

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВВЕДЕНИИ ПЛАТЫ С ВЛАДЕЛЬЦЕВ АВТОМОБИЛЕЙ ЗА ПОЛЬЗОВАНИЕ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТЬЮ

Д. А. Захаров, П. В. Евтин
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

CHANGING THE PARAMETERS OF THE URBAN TRANSPORT SYSTEM WITH THE INTRODUCTION OF A FEE FROM CAR OWNERS FOR THE USE OF THE ROAD NETWORK

Dmitrii A. Zakharov, Pavel V. Evtin
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы изменения городской мобильности населения в случае введения платы с владельцев автомобилей за движение по городским автомобильным дорогам. Разработана математическая модель влияния стоимости проезда по 1 км автодороги на количество и долю передвижений по видам транспорта и способам передвижения. Проведен анализ изменения структуры подвижности населения и рассчитанных с применением имитационной макромодели города Тюмени в программе PTV VISUM параметров дорожного движения 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 %.

Abstract. The article deals with the issues of changing the urban mobility in the case of the introduction of toll for car owners on urban roads. A mathematical model of the influence of the cost of the 1 km road travel on the number and share of movements by transport types and movement modes has been developed. The analysis of changes in the structure of population mobility and traffic parameters for the morning time, calculated using a simulation macromodel of Tyumen in the program PTV VISUM is given. With the introduction of tolls on the city road network with a tariff of 30 rubles per 1 km the share of movements by passenger cars is reduced from 40 to 16 %.

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

Key words: transport modeling, macroscopic model, structure of population mobility, passenger car, public and bicycle transport, pedestrian traffic, travel time

Для цитирования: Захаров, Д. А. Изменение параметров городской транспортной системы при введении платы с владельцев автомобилей за пользование улично-дорожной сетью / Д. А. Захаров, П. В. Евтин. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-3-56-64. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 3 (101). – С. 56–64.

For citation: Zakharov, D. A., & Evtin, P.V. (2022). Changing the parameters of the urban transport system with the introduction of a fee from car owners for the use of the road network. Architecture, Construction, Transport, (3(101)), pp. 56-64. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2022-3-56-64.

Введение

В последние десятилетия в России идет активная урбанизация территорий и увеличивается доля жителей в крупных и крупнейших городах. Данный процесс сопровождается автомобилизацией городов [1, 2]. Для обеспечения качества транспортного обслуживания жителей Минтранс России взял курс на обеспечение приоритетного проезда общественного транспорта [3]. В рамках национального проекта «Безопасные и качественные дороги» регионам предоставляется софинансирование на замену подвижного состава, в том числе на приобретение электротранспорта (троллейбусов, трамваев), развитие интеллектуальных транспортных систем. Параллельно в городах реализуются мероприятия по демотивации использования личных автомобилей (введение платных парковок, уменьшение количества парковочных мест в центральной части и т. д.) [4]. Однако данные шаги не привели к существенному изменению структуры подвижности населения. По-прежнему в часы пик в городах образуются транспортные заторы, которые ведут к экономическим затратам, потере времени людьми и ухудшению экологической обстановки.

Вопросам повышения качества транспортного обслуживания населения в российских городах посвящено большое количество работ [5, 6]. Отдельные исследования проводились и для Тюмени [7].

По данным СМИ, в 2020 году Минтранс России анонсировал возможность введения в городах бесплатного проезда в общественном транспорте и платы за пользование городскими автомобильными дорогами [8]. Информация получила широкий отклик среди жителей. При этом представители ведомства не приводили никаких прогнозов о возможных изменениях, эффектах и тарифах. Через 1,5 года было объявлено о прекращении проработки данного вопроса. Однако, по мнению экспертов, например, М. Я. Блинкина, в долгосрочной перспективе реализация данного подхода в обеспечении транспортного обслуживания населения городов является возможной и необходимой.

Введение платы за проезд по автомобильным дорогам позволяет разработать механизм воздействия оператора платной автодороги на интенсивность движения автомобилей. Одним из способов влияния являются дифференцированные по времени тарифы. Повышая тариф в час пик, можно снижать транспортный спрос на передвижение на личном транспорте, а снижая его в межпиковое время, делать более доступным движение на личных автомобилях [9].

Исследования по созданию платных дорог показали [10], что автовладельцы готовы платить в 2,6 раза меньше, чем требуется для полной окупаемости проекта, при этом строительство новой платной дороги – альтернативы существу-

ющим маршрутам движения с большими транспортными заторами – считают необходимым 98 % опрошенных респондентов.

В работе О. В. Львовой [11] рассмотрен вопрос строительства путепровода через железную дорогу в г. Рязани и платной городской автомобильной дороги, которые являются новым въездом в центральную часть города. Данный маршрут позволяет сэкономить время при передвижении, на основе этого построена функциональная зависимость выручки от стоимости перемещения по платной автодороге, которая описывается полиномом второй степени. Зависимость установлена с применением имитационного моделирования в программе PTV Visum. Наибольшая выручка отмечается при стоимости проезда 13-14 рублей с одного автомобиля.

Объект и методы исследования

Влияние стоимости проезда на общественном транспорте и введение бесплатного проезда были рассмотрены в работе [12]. Целью данного исследования является оценка изменения параметров городской транспортной системы при введении платы с владельцев легковых автомобилей за проезд по городским автомобильным дорогам.

Гипотеза исследования – введение платы с владельцев автомобилей за пользование улично-дорожной сетью ведет к уменьшению доли передвижений по городу на личном транспорте и увеличению доли передвижений другими видами транспорта и способами.

Объектом исследования является городская транспортная система Тюмени. Предметом – структура передвижений по городу различными способами и видами транспорта при различных затратах на движение автомобилей по городским автодорогам.

Исследования проводились с применением математического и имитационного моделирования.

Экспериментальная часть и результаты

Математическую модель количества передвижений по видам транспорта в общем виде предлагается описывать уравнением

$$N_i = a \cdot e^{b \cdot S}, \quad (1)$$

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.

Для проверки гипотез и определения параметров математических моделей (формулы 1 и 2) проведено имитационное моделирование и создана макроскопическая модель в программе PTV VISUM. Выбор метода исследования обусловлен тем, что изучить влияние стоимости проезда 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, изучаются ее отдельные свойства.

Применение макроскопических транспортных моделей позволяет выполнять прогнозирование транспортного спроса и его перераспределение по видам транспорта [13], а также определять параметры функционирования городской транспортной системы в целом по городу, в каждом узле, отрезке и по отдельным маршрутам движения.

Применение макромоделирования получило широкое распространение в мире и в нашей стране [14, 15]. В данных работах рассматриваются различные мероприятия и варианты развития городских транспортных систем, направленные как на совершенствование транспортного предложения, так и на корректировку транспортного спроса.

При моделировании учитывались экономические параметры средней (55 тыс. руб.) и средней (30 тыс. руб.) заработной платы в месяц в Тюмени. Матрица затрат на передвижение различными видами транспорта и стоимость владения автомобилями в макромоделе сформирована в ценах 2020 года. В имитационной модели

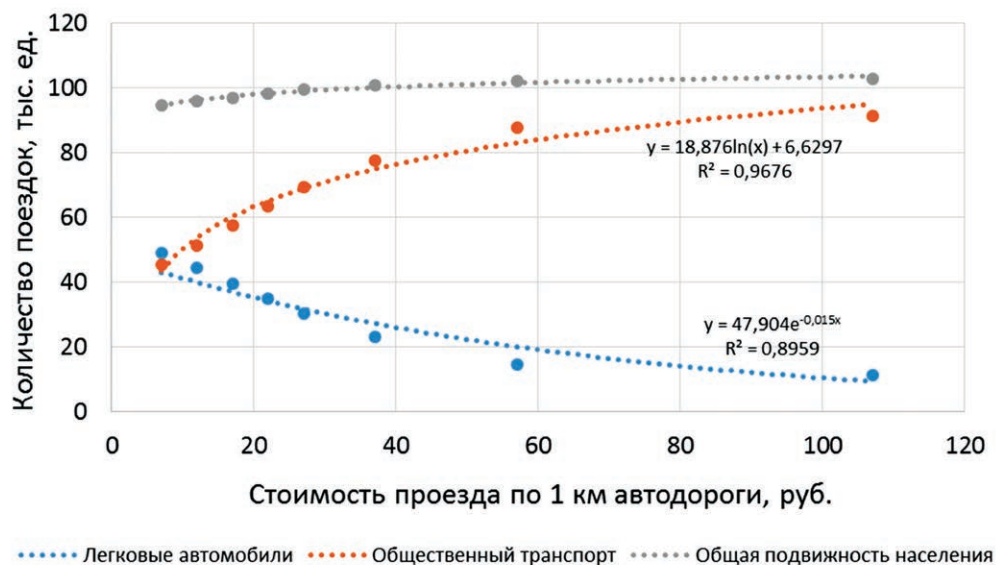


Рис. 1. Влияние стоимости проезда по 1 км автодороги на количество передвижений в городе на индивидуальном и общественном транспорте

учитывается стоимость проезда в общественном транспорте Тюмени. Результаты моделирования показывают изменение количества передвижений по видам транспорта/способам передвижения и структуры подвижности населения при введении платы с владельцев автомобилей за движение по городским автомобильным дорогам. При увеличении стоимости проезда количе-

ство (рис. 1) и доля передвижений (рис. 2) на личных автомобилях снижается, а на общественном транспорте, велосипеде, СИМ и пешком – увеличивается. В отдельных случаях при удалении остановочного пункта общественного транспорта от места проживания или работы/учебы одна корреспонденция состоит из двух передвижений: на автобусе и пешком. Это приводит к уве-

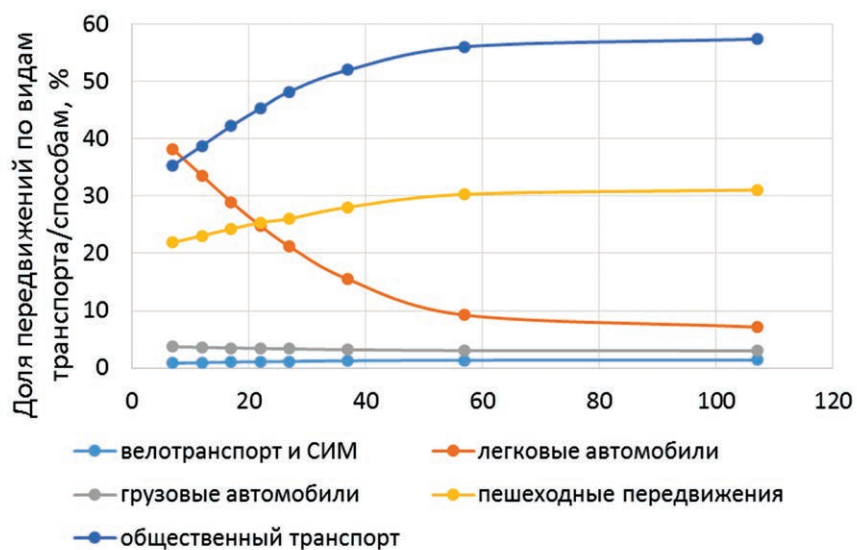


Рис. 2. Влияние стоимости проезда по 1 км автодороги на долю передвижений по видам транспорта/способам в городах

личению общего количества передвижений с ростом стоимости проезда по автодорогам города (рис. 1).

При увеличении тарифа до 100 руб. за 1 км количество передвижений на автомобилях снижается в 4,33 раза, а количество перемещений на общественном транспорте, велотранспорте и СИМ, а также пешком увеличивается в 2, 2,07, 1,78 раза соответственно. Рост общего количества передвижений обусловлен 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 маршрутах автобусов. 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 с коэффициентом корреляции 0,9.

Вторая гипотеза – уменьшение количества поездок на личном автотранспорте при введении платы за движение по городским автодорогам ведет к уменьшению времени в пути за счет снижения уровня загрузки на автодорогах.

Математическую модель влияния стоимости проезда по городским автомобильным дорогам

на суммарное время в пути на автомобилях в общем виде предлагается описывать уравнением

$$T_{ИТ} = a \cdot e^{b \cdot S}, \quad (2)$$

где $T_{ИТ}$ – суммарное время в пути на легковых автомобилях, ч,

S – стоимость проезда по 1 км городской автодороги, руб./1 км,

a, b – параметры математической модели.

Результаты моделирования для Тюмени показывают уменьшение времени в пути на легковых автомобилях при увеличении стоимости проезда по городским автомобильным дорогам (рис. 3).

При введении тарифа 10 руб. за 1 км итоговое время в пути на автомобилях уменьшается на 14,8 %. Это существенно больше, чем при введении бесплатного проезда на общественном транспорте. Аналогичное изменение доли передвижений на личных автомобилях соответствует введению платных парковок в центральной части города общей численностью 5,5 тыс. мест с тарифом 50 руб. за 1 час [16].

Для оценки уровня транспортных заторов применяется коэффициент затора, который характеризует увеличение времени в пути в часы пик по сравнению с аналогичным показателем при движении в межпиковое время и отсутствии

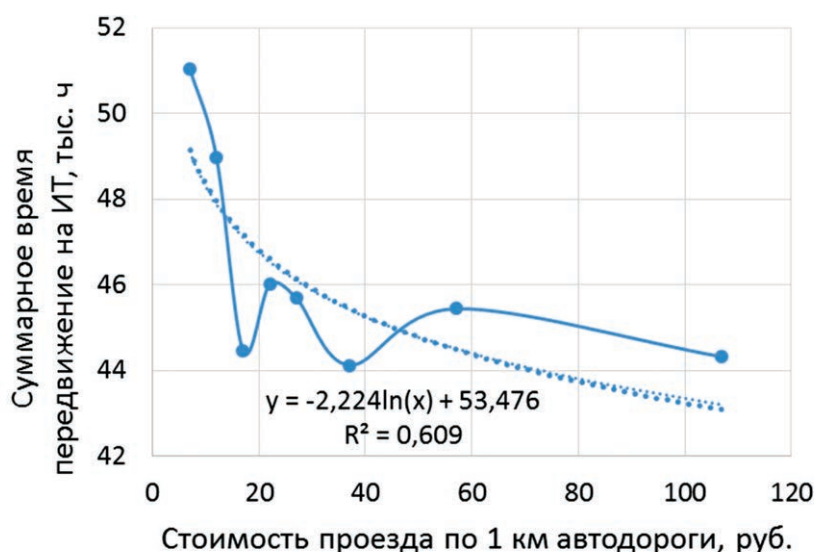


Рис. 3. Влияние стоимости проезда по 1 км автодороги на итоговое время в пути в утреннее время

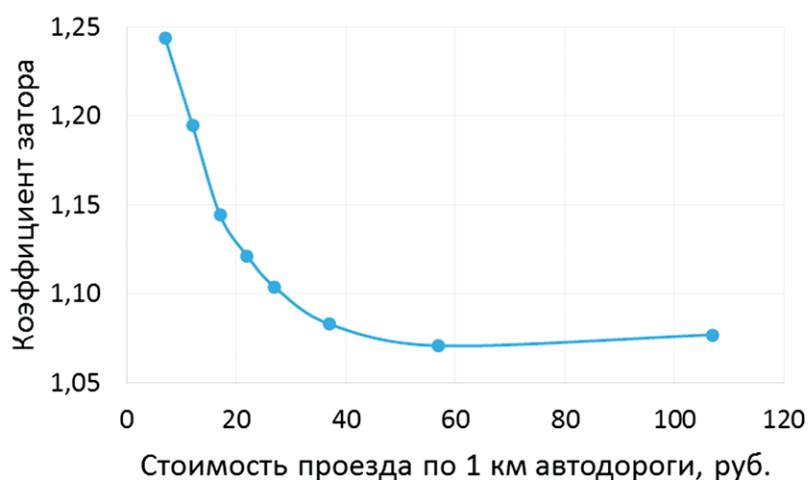


Рис. 4. Влияние стоимости проезда по 1 км автодороги на коэффициент затора в утреннее время

транспортных заторов. Коэффициент затора определяется по формуле

$$K_3 = \frac{t_a}{t_o}, \quad (3)$$

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

Результаты моделирования показали, что в утренний час пик для Тюмени коэффициент затора в среднем составляет 1,24 и при увеличении платы до 100 руб. данный коэффициент снижается до 1,1 (рис. 4).

Коэффициент затора и интенсивность его изменения существенно зависят от сложности схемы организации дорожного движения, режимов работы светофорных объектов и пропускной способности улично-дорожной сети в городе. Другой способ влияния на структуру подвижности населения – создание платных парковок и увеличение тарифов за парковку автомобилей.

Введение платных парковок и платы за проезд по улично-дорожной сети по-разному влияет на структуру подвижности населения и параметры дорожного движения в пространстве. Влияние факторов отличается площадью зон охвата и степенью воздействия. Платные парковки созда-

ются, как правило, в центральной части города, и доля передвижений снижается по маршрутам движения автомобилей в центр города. При введении платы за проезд по городским дорогам изменение структуры подвижности населения происходит по всей территории города более равномерно. В данном варианте существенное влияние оказывает длина маршрута.

При расстоянии поездки 3 км затраты за проезд по автомобильным дорогам при тарифе 10 руб. за 1 км соответствуют 1,5 ч парковки легкового автомобиля в центре Тюмени при тарифе 40 руб. за 1 час. Для автовладельца, использующего личный автомобиль для поездок с рабочими целями при относительно небольшом среднесуточном пробеге (7 км), оплата за проезд по автомобильным дорогам при тарифе до 50 руб. за 1 км выгоднее, чем оплата 9 часов парковки (360 руб. при тарифе 40 руб. за 1 час).

Выводы

Проанализировав результаты моделирования, можно сделать ряд выводов и рекомендаций для органов федеральной власти в случае возвращения к обсуждению вопроса введения платы за движение по городским автомобильным дорогам:

- целесообразно изучить с применением социологических исследований и транспорт-

- ного моделирования изменение структуры подвижности населения и параметров дорожного движения;
- необходимо дифференцировать тарифы с учетом географических, социально-экономических, демографических характеристик городов и уровня развития транспортной и дорожной инфраструктуры;
 - целесообразно учитывать изменения уровня загрузки и эффективности использования дорожной инфраструктуры, затраты на развитие общественного транспорта;
 - необходимо разработать модель определения сбалансированного тарифа за проезд по городским автодорогам с учетом экономических, социальных и технологических критериев.
- Дальнейшим направлением исследования является построение многофакторной мате-

матической модели, учитывающей влияние на структуру подвижности населения и параметры городской транспортной системы и других факторов: повышения стоимости новых и б/у автомобилей из-за санкционных ограничений, влияния пандемии Covid-19, демографической структуры населения и изменения тренда автомобилизации в городах с учетом развития концепции «Мобильность как услуга», в том числе с учетом уровня развития средств индивидуальной мобильности.

Введение просчитанных и сбалансированных демотивационных мероприятий по использованию личных автомобилей в городах может быть одним из способов экономии бюджетных средств для строительства и реконструкции улично-дорожной сети с последующим их перераспределением на другие социальные и инфраструктурные объекты.

Библиографический список

1. Захаров, Н. С. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города : монография / Н. С. Захаров, Е. Ф. Бояркина. – Тюмень : ТИУ, 2011. – 160 с. – Текст : непосредственный.
2. Солодкий, А. И. Проблемы функционирования транспортной инфраструктуры крупных городов России и пути их решения (на примере Санкт-Петербурга) / А. И. Солодкий. – Текст : непосредственный // Транспортное планирование и моделирование: сборник трудов международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 26–27 мая 2016 года. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2016. – С. 136–145.
3. Зырянов, В. В. Приоритетное движение общественного транспорта: развитие методов организации / В. В. Зырянов, А. А. Мирончук. – Текст : непосредственный // Транспорт РФ. – 2012. – № 3-4 (40-41). – С. 22–25.
4. Исследования по установлению платы на парковках в пределах Бульварного кольца города Москвы / П. И. Поспелов, Д. С. Мартяхин, Д. М. Строков [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2017. – № 1 (48). – С. 78–84.
5. Пиров, Ж. Т. Влияние распределения транспортных потоков на скорость сообщения на сегментах городских улиц с регулируемым движением / Ж. Т. Пиров, А. Ю. Михайлов. – DOI 10.25198/2077-7175-2020-2-115. – Текст : непосредственный // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 2. – С. 115–124.
6. Зырянов, В. В. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС / В. В. Зырянов, А. А. Феофилова, Н. Н. Чуклинов. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 1 (60). – С. 74–80.
7. Захаров, Д. А. Особенности развития дорожной инфраструктуры в городе Тюмени / Д. А. Захаров, Е. В. Дрогалева, В. С. Мариллов. – Текст : непосредственный // Строительный вестник. – № 2 (80). – 2017. – С. 56–61.

-
8. Минтранс предложил готовиться к бесплатному транспорту и платным дорогам. Насколько реализуема эта идея в России. – Текст : электронный // РБК : сайт. – 2022. – URL: <https://www.rbc.ru/society/11/09/2020/5f58d4489a7947771a7c09e1> (дата обращения: 01.06.2022).
 9. Талавира, А. Ю. Оценка изменения тарифов платной дороги в условиях повышенной транспортной нагрузки / А. Ю. Талавира, М. Б. Ласкин. – DOI 10.21686/2500-3925-2021-5-4-13. – Текст : непосредственный // Статистика и экономика. – 2021. – Т. 18. – № 3. – С. 12–26.
 10. Мошкевич, М. Л. Анализ целесообразности строительства платных автомобильных дорог на территории города / М. Л. Мошкевич. – Текст : непосредственный // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2016. – № 3 (20). – С. 173–180.
 11. Львова, О. В. Проблемы определения размера стоимости проезда по платной автодороге в рамках крупного города (на примере г. Рязани) / О. В. Львова, А. В. Чернухин. – Текст : непосредственный // Вестник университета. – 2015. – № 13. – С. 132–136.
 12. Фадюшин, А. А. Влияние стоимости проезда в городском общественном транспорте на структуру подвижности населения / А. А. Фадюшин, Д. А. Захаров. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-143-148. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 4 (87). – С. 143–148.
 13. Якимов, М. Р. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных городах : монография / М. Р. Якимов, А. А. Арепьева. – Москва : Логос, 2016. – 280 с. – Текст : непосредственный.
 14. Якимов, М. Р. Транспортное планирование. Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM : монография / М. Р. Якимов, Ю. А. Попов. – Москва : Логос, 2014. – 200 с. – Текст : непосредственный.
 15. Захаров, Д. А. Изменение подвижности населения при развитии в городах инфраструктуры для общественного транспорта, велосипедистов и пешеходов / Д. А. Захаров, А. А. Фадюшин. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-187-193. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 5 (82). – С. 187–193.

References

1. Zakharov, N. S., & Boyarkina, E. F. (2011). Zakonomernosti formirovaniya kolichestva legkovykh avtomobiley na ulichno-dorozhnoy seti goroda. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 160 p. (In Russian).
2. Solodkii, A. I. (2016). Problems of functioning of the transport infrastructure of major cities in Russia and their solutions (in St. Petersburg). Transportnoe planirovanie i modelirovanie : sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Saint Petersburg, May, 26–27. Saint Petersburg, Saint Petersburg state university of architecture and civil engineering Publ., pp. 136-145. (In Russian).
3. Zyryanov, V. V., & Mironchuk, A. A. (2012). Development of methods for organizing the priority movement of public transport. Transport Rossiyskoy Federatsii, (3-4 (40-41)), pp. 22-25. (In Russian).
4. Pospelov, P. I., Martiykhin, D. S., Stokov, D. M., Purkin, A. V., & Rudakova, V. V. (2017). The investigation by adoption of decision about the tariffs for paid parking within the Boulevarnoe ring in Moscow. Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, (1(48)), pp. 78-84. (In Russian).
5. Pirov, Zh. T., & Mikhailov, A. Yu. (2020). Influence of the distribution of traffic flow on the speed of communication on segments of city streets with controlled traffic. Intellect. Innovations. Investments, (2), pp. 115-124. (In Russian). DOI 10.25198/2077-7175-2020-2-115.
6. Zyryanov, V. V., Feofilova, A. A., & Chuklinov, N. N. (2018). Dynamic routing of transport flows as a method of reducing the transport load for macro elements. World of transport and technological machines, (1(60)), pp. 74-80. (In Russian).

7. Zakharov, D. A., Drogaleva, E. V., & Marilov, V. S. (2017). Osobennosti razvitiya dorozhnoy infrastruktury v gorode Tyumeni. *Stroitel'nyy vestnik*, (2(80)), pp. 56-61. (In Russian).
8. Mintrans predlozhit gotovit'sya k besplatnomu transportu i platnym dorogam. Naskol'ko realizuema eta ideya v Rossii. (In Russian). Available at: <https://www.rbc.ru/society/11/09/2020/5f58d4489a7947771a7c09e1> (accessed 01.06.2022).
9. Talavirya, A. U., & Laskin, M. B. (2021). Assessment of changes in toll fares in conditions of increased traffic load. *Statistics and economics*, 18(5), pp. 4-13. (In Russian). DOI 10.21686/2500-3925-2021-5-4-13.
10. Moshkevich, M. L. (2016). Analysis of the construction expediency of toll roads in the city. *Proceedings of the Southwest State University. Series: Economics, Sociology and Management*, (3(20)), pp. 173-180. (In Russian).
11. Lvova, O. V., & Chernykhin, A. V. (2015). The problem of determining the size of the cost of the toll road as part of a major city (on Ryazan city example). *Vestnik universiteta*, (13), pp. 132-136. (In Russian).
12. Fadyushin, A. A., & Zakharov, D. A. (2021). The influence of the urban public transport fare on the structure of the population's mobility. *Bulletin of civil engineers*, (4(87)), pp. 143-148. (In Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-143-148.
13. Yakimov, M. R., & Arepyeva, A. A. (2016). *Transportnoe planirovanie. Osobennosti modelirovaniya transportnykh potokov v krupnykh gorodakh*. Moscow, Logos Publ., 280 p. (In Russian).
14. Yakimov, M. R., & Popov, Yu. A. (2014). *Transportnoe planirovanie. Prakticheskie rekomendatsii po sozdaniyu transportnykh modeley gorodov v programmnom komplekse PTV Vision® VISUM*. Moscow, Logos Publ., 200 p. (In Russian).
15. Zakharov, D. A., & Fadyushin, A. A. (2020). Changes of the urban population mobility at the development of infrastructure for public transport, cyclists and pedestrians. *Bulletin of civil engineers*, (5(82)), pp. 187-193. (In Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-187-193.

Сведения об авторах

Захаров Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: zaharovda@tyuiu.ru

Евтин Павел Владимирович, канд. техн. наук, доцент, директор Института транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: evtinpv@tyuiu.ru

Information about the authors

Dmitrii A. Zakharov, Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, e-mail: zaharovda@tyuiu.ru

Pavel V. Evtin, Candidate of Engineering, Associate Professor, Director at Institute of Transport, Industrial University of Tyumen, e-mail: evtinpv@tyuiu.ru