

Оценка нарушения связности городских территорий железнодорожными линиями



Д. Ю. Роменский,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Управление
транспортным бизнесом
и интеллектуальные
системы» Российского
университета
транспорта (МИИТ)
(РУТ (МИИТ)),



К. А. Калинин,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Управление
транспортным бизнесом
и интеллектуальные
системы» РУТ (МИИТ),



П. А. Красильников,
старший преподаватель
кафедры «Управление
транспортным бизнесом
и интеллектуальные
системы» РУТ (МИИТ)

Железнодорожные линии в городах существенно нарушают связность улично-дорожной сети. Полученные данные позволяют разрабатывать рекомендации по оптимизации транспортной инфраструктуры городов в условиях ограниченных бюджетных ресурсов и повышения качества городской среды.

На рубеже XIX–XX вв. железнодорожные линии в России строились на окраинах населенных пунктов без нарушения исторической застройки. Вокзалы и товарные станции располагались вне их границ в удобных с точки зрения топологии локациях. В начале и середине XX в. по мере роста городов и промышленности, тяготеющей к железным дорогам, железнодорожные линии оказывались внутри городской черты, окруженные промышленными и селитебными территориями. Теория и практика градостроительства за это время выработала большое количество требований к застройке урбанизированных территорий с учетом этого контекста [1, 2].

Одним из основных направлений исследований градостроителей и транспортников стали вопросы принципов формирования транспортного каркаса города [3], в том числе улично-дорожной сети (УДС), оформившиеся в исследование проблем баланса спроса и предложения на поездки в населенных пунктах, проблем планировочных решений сетки улиц и ранжирования приоритетов развития личного и общественного транспорта.

Рациональным состоянием транспортной системы для любого города является такое состояние УДС, при котором обеспечиваются важнейшие социально-экономические связи с минимальными издержками, реализуемые личным и общественным транспортом в пассажирских перевозках [4–6] и грузовым автотранспортом различной вместимости в грузовых.

Малоисследованным направлением в вопросах формирования УДС является определение влияния наличия железнодорожных линий в городской черте как

естественного препятствия для связности отдельных районов города. Для минимизации потенциального ущерба и рисков, возникающих в местах пересечения УДС и железнодорожных путей, процессы пересечения автодорожной и железнодорожной инфраструктур строго регламентированы [7].

Нормативно-правовое поле в России и других развитых странах строится вокруг принципа нежелательности односторонних пересечений этих инфраструктур, т. е. минимизации количества железнодорожных переездов. Приоритет отдается разносторонним пересечениям в виде путепроводов, тоннелей и других подобных сооружений, однако объективные бюджетные процессы федерального и региональных бюджетов, повышенная капиталоемкость пересечений в разных уровнях и ограниченность территорий для обустройства подобных пересечений не позволяют ликвидировать все переезды в обозримом будущем.

Вместе с тем урбанизированные территории с их темпом и плотностью поездок наиболее уязвимы к ухудшению качества функционирования УДС из-за недостатка связности улично-дорожной сети через железнодорожные линии.

Проблемы в населенных пунктах от пересекающих их железнодорожных линий

Расположенная в городской черте железнодорожная линия помимо положительного влияния на социально-экономическое развитие населенного пункта от осуществления перевозочной деятельности в грузовом и пассажирском сообщении вызывает также и негативные последствия с точки зрения градостроительства:

- неэффективное использование территорий вблизи железных дорог из-за больших санитарно-защитных зон;
- ухудшение связности пешеходных и транспортных коммуникаций в границах территорий населенных пунктов, выражающееся в удорожании логистики;
- отчуждение земли и градостроительные ограничения вблизи железнодорожных станций;
- экологическое, шумовое и визуальное загрязнение территорий городов.

Магистральные железнодорожные линии и подъездные пути, расположенные в городской черте, снижают связанность городских территорий из-за низкой частоты размещения оборудованных пересечений через пути. Под связностью понимается плотность размещения взаимных пересечений объектов улично-дорожной сети [8]. Чем выше связность сети, тем прямее путь между объектами и больше вариантов маршрута. Это позволяет выбирать более короткие пути сообщения между точками назначения и создает более доступную среду [9, 10], а также влияет на предпочитаемые способы передвижения по городу и повышает привлекательность пешеходных перемещений и маршрутов с применением микромобильности.

В пределах крупных городских агломераций зачастую располагается комплекс технологически взаимосвязанных железнодорожных линий, образующих железнодорожный узел [11]. Даже при наличии единственной железнодорожной линии городское пространство разделяется на две части, что создает трудности в управлении транспортными потоками.

Образование сложных структур узловых железнодорожных пересечений разделяет города на большее количество сегментов, повышая размерность решаемой задачи об управлении потоками.

На рис. 1 представлен пример пространственной ситуации ухудшения связности улично-дорожной сети при прохождении железнодорожных линий через городскую черту на примере периферийной части г. Мичуринска. С градостроительной точки зрения внутри соединительных ветвей в урбанизированной зоне располагают обычно такие зоны, как садовые участки, кладбища и объекты городской и железнодорожной инфраструктуры.

Разработка методики оценки сравнительного анализа связности территорий городов, пересекаемых железными дорогами

Один из основных показателей эффективности обустройства пересечения железнодорожной линии автомобильной дорогой — сокращение перепробегов автомобильного транспорта по сравнению с ситуацией до его открытия и повышение связности улично-дорожной сети. Целью исследования является установление количественных показателей связности УДС в агломерациях с наличием железнодорожных линий в пределах городской застройки. Для исследования выбраны следующие города и их агломерации: Альметьевск, Воронеж, Казань, Минеральные Воды, Ростов-на-Дону, Уфа, Южно-Сахалинск.

Методика исследования строилась на выявлении разницы в проницаемости железнодорожных линий городскими маршрутами. Под проницаемостью понимается количественный показатель — средняя длина маршрута между двумя точками УДС. Параметры таких маршрутов в реально существующих городах могут быть оценены при использовании метода Монте-Карло. Он представляет собой подход, основанный на моделировании случайных процессов для решения сложных задач, аналитическое решение которых затруднено или невозможно.

В контексте транспортной геоаналитики данный метод реализуется через генерацию случайных точек отправления и назначения на территории городов. После составления массивов точек отправления и прибытия строятся соответствующие маршруты следования транспорта с использованием этих точек, и анализируются параметры улично-дорожной сети. Статистическая обработка полученных результатов позволяет рассчитать распределение длин маршрутов и выполнить аналитическое сопоставление результатов, и, следовательно, определить степень влияния наличия железнодорожной линии на связность территорий.

Применение метода Монте-Карло в исследовании связности городских территорий железнодорожными линиями обосновано несколькими ключевыми факторами:

- метод позволяет создать объективную рациональную модель для сравнения с реальными транспортными инфраструктурами, что критически важно для количественной оценки влияния железных дорог на транспортный каркас города;
- генерация случайных маршрутов с равномерным покрытием исследуемой территории обеспечивает учет пространственной неоднородности застройки и характера УДС в разных районах города;

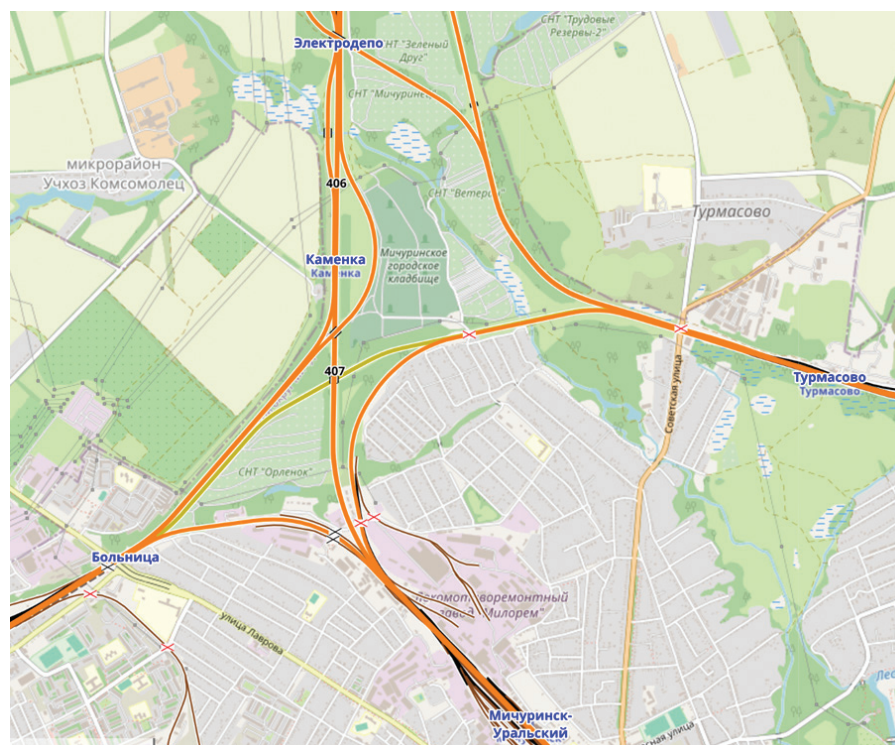


Рис. 1. Разделение городской застройки частного сектора путепроводными развязками и подходами в г. Мичуринске (источник — портал openrailwaymap). Сплошные линии — главные железнодорожные пути перегонов; кресты на пересечениях с улицами — одноуровневые пересечения (переезды)

Объем выборки отрезков с разбивкой по исследуемым территориям

Город	Осевых отрезков ж/д линий, шт.	Случайных отрезков, шт.	Итого
Альметьевск	12	558	570
Воронеж	174	2062	2236
Казань	78	2200	2278
Минеральные Воды	16	336	352
Ростов-на-Дону	131	1855	1986
Уфа	84	1708	1792
Южно-Сахалинск	18	596	614
Итого	513	9315	9828

• статистическая обработка большого объема данных (в среднем 1300 случайных маршрутов на город) позволяет выявлять закономерности, которые не могут быть определены при использовании традиционных методов экспертных оценок.

Применяемые инструменты

Исследование выполнялось с помощью геоинформационных технологий, используя программное обеспечение QGIS и свободно распространяемую базу геоданных Openstreetmap (OSM) [12], в следующем порядке:

• Из базы данных портала OSM выгружался граф железных дорог и улично-дорожной сети исследуемой территории.

• Выполнялась подготовка наборов данных к исследованию: о железнодорожных линиях с формированием массива информации о расположении путей в пределах городской черты; об улично-дорожной сети, состоящей из сегментов, без пешеходных и велосипедных коммуникаций.

• При помощи модуля SAGA 2.3.2 (команда *split lines with lines*) выполнялся анализ геоданных о местах пересечений железнодорожных путей с автомобильными.

• При помощи встроенного алгоритма в границах исследуемой территории по методу Монте-Карло генерировалось множество точек со случайными координатами. В зависимости от размера территории генерировалось 20, 30 либо 50 точек с минимальной дистанцией в 200 м друг от друга. Каждая точка имела уникальный порядковый номер от 1 до 20, 30, 50 соответственно.

• Модулем Points2One точки связывались маршрутами, одна за другой в соответствии с порядковым номером. Поскольку геокоординаты каждой из точек генерировались в случайном порядке, то и длина, направление, положение

на местности также носили случайный характер. Пример построения случайных маршрутов приведен на рис. 2.

• При помощи модуля SAGA 2.3.2 (команда *split lines with lines*) выполнялся анализ пересечений полученных отрезков с улично-дорожной сетью. Результатом этой работы являлся файл

с геоданными в виде отрезков, повторяющих контуры произвольных линий, но обрывающимися в точках пересечений с линиями автомобильных дорог.

• Отрезки, полученные в пп. 3 и 6, насыщались дополнительной атрибутикой в виде длины (в метрах), подсчитанной при помощи скрипта во встроенной среде Field Calculator, после чего текстовые данные в виде таблицы (порядковый номер отрезка, длина) экспортировались в табличном виде.

Пример трассировки линий в пределах городской черты в г. Воронеже приведен на рис. 2.

Следующим этапом оценивалось фактическое количество пересечений железных дорог с УДС в рассматриваемых городах. Теми же инструментами осуществлен расчет средних расстояний между точками, в которых возможно пересечь железную дорогу на автомобиле.



Рис. 2. Пример трассировки произвольных линий на карте г. Воронежа (чем темнее цвет линии, тем гуще УДС в этом районе)

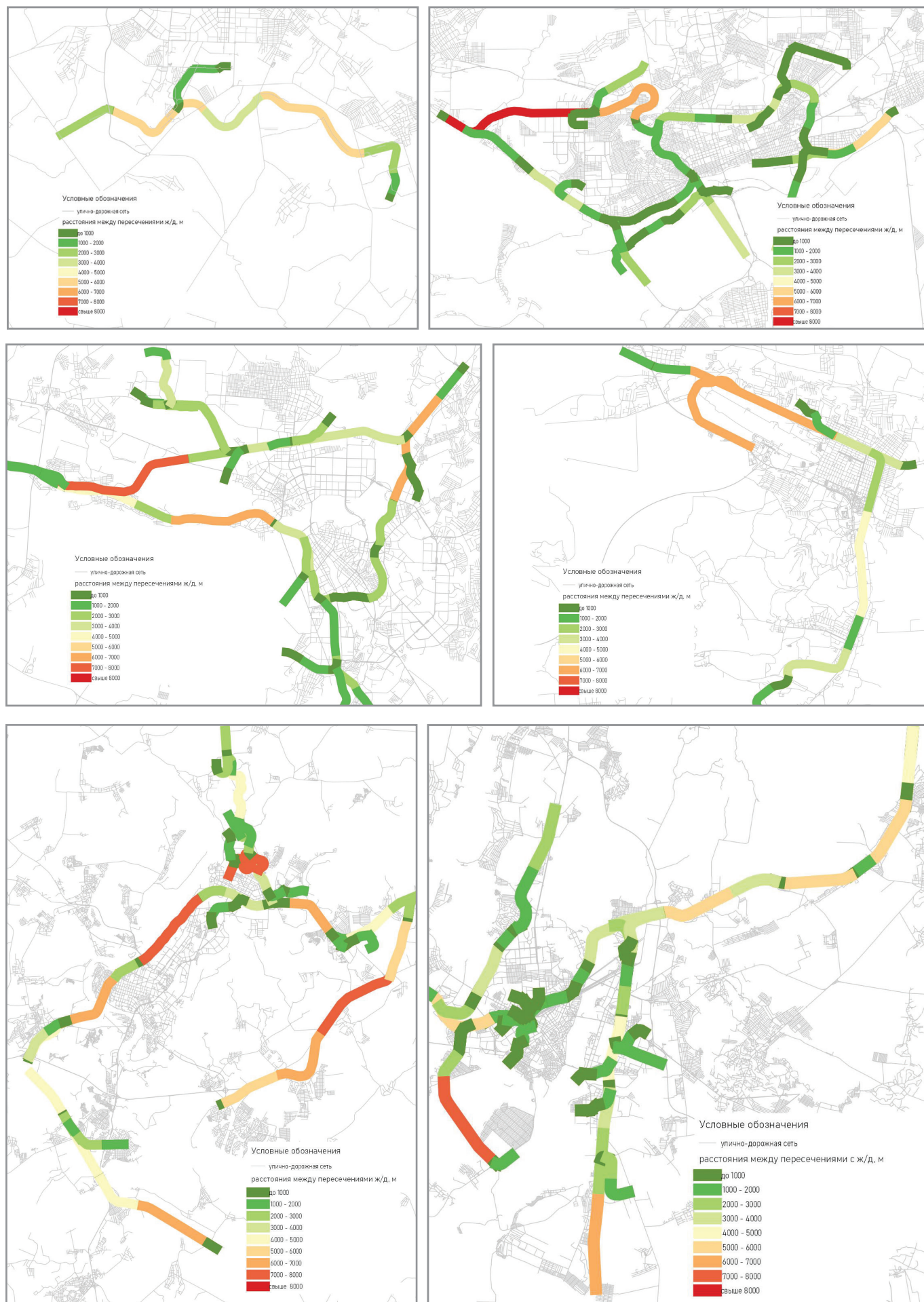


Рис. 3. Расстояния между пересечениями осевых отрезков железных дорог автомобильными дорогами на территории семи рассматриваемых городов

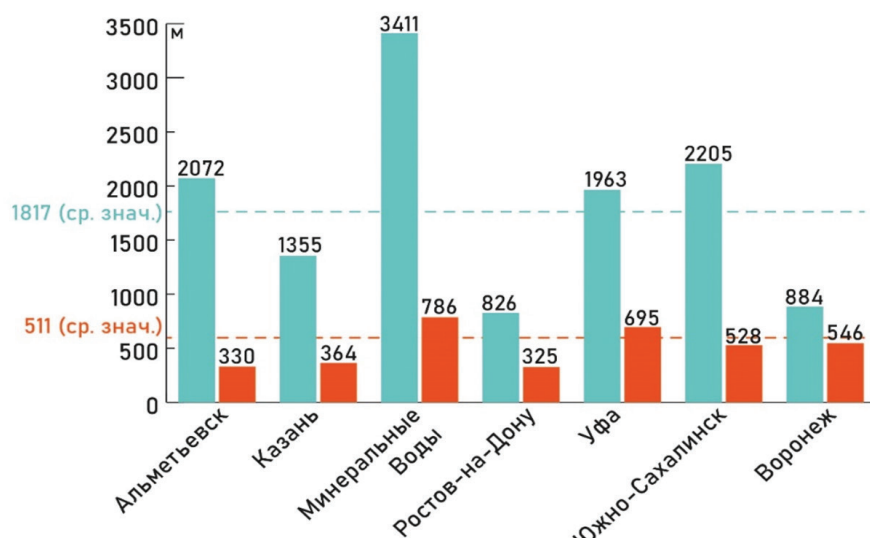


Рис. 4. Среднее расстояние между пересечениями улично-дорожной сети осевыми линиями железных дорог и произвольными линиями

Характер разделения железнодорожными линиями автотранспортных коммуникаций в каждом из городов представлен на рис. 3. Разным цветом показаны участки железнодорожных линий с разной насыщенностью пересечениями с УДС от зеленого к красному, что соответствует максимальной и минимальной насыщенности пересечениями. В результате операций по обработке исходных данных возникал набор, состоящий из геоанных отрезков, совпадающих с трассировкой железных дорог (осевых линий) и отрезков случайной траектории, имеющих в качестве начальной и конечной точки место пересечения с улично-дорожной сетью либо границу исследуемой территории. У каждого из отрезков имеются атрибуты: порядковый номер и длина. Объем общей выборки данных с разбивкой по городам представлен в таблице. По каждому городу в отдельности рассчитана средняя длина отрезка между пересечениями (рис. 4).

Среднее расстояние между элементами УДС осевых линий железных дорог превышает такое же в ненарушенной городской среде в 1,5–4 раза. На проницаемость железнодорожных линий влияет морфотип окружающей застройки и тип железнодорожной линии: наименьшие разрывы, практически незаметные на фоне окружающего каркаса УДС, возникают в жилой и общественной застройке на путях необщего пользования ввиду особенностей строительства и эксплуатации подъездных путей [13].

Наиболее показательным примером данной комбинации является г. Воронеж, опутанный подъездными путями, проходящими через жилую застройку

к удаленным от магистральных железнодорожных линий промзонам.

На промышленных территориях и в микрорайонной застройке проницаемость железнодорожных линий падает вместе с падением средней плотности УДС. Примером, иллюстрирующим данный случай, является г. Альметьевск, где все железнодорожные пути сосредоточены в промзоне на юге города, и, несмотря на ту же типологию, что и в г. Воронеже, имеют значительно большие отрезки между пересечением их автомобильными коммуникациями.

Самые большие перепробеги возникают на магистральных линиях железных дорог вне зависимости от типа окружающей застройки. Данный случай можно наблюдать на примере Минеральных Вод, города-рекордсмена по расстоянию между пересечениями с ж/д путями.

Несмотря на то, что магистральные линии железной дороги в г. Южно-Сахалинске — не электрифицированные однопутные линии, данный тренд там

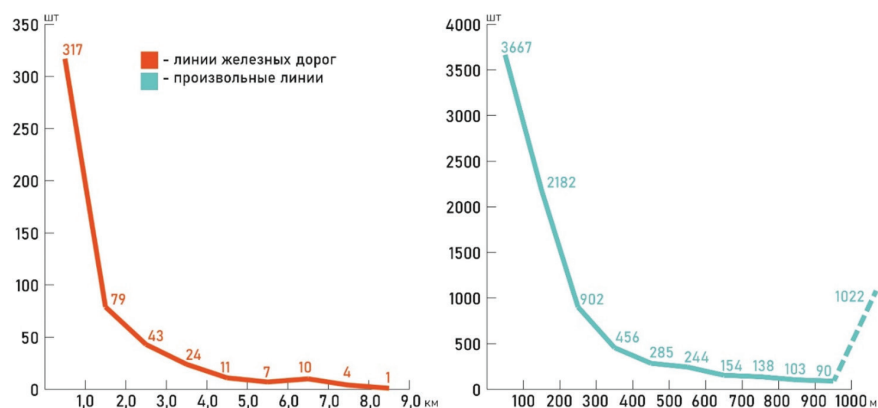


Рис. 5. Распределение расстояний между пересечениями автомобильных и железных дорог, а также автомобильных дорог и произвольных линий на исследуемых территориях

также сохраняется, оказывая существенное негативное влияние на дорожную ситуацию.

Результаты сравнения проницаемости территорий

На рис. 5 представлена диаграмма распределения количества отрезков в зависимости от их протяженности — как осевых отрезков железнодорожных линий, так и отрезков линий, произвольно проведенных через территорию города.

Плотность как УДС, так и пересечений ж/д и автомобильных дорог подчиняются одному и тому же закону распределения: количество участков падает экспоненциально в зависимости от их протяженности. Разнится порядок расстояний — если статистически незначительное количество участков на ж/д достигается, начиная от 5 км, то для улично-дорожной сети в среднем по городу этот показатель составляет в 10–20 раз меньше (500–1000 м).

У пересечений через железнодорожные линии ярко выражен предел длины участка между двумя пересечениями, составляющий чуть менее 10 км. Такой же предел для улично-дорожной сети гораздо менее ярко выражен: отдельные промежутки между улицами находятся примерно в одинаковом количестве от 800 м до нескольких километров.

Исходя из проведенного анализа, можно констатировать, что железнодорожные линии имеют примерно в 2–5 раз меньшую проницаемость, чем территория города в среднем: расстояния без пересечений железными дорогами автодорог измеряются километрами, в то время как отрезки между пересечениями с УДС произвольной линии по территории города чаще всего не превышают длины в 300–500 м.

Наиболее активно разделяют город магистральные линии железной дороги практически вне зависимости от интенсивности движения по ним и иных факторов. Подъездные пути, напротив, могут быть выполнены практически без ухудшения связности городского транспортного каркаса.

Количество их пересечений с автомобильными дорогами зачастую определяется также функциональным назначением и морфотипом [14, 15] окружающей застройки. Наиболее велико оно в жилой и общественной застройке квартального типа, частном секторе.

Заключение

Результаты проведенного исследования подтверждают, что железнодорожные линии существенно нарушают связность улично-дорожной сети городов, создавая барьеры для транспортной мобильности.

Среднее расстояние между пересечениями осевых линий железных дорог превышает аналогичный показатель для случайных маршрутов в 1,5–4 раза, что подтверждает значительное снижение проницаемости городских территорий.

Наиболее выраженное влияние оказывают магистральные линии железной дороги, независимо от типа окружающей застройки, как это продемонстрировано в Минеральных Водах и Южно-Сахалинске. В то же время подъездные пути необщего пользования, особенно проходящие через жилую застройку (Воронеж), демонстрируют относительно меньшее нарушение связности, что свидетельствует о возможности их интеграции в городскую транспортную систему без существенных ограничений.

Полученные данные позволяют разработать конкретные рекомендации для градостроительной политики:

- при планировании новых железнодорожных маршрутов следует избегать разрезания жилых кварталов магистральными линиями;
- для существующих пересечений требуется приоритезация строительства разноразмерных переходов в районах с максимальным нарушением связности;
- в промышленных зонах можно допускать большее расстояние между пересечениями, но необходимо обеспечивать достаточную пропускную способность существующих путепроводов и переездов.

Метод Монте-Карло, примененный в исследовании, доказал свою эффективность как объективный инструмент количественной оценки влияния железнодорожных инфраструктур на городскую среду.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку интегрированных моделей, учитывающих не только транспортную, но и социальную, экономическую и экологическую составляющие влияния железнодорожных линий на городские территории. ■

Литература

1. Щербина Е. В., Власов Д. Н., Данилина Н. В. Устойчивое развитие поселений и урбанизированных территорий: Учебное пособие. М.: Московский государственный строительный университет; ЭБС АСВ, 2016. 128 с. EDN: YSMTMJ.
2. Бахирев И. А., Васильев О. В., Овчинников С. В., Чернышов А. А. Исследование перегруженности улично-дорожной сети Москвы с анализом причин и влияния отложенного спроса // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 4(35). С. 634–643. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-4-634-643. EDN: KUBIDR.
3. Гутнов А. Город как объект системного исследования // Вопросы теории архитектуры: тезисы лекций для семинаров повышения квалификации архитекторов. М., 1976. С. 101–114.
4. Вакуленко С. П., Роменский Д. Ю., Калинин К. А. и др. Методологические основы технологии организации пригородно-городских пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в крупных транспортных узлах (на примере Центрального транспортного узла: опыт и перспективы). М.: РУТ (МИИТ), 2023. 428 с. EDN: FFIEBQ.
5. Мадяр О. Н. Разработка методики определения целесообразности назначения остановок пассажирских поездов в крупных транспортных узлах: дис. ... канд. техн. наук. М., 2019. 250 с. EDN: XVCVMQ.
6. Бахирев И. А., Васильев О. В., Овчинников С. В., Чернышов А. А. Исследование перегруженности улично-дорожной сети Москвы с анализом причин и влияния отложенного спроса // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 4(35). С. 634–643. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-4-634-643. EDN: KUBIDR.
7. Варданян А. Д. Пересечения линейных объектов как особый объект планиров-

- ки территорий населенных пунктов в интересах развития транспортной инфраструктуры: правовые аспекты // Транспортное право и безопасность. 2023. № 1(45). С. 19–34. EDN: YUPGME.
8. Блинкин М. Я., Воробьев А. Н. Городское движение и планировка городов // Городские исследования и практики. 2018. Т. 3. № 2. С. 7–26.
 9. Поляков А. С. Связность улично-дорожной сети городов как фактор социально-экономического развития города // Современная научная мысль. 2019. № 6. С. 214–219. EDN: EPPVHS.
 10. Ильина Е. А. Оценка влияния развития транспортной сети на экономическое развитие региона // Ars Administrandi (Искусство управления). 2013. № 2. С. 91–97. EDN: QZOKPT.
 11. Вакуленко С. П. Классификация железнодорожных узлов с позиций системного подхода // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте: сборник трудов научно-практической конференции с международным участием, 20–21 октября 2021 г., Москва. М.: Российский университет транспорта (МИИТ), 2022. С. 89–95. EDN: QHPVYN.
 12. Красильников П. А., Соколов М. Ю., Роменский Д. Ю. Использование данных стандарта Openstreetmap для задач, связанных с эксплуатацией железнодорожного транспорта // Известия Транссиба. 2023. № 3(55). С. 44–54. EDN: KUSXRQ.
 13. Власюк Т. А. Железнодорожный пассажирский транспорт в территориальной структуре городов-центров и их спутников в Республике Беларусь (ретроспективный анализ и перспектива развития). Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2020. 230 с. EDN: DRGAUB.
 14. Кожаева Л. Б. Морфотипы московской застройки // Архитектура СССР. 1987. № 9–10.
 15. Роменский Д. Ю., Корякин В. М. Использование терминов «инфраструктура общего пользования» и «инфраструктура необщего пользования» в условиях строительства негосударственных железных дорог // Кочневские чтения – 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог: труды II Международной научно-практической конференции, 19–20 апреля 2023 г., Москва. М.: Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. С. 174–180. EDN: OGKWYC.