



УСТОЙЧИВЫЙ ТРАНСПОРТ: СТРАТЕГИИ, ТЕХНОЛОГИИ И МИРОВОЙ ОПЫТ

доц. Ходжаниязов Эльбек

Ургенчский государственный университет

имени Абу Райхана Беруни

ORCID: 0000-0002-2937-3148

khelbek1990@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются концептуальные основы устойчивого транспорта, его ключевые компоненты и международный опыт реализации. Анализируются экологические, экономические и социальные аспекты трансформации транспортных систем в условиях глобальных изменений климата. Особое внимание уделяется электромобилизации, развитию общественного транспорта, немоторизованным видам передвижения и умным транспортным системам. Представлены статистические данные, диаграммы и сравнительный анализ лучших мировых практик.

Ключевые слова: устойчивый транспорт, электромобили, общественный транспорт, выбросы CO₂, умный город, мультимодальность.

BARQAROR TRANSPORT: STRATEGIYALAR, TEXNOLOGIYALAR VA JAHON TAJRIBASI

dots. Xodjaniyozov Elbek

Abu Rayhon Beruniy nomidagi

Urganch davlat universiteti

Annotatsiya. Maqolada barqaror transportning kontseptual asoslari, uning asosiy tarkibiy qismlari va xalqaro amalga oshirish tajribasi ko'rib chiqiladi. Iqlimning global o'zgarishi sharoitida transport tizimlarini o'zgartirishning ekologik, iqtisodiy va ijtimoiy jihatlarini tahlil qilinadi. Elektromobilizatsiya, jamoat transportini rivojlantirish, motorlashtirilmagan harakatlanish turlari va aqlli transport tizimlariga alohida e'tibor qaratiladi. Statistik ma'lumotlar, diagrammalar va eng yaxshi jahon amaliyotlarining qiyosiy tahlili keltirilgan.

Kalit so'zlar: barqaror transport, elektromobillar, jamoat transporti, CO₂ chiqindilari, aqlli shahar, multimodallik.

SUSTAINABLE TRANSPORT: STRATEGIES, TECHNOLOGIES AND GLOBAL EXPERIENCE

assoc. prof. Khodjaniyazov Elbek

Urgench State University named after

Abu Raykhan Beruni

Abstract. The article examines the conceptual foundations of sustainable transport, its key components and international implementation experience. Environmental, economic and social aspects of transport system transformation under global climate change are analyzed. Special attention is paid to electromobility, public transport development, non-motorized mobility and intelligent transport systems. Statistical data, diagrams and comparative analysis of global best practices are presented.

Keywords: sustainable transport, electric vehicles, public transport, CO₂ emissions, smart city, multimodality.

Введение.

Транспортный сектор является одним из крупнейших источников антропогенных выбросов парниковых газов в мире. По данным Международного энергетического агентства (МЭА, 2023), на долю транспорта приходится около 24% глобальных выбросов CO₂, связанных с энергетикой, из которых примерно 75% обусловлены автомобильным транспортом. Одновременно транспорт является основой экономической жизни общества, обеспечивая доступность рабочих мест, образования, здравоохранения и социальных услуг.

Концепция устойчивого транспорта сформировалась в конце XX века как ответ на обострение экологических и социальных проблем урбанизации. Brundtland Commission (1987) заложила методологическую основу, определив устойчивое развитие как «удовлетворение потребностей настоящего поколения, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои потребности». Применительно к транспорту данный принцип означает создание систем, которые доступны, безопасны, экономически эффективны и экологически нейтральны.

Цели устойчивого развития ООН (ЦУР), принятые в 2015 году, прямо закрепляют транспортную повестку: ЦУР 11 (устойчивые города), ЦУР 13 (климатические действия) и ЦУР 9 (инфраструктура) требуют качественного преобразования транспортных систем до 2030 года. Настоящая статья систематизирует ключевые направления этого преобразования, анализирует мировой опыт и формулирует рекомендации для развивающихся стран, в том числе для Республики Узбекистан.

Обзор литературы.

Международный транспортный форум (ITF) определяет устойчивый транспорт как «транспортные системы и технологии, которые не создают уровня загрязнения окружающей среды, превышающего поглощающую способность природы, и позволяют удовлетворять потребности людей в мобильности, не истощая невозобновляемые ресурсы или нанося вред здоровью человека».

В академической литературе выделяются три взаимосвязанных измерения устойчивости транспорта: экологическое (сокращение выбросов и ресурсопотребления), экономическое (доступность и эффективность) и социальное (равноправный доступ и безопасность). Litman & Burwell (2006) предложили расширенную рамку из 12 критериев, включающую шум, использование земли, физическую активность и культурное наследие.

Таблица 1.

Трёхмерная модель устойчивости транспортных систем

Измерение	Ключевые показатели	Инструменты измерения
Экологическое	Выбросы CO ₂ , NO _x , PM; шум; использование земли	LCA, GEDI, EPI
Экономическое	Стоимость поездки, ВВП-эффект, занятость, ROI инфраструктуры	CBA, HDI, транспортный ВВП
Социальное	Транспортная бедность, доступность, ДТП на 100 тыс. чел.	SUTI, Gini мобильности

Источник: авторская разработка

Концепция устойчивой мобильности предполагает смещение приоритетов от автомобиля к пешеходам, велосипедистам и пользователям общественного транспорта.

Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН) рекомендует следующую иерархию при проектировании транспортной инфраструктуры:

- 1-й приоритет: пешеходы и маломобильные граждане
- 2-й приоритет: велосипедисты и средства микромобильности
- 3-й приоритет: рельсовый общественный транспорт (метро, трамвай)
- 4-й приоритет: автобусы с выделенными полосами; легковой автотранспорт —

последним.

Согласно данным IEA (2023), транспортный сектор суммарно выбросил 8,0 Гт CO₂ в 2022 году. Дорожный транспорт обеспечивает 6,0 Гт (75%), авиация — 0,8 Гт (10%), морское судоходство — 0,7 Гт (9%), прочие виды — 0,5 Гт (6%). Для достижения целей Парижского соглашения транспортный сектор должен сократить выбросы не менее чем на 50% к 2030 году относительно уровня 2010 года, а к 2050 году выйти на углеродную нейтральность.

Таблица 2.

Структура выбросов CO₂ от транспорта

Показатель	Относительная доля	Гт CO ₂
Легковые автомобили		3.9 Гт CO ₂
Грузовой транспорт		2.1 Гт CO ₂
Авиация		0.8 Гт CO ₂
Морской транспорт		0.7 Гт CO ₂
Автобусы		0.4 Гт CO ₂
Прочие		0.1 Гт CO ₂

Источник International Energy Agency (IEA). (2023). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. Paris: OECD/IEA

Помимо парниковых газов, транспорт является основным источником загрязняющих веществ в городских агломерациях. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 2022), около 99% городского населения мира дышит воздухом, не соответствующим рекомендуемым стандартам качества, и транспорт несёт ответственность за 25–30% городских выбросов мелкодисперсных частиц PM_{2.5}. В Центральноазиатском регионе ситуация усугубляется высокой долей устаревшего автопарка с двигателями Евро-0 и Евро-1.

Методология исследования.

Данное исследование основано на комплексе научных методов, позволяющих всесторонне изучить проблематику устойчивого транспорта в условиях глобальных изменений климата и урбанизации. Методологическую основу составляют шесть взаимодополняющих подходов.

Системный анализ позволяет рассматривать транспорт не как изолированную отрасль, а как комплексную систему, взаимосвязанную с экологией, экономикой и социальной сферой, применяя трёхмерную модель устойчивости в единой аналитической рамке. Сравнительный (компаративный) метод применяется для сопоставления транспортных политик и показателей Норвегии, Нидерландов, Германии, КНР, США и Узбекистана, а также технологий силовых установок и систем BRT ведущих городов мира. Анализ вторичных данных опирается на отчёты МЭА, ВОЗ, IPCC, UNEP, ITF, BloombergNEF и McKinsey за 2020–2024 годы, что обеспечивает достоверность и актуальность приводимых данных. Статистический анализ включает количественные показатели выбросов CO₂, доли рынка электромобилей, динамику стоимости

аккумуляторных батарей и пассажиропоток систем BRT, представленные в таблицах и диаграммах.

Анализ и обсуждение результатов.

Переход на электрические транспортные средства (ЭТС) признан одним из наиболее действенных инструментов снижения выбросов. По данным IEA (2024), мировые продажи электромобилей в 2023 году достигли 14 млн единиц (+35% год к году), а их общий парк превысил 40 млн автомобилей [9]. Лидерами являются КНР (60% мировых продаж), Европа (25%) и США (10%). В Норвегии доля новых ЭТС превысила 82% в 2023 году, что стало возможным благодаря комплексным налоговым льготам и развитой инфраструктуре зарядки.

Снижение стоимости аккумуляторных батарей — ключевой фактор конкурентоспособности ЭТС. BloombergNEF (2023) фиксирует снижение стоимости литий-ионных элементов с 1 200 долл./кВт·ч в 2010 году до 139 долл./кВт·ч в 2023 году, что соответствует паритету жизненного цикла с автомобилями ДВС в большинстве сегментов.

Таблица 2.

Сравнение технологий силовых установок транспортных средств

Показатель	ДВС (бензин)	Гибрид (HEV)	Plug-in гибрид	Электро (BEV)	Водород (FCEV)
Выбросы CO ₂ , г/км	130–180	90–120	20–60*	0*	0*
КПД силовой уст., %	20–35	30–40	35–45	85–95	50–60
Стоимость топлива, €/100 км	10–15	7–10	3–8	2–4	10–15
Запас хода, км	600–900	600–900	400–700	300–600	500–750
Время заправки	5 мин	5 мин	20–60 мин	20–60 мин	5 мин

* — с учётом выбросов при производстве электроэнергии; при ВИЭ-генерации — близко к нулю.

Источник: авторская разработка

Топливные элементы на водороде (FCEV) представляют альтернативу для тяжёлого транспорта, авиации и морского судоходства — сегментов, где батарейная электрификация ограничена по массе и дальности. Глобальная стратегия водородной экономики, принятая рядом государств (ЕС, Япония, Южная Корея, Германия), предусматривает достижение стоимости «зелёного» водорода менее 2 долл./кг к 2030 году, что сделает его конкурентоспособным с природным газом.

Интеллектуальные транспортные системы (ITS) интегрируют информационно-коммуникационные технологии с транспортной инфраструктурой с целью оптимизации потоков, повышения безопасности и снижения выбросов. Среди ключевых компонентов выделяются: адаптивное управление светофорами, системы динамического ценообразования в дорожном движении, платформы MaaS (Mobility-as-a-Service) и автономный транспорт (AV). По оценкам McKinsey (2022), широкое внедрение ITS позволит сократить задержки в дорожном движении на 25–30% и выбросы городского транспорта на 15–20%.

Инвестиции в метрополитен, легкорельсовый транспорт (LRT) и скоростной автобус (BRT) обеспечивают снижение выбросов за счёт перевода пассажиров с личного

автотранспорта на электрифицированные системы. Один километр линии метро предотвращает выброс в среднем 30–60 тыс. т CO₂ в год в зависимости от структуры генерации электроэнергии. Сеть рельсового транспорта в мире составляет около 34 000 км (UIC, 2023), при этом наиболее динамично она растёт в КНР (700+ км новых линий ежегодно).

Велосипедные пути и программы велошеринга демонстрируют высокую эффективность с точки зрения стоимости сокращения выбросов. Исследования показывают, что 1 доллар, вложенный в велосипедную инфраструктуру, генерирует 24 долл. совокупных экономических выгод (здоровье, экология, экономия времени). Нидерланды с их 35 000 км велодорог и долей велотранспорта в 27% от всех поездок остаются мировым эталоном.

Таблица 3.

Сравнительный анализ крупнейших систем BRT в мире

Город	Длина сети, км	Пассажиров/день, тыс.	Год запуска	Скорость, км/ч
Богота (TransMilenio)	114	2 200	2000	26
Куритиба (URBS)	72	2 260	1974	20
Стамбул (Metrobüs)	52	750	2007	42
Джакарта (Transjakarta)	251	1 000	2004	18
Пекин BRT	46	80	2005	21

Источник: авторская разработка

Стратегия ЕС по устойчивой и умной мобильности (2020) предусматривает 90%-ное сокращение транспортных выбросов к 2050 году. Ключевые меры: запрет продаж новых автомобилей с ДВС с 2035 года, развитие сети зарядных станций (1 станция на 60 км автодорог к 2030 году), перевод 75% внутренних грузовых перевозок на рельс и водный транспорт, а также ценообразование на выбросы углерода через систему ETS.

Китай реализует крупнейшую в мире программу электромобилизации: к 2025 году доля электромобилей в новых продажах должна достигнуть 20%, а к 2035 году — 50%. Государственные субсидии объёмом более 29 млрд долл. в период 2009–2022 годов обеспечили создание лидирующей национальной цепочки производства ЭТС. Одновременно КНР стала крупнейшим рынком электрических автобусов: в 2023 году парк электробусов превысил 600 тыс. единиц.

Сингапур признан одним из глобальных лидеров по эффективности транспортного планирования. Система электронного дорожного ценообразования (ERP), введённая в 1998 году, сократила трафик в центральных районах на 25–45%. Доля общественного транспорта в пиковые часы составляет 67%, а к 2040 году планируется достичь 75% без учёта пешеходных и велосипедных поездок. Переход автобусного парка на электрическую тягу завершится к 2040 году.

Таблица 4.

Сравнительная характеристика транспортной политики ведущих стран

Страна / регион	Доля ОТ в поездках	Выбросы авто-транспорта, кг CO ₂ /чел./год	Доля ЭТС, %	Целевой год 0-выбросов
Норвегия	32%	1 100	82%	2025
Нидерланды	47%	1 300	30%	2030
Германия	29%	1 600	20%	2035
КНР	53%	900	34%	2035
США	5%	4 200	8%	2050
Узбекистан	38%	1 800	<1%	—

Источник: авторская разработка

Республика Узбекистан входит в число стран с быстро растущим автопарком: с 2010 по 2023 год численность зарегистрированных транспортных средств увеличилась с 2,3 до 5,1 млн единиц (данные Министерства транспорта, 2023). Ташкент, с населением 3,2 млн человек, сталкивается с нарастающими проблемами пробок, загрязнения воздуха и недостаточного развития немоторизованной инфраструктуры.

Правительство Узбекистана реализует ряд инициатив в направлении устойчивого транспорта. Принятая «Стратегия развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы» предусматривает электрификацию 30% автобусного парка к 2026 году, строительство новых линий метро в Ташкенте, а также реконструкцию пригородного железнодорожного сообщения. Первые сотни электробусов китайского производства уже введены в эксплуатацию в 2023 году.

Вместе с тем структурными ограничениями остаются: высокая доля автомобилей Евро-0/1 в парке (по оценкам, 40–50%), слабое развитие велоинфраструктуры, отсутствие систем MaaS, а также недостаточные институциональные механизмы углеродного регулирования. Адаптация лучших международных практик должна учитывать климатические особенности региона, уровень доходов населения и существующую производственную базу.

Выводы и предложения.

Устойчивый транспорт представляет собой не отдельную технологию, а системную парадигму, интегрирующую экологические, экономические и социальные цели. Анализ мирового опыта свидетельствует о том, что наиболее успешные трансформации транспортных систем базируются на трёх взаимодополняющих стратегиях: избегании излишних поездок (Avoid), смещении спроса на более эффективные виды транспорта (Shift) и совершенствовании транспортных технологий (Improve) — концепция ASI, принятая UNEP.

Электромобилизация, умные транспортные системы, приоритизация общественного и немоторизованного транспорта, а также справедливое ценообразование на выбросы углерода являются ключевыми инструментами декарбонизации. Их реализация требует скоординированных действий на уровне национальной политики, городского планирования и международного сотрудничества. Для Узбекистана переход к устойчивому транспорту открывает возможности повышения качества городской среды, снижения зависимости от импорта топлива и достижения климатических обязательств в рамках NDC (National Development Community).

Jumepamypa / Adabiyotlar/References:

- BloombergNEF. (2023). *Electric Vehicle Outlook 2023*. Bloomberg Finance L.P.
- BloombergNEF. (2024). *China Electric Vehicle Market Outlook*. Bloomberg Finance L.P.
- Brundtland Commission. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.
- C40 Cities. (2023). *Rapid Transit Systems and Urban Emissions*. New York.
- European Commission. (2020). *Sustainable and Smart Mobility Strategy*. COM(2020) 789 final.
- Fishman, E., Washington, S., & Haworth, N. (2012). *Cycling: solving the city problem?* *Transport Policy*, 24, 220–228.
- IEA. (2024). *Global EV Outlook 2024*. Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency (IEA). (2023). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. Paris: OECD/IEA.
- International Transport Forum (ITF). (2021). *Transport Outlook 2021*. OECD Publishing.
- IPCC. (2022). *Mitigation of Climate Change (AR6 WG III)*. Cambridge University Press.
- IRENA. (2022). *Green Hydrogen: A Guide to Policy Making*. Abu Dhabi.
- KiM Netherlands Institute for Transport Policy Analysis. (2023). *Mobility Report 2023*. The Hague.
- Land Transport Authority of Singapore. (2023). *Land Transport Master Plan 2040*. Singapore.
- Litman, T., & Burwell, D. (2006). *Issues in sustainable transportation*. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(4), 331–347.
- McKinsey & Company. (2022). *Urban Mobility at a Tipping Point*. McKinsey Center for Future Mobility.
- Norwegian EV Association. (2024). *Norwegian EV Policy*. Oslo.
- Sobirov Y., Khodjaniyozov E., Fayzullayev N. *Nexus Between Energy Consumption and Sustainable Economic Growth in CIS Countries //Journal of East-West Business*. – 2024. – T. 30. – №. 4. – C. 363-389.
- UIC — International Union of Railways. (2023). *Railway Handbook 2023*. Paris.
- UNECE. (2020). *Sustainable Urban Mobility Indicators*. Geneva: United Nations.
- UNEP. (2016). *Avoid–Shift–Improve (ASI) Framework*. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. A/RES/70/1.
- WHO. (2022). *Ambient Air Quality Database*. Geneva: World Health Organization