

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОСНОЙ ПЛОТНОСТИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДОВ РОССИИ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ

SPATIAL PATTERNS OF CHANGES IN THE STRIP DENSITY OF THE ROAD NETWORK IN RUSSIAN AND EASTERN EUROPEAN CITIES

Представлены результаты исследования улично-дорожной сети городов России с точки зрения их плотности. Чтобы понять процесс изменения полосной плотности сети, города делились с помощью концентрических окружностей с шагом в 1 километр. Для каждой километровой зоны определялась площадь освоенной территории, протяженности сети с учетом количества полос движения. Исследования показали, что по мере движения от центра к периферии полосная плотность сети снижается в соответствии с экспоненциальной моделью, что позволяет сделать вывод об аналогичном снижении пропускной способности улично-дорожной сети города.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, полосная плотность сети, метод концентрических окружностей.

The article presents the results of a study of the street and road network in Russian cities in terms of their density. To understand the process of changing the lane density of the network, the cities were divided using concentric circles with a step of 1 kilometer. For each kilometer zone, the area of the developed territory and the length of the network were determined, taking into account the number of lanes. The study showed that as the farther one moves from the center to the periphery, the lane density of the network decreases according to an exponential model, which suggests a similar decrease in the capacity of the city's street and road network.

Keywords: street and road network, network lane density, concentric circle method.

Введение

Стремительный рост уровня автомобилизации жителей городов России на первоначальном этапе повысил мобильность населения и улучшил условия перевозки грузов и пассажиров. Однако на определенной стадии данного процесса в городах стали появляться многокилометровые заторы [1, 2], а скорость сообщения транспорта стала постепенно снижаться [3].

Дальнейший рост интенсивности движения транспорта не только усугубил си-

туацию на улично-дорожной сети города, но и стал причиной экологических проблем [4, 5], а также создал дефицит пространства для хранения автомобилей [6, 7]. Плотное движение автомобилей в часы пик в значительной мере стало утомлять водителей, а большое количество конфликтных маневров приводит к росту дорожно-транспортных происшествий [8, 9].

Для решения проблемы заторов практически во всех городах России применялась практика исключения узких мест в струк-

туре улично-дорожной сети [10], использовались мероприятия организационного характера [11], а также внедрялись автоматизированные системы управления дорожным движением [12]. В последние годы для минимизации заторов предлагается использование беспилотных технологий [13]. Однако данная проблема в городах России так и остается нерешенной.

Необходимо подчеркнуть, что проблемы транспортных систем городов невозможно решить с помощью локальных мероприятий. Заторы в определенный момент автомобилизации населения достигают таких значений, что требуется рассмотрение улично-дорожной сети города в целом. Особенно это касается центральной части города, где улично-дорожная сеть зачастую окончательно сформирована и практически не поддается реконструкции.

В связи с вышеизложенным целью проведенного исследования являлось установление закономерностей изменения полосной плотности улично-дорожной сети относительно центра города.

Методы исследования

Для оценки пропускной способности улично-дорожной сети города необходимы данные о плотности сети, в том числе полосной. Одним из первых понятие полосной плотности упоминает А. М. Якшин в работе [14]. Современные методы оценки плотности улично-дорожной сети [15, 16] в большей мере подходят для решения локальных задач. Учитывая это, автор данной работы предложил несколько иной подход к оценке полосной плотности улично-дорожной сети, который учитывает пропускную способность транспортной системы города в целом.

Перед началом оценки предлагается разработать графическую модель транспортной сети города. Далее производится поиск **центра транспортной сети**, или геометрического центра города. Данный процесс необходим для определения реального цен-

тра с точки зрения освоения территории города. В последние годы административные границы городов России изменялись крайне неравномерно, в результате чего к муниципальному образованию присоединялись территории, на которых нет транспортной инфраструктуры и жилой застройки. Подобный подход в некоторых случаях искажает процесс поиска реального центра транспортной сети.

На рис. 1 представлен графический пример поиска центра транспортной сети. Как видно на рисунке, при определении центра вокруг графической модели сети описывают окружность или эллипс. Центр данного эллипса или окружности будет считаться центром транспортной сети города.

По предлагаемой автором методике после нахождения центра транспортной сети необходимо построить концентрические окружности R_n с относительным шагом $j = 1$ км. Подобный метод деления территории города широко распространен в географических моделях [17], однако имеются примеры использования данного подхода при проведении анализа транспортных систем. Более детально данный вопрос рассмотрен в работах [18–20].

После построения концентрических окружностей R_n на графическую модель

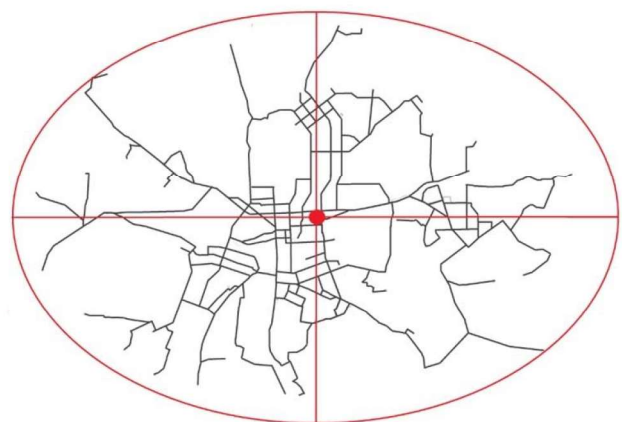


Рис. 1. Графическая модель: транспортная сеть и ее геометрический центр



Рис. 2. Пример построения карты магистральной сети города с указанием количества полос для движения транспорта и делением его на отдельные километровые зоны

транспортной сети наносятся данные о количестве полос в виде цветограммы (рис. 2).

Для определения количества полос на конкретном участке улично-дорожной сети автор использовал геоинформационные системы типа «Яндекс Карты». При этом для понимания количества полос для движения транспорта предложено наносить линии прохождения улиц различными цветами. Каждый цвет указывает на определенное количество полос для движения транспорта

в одном направлении. В исследованиях полосной плотности сети учитывались только магистральные улицы и дороги.

Проведенные таким образом исследования позволяют получить два отдельных параметра. Это протяженность транспортной сети, выраженная в километро-полосах, а также среднее число полос на исследуемой сети. Ниже представлены формулы для их расчета:

$$L_{\text{пол}}^{\varepsilon} = \sum l_i \cdot N_{\text{пол}}^i; \quad (1)$$

$$N_{\text{пол}}^{\text{ср}} = \frac{L_{\text{пол}}^{\text{с}}}{L_{\text{с}}}, \quad (2)$$

где $L_{\text{пол}}^{\text{с}}$ — протяженность транспортной сети города с учетом количества полос, км · полос; l_i — протяженность участка сети на исследуемом i -м перегоне, км; $N_{\text{пол}}^i$ — минимальное число полос на исследуемом i -м перегоне, ед.; $N_{\text{пол}}^{\text{ср}}$ — среднее число полос на исследуемой транспортной сети или его отдельной части, ед.; $L_{\text{с}}$ — суммарная протяженность улично-дорожной сети города, км.

Необходимо уточнить, что при оценке полосной плотности сети должна учитываться площадь города, за исключением зон рекреационного назначения (территорий, занятых городскими лесами, лесопарками, городскими садами, прудами, озерами, водохранилищами, периферийными зонами массового отдыха), сельскохозяйственных угодий, особого природоохранного назначения, или, иными словами, освоенные территории.

Учитывая этот факт, автор предложил дополнительную формулу для расчета плотности транспортной сети:

$$\delta_{\text{пол}} = \frac{L_{\text{пол}}^{\text{с}}}{S} = \frac{\sum l_i \cdot N_{\text{пол}}^i}{S}, \quad (3)$$

где $\delta_{\text{пол}}$ — плотность транспортной сети с учетом количества полос, км · полос/км²; S — площадь рассматриваемой территории, км².

Результаты исследования

В результате проведенных автором исследований были получены закономерности изменения полосной плотности улично-дорожной сети по мере движения от центра к периферии (рис. 3–6).

Как показывают результаты на рис. 3, полосная плотность достигает максимальных значений в первой километровой зоне и постепенно снижается по мере движения к периферии. При этом такие российские города, как Екатеринбург и Новосибирск, обладают более высокой полосной плотностью сети, чем более крупные по населению Санкт-Петербург, Варшава и Минск. В Ека-

теринбурге этот показатель достигает значения 24 км · полос/км², а в Новосибирске 29 км · полос/км².

Наименьшую полосную плотность из исследованных автором городов имеет Прага. В первой километровой зоне этого города плотность составляет всего 7,6 км · полос/км². Чтобы объяснить данный факт, достаточно рассмотреть структуру уличной застройки. Прага является старинным историческим городом, в центре которого организовано большое количество пешеходных улиц. Кроме этого, на протяжении практически пяти веков город не имел псерьезных военных разрушений и не подвергался реконструкции.

Однако полосная плотность улично-дорожной сети Праги снижается к периферийным районам города значительно медленнее, чем в Екатеринбурге и Новосибирске. Ориентировочно к 7-му километру полосная плотность улично-дорожной сети Праги начинает превышать значения указанных городов. Данный факт можно объяснить тем, что в названных российских городах в их периферийной части осталось достаточно большое пространство, которое слабо освоено или не освоено совсем. По мере развития периферийной части городов полосная плотность улично-дорожной сети будет постепенно расти.

Примечательно, что полосная плотность первой километровой зоны, а фактически исторического ядра, во всех рассмотренных городах в 20–40 раз выше, чем в периферийных районах. Это указывает на более высокую пропускную способность центральной части города.

Исследования других городов-миллионников России показали, что их полосная плотность соизмерима с Новосибирском и Екатеринбургом. В Челябинске полосная плотность сети первой километровой зоны составляет 35 км · полос/км², что несколько выше значений Новосибирска и Екатеринбурга (см. рис. 4).

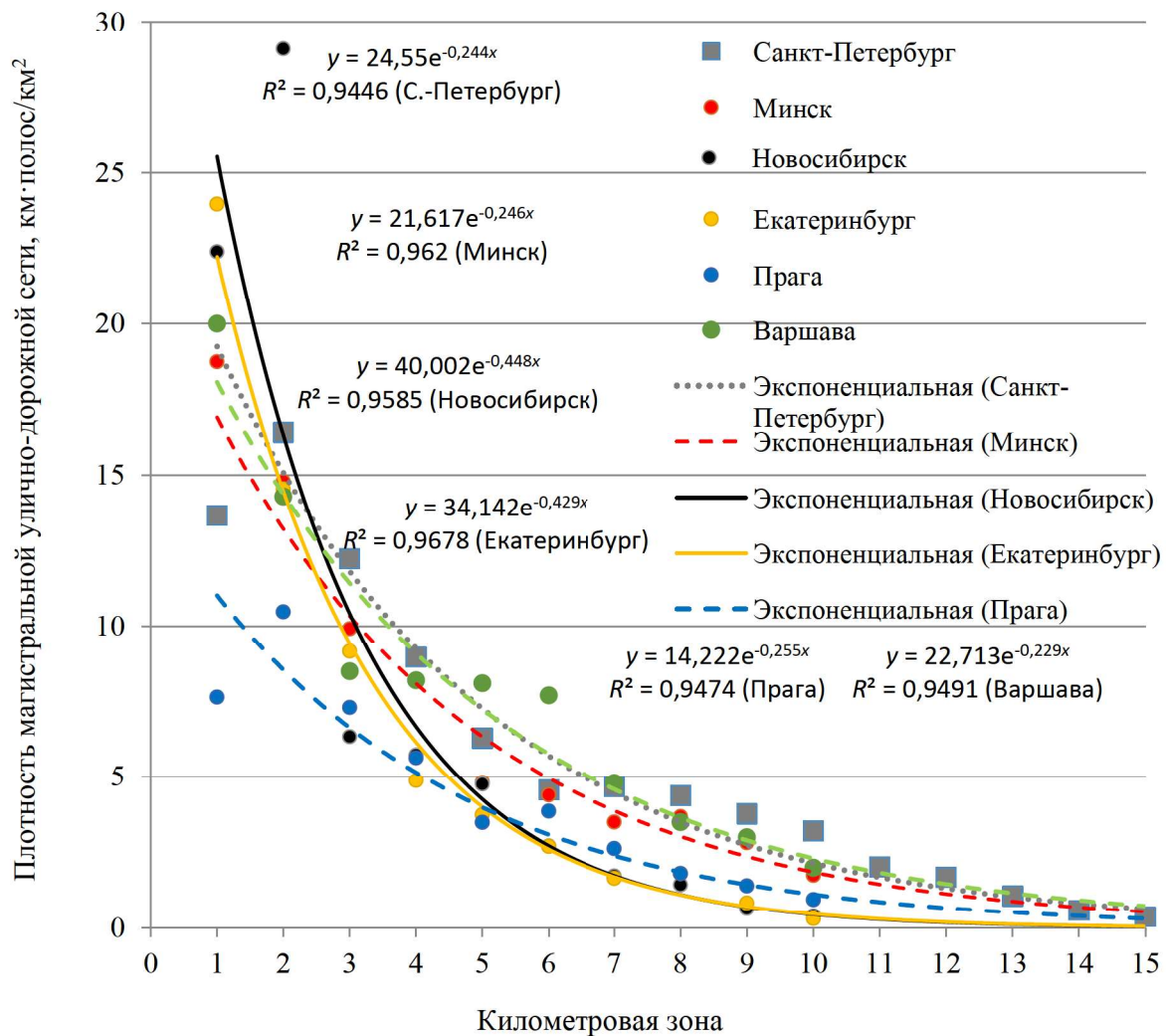


Рис. 3. Закономерности изменения полосной плотности магистральной улично-дорожной сети относительно центра в городах России и Восточной Европы

Отдельного внимания заслуживают закономерности, полученные по городам с численностью населения менее 1 млн жителей. Как и в крупнейших городах, полосная плотность в них также снижается от центра к периферии. Отличительной чертой этих городов является несколько меньшая полосная плотность сети в 1-й километровой зоне. При этом на рис. 5 видно, чем меньше численность населения города, тем ниже полосная плотность 1-й зоны.

Детальный анализ кривых, представленных на рис. 3–5, показывает, что закономерности изменения полосной плот-

ности сети можно с высокой достоверностью описать следующим математическим уравнением:

$$Y = a \cdot e^{bX}, \quad (4)$$

где Y — полосная плотность магистральной улично-дорожной сети в конкретной километровой зоне, км·полос/км²; X — конкретная километровая зона, км.; a и b — эмпирические коэффициенты.

Обобщение данных, полученных на основе рис. 3–5, позволило построить зависимость полосной плотности улично-дорожной сети от численности населения города и удаленности от центра (см. рис. 6).

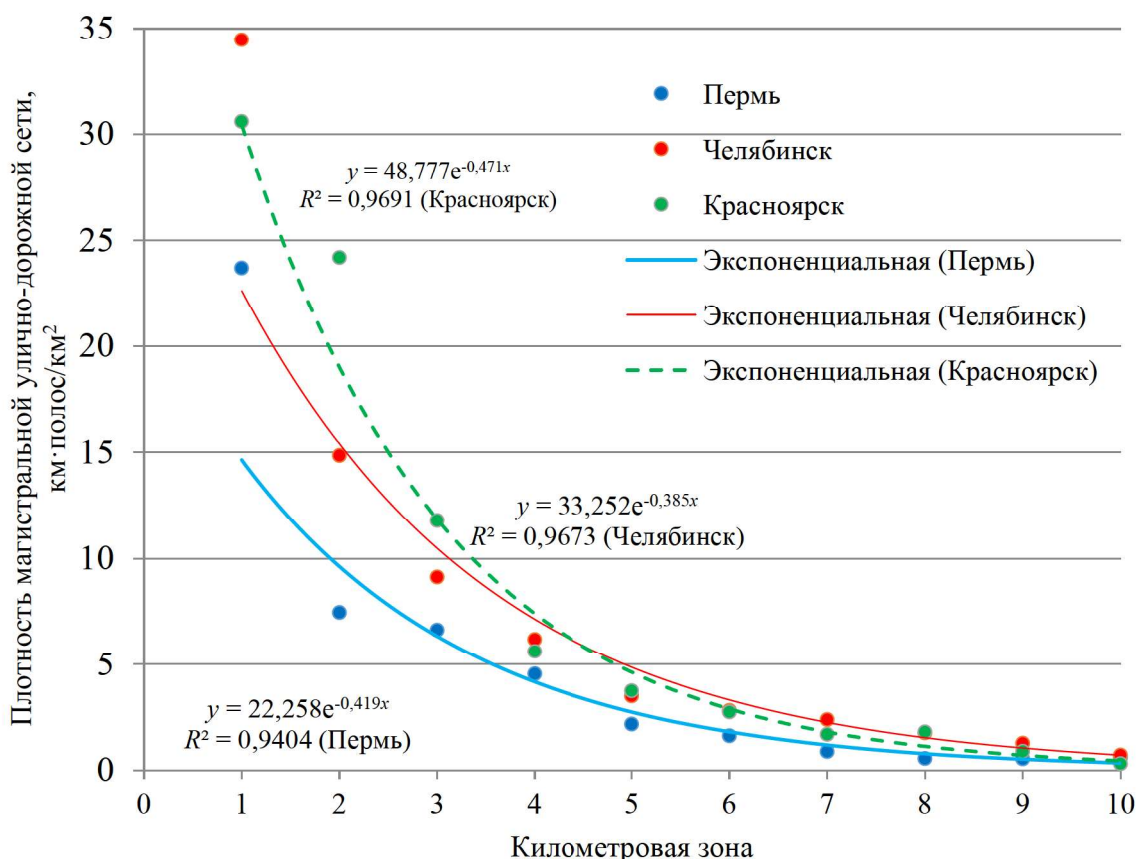


Рис. 4. Закономерности изменения полосной плотности магистральной улично-дорожной сети относительно центра в крупнейших городах России

Построение трехмерной модели изменения полосной плотности улично-дорожной сети в зависимости от численности населения и удаления от центра позволит выявить некоторые отличия в городах с разной численностью населения. Как видно на рис. 6, полосная плотность первой километровой зоны, начиная от Санкт-Петербурга, по мере снижения численности населения постепенно растет и достигает максимума в Челябинске. Дальнейшее снижение численности населения, наоборот, ведет к снижению полосной плотности улично-дорожной сети и достигает минимальных значений в Ханты-Мансийске.

Кроме того, из кривых, представленных на рис. 6, видно, что чем выше численность населения города, тем медленнее снижается полосная плотность сети по мере движения

от центра к периферии. Данный факт можно считать логичным, поскольку более крупные по численности населения города обладают большей площадью территории. Кроме того, в таких городах периферийные районы, которые находятся в стадии освоения, расположены гораздо дальше, чем в небольших по численности населения городах.

Наибольшая полосная плотность центральной части города отмечается в городах России с численностью населения от 1 до 1,64 млн жителей, что можно объяснить несколькими факторами. Во-первых, центральная часть данных городов начала формироваться в начале XX века, а в таких городах, как Новосибирск, позже. В начале XXI столетия на фоне появления заторов улично-дорожная сеть этих городов подверглась некоторой реконструкции. Для улуч-

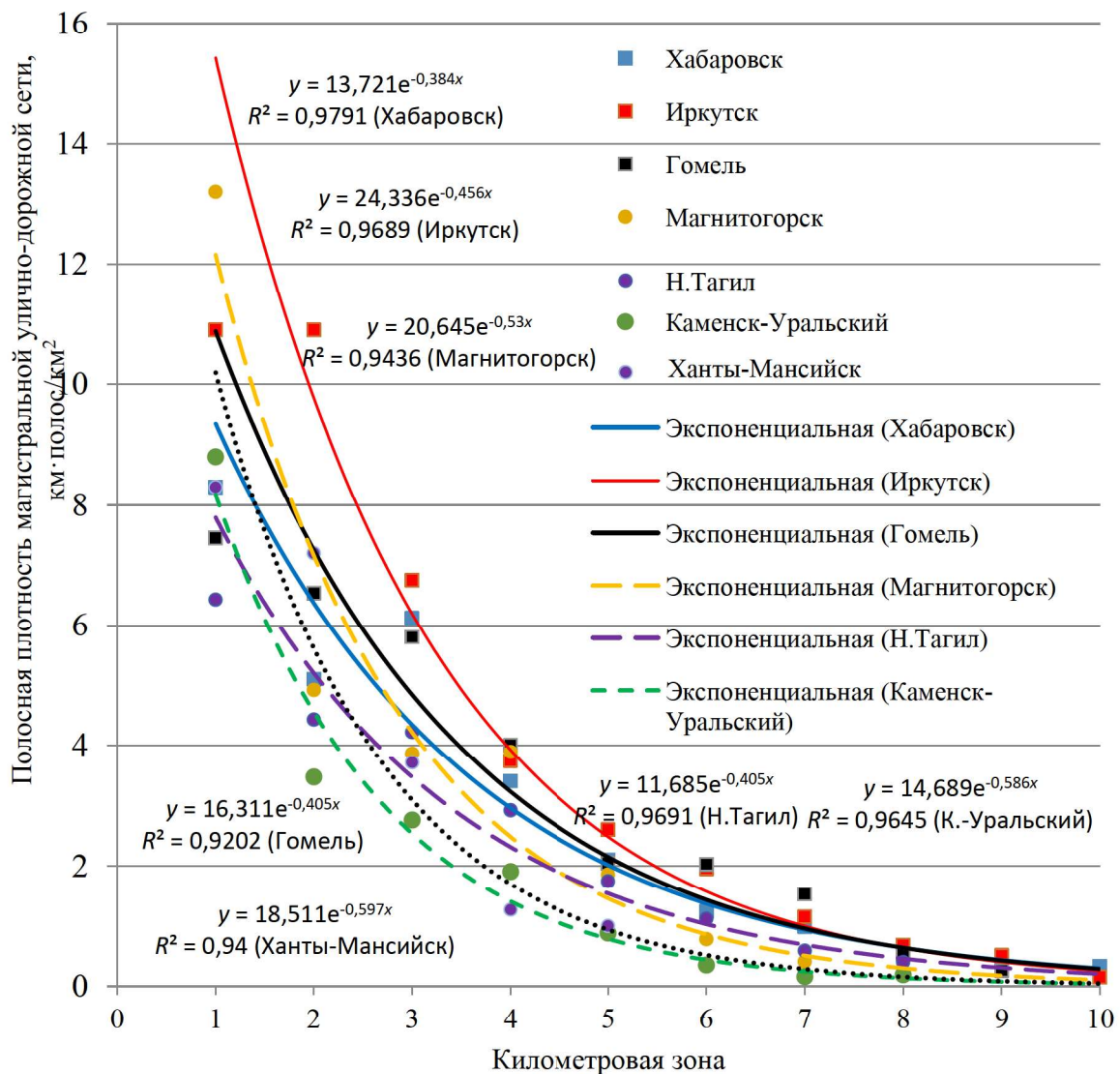


Рис. 5. Закономерности изменения плотности магистральной улично-дорожной сети относительно центра в городах с численностью населения менее 1 млн жителей

шения пропускной способности увеличивали ширину проезжей части.

В более крупных городах, таких как Санкт-Петербург, центральная часть города начала формироваться гораздо раньше, с начала XVIII до середины XIX века. Поэтому к моменту роста уровня автомобилизации населения резервов для реконструкции улиц в центре Северной столицы практически не осталось.

Обсуждение

Анализируя полученные в результате исследования данные, можно сделать следующие выводы. Практически во всех городах

России, а также в Восточной Европе по мере движения к центру города полосная плотность улично-дорожной сети постепенно растет. По мере движения от периферии к первой километровой зоне она достигает максимальных значений.

Одновременно с этим растет суммарная пропускная способность улично-дорожной сети. То есть именно в центре, где отмечается больше всего заторов и транспортных затруднений, пропускная способность сети достигает максимальных значений. Вместе с этим, по данным исследования автора,

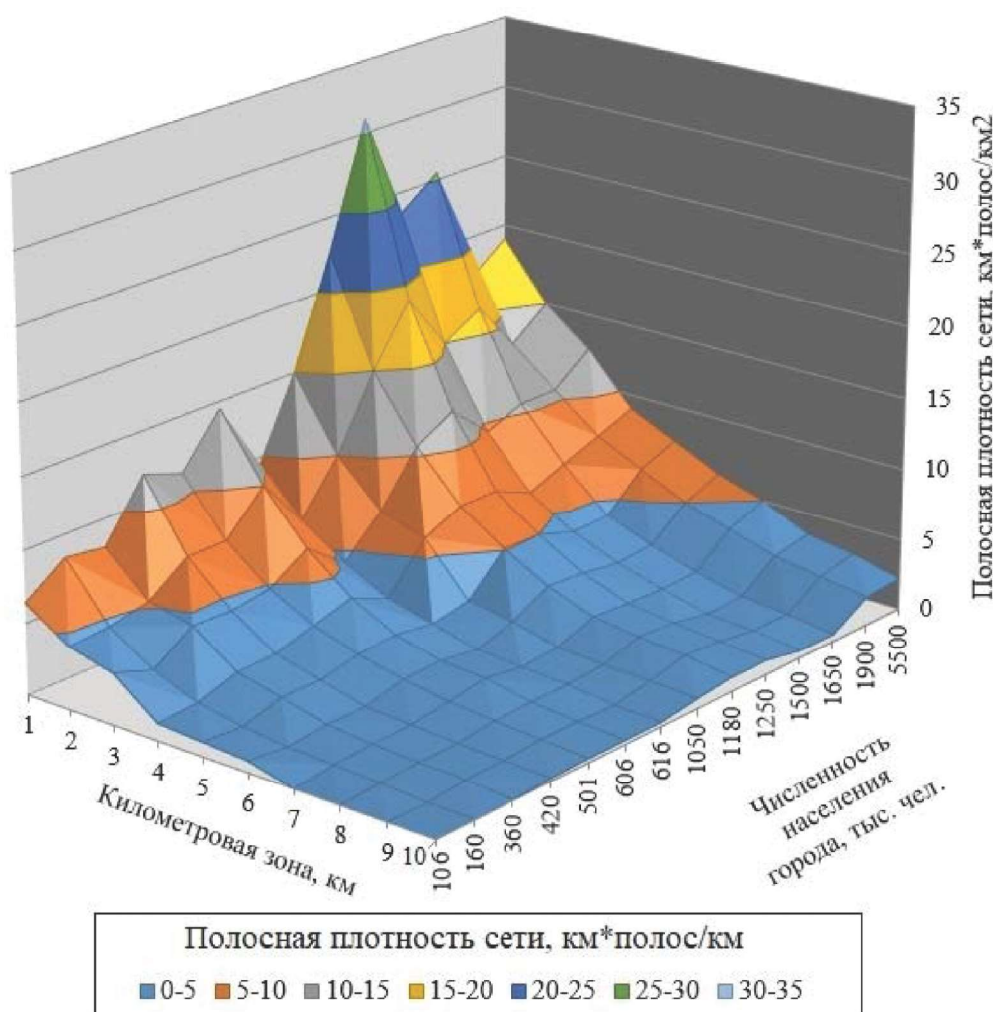


Рис. 6. Графический вид зависимости полосной плотности улично-дорожной сети в городах с разной численностью населения в различных километровых зонах

скорость сообщения транспортных потоков, наоборот, снижается от периферии к центру. Более подробно закономерности изменения скорости сообщения по территории города представлены в работе [3].

Спрос на транспортные перемещения по мере движения от периферии к центру растет гораздо быстрее, чем пропускная способность улично-дорожной сети. Однако в современных городах России увеличить полосную плотность улично-дорожной сети в большей мере можно только в срединной и периферийной частях города, что в конечном итоге только усугубит транспортные проблемы центра города.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что полосная плотность улично-дорожной сети всех рассматриваемых городов снижается по мере движения от центра к периферии. При этом в центре полосная плотность в 20–40 раз выше, чем на периферии города.

Снижение полосной плотности по мере движения от центра к периферии происходит по экспоненциальному закону.

Наибольшая полосная плотность и, соответственно, пропускная способность сети наблюдаются в городах России с численностью населения от 1 до 1,64 млн жителей.

В крупнейших городах Восточной Европы полосная плотность центра в 2–3 раза меньше, чем в аналогичных по численности населения городах России. Одновременно с этим в срединных и периферийных районах городов России и Восточной Европы показатели плотности сети практически идентичны.

Библиографический список

1. Малюгин С. О., Васильев О. В. Методика определения перегруженных участков улично-дорожной сети по средним скоростям // Устойчивое развитие территорий: сб. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 15–17 мая 2024 г. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2024. С. 310–312.
2. Григорьев К. А. Транспортные заторы в российских городах: пути решения и оценка их эффективности (на примере г. Перми) // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 25–27 апреля 2023 г. Пермь: Изд-во Пермского нац.-исслед. политехн. ун-та, 2023. Т. 1. С. 165–170.
3. Цариков А. А., Неволин Д. Г. Исследование пространственной и временной неравномерности скорости сообщения транспорта в Екатеринбурге // Вестник Уральского гос. ун-та путей сообщения. 2025. № 1 (65). С. 109–119.
4. Деянов Д. А., Трофименко Ю. В. Методика оценки энергопотребления и выбросов парниковых газов транспортным потоком на улично-дорожной сети // Вестник Московского автомобильно-дорожного гос. техн. ун-та (МАДИ). 2024. № 3 (78). С. 68–77.
5. Барина Л. Д., Забалканская Л. Э. Негативные последствия транспортной деятельности в мегаполисе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. № 5-1. С. 32–35.
6. Неволин Д. Г., Цариков А. А., Пенцев Е. А. Исследование использования стоянок для хранения автомобилей в различных функциональных зонах города Екатеринбурга // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2023. № 4. С. 45–50.
7. Shoup D. The High Cost of Free Parking. Chicago, Illinois: American Planning Association, 2005. 752 p.
8. Исаева Е. И. Оценка загруженности и аварийности улично-дорожной сети г. Саратова // Транспорт и логистика устойчивого развития территорий, бизнеса, государства (драйверы роста, тренды и барьеры): материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 30 марта 2023 года. М.: Гос. ун-т управления, 2023. С. 162–163.
9. Цариков А. А. Проблемы организации и безопасности движения в малых и средних городах на примере Свердловской области // Транспортное машиностроение. 2023. № 5 (17). С. 79–91.
10. Лагерева Р. Ю., Капский Д. В. Снижение вероятности образования транспортных заторов на дорогах высших категорий управлением доступом к сети // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 1. С. 52–60.
11. Сподарев С. Р., Васильев В. В., Сподарев Р. А., Зеликова Н. В., Клявин В. Э., Феофилова А. А. Мероприятия по повышению пропускной способности дорог, в том числе посредством устранения условий, способствующих созданию помех для дорожного движения или создающих угрозу его безопасности // Развитие современной науки и технологий транспортных процессов: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 15 января 2024 г. Воронеж: Воронежский гос. лесотехнический ун-т им. Г. Ф. Морозова, 2024. С. 80–83.
12. Тихомиров П. В., Митряев Н. С., Кухарев К. С. Повышение эффективности систем управления улично-дорожной сетью // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 2-1 (85). С. 120–126.
13. Зеликова Н. В. О повышении пропускной способности улично-дорожной сети города Воронежа // Грузовик. 2025. № 2. С. 47–50.
14. Якишин А. М. Перспективы развития сети городских магистралей. М.: Стройиздат, 1975. 111 с.
15. Опалихин А. П. Повышение уровня плотности улично-дорожной сети как возможный инструмент реабилитации городской среды // Актуальные проблемы архитектуры и дизайна: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. Екатеринбург, 10–11 апреля 2025 г. Екатеринбург: Уральский гос. архитектурно-художественный ун-т им. Н. С. Алфёрова, 2025. С. 541–545.
16. Бахирев И. А., Чернышов А. А., Широкая Н. В., Пронин П. Д. Плотность улично-дорожной сети как показатель качества транспортного обслуживания // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10, № 1 (32). С. 130–139.
17. Хагетт П. Пространственный анализ в экономической географии. М.: Прогресс, 1968. 391 с.
18. Якишин А. М., Говоренкова Т. М., Каган М. И., Меркулова З. Е., Стрельников А. И. Графоаналитический метод в градостроительных исследованиях и проектировании. М.: Стройиздат, 1979. 204 с.
19. Цариков А. А., Обухова Н. А. Пространственная неравномерность развития и загрузки улично-дорожной сети городов Свердловской области // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2016. Т. 6, № 2. С. 4–7.

20. Царииков А. А., Неволин Д. Г. Пространственная оценка плотности магистральной улично-дорожной сети городов России и Восточной Европы // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2025. № 5 (120). С. 85–89.

References

1. Malyugin S. O., Vasil'ev O. V. *Metodika opredeleniya peregruzhennykh uchastkov ulichno-dorozhnoy seti po srednim skorostyam* [Methodology of determining the congested sections of the road network by average speeds]. *Ustoychivoe razvitie territoriy. Trudy VI Mezhdunar. nauch.-prakt.konf. Moskva, 15–17 maya 2024 g.* [Sustainable development of territories. Proceedings of the VI International scientific-practical conf. Moscow, May 15–17, 2024]. Moscow, Izd-vo MISI–MGSU Publ., 2024, pp. 310–312.
2. Grigor'ev K. A. *Transportnye zatory v rossiyskikh gorodakh: puti resheniya i otsenka ikh effektivnosti (na primere g. Permi)* [Transport congestion in Russian cities: solutions and assessment of their effectiveness (on the example of Perm)]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Perm', 25–27 aprelya 2023 g.* [Modernization and scientific research in the transport complex. Proceedings of the International. scientific-practical. conf. Perm, April 25–27, 2023]. Perm, Izd-vo Permskogo nats.-issled. politekhn. un-ta Publ., 2023, vol. 1, pp. 165–170.
3. Tsarikov A. A., Nevolin D. G. *Issledovanie prostranstvennoy i vremennoy neravnomernosti skorosti soobshcheniya transporta v Ekaterinburge* [A study of the spatial and temporal unevenness of the speed of transport in Yekaterinburg]. *Vestnik Ural'skogo gos. un-ta putey soobshcheniya – Bulletin of the Ural State University of Railways*, 2025, no. 1 (65), pp. 109–119.
4. Deyanov D. A., Trofimenko Yu. V. *Metodika otsenki energopotrebleniya i vybrosov parnikovykh gazov transportnym potokom na ulichno-dorozhnoy seti* [Methodology for assessing energy consumption and greenhouse gas emissions by traffic on the road network]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gos. tekhn. un-ta (MADI) – Bulletin of the Moscow Automobile and Road State. Tech. University (MADI)*, 2024, no. 3 (78), pp. 68–77.
5. Barinova L. D., Zabalkanskaya L. E. *Negativnye posledstviya transportnoy deyatel'nosti v megapolise* [Negative consequences of transport activities in the metropolis]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk – Topical problems of the humanities and natural sciences*, 2017, no. 5–1, pp. 32–35.
6. Nevolin D. G., Tsarikov A. A., Pentsev E. A. *Issledovanie ispol'zovaniya stoyanok dlya khraneniya avtomobiley v razlichnykh funktsional'nykh zonakh goroda Ekaterinburga* [Study of the use of parking lots for storing cars in various functional areas of the city of Yekaterinburg]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik – Transport: science, technology, management. Scientific Information Collection*, 2023, no. 4, pp. 45–50.
7. Shoup D. *The High Cost of Free Parking*. Chicago, Illinois, American Planning Association Publ., 2005, 752 p.
8. Isaeva E. I. *Otsenka zagruzhenosti i aviarnosti ulichno-dorozhnoy seti g. Saratova* [Assessment of the workload and accident rate of the road network in Saratov]. *Transport i logistika ustoychivogo razvitiya territoriy, biznesa, gosudarstva (drayvery rosta, trendy i bar'ery). Trudy II Mezhdunar. nauch.-prakt.konf. Moskva, 30 marta 2023 goda* [Transport and logistics of sustainable development of territories, business, state (growth drivers, trends and barriers). Proceedings of the II International. scientific-practical conf. Moscow, March 30, 2023]. Moscow, Gos. un-t upravleniya Publ., 2023, pp. 162–163.
9. Tsarikov A. A. *Problemy organizatsii i bezopasnosti dvizheniya v malykh i srednikh gorodakh na primere Sverdlovskoy oblasti* [Problems of organization and traffic safety in small and medium-sized cities on the example of the Sverdlovsk region]. *Transportnoe mashinostroenie – Transport engineering*, 2023, no. 5 (17), pp. 79–91.
10. Lagerev R. Yu., Kapskiy D. V. *Snizhenie veroyatnosti obrazovaniya transportnykh zatorov na dorogakh vysshikh kategoriy upravleniem dostupom k seti* [Reducing the probability of traffic congestion on roads of the highest categories by managing access to the network]. *Nauka i tekhnika – Science and Technology*, 2016, vol. 15, no. 1, pp. 52–60.
11. Spodarev S. R., Vasil'ev V. V., Spodarev R. A., Zelikova N. V., Klyavin V. E., Feofilova A. A. *Meropriyatiya po povysheniyu propusknoy sposobnosti dorog, v tom chisle posredstvom ustraneniya usloviy, sposobstvuyushchikh sozdaniyu pomekh dlya dorozhnogo dvizheniya ili sozdayushchikh ugrozu ego bezopasnosti* [Measures to increase road capacity, including by eliminating conditions that contribute to interference with road traffic or pose a threat to its safety]. *Razvitie sovremennoy nauki i tekhnologii transportnykh protsessov. Trudy Vseros. nauch.-prakt.konf. Voronezh, 15 yanvarya 2024 g.* [Development of modern science and technology of transport processes. Proceedings of the All-Russia scientific-practical conf. Voronezh, January 15, 2024]. Voronezh, Voronezhskiy gos. lesotekhnicheskii un-t im. G. F. Morozova Publ., 2024, pp. 80–83.

12. Tikhomirov P. V., Mitryaev N. S., Kukharev K. S. *Povyshenie effektivnosti sistem upravleniya ulichno-dorozhnoy set'yu* [Improving the efficiency of road network management systems]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – The world of transport and technological machines*, 2024, no. 2-1 (85), pp. 120–126.
13. Zelikova N. V. *O povyshenii propusknoy sposobnosti ulichno-dorozhnoy seti goroda Voronezha* [On increasing the capacity of the road network of the city of Voronezh]. *Truck* - 2025, no. 2, pp. 47–50.
14. Yakshin A. M. *Perspektivy razvitiya seti gorodskikh magistralei* [Prospects for the development of the urban highway network]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975, 111 p.
15. Opalikhin A. P. *Povyshenie urovnya plotnosti ulichno-dorozhnoy seti kak vozmozhniy instrument reabilitatsii gorodskoy sredy* [Increasing the level of density of the road network as a possible tool for the rehabilitation of the urban environment]. *Aktual'nye problemy arkhitektury i dizayna. Trudy XXI Mezhdunar. nauch.-prakt.konf. studentov i molodykh uchenykh. Ekaterinburg, 10–11 aprelya 2025 g.* [Actual problems of architecture and design. Proceedings of the XXI International scientific-practical conf. students and young scientists]. Ekaterinburg, Ural'skiy gos. arkhitekturno-khudozhestvenniy un-t im. N. S. Alfeyorova Publ., 2025, pp. 541–545.
16. Bakhirev I. A., Chernyshov A. A., Shirokaya N. V., Pronin P. D. *Plotnost' ulichno-dorozhnoy seti kak pokazatel' kachestva transportnogo obsluzhivaniya* [Density of the road network as an indicator of the quality of transport services]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' – Bulletin of universities. Investments. Construction. Real Estate*, 2020, vol. 10, no. 1 (32), pp. 130–139.
17. Khagget P. *Prostranstvenniy analiz v ekonomicheskoy geografii* [Spatial analysis in economic geography]. Moscow, Progress Publ., 1968, 391 p.
18. Yakshin A. M., Govorenkova T. M., Kagan M. I., Merkulova Z. E., Strel'nikov A. I. *Grafoanaliticheskiy metod v gradostroitel'nykh issledovaniyakh i proektirovanii* [Graphoanalytical method in urban planning and design]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979, 204 p.
19. Tsarikov A. A., Obukhova N. A. *Prostranstvennaya neravnomernost' razvitiya i zagruzki ulichno-dorozhnoy seti gorodov Sverdlovskoy oblasti* [Spatial unevenness of development and loading of the road network of cities of the Sverdlovsk region]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii – Modern problems of the transport complex of Russia*, 2016, vol. 6, no. 2, pp. 4–7.
20. Tsarikov A. A., Nevolin D. G. *Prostranstvennaya otsenka plotnosti magistral'noy ulichno-dorozhnoy seti gorodov Rossii i Vostochnoy Evropy* [Spatial assessment of the density of the main road network of cities in Russia and Eastern Europe]. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike – Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, Economics*, 2025, no. 5 (120), pp. 85–89.