис. 2. Влияние стоимости проезда легкового автомобиля по 1 км автодороги и проезда в общественном транспорте (ОТ) на долю пешеходных передвижений и поездок по видам транспорта в городах (1 Евро = 100 рос. руб.): а – легковые автомобили; б – пешеходные передвижения; с – общественный транспорт

Fig. 2. Influence of the cost of travel for a passenger car along 1 km of road and travel in public transport (OT) on the share of pedestrian movements and trips by type of transport in cities (1 Euro = 100 Russian Rubles): а – private cars; б – pedestrian movements; с – public transport

Результаты исследования показали, что модель влияния стоимости проезда в общественном транспорте и стоимости проезда за 1 км по городской дороге на долю видов транспорта и передвижения является адекватной и имеет коэффициент корреляции 0,93.

Вторая гипотеза заключается в том, что уменьшение количества поездок на личном транспорте с введением платных дорог приводит к уменьшению времени в пути за счет снижения уровня загруженности дорог.

Математическая модель влияния стоимости проезда по городским дорогам на общее время проезда автомобилей в общем виде описывается уравнением:

$$T_{priv.car} = ae^{bs}, \quad (6)$$

где  $T_{priv.car}$  – суммарное время в пути на легковых автомобилях, ч,  $S$  – стоимость проезда по 1 км городской автодороги, рос. руб./1 км,  $a, b$  – параметры математической модели.

Результаты моделирования для Тюмени показывают уменьшение времени в пути легковых автомобилей при увеличении стоимости проезда по городским дорогам (рис. 3а). С введением тарифа 10 рос. руб. за 1 км общее время в пути на автомобиле сокращается на 14,8 %. Это значительно больше, чем при введении бесплатного проезда на общественном транспорте. Аналогичному изменению доли поездок на личном автомобиле соответствует введение платных парковок в центральной части города общим количеством 5,5 тыс. мест с тарифом 50 рос. руб. за 1 ч [16].

Для оценки уровня загруженности дорог используется коэффициент загруженности дорог, характеризующий увеличение времени в пути в часы пик по сравнению с аналогичным показателем при движении в межпиковое время и отсутствии пробок на дорогах. Коэффициент перегруженности определяется по формуле

$$K_3 = \frac{t_a}{t_0}, \quad (7)$$

где  $K_3$  – коэффициент затора;  $t_a$  – итоговое время в пути всех транспортных средств в час пик, ч;  $t_0$  – итоговое время в пути всех транспортных средств в межпиковое время, ч.

Результаты моделирования показали, что в утренний час пик для Тюмени средний коэффициент заторов составляет 1,24, а при увеличении платы до 100 рос. руб. этот коэффициент снижается до 1,1 (рис. 3б).

### Обсуждения

Одним из способов воздействия на структуру мобильности населения является введение платных парковок и повышение тарифов на парковку автомобилей. Разница между влиянием платной парковки и введением платы за проезд по дорожной сети заключается в зонах охвата и влиянии различных факторов. Платные парковки создаются, как правило, в центральной части города для снижения доли трафика на маршрутах движения автомобилей в центр города.

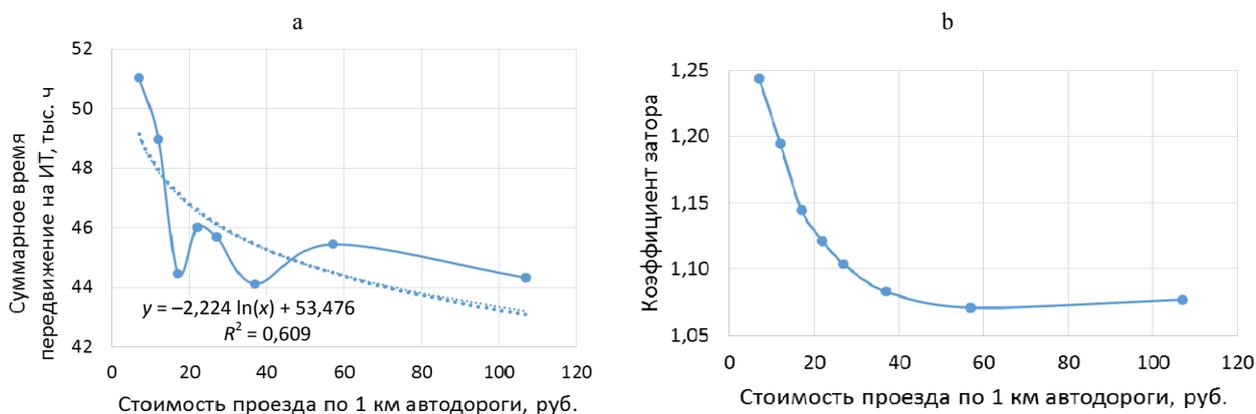


Рис. 3. Влияние стоимости проезда по 1 км автомобильной дороги на общее время в пути на индивидуальном транспорте (ИТ) и коэффициент затора: а – суммарное время передвижения на индивидуальном транспорте; б – коэффициент затора

Fig. 3. Influence of the cost of travel along 1 km of highway on the total travel time by individual transport (ИТ) and congestion factor: а – total travel time by individual transport; б – congestion factor

С введением платных дорог в городах изменение структуры мобильности населения меняется более равномерно по всем районам. В этом случае существенное влияние на транспортный спрос и количество передвижений на автомобилях оказывает длина маршрута.

При расстоянии поездки 3 км стоимость проезда по автомобильным дорогам из расчета 10 рос. руб. за 1 км соответствуют 1,5 ч парковки легкового автомобиля в центре Тюмени при парковочном тарифе 40 рос. руб. за 1 ч. Для автовладельца, использующего личный транспорт для поездок с рабочими целями при относительно небольшом среднесуточном пробеге (7 км), оплата за проезд по автомобильным дорогам выгоднее, чем оплата 9 ч парковки (360 рос. руб. при тарифе 40 рос. руб. за 1 ч) с учетом тарифа за проезд по автодорогам до 50 рос. руб. за 1 км.

## ВЫВОДЫ

Проанализировав результаты моделирования, можно сделать ряд выводов и рекомендаций, которые федеральным властям следует принять во внимание при возвращении к обсуждению вопроса введения платы за движение по городским дорогам.

1. Тарифы за пользование автомобильными дорогами, в том числе при совершении агломерационных поездок, оказывают существенное влияние на модель транспортного поведения населения городов.

2. Стоимость проезда в городском общественном транспорте оказывает относительно небольшое влияние на модель транспортного поведения по сравнению со стоимостью владения личным автомобилем, в том числе посредством сдерживания муниципалитетами роста тарифов на общественном транспорте за счет бюджетных дотаций перевозчикам.

3. Тарифы за пользование автомобильными дорогами могут составлять значительную часть от стоимости владения автомобилем, которая, в свою очередь, является важнейшим фактором, влияющим на структуру подвижности населения городов.

4. Возможность влияния органами исполнительной власти всех уровней (федеральной, региональной, муниципальной) на стоимость владения личным автомобилем является механизмом управления транспортным спросом и обеспечения устойчивой мобильности.

5. Целесообразно проведение исследований и изучение с применением социологических исследований и транспортного моделирования

изменения структуры подвижности населения и параметров дорожного движения.

6. Дифференцировать тарифы необходимо с учетом географических, социально-экономических, демографических характеристик городов и уровня развития транспортной и дорожной инфраструктуры.

7. Целесообразно учитывать изменения уровня загрузки и эффективности использования дорожной инфраструктуры, затраты на развитие общественного транспорта.

8. Необходимо разработать модель определения сбалансированного тарифа за проезд по городским автодорогам с учетом экономических, социальных и технологических критериев.

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».

## ЛИТЕРАТУРА

- Diao, M. Towards Sustainable Urban Transport in Singapore: Policy Instruments and Mobility Trends / M. Diao // *Transport Policy*. 2019. Vol. 81. P. 320–330. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.005>.
- Errampalli, M. Development and Evaluation of an Integrated Transportation System: A Case Study of Delhi / M. Errampalli, R. S. Chalumuri, R. Nath // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Transport*. 2018. Vol. 171, No 2. P. 75–84. <https://doi.org/10.1680/jtran.16.00003>.
- Van Ommeren, J. N. Empirical Evidence on Cruising for Parking / J. N. Van Ommeren, D. Wentink, P. Rietveld // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2012. Vol. 46, No 1. P. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.011>.
- Willson, R. W. Parking Subsidies and Travel Choices: Assessing the Evidence / R. W. Willson, D. C. Shoup // *Transportation*. 1990. Vol. 17. P. 141–157. <https://doi.org/10.1007/BF02125333>.
- Cottrill, C. Leveraging Big Data for the Development of Transport Sustainability Indicators / C. Cottrill, S. Derrible // *Journal of Urban Technology*. 2015. Vol. 22. P. 45–64. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942094>.
- Chakrabarti, S. Passively Wait for Gridlock, or Proactively Invest in Service? Strategies to Promote Car-To-Transit Switches Among Aspirational Urbanites in Rapidly Developing contexts / S. Chakrabarti // *Transport Policy*. 2022. Vol. 115. P. 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.11.018>.
- What Explains Public Transport use? Evidence from seven European Cities / M. Gascon [et al.] // *Transport Policy*. 2020. Vol. 99. P. 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.08.009>.
- Alyavina, E. Mobility as a Service and Sustainable Travel Behaviour: A thematic Analysis Study / E. Alyavina, A. Nikitas, E. Tchouamou Njoya // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2020. Vol. 73. P. 362–381. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.07.004>.
- When Personal Norms Predict the Acceptability of Push and Pull Car-Reduction Policies: Testing the ABC Model and Low-Cost Hypothesis / M. Keizer [et al.] // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*.

2019. Vol. 64. P. 412–423. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.06.005>.
10. The Impact of Ridesharing in Mobility-on-Demand Systems: Simulation Case Study in Prague / D. Fiedler [et al.] // 21<sup>st</sup> International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2018 November. IEEE, 2018. P. 1173–1178. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569451>.
  11. Odeck, J. On Public Attitudes Toward Implementation of Toll Roads – The Case of Oslo Toll Ring / J. Odeck, S. Bråthen // *Transport Policy*. 1997. Vol. 4, No 2. P. 73–83. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(97\)00008-5](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(97)00008-5).
  12. Croci, E. Urban Road Pricing: a Comparative Study on the Experiences of London, Stockholm and Milan / E. Croci // *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.062>.
  13. Distinguishing the Land Use Effects of Road Pricing Based on the Urban Form Attributes / S. Zhong [et al.] // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2015. Vol. 74. P. 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.02.009>.
  14. Основы транспортного моделирования: практическое руководство / А. Е. Горев [и др.]. СПб.: КОСТА, 2015. 168 с.
  15. Estimating the Parameters of Traffic Flows on the Basis of Processing of Localization Data on the Movement of Vehicles / D. Kapski [et al.] // *Communications – Scientific Letters of the University of Žilina*. 2019. Vol. 21, No 2. P. 89–99. <https://doi.org/10.26552/com.C.2019.2.89-99>.
  16. Zakharov, D., Fadyushin, A. The Efficiency of Some Activities for the Development of Urban Infrastructure for public transport, cyclists and pedestrians / D. Zakharov, A. Fadyushin // *WIT Transactions on the Built Environment*. 2021. Vol. 204. P. 291–298. <https://doi.org/10.2495/TDI-V5-N2-136-149>.
  6. Chakrabarti S. (2022) Passively Wait for Gridlock, or Proactively Invest in Service? Strategies to Promote Car-to-Transit Switches Among Aspirational Urbanites in Rapidly Developing Contexts. *Transport Policy*, 115, 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.11.018>.
  7. Gascon M., Marquet O., Gràcia-Lavedan E., Ambròs A., Götschi T., deNazelle A., Panis L. I., Gerike R., Brand C., Dons E., Eriksson U., Iacorossi F., Àvila-Palència I., Cole-Hunter T., Nieuwenhuis M. J. (2020) What Explains Public Transport Use? Evidence from Seven European Cities. *Transport Policy*, 99, 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.08.009>.
  8. Alyavina E., Nikitas A., Tchouamou Njoya E. (2020) Mobility as a Service and Sustainable Travel Behaviour: A Thematic Analysis Study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 73, 362–381. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.07.004>.
  9. Keizer M., Sargisson R. J., van Zomeren M., Steg L. (2019) When Personal Norms Predict the Acceptability of Push and Pull Car-Reduction Policies: Testing the ABC Model and Low-Cost Hypothesis. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 412–423. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.06.005>.
  10. Fiedler D., Čertický M., Alonso-Mora J., Čáp M. The Impact of Ridesharing in Mobility-on-Demand Systems: Simulation Case Study in Prague. *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2018 November*. IEEE, 1173–1178. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569451>.
  11. Odeck J., Bråthen S. On Public Attitudes Toward Implementation of Toll Roads – The Case of Oslo Toll Ring. *Transport Policy*, 4 (2), 73–83. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(97\)00008-5](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(97)00008-5).
  12. Croci E. (2016) Urban Road Pricing: a Comparative Study on the Experiences of London, Stockholm and Milan. *Transportation Research Procedia*, 14, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.062>.
  13. Zhong S., Wang S., Jiang Y., Yu B., Zhang W. (2015) Distinguishing the Land Use Effects of Road Pricing Based on the Urban form Attributes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.02.009>.
  14. Gorev A. E., Bettger K., Prokhorov A. V., Gizatullin R. R. (2015) *Transport Modeling Fundamentals*. Saint-Petersburg, KOSTA Publ. 168 (in Russian).
  15. Kapski D., Kasyanik V., Lobashov O., Kaptsevich O., Galkin A. (2019) Estimating the Parameters of Traffic Flows on the Basis of Processing of Localization Data on the Movement of Vehicles. *Communications – Scientific Letters of the University of Žilina*, 21 (2), 89–99. <https://doi.org/10.26552/com.C.2019.2.89-99>.
  16. Zakharov D., Fadyushin A. (2021) The Efficiency of Some Activities for the Development of Urban Infrastructure for Public Transport, Cyclists and Pedestrians. *WIT Transactions on the Built Environment*, 204, 291–298. <https://doi.org/10.2495/TDI-V5-N2-136-149>.

Поступила 16.04.2024

Подписана к печати 18.06.2024

Опубликована онлайн 31.07.2024

#### REFERENCES

1. Diao M. (2019) Towards Sustainable urban Transport in Singapore: Policy Instruments and Mobility Trends. *Transport Policy*, 2019, 81, 320–330. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.005>.
2. Errampalli M., Chalumuri R. S., Nath R. (2018) Development and Evaluation of an Integrated Transportation System: A Case Study of Delhi. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Transport*, 171 (2), 75–84. <https://doi.org/10.1680/jtran.16.00003>.
3. Van Ommeren J. N., Wentink D., Rietveld P. (2012) Empirical Evidence on Cruising for Parking. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46 (1), 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.011>.
4. Willson R. W., Shoup D. C. (1990) Parking Subsidies and Travel Choices: Assessing the Evidence. *Transportation*, 17, 141–157. <https://doi.org/10.1007/BF02125333>.
5. Cottrill C., Derrible S. (2015) Leveraging Big data for the Development of Transport Sustainability Indicators. *Journal of Urban Technology*, 22, 45–64. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942094>.

Received: 16.04.2024

Accepted: 18.06.2024

Published online: 31.07.2024