



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

РАЗРАБОТКА МАРШРУТНОГО ИНДЕКСА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ТРЁХМЕРНОЙ ОЦЕНКИ

DEVELOPMENT OF A ROUTE-BASED EFFICIENCY INDEX FOR URBAN PUBLIC TRANSPORT BASED ON A THREE-DIMENSIONAL ASSESSMENT

✉¹ **Котов Роман Алексеевич**, аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, e-mail: romankotov-5@yandex.ru

✉¹ **Roman Alekseevich Kotov**, graduate student, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: romankotov-5@yandex.ru

Дорохин Сергей Владимирович, д.т.н., декан автомобильного факультета, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, e-mail: dsvvm@yandex.ru

Dorokhin Sergey Vladimirovich, doctor of technical sciences, dean of the automobile faculty, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: dsvvm@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема оценки эффективности отдельных маршрутов городского общественного транспорта (ГОТ) в условиях роста автомобилизации и ограниченных муниципальных ресурсов. На основе анализа существующих подходов выявлен методологический пробел: отсутствие маршрутно-ориентированной, пространственно-дифференцированной и конкурентночувствительной методики, адаптированной к условиям городов-миллионников. Предложена новая методика – Маршрутный индекс эффективности (МИЭ), интегрирующая три измерения: транспортно-операционное, социально-территориальное и конкурентное. С использованием данных АСУ «ГЛОНАСС», ГИС-анализа и тарифной политики выполнен расчёт МИЭ для трёх маршрутов Центрального района Воронежа. Результаты подтвердили применимость методики для ранжирования маршрутов и обоснования целевых управленческих решений.

Annotation. The article addresses the challenge of evaluating the efficiency of individual urban public transport (UPT) routes under conditions of rising car ownership and limited municipal resources. A methodological gap has been identified through the analysis of existing approaches: the lack of a route-oriented, spatially differentiated, and competition-sensitive methodology adapted to million-plus cities. A new method – Route Efficiency Index (REI) – is proposed, integrating three dimensions: transport-operational, socio-spatial, and competitive. Using data from the GLONASS automated control system, GIS analysis, and fare policies, the REI was calculated for three routes in the Central District of Voronezh. The results confirmed the applicability of the methodology for route ranking and evidence-based management decisions.

Ключевые слова: ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ, МАРШРУТНЫЙ ИНДЕКС ЭФФЕКТИВНОСТИ, ТРАНСПОРТНО-ОПЕРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ, СОЦИАЛЬНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДОСТУПНОСТЬ, КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ С ЛИЧНЫМ АВТОТРАНСПОРТОМ.

Keywords: URBAN PUBLIC TRANSPORT, ROUTE EFFICIENCY INDEX, TRANSPORT-OPERATIONAL PARAMETERS, SOCIO-SPATIAL ACCESSIBILITY, COMPETITIVENESS WITH PRIVATE VEHICLES.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Современная транспортная политика Российской Федерации направлена на формирование устойчивой, социально ориентированной и конкурентоспособной системы городского общественного транспорта (ГОТ). Согласно Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом до 2035 года [1], в городах прогнозируется рост пассажирооборота на 11 % по сравнению с 2019 годом, что обуславливает необходимость повышения эффективности работы ГОТ при одновременном обеспечении его доступности и надёжности. Однако реализация этих целей осложняется устойчивым ростом автомобилизации: по данным Росстата, в ряде регионов доля личного автотранспорта превышает 420 единиц на 1000 жителей [2], что создаёт жёсткую конкуренцию для ГОТ и приводит к снижению его привлекательности.

Традиционные подходы к оценке эффективности ГОТ – экономико-финансовый (себестоимость пассажира-километра, выполнение муниципального задания) и агрегированный транспортно-операционный (общий пассажиропоток, средняя загрузка парка) – не позволяют выявить слабые места на уровне отдельного маршрута, где формируется реальный пользовательский опыт и принимаются решения о выборе способа передвижения [3, 4]. Между тем, как показывает международная практика, эффективность транспортной системы в целом зависит от качества функционирования её базовых элементов – маршрутов [5, 6]. В условиях ограниченных бюджетных ресурсов особенно важно уметь точно выявлять неэффективные маршруты и обоснованно распределять инвестиции – в обновление подвижного состава, приоритизации, модернизацию остановок.

В российской научной среде всё чаще подчёркивается необходимость перехода к человекоцентрированным моделям оценки, учитывающим не только технические параметры, но и потребности пассажиров, пространственную доступность и конкурентную среду [7, 8]. В частности, в работах Каплунова И. В. и Панина А. В. отмечается, что транспортная доступность и универсальная проектировка инфраструктуры становятся ключевыми критериями эффективности, особенно для социально уязвимых групп населения [9, 10]. В то же время практически отсутствуют методики, которые одновременно:

- оценивали бы конкретный маршрут, а не систему в целом;
- учитывали бы конкуренцию с личным автотранспортом;
- опирались бы на данные, доступные на муниципальном уровне (без big data).

В этой связи особую значимость приобретают исследования, направленные на разработку практико-ориентированных инструментов маршрутной оценки. Такой подход особенно актуален для городов-миллионников, где сосредоточена значительная часть пассажиропотока, а транспортная система испытывает максимальную нагрузку. Одним из таких городов является Воронеж, где по состоянию на 2025 год насчитывается 98 маршрутов ГОТ, а доля перевозок общественным транспортом составляет около 35–40 % от общего объёма внутригородских поездок [2]. При этом сегодня в городе Воронеж реализуется «Концепция развития пассажирского транспорта на 2025–2027 годы», предусматривающая создание инфраструктуры «метробуса» и усиление приоритизации ГОТ [11].

Наиболее репрезентативной зоной для апробации новых подходов выступает Центральный район Воронежа, через который проходит около 65% всех маршрутов города и пе-

ресекаются ключевые транспортные коридоры. Именно здесь в максимальной степени проявляются системные вызовы: конкуренция с личным транспортом, пробки в часы пик, недостаточная доступность для маломобильных групп населения.

Таким образом, актуальность настоящего исследования обусловлена отсутствием в отечественной практике маршрутно-ориентированной, пространственно-дифференцированной и конкурентно-чувствительной методики оценки эффективности ГОТ, адаптированной к условиям российских городов. Разработка такого инструмента позволит перейти от формального учёта объёмов перевозок к целевому управлению на основе данных, что соответствует как федеральным стратегическим установкам, так и практике передовых муниципалитетов.

2 Материалы и методы

Для комплексной оценки эффективности отдельного маршрута городского общественного транспорта (ГОТ) была разработана оригинальная методика, реализуемая через маршрутный индекс эффективности (МИЭ). Подход основан на трёх фундаментальных измерениях: транспортно-операционном, социально-территориальном и конкурентном, которые отвечают на ключевые вопросы: «Как работает маршрут?», «Кому и где он нужен?», «Почему пассажир выбирает именно этот маршрут, а не личный транспорт?».

В качестве объекта исследования выбран Центральный район г. Воронежа – ядро транспортной системы города, через которое проходит 64 автобусных и 2 троллейбусных маршрута (около 65 % от общего числа). Район характеризуется высокой плотностью населения (154 тыс. чел.), концентрацией административных, образовательных и деловых центров, а также максимальной интенсивностью транспортных потоков в часы пик.

В основу методики положены 14 параметров, сгруппированных по измерениям (табл. 1). Все данные получены из доступных муниципальных источников: АСУ «ГЛОНАСС», ГИС-платформ (OpenStreetMap, Яндекс.Карты), сведений об улично-дорожной сети и тарифной политике.

Таблица 1 – Параметры оценки эффективности маршрута ГОТ

Измерение	Параметр	Единица измерения / тип	Источник данных
Транспортно-операционное	Средняя эксплуатационная скорость	км/ч	АСУ «ГЛОНАСС»
	Интервал движения в часы пик	мин	Расписание, АСУ
	Регулярность движения	%	АСУ «ГЛОНАСС»
	Коэффициент заполнения в пик	безразм.	Учёт пассажиропотока
	Наличие инфраструктурных мер приоритизации	бинарный (0/1)	Концепция «метробуса»
Социально-территориальное	Доля населения в зоне 5-мин пешей доступности	%	ГИС-анализ, перепись
	Количество ключевых точек притяжения	шт.	Кадастр объектов соц. инфраструктуры
	Наличие низкопольного подвижного состава	бинарный (0/1)	Реестр подвижного состава
	Уровень доступности для маломобильных групп населения (МГН)	ранг (0–2)	Инспекция остановок
Конкурентное	Время в пути ОТ «от двери до двери»	мин	ГИС-моделирование
	Время в пути личного автотранспорта по тому же коридору	мин	Яндекс. Навигатор (пиковые часы)
	Соотношение времени ОТ и автомобиля	безразм.	Расчёт
	Стоимость поездки ОТ	руб.	Тарифы Дептранса
	Стоимость поездки на личном автотранспорте	руб.	Норматив 8 руб./км [12]

Порядок расчёта МИЭ включает следующие этапы:

1. Нормализация каждого параметра по шкале $[0; 1]$, где 1 соответствует максимальной эффективности. Для показателей, где *меньше – лучше*, используется формула:

$$x_{norm} = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}} . \quad (1)$$

Для показателей, где *больше – лучше*:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} . \quad (2)$$

Качественные параметры (например, наличие низкопольного транспорта) приводятся к шкале $[0; 1]$ по ранговой шкале.

2. Агрегация нормализованных значений в три частных индекса – по измерениям:

$$I_{опер} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_{i,norm}; I_{соц} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 x_{j,norm}; I_{конк} = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 x_{k,norm} .$$

3. Взвешивание частных индексов согласно «Концепции развития пассажирского транспорта на 2025–2027 годы» [11], где в качестве приоритетов обозначены:

– повышение регулярности и скорости движения за счёт приоритизации ГОТ (транспортно-операционное измерение);

– обеспечение транспортной доступности для всех категорий населения, включая маломобильные группы (социально-территориальное измерение);

– повышение конкурентоспособности ОТ в условиях автомобилизации при доле личного автотранспорта более 420 авто/1000 жителей (конкурентное измерение).

С учётом равной стратегической значимости первых двух задач и несколько меньшего акцента на рыночной конкуренции (ввиду социальной ориентации муниципального транспорта в РФ), были приняты следующие веса:

– транспортно-операционное измерение – 0,35;

– социально-территориальное измерение – 0,35;

– конкурентное измерение – 0,30.

Общий индекс рассчитывается по формуле:

$$МИЭ = 0,35 \cdot I_{опер} + 0,35 \cdot I_{соц} + 0,30 \cdot I_{конк} . \quad (3)$$

Интерпретация результата:

– $МИЭ \geq 0,8$ – высокая эффективность;

– $0,6 \leq МИЭ < 0,8$ – удовлетворительная эффективность;

– $МИЭ < 0,6$ – низкая эффективность, требует управленческого вмешательства.

Предложенная методика не требует «big data» и может быть воспроизведена в любом городе-миллионнике при наличии стандартных муниципальных данных.

3 Результаты исследований

В рамках апробации разработанной методики выполнен расчёт Маршрутного индекса эффективности (МИЭ) для трёх характерных маршрутов Центрального района г. Воронежа: автобусных №6 и №59, а также троллейбусного №99. Выбор маршрутов обусловлен их репрезентативностью по функциональной типологии (социально значимый, высоконагруженный радиальный, поперечный троллейбусный) и охватом ключевых вызовов транспортной системы: конкуренция с личным автотранспортом, отсутствие приоритизации, ограниченная доступность для маломобильных групп населения (МГН).

Характеристика исследуемых маршрутов приведена в табл. 2.

На основе собранных данных выполнена нормализация 14 параметров и расчёт частных индексов по трём измерениям. Результаты расчётов представлены в таблице 3.

Интерпретация результатов:

1. Маршрут №6 (МИЭ = 0,58) демонстрирует низкую эффективность. Несмотря на связь жилого массива «Озерки» с Областным тубдиспансером, он не обеспечивает доступность для МГН и проигрывает личному автомобилю по времени на 41%.

2. Маршрут №59 (МИЭ = 0,69) имеет удовлетворительную эффективность, обусловленную охватом 8 ключевых точек притяжения и частичным использованием низкопольных автобусов, однако требует мер по приоритизации из-за высокой перегрузки.

3. Маршрут №99 (МИЭ = 0,53) – наименее эффективный. Устаревший троллейбусный парк (средний возраст 13,8 лет), отсутствие низкопольного транспорта и низкая эксплуатационная скорость (14,1 км/ч) делают маршрут непривлекательным даже при фиксированной стоимости.

Таблица 2 – Характеристика исследуемых маршрутов ГОТ*

Показатель	№6	№59	№99
Тип маршрута	Автобусный, социально значимый	Автобусный, высоконагруженный радиальный	Троллейбусный, поперечный
Протяжённость, км	12,4	9,1	8,6
Средняя эксплуатационная скорость, км/ч	15,2	17,8	14,1
Наличие низкопольного подвижного состава	Нет	Частично	Нет
Наличие инфраструктурной приоритизации	Нет	Нет	Нет
Количество ключевых точек притяжения	6	8	5
Пассажиропоток в пик, тыс. чел./сут	12,3	28,1	9,7
Соотношение времени ГОТ/авто	1,41	1,35	1,45

*Источники данных: Дептранс Воронежа, АСУ «ГЛОНАСС», ГИС-анализ (OpenStreetMap, Яндекс.Карты), апрель-май 2025 г.

Таким образом, расчёт МИЭ позволил объективно ранжировать маршруты по комплексной эффективности и выявить дисбалансы, не отражаемые традиционными показателями (например, пассажиропотоком). Предложенная методика подтверждает свою пригодность для целевого управления маршрутной сетью на муниципальном уровне.

Таблица 3 – Значения параметров и индексов эффективности маршрутов

Параметр / Измерение	№6	№59	№99
Транспортно-операционное			
Средняя эксплуатационная скорость, км/ч	15,2	17,8	14,1
Интервал движения в пик, мин	8	6	12
Регулярность, %	92	95	89
Коэффициент заполнения в пик	0,92	1,05	0,68
Наличие приоритизации (0/1)	0	0	0
<i>Частный индекс $I_{опер}$</i>	<i>0,61</i>	<i>0,68</i>	<i>0,54</i>
Социально-территориальное			
Доля населения в зоне 5-мин пешей доступности, %	72	78	65
Количество точек притяжения	6	8	5
Наличие низкопольного транспорта (0/1)	0	1	0
Уровень доступности для МГН (0-2)	0	1	0
<i>Частный индекс $I_{соц}$</i>	<i>0,56</i>	<i>0,76</i>	<i>0,48</i>
Конкурентное			
Время в пути ОТ «от двери до двери», мин	38	35	42
Время в пути личного автотранспорта, мин	27	26	29
Соотношение времени ОТ/авто	1,41	1,35	1,45
Стоимость поездки ОТ, руб.	30	30	30
Стоимость поездки на личном автотранспорте, руб.	72	72	64
<i>Частный индекс $I_{конк}$</i>	<i>0,58</i>	<i>0,61</i>	<i>0,55</i>
Общий МИЭ	0,58	0,69	0,53

4 Обсуждение и заключение

Проведённое исследование подтвердило гипотезу о необходимости разработки маршрутно-ориентированного подхода к оценке эффективности городского общественного транспорта. Предложенный Маршрутный индекс эффективности (МИЭ), основанный на трёх измерениях – транспортно-операционном, социально-территориальном и конкурентном, позволил выявить системные дисбалансы, не отражаемые традиционными показателями, такими как пассажиропоток или выполнение муниципального задания.

Анализ трёх маршрутов Центрального района Воронежа показал, что высокая загрузка не гарантирует эффективность (маршрут №59), а социальная значимость не компенсирует недоступность и медленность (маршрут №6). Наиболее слабым оказался троллейбусный маршрут №99, где устаревший парк (средний возраст – 13,8 лет), отсутствие низкопольных транспортных средств и низкая эксплуатационная скорость (14,1 км/ч) привели к МИЭ = 0,53, что указывает на необходимость радикальной модернизации или перевода на автобусную технологию.

Важно отметить, что ключевым ограничением всех трёх маршрутов является конкуренция с личным автотранспортом: соотношение времени ОТ/авто превышает 1,35, что, по международным оценкам, делает маршрут непривлекательным для среднего пассажира.

Предложенная методика имеет высокую практическую ценность для муниципальных властей, она позволяет ранжировать маршруты по комплексной эффективности и выделять приоритетные направления для инвестиций.

Методика разработана с учётом реалий городов-миллионников: она опирается на данные, доступные на муниципальном уровне (АСУ «ГЛОНАСС»), открытые ГИС-платформы, данные УДС), и не требует big data или сложных ИТ-систем. Это делает её масштабируемой для других регионов Центральной России, реализующих проекты типа «метробус».

Таким образом, научная новизна работы заключается в разработке практико-ориентированного инструмента, обеспечивающего переход от формального учёта перевозок к человекоцентрированному управлению транспортной системой.

Список литературы

- 1 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года / утв. распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р.
- 2 Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://36.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 15.10.2025).
- 3 Котов, Р. А. Разработка двухфакторной математической модели оценки количества дорожно-транспортных происшествий с участием пассажирского транспорта / Р. А. Котов, С. В. Дорохин // Воронежский научно-технический Вестник. – 2024. – Т. 3, № 3(49). – С. 126-132. – DOI 10.34220/2311-8873-2024-126-132.
- 4 Гудков В. А. Организация и управление пассажирскими перевозками на городском транспорте / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Суворов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2019. – 416 с.
- 5 European Commission. SUMP Guidelines – Sustainable Urban Mobility Plans. – 2nd ed. – Brussels, 2019.
- 6 Wright L., Hook W. Bus Rapid Transit Planning Guide. – New York: ITDP, 2007.
- 7 Анализ влияния внешнеэкономических факторов на развитие транзитных перевозок на территории ЕАЭС / С. В. Дорохин, В. А. Зеликов, А. Ш. Субхонбердиев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 1(83). – С. 419-425. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-1-419-425.
- 8 Новиков А. Н. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе / А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова. – М.: Академия, 2022. – 205 с.
- 9 Каплунов И. В. Показатели качества и эффективности городского пассажирского транспорта // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 2. – С. 42–48.
- 10 Панин А. В. Транспортная доступность как критерий эффективности городской транспортной системы // Урбанистика и регионология. – 2019. – № 1(15). – С. 34–45.
- 11 Концепция развития пассажирского транспорта на 2025–2027 годы / утверждена постановлением администрации городского округа город Воронеж от 20.06.2025 № 964. – Воронеж, 2025.
- 12 Litman T. Evaluating Public Transit Benefits and Costs. – Victoria Transport Policy Institute, 2023. – URL: <https://www.vtpi.org/tranben.pdf> (дата обращения: 20.10.2025).

References

- 1 Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a Forecast for the Period until 2035 / approved by Order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-r.
- 2 Territorial Body of the Federal State Statistics Service for Voronezh Oblast [Electronic resource]. – URL: <https://36.rosstat.gov.ru/> (date of access: October 15, 2025).
- 3 Kotov, R. A. Development of a two-factor mathematical model for estimating the number of road accidents involving passenger transport / R. A. Kotov, S. V. Dorokhin // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2024. – Vol. 3, No. 3 (49). – P. 126-132. – DOI 10.34220/2311-8873-2024-126-132.
- 4 Gudkov V. A. Organization and management of passenger transportation in urban transport / V. A. Gudkov, L. B. Mirotin, A. V. Suvorov. – Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom, 2019. – 416 p.
- 5 European Commission. SUMP Guidelines – Sustainable Urban Mobility Plans. – 2nd ed. – Brussels, 2019.
- 6 Wright L., Hook W. Bus Rapid Transit Planning Guide. – New York: ITDP, 2007.
- 7 Analysis of the influence of external economic factors on the development of transit transportation in the territory of the EAEU / S. V. Dorokhin, V. A. Zelikov, A. Sh. Subkhonberdiev [et al.] // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2020. – Vol. 82, No. 1(83). – Pp. 419-425. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-1-419-425.
- 8 Novikov A. N. Safe and efficient management of traffic flows in the urban transport system / A. N. Novikov, A. G. Shevtsova. – Moscow: Academy, 2022. – 205 p.
- 9 Kaplunov I. V. Indicators of Quality and Efficiency of Urban Passenger Transport // Transport of the Russian Federation. - 2021. - No. 2. - Pp. 42-48.
- 10 Panin A. V. Transport Accessibility as a Criterion of the Efficiency of the Urban Transport System // Urban Studies and Regional Studies. - 2019. - No. 1 (15). - Pp. 34-45.
- 11 Concept of Passenger Transport Development for 2025-2027 / approved by the Resolution of the Administration of the Urban District of the City of Voronezh dated 20.06.2025 No. 964. - Voronezh, 2025.
- 12 Litman T. Evaluating Public Transit Benefits and Costs. – Victoria Transport Policy Institute, 2023. – URL: <https://www.vtpi.org/tranben.pdf> (accessed: 20.10.2025).