Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТИ ВЕЛОСИПЕДНЫХ ДОРОЖЕК В УСЛОВИЯХ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ГОРОДОВ

А. М. Карабаев [1,*], А. А. Нормухаммадов [1]

[1]Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан
[*]Корреспондент-автор: ab.karabayev@gmail.com

Аннотация. В условиях ускоренной урбанизации и роста автомобилизации в развивающихся городах возрастают проблемы транспортной перегруженности, ухудшения экологической ситуации и снижения качества городской среды. В этой связи развитие велосипедной инфраструктуры рассматривается как один из приоритетных элементов устойчивой городской мобильности. Однако эффективность внедрения велосипедного транспорта во многом определяется научно обоснованным планированием сети велосипедных дорожек.

Целью данной статьи является систематизация и сравнительный анализ научных подходов и методов планирования сети велосипедных дорожек с учетом специфики развивающихся городов. В работе рассмотрены нормативно-планировочные, транспортно-моделирующие, пространственные (GIS-основанные), социальные, экологические и экономические методы формирования велосипедных сетей. Особое внимание уделено оценке их применимости в условиях ограниченных ресурсов, дефицита исходных данных и фрагментарной городской застройки.

Результаты исследования показывают, что наибольшей эффективностью обладают комбинированные подходы, основанные на интеграции нормативных требований, пространственного анализа, оценки безопасности движения и социально-экологических критериев. Полученные выводы могут быть использованы при разработке стратегий развития велосипедной инфраструктуры и формировании устойчивых транспортных систем в развивающихся городах.

Ключевые слова: велосипедная инфраструктура, велосипедные дорожки, транспортное планирование, устойчивое развитие, городская мобильность, развивающиеся города.

Введение

Быстрые темпы урбанизации и рост уровня автомобилизации являются характерной особенностью развивающихся городов XXI века. Увеличение численности личного автотранспорта приводит к хронической перегруженности улично-дорожной сети, росту выбросов загрязняющих веществ, повышению уровня шума и ухудшению экологического состояния городской среды [7], [8]. Многочисленные исследования подтверждают, что традиционные меры транспортного планирования, ориентированные преимущественно на расширение проезжей части и пропускной способности магистралей, не обеспечивают устойчивого решения данных проблем в долгосрочной перспективе [7].

В этих условиях велосипедный транспорт рассматривается как один из наиболее эффективных и доступных инструментов устойчивой городской мобильности. Его развитие способствует снижению транспортной нагрузки, сокращению выбросов CO_2, повышению

физической активности населения и улучшению качества городской среды [2], [6], [10], [14]. По данным Всемирной организации здравоохранения, регулярное использование активных видов передвижения, включая велосипед, оказывает положительное влияние на здоровье населения и снижает социально-экономические издержки, связанные с заболеваниями, обусловленными малоподвижным образом жизни [10], [14].

Несмотря на очевидные преимущества, развитие велосипедной инфраструктуры в развивающихся городах сталкивается с рядом системных ограничений. Во многих случаях велосипедные дорожки проектируются фрагментарно, без формирования связной и непрерывной сети, что существенно снижает их транспортную и функциональную эффективность [1], [5]. Отсутствие комплексного подхода к планированию приводит к низкому уровню использования существующей инфраструктуры и формированию негативного восприятия велосипеда как полноценного вида городского транспорта.

Анализ научных публикаций показывает, что значительная часть исследований в области планирования велосипедной инфраструктуры ориентирована на условия развитых стран, характеризующихся высоким уровнем институциональной зрелости, наличием детализированных транспортных данных и устойчивыми традициями немоторизованной мобильности [8], [24]. В то же время в развивающихся городах процесс внедрения велосипедных сетей осложняется дефицитом исходных данных, ограниченными финансовыми ресурсами, смешанным характером транспортных потоков и фрагментарной городской застройкой [9], [11], [18]. Это существенно ограничивает прямое применение существующих методологических подходов без учета локальной специфики.

В связи с изложенным особую актуальность приобретает систематизация и критический анализ научных подходов и методов планирования сети велосипедных дорожек с акцентом на условия развивающихся городов. Целью данной статьи является обобщение нормативно-планировочных, транспортно-моделирующих, пространственных (GIS-основанных), социальных, экологических и экономических методов формирования велосипедных сетей, а также оценка их применимости в условиях ограниченных ресурсов и высокой динамики городского развития.

Обзор научных подходов к планированию сети велосипедных дорожек

Научные исследования в области планирования велосипедной инфраструктуры формировались поэтапно и отражают эволюцию представлений о роли велосипеда в городской транспортной системе. Ранние работы были ориентированы преимущественно на нормативно-планировочные и геометрические аспекты проектирования велосипедных дорожек, включая требования к ширине проезжей части, радиусам поворотов, условиям видимости и элементам обеспечения безопасности [3], [4]. Данный подход позволял создавать минимально допустимые условия для движения велосипедистов, однако рассматривал велосипедную инфраструктуру как изолированный элемент улично-дорожной сети, без учета ее сетевой связности и реального транспортного спроса.

С развитием концепции устойчивой городской мобильности и переходом к интегрированному транспортному планированию научный фокус сместился в сторону формирования связных и непрерывных велосипедных сетей. В работах R. Pucher и J. Buehler показано, что высокий уровень использования велосипеда достигается не за счет отдельных велосипедных дорожек, а при наличии плотной, логически связанной и иерархически организованной сети маршрутов [8], [24]. Аналогичные выводы представлены в исследованиях L. Harms и M. Kansen, где подчеркивается значение сетевого эффекта и территориальной непрерывности велосипедной инфраструктуры [5].

Значительное развитие получили транспортно-моделирующие подходы, основанные на анализе матриц «происхождение–назначение», сценарном моделировании и оценке перераспределения поездок между видами транспорта [6], [15], [24]. Указанные методы позволяют количественно обосновывать приоритетность развития отдельных маршрутов и

оценивать социально-экономическую эффективность инвестиций в велосипедную инфраструктуру. Однако в условиях развивающихся городов их практическое применение часто ограничено дефицитом достоверных статистических данных и высокой долей неформальных передвижений [9], [11].

В этой связи широкое распространение получили пространственные и GIS-основанные подходы, ориентированные на анализ территориальной доступности, плотности застройки, распределения населения и объектов притяжения [8], [9], [18]. Использование геоинформационных систем позволяет выявлять разрывы в велосипедной сети, формировать иерархию маршрутов и разрабатывать поэтапные сценарии развития инфраструктуры. Ряд исследований указывает, что GIS-методы являются наиболее адаптируемыми для развивающихся городов, поскольку допускают использование агрегированных и альтернативных источников данных [11], [18].

Отдельное направление исследований связано с учетом факторов безопасности и комфорта движения велосипедистов. В работах R. Marqués и V. Hernández-Herrador доказано, что субъективное восприятие безопасности оказывает существенное влияние на выбор маршрута и интенсивность велосипедного движения, зачастую превосходя по значимости факторы расстояния и времени в пути [13]. Данные выводы имеют особую актуальность для развивающихся городов, характеризующихся высокой интенсивностью смешанного движения и ограниченным уличным пространством.

В последние годы наблюдается рост интереса к экологическим и социально-ориентированным подходам планирования велосипедной инфраструктуры. Исследования Всемирной организации здравоохранения и Европейского агентства по окружающей среде подтверждают, что интеграция велосипедных дорожек с элементами зеленой инфраструктуры способствует снижению загрязнения воздуха, смягчению эффекта городского теплового острова и улучшению психоэмоционального состояния населения [10], [12], [17], [22], [25]. Социально-ориентированные исследования акцентируют внимание на вопросах транспортной доступности и справедливости, особенно в районах с низким уровнем доходов [11], [18].

Обобщение научных публикаций показывает, что в современных исследованиях преобладают комбинированные подходы, сочетающие нормативно-планировочные, пространственные, транспортно-моделирующие и социально-экологические методы [8], [12], [24]. Их применение позволяет учитывать многофакторный характер формирования велосипедных сетей и адаптировать проектные решения к условиям развивающихся городов с ограниченными ресурсами. Распределение научных исследований по применяемым методам планирования сети велосипедных дорожек представлено на рисунке 1.

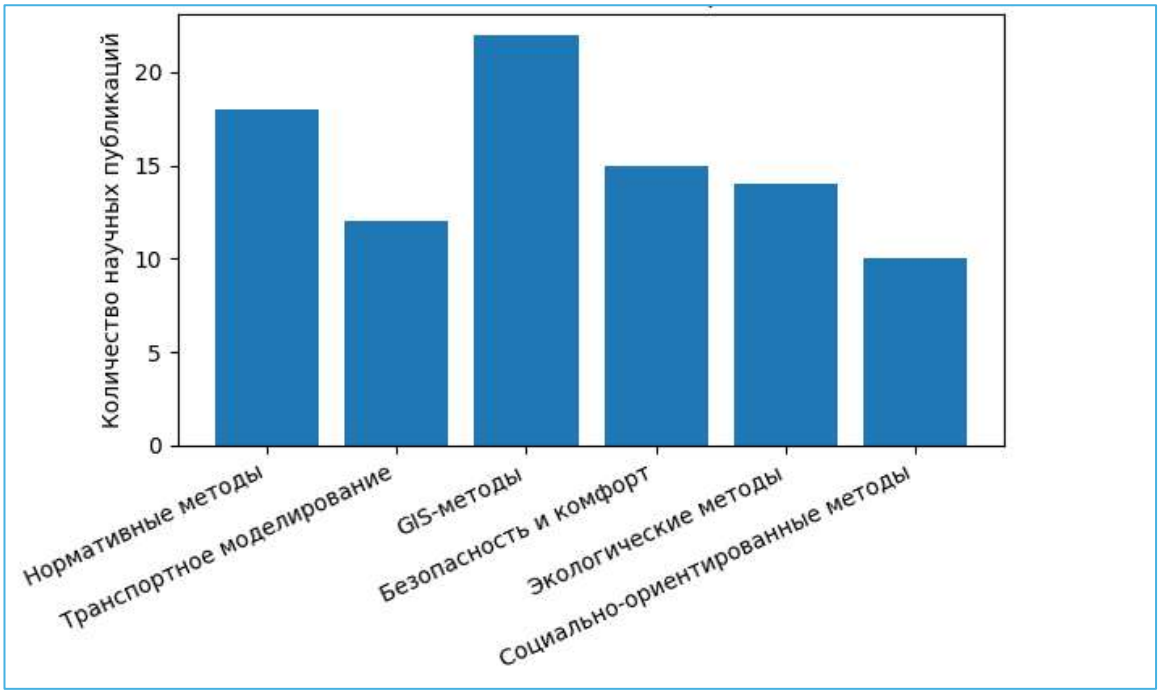


Рисунок 1 – Распределение научных исследований по методам планирования сети велосипедных дорожек

Методы планирования сети велосипедных дорожек

Современные методы планирования сети велосипедных дорожек представляют собой совокупность взаимодополняющих инструментов, направленных на обеспечение функциональной связности, безопасности и устойчивости велосипедной инфраструктуры. В научной литературе данные методы дифференцируются по уровню требуемых исходных данных, масштабу применения и степени адаптируемости к локальным условиям, что имеет принципиальное значение для развивающихся городов.

3.1. Нормативно-планировочные методы

Нормативно-планировочные методы основываются на применении национальных и международных стандартов проектирования велосипедной инфраструктуры, таких как рекомендации NACTO и Transport for London [3], [4]. Данные документы регламентируют геометрические параметры велосипедных дорожек, требования к разделению транспортных потоков, организации пересечений и элементам визуальной навигации. Их ключевым преимуществом является воспроизводимость проектных решений и обеспечение базового уровня безопасности движения.

В то же время исследования показывают, что нормативные методы в изолированном виде не обеспечивают формирование функционально связной велосипедной сети, поскольку не учитывают пространственное распределение транспортного спроса и социально-экономическую структуру города [11]. В условиях развивающихся городов применение нормативных требований без адаптации к локальному уличному профилю и режимам движения может приводить к конфликтам между участниками дорожного движения и снижению пропускной способности улиц.

3.2. Транспортно-моделирующие методы

Транспортно-моделирующие методы направлены на количественную оценку спроса на велосипедные поездки и анализ влияния развития велосипедной инфраструктуры на структуру городских передвижений. В научных работах широко используются матрицы «происхождение–назначение», сценарное моделирование и мультимодальные транспортные модели [6], [15], [24]. Преимуществом данных методов является возможность оценки долгосрочных эффектов и обоснования инвестиционных решений.

Однако для развивающихся городов характерны ограничения, связанные с недостатком надежных статистических данных, высокой долей неформальных поездок и быстрыми темпами изменения городской структуры [9], [11]. В результате транспортное моделирование в данных условиях чаще применяется на стратегическом уровне и требует интеграции с упрощенными пространственными и экспертными методами.

3.3. Пространственные и GIS-основанные методы

Пространственные методы, основанные на использовании геоинформационных систем, ориентированы на анализ территориальной доступности, плотности застройки, распределения населения и объектов притяжения [8], [9], [18]. Данные подходы позволяют выявлять пространственные разрывы в велосипедной сети, формировать иерархию маршрутов и оценивать потенциальный спрос на основе пространственных индикаторов.

С научной точки зрения GIS-основанные методы обладают высокой адаптивностью и допускают использование агрегированных и прокси-данных, что делает их особенно релевантными для условий развивающихся городов [11], [18]. Вместе с тем их ограничением является необходимость корректного выбора индикаторов и весовых коэффициентов, поскольку чрезмерная упрощенность пространственных моделей может искажать реальные поведенческие паттерны велосипедистов.

3.4. Методы, ориентированные на безопасность и комфорт

Методы, ориентированные на оценку безопасности и комфорта движения велосипедистов, основываются на анализе конфликтности транспортных потоков, уровня транспортного стресса и качества городской среды [10], [13]. Эмпирические исследования подтверждают, что субъективное восприятие безопасности оказывает значимое влияние на выбор маршрута и готовность населения использовать велосипед в повседневных поездках [13].

Для развивающихся городов данные методы имеют приоритетное значение в связи с высокой интенсивностью смешанного движения и ограниченными возможностями физического разделения потоков. Вместе с тем научная дискуссия указывает на сложность количественной оценки субъективных факторов, что требует комбинирования объективных показателей и социологических опросов [10], [11].

3.5. Экологические и социально-экономические методы

Экологически ориентированные методы планирования предполагают интеграцию велосипедной инфраструктуры с элементами зеленой городской среды, включая линейные зеленые коридоры и буферные зоны [1], [12], [22], [23]. Исследования показывают, что такие решения способствуют снижению концентрации загрязняющих веществ, смягчению эффекта городского теплового острова и повышению общего уровня комфорта городской среды [10], [17], [25].

Социально-экономические подходы направлены на оценку доступности велосипедной инфраструктуры для различных социальных групп и анализ экономической эффективности инвестиций [15], [16], [18]. В условиях развивающихся городов данные методы позволяют учитывать вопросы транспортной справедливости и оптимизировать распределение ограниченных ресурсов.

Обобщённая структура и взаимосвязь методов планирования сети велосипедных дорожек в условиях развивающихся городов представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Концептуальная схема планирования сети велосипедных дорожек в условиях развивающихся городов

Промежуточный научный вывод

Анализ методов планирования сети велосипедных дорожек показывает, что ни один из рассмотренных подходов не является универсальным. Наибольшую научную и практическую ценность представляют комбинированные методологические схемы, адаптированные к уровню доступных данных, институциональным условиям и пространственной структуре развивающихся городов [8], [12], [24].

Сравнительный анализ научных исследований

Сравнительный анализ научных исследований в области планирования сети велосипедных дорожек позволяет выявить не только различия между применяемыми методами, но и их относительную эффективность в условиях развивающихся городов. В отличие от описательного обзора, сравнительный подход ориентирован на оценку применимости методов с учетом ресурсных, институциональных и пространственных ограничений, характерных для данных городов.

Анализ публикаций показывает, что в исследованиях, выполненных для развитых городов, преобладают комплексные методологические схемы, основанные на сочетании транспортного моделирования, пространственного анализа и социально-экономической оценки [8], [12], [24]. Данные подходы обеспечивают высокий уровень точности и прогностической надежности, однако требуют значительных объемов исходных данных и развитой системы транспортного мониторинга.

В то же время в развивающихся городах научные исследования чаще ориентированы на поэтапные и адаптивные методы планирования, позволяющие достигать максимального эффекта при ограниченных ресурсах [9], [11], [18]. В таких условиях приоритет отдается GIS-основанным методам, анализу доступности и оценке безопасности движения, которые допускают использование агрегированных данных и экспертных оценок без существенной потери аналитической ценности.

Особое внимание в научной литературе уделяется соотношению нормативно-планировочных и аналитических методов. Исследования показывают, что применение проектных стандартов без учета пространственного и социального контекста приводит к формированию формально корректной, но функционально неэффективной велосипедной инфраструктуры [3], [4], [11]. Напротив, интеграция нормативных требований с пространственным анализом и оценкой пользовательского восприятия позволяет существенно повысить уровень использования велосипедной сети [8], [13].

Сравнение транспортно-моделирующих и GIS-основанных подходов свидетельствует о том, что первые обладают более высоким прогностическим потенциалом, тогда как вторые отличаются большей гибкостью и адаптируемостью к условиям развивающихся городов [6], [9], [18]. На практике это обусловливает целесообразность их комбинированного применения, при котором GIS-анализ используется для первичного отбора приоритетных коридоров, а транспортное моделирование – для уточнения стратегических решений.

Результаты сравнительного анализа методов планирования сети велосипедных дорожек, обобщенные по ключевым критериям, представлены в таблице 1. Таблица демонстрирует, что наибольшей универсальностью и практической применимостью обладают комбинированные подходы, сочетающие пространственные, социально-экологические и экономические методы при умеренных требованиях к исходным данным.

Для наглядного сопоставления научных подходов и методов планирования сети велосипедных дорожек в условиях развивающихся городов в таблице 1 представлен сравнительный анализ.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов планирования сети велосипедных дорожек

№	Метод планирования	Основные инструменты	Преимущества	Ограничения	Применимость в развивающихся городах
1	Нормативно-планировочный	Проектные нормы, стандарты (NACTO, TfL)	Простота внедрения, базовая безопасность	Не обеспечивает связность сети	Высокая при адаптации к местным условиям [3], [4], [11]
2	Геометрический	Параметры улиц, поперечные профили	Быстрая реализация	Игнорирует спрос	Средняя
3	Транспортно-моделирующий	OD-матрицы (origin–destination), сценарное моделирование	Прогноз спроса, обоснование инвестиций	Требует данных и ресурсов	Ограниченная [6], [24]
4	GIS-основанный	Пространственный анализ, доступность	Высокая точность, визуализация	Требует цифровых данных	Высокая [8], [9], [18]
5	Безопасность и комфорт	Индексы стресса, конфликтность	Рост использования велосети	Сложность оценки	Очень высокая [10], [13]
6	Экологический	Озеленение, климатический анализ	Улучшение микроклимата	Доп. инвестиции	Высокая [1], [12], [22]
7	Социально-ориентированный	Доступность, equity-анализ	Транспортная справедливость	Сложность измерений	Очень высокая [11], [18]
8	Комбинированный	GIS + модели + соц-эко критерии	Максимальная эффективность	Сложность реализации	Наиболее перспективный [8], [12], [24]

Сравнительная оценка применимости различных методов планирования сети велосипедных дорожек в условиях развивающихся городов представлена на рисунке 3.

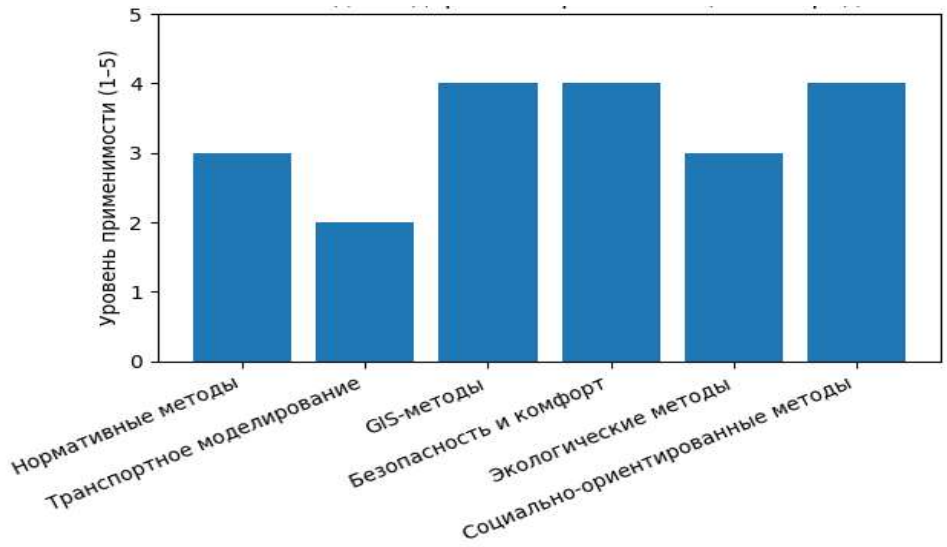


Рисунок 3 – Применимость методов планирования сети велосипедных дорожек в развивающихся городах

Выводы

Проведённый обзор и сравнительный анализ научных подходов и методов планирования сети велосипедных дорожек позволили выявить ключевые закономерности развития велосипедной инфраструктуры в условиях развивающихся городов. Результаты исследования подтверждают, что эффективность внедрения велосипедного транспорта определяется не отдельными проектными решениями, а системным и адаптивным характером планирования велосипедной сети.

Установлено, что нормативно-планировочные и геометрические методы обеспечивают базовый уровень безопасности и воспроизводимости проектных решений, однако в изолированном виде не позволяют сформировать функционально связную и востребованную велосипедную сеть. Их применение в развивающихся городах требует обязательной адаптации к локальным уличным профилям, режимам движения и пространственным ограничениям.

Анализ транспортно-моделирующих подходов показал их высокую прогностическую ценность при оценке долгосрочных эффектов развития велосипедной инфраструктуры. Вместе с тем в условиях дефицита достоверных данных и высокой доли неформальных передвижений данные методы обладают ограниченной применимостью и требуют интеграции с более гибкими пространственными и экспертными инструментами.

Пространственные и GIS-основанные методы продемонстрировали наибольшую адаптируемость к условиям развивающихся городов. Возможность использования агрегированных и альтернативных источников данных делает их эффективным инструментом выявления приоритетных велосипедных коридоров и пространственных разрывов в сети. Однако корректность результатов напрямую зависит от обоснованного выбора индикаторов и параметров пространственного анализа.

Методы, ориентированные на безопасность и комфорт движения, а также экологические и социально-экономические подходы, обладают высокой значимостью для развивающихся городов, характеризующихся смешанным движением, высокой плотностью застройки и социальной неоднородностью. Учет данных факторов позволяет не только повысить уровень использования велосипедной инфраструктуры, но и обеспечить более справедливое распределение транспортных преимуществ между различными социальными группами.

Ключевым выводом настоящего исследования является положение о том, что наибольшую эффективность демонстрируют комбинированные подходы к планированию сети велосипедных дорожек, основанные на интеграции нормативных требований, пространственного анализа, оценки безопасности и социально-экологических критериев. Именно такие методологические схемы позволяют учитывать ресурсные ограничения, институциональные особенности и динамичный характер развития развивающихся городов.

Полученные результаты могут быть использованы органами местного самоуправления, градостроителями и транспортными планировщиками при разработке стратегий развития велосипедной инфраструктуры, а также служить научной основой для дальнейших прикладных исследований, направленных на формирование устойчивых и инклюзивных городских транспортных систем.

Список литературы

1. Normukhammadov A. A. Greening the areas of urban bicycle lanes and its importance // Engineer. – 2025. – Vol. 3, No. 2. – P. 79–82. – DOI: 10.56143/engineer-tstu.v3i2.69.
2. Normuxammadov A. A., Ergashova M. Z. Bicycle transport in city transport systems // The Scientific Journal of Vehicles and Roads. – 2024. – No. 2. – P. 22–26.
3. National Association of City Transportation Officials (NACTO). Urban Bikeway Design Guide. – New York: NACTO, 2014.
4. Transport for London. London Cycling Design Standards. – London: TfL, 2016.
5. Harms L., Kansen M. Cycling Facts. – The Hague: Netherlands Institute for Transport Policy Analysis (KiM), 2018.
6. Götschi T., Garrard J., Giles-Corti B. Cycling as a part of daily life: A review of health perspectives // Transport Reviews. – 2016. – Vol. 36, No. 1. – P. 45–71.
7. Litman V. Evaluating Active Transport Benefits and Costs. – Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2022.
8. Pucher R., Buehler J. Making cycling irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany // Transport Reviews. – 2008. – Vol. 28, No. 4. – P. 495–528.
9. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). Cycling Cities: The Global State of Cycling. – New York: ITDP, 2022.
10. World Health Organization. Urban Green Spaces and Health. – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2016.
11. UN-Habitat. Streets for Walking and Cycling: Design Guide. – Nairobi: UN-Habitat, 2020.
12. European Environment Agency. Green Infrastructure and Urban Planning. – Copenhagen: EEA, 2020.
13. Marqués R., Hernández-Herrador V. On the effect of networks of cycle-tracks on cycling // Accident Analysis & Prevention. – 2017. – Vol. 102. – P. 292–301.
14. Celis-Morales C. et al. Association between active commuting and mortality // BMJ. – 2017. – Vol. 357.
15. Copenhagen Municipality. The Economic Impact of Cycling in Copenhagen. – Copenhagen: City of Copenhagen, 2018.
16. Portland Bureau of Transportation. Neighborhood Greenways Evaluation Report. – Portland: PBOT, 2020.
17. Staats H., van den Berg A., Hartig M. Restorative effects of green space // Journal of Environmental Psychology. – 2010. – Vol. 30, No. 4. – P. 487–494.
18. Tiwari G., Jain D. Bicycle infrastructure and accessibility in urban India // Transportation Research Record. – 2012. – No. 2326. – P. 1–9.
19. Ministry of Urban Development (India). Design Manual for Bicycle Infrastructure. – New Delhi: Government of India, 2017.

20. Berlin Senate Department for the Environment. Urban Climate and Cycling Network Integration. – Berlin: Senate of Berlin, 2021.

Сведения об авторах:

Карабаев Абдужаббор Мелиевич – Ташкентский государственный транспортный университет, ab.karabayev@gmail.com

Нормухаммадов Асилбек Алимарданович – Ташкентский государственный транспортный университет, normuxammadov_a@tstu.uz

Карабаев Абдужаббор Мелиевич – Ташкент мемлекеттік көлік университеті, ab.karabayev@gmail.com

Нормухаммадов Асилбек Алимарданович – Ташкент мемлекеттік көлік университеті, normuxammadov_a@tstu.uz

Abdujabbor Meliyevich Karabayev – Tashkent State Transport University, ab.karabayev@gmail.com

Asilbek Alimardanovich Normukhammadov – Tashkent State Transport University, normuxammadov_a@tstu.uz

Вклад авторов:

Карабаев Абдужаббор Мелиевич – концепция исследования, методология, научное руководство, анализ результатов, редактирование рукописи.

Нормухаммадов Асилбек Алимарданович – сбор и обработка данных, проведение экспериментов, анализ результатов, подготовка текста статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): при подготовке статьи ИИ не использовался.

ҒЫЛЫМИ ТӘСІЛДЕР МЕН ДАМУШЫ ҚАЛАЛАР ЖАҒДАЙЫНДА ВЕЛОЖОЛДАР ЖЕЛІСІН ЖОСПАРЛАУ ӘДІСТЕРІ

А. М. Қарабаев[1,*], А. А. Нормухаммадов[1]

[1]Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы
[*]Хат жауапты автор: ab.karabayev@gmail.com

Аңдатпа. Қарқынды урбандалу және дамушы қалалардағы автокөлік санының артуы жағдайында көлік кептелісі, экологиялық ахуалдың нашарлауы және қалалық ортаның сапасының төмендеуі сияқты мәселелер өзекті болуда. Осыған байланысты велосипед инфрақұрылымын дамыту тұрақты қалалық ұтқырлықтың басым бағыттарының бірі ретінде қарастырылады. Алайда велосипед көлігін тиімді енгізу көбіне велосипед жолдары желісін ғылыми негізде жоспарлауға байланысты.

Осы мақаланың мақсаты – дамушы қалалардың ерекшеліктерін ескере отырып, велосипед жолдары желісін жоспарлаудың ғылыми тәсілдері мен әдістерін жүйелеу және салыстырмалы талдау болып табылады. Жұмыста велосипед желілерін қалыптастырудың нормативтік-жоспарлау, көліктік модельдеу, кеңістіктік (GIS-негізіндегі), әлеуметтік, экологиялық және экономикалық әдістері қарастырылған. Шектеулі ресурстар, бастапқы деректердің жеткіліксіздігі және қалалық құрылыстың фрагменттік сипаты жағдайында аталған әдістерді қолдану мүмкіндіктеріне ерекше назар аударылған.

Зерттеу нәтижелері нормативтік талаптарды, кеңістіктік талдауды, қозғалыс қауіпсіздігін бағалауды және әлеуметтік-экологиялық өлшемдерді біріктіретін кешенді тәсілдердің ең жоғары тиімділікке ие екенін көрсетті. Алынған қорытындылар велосипед инфрақұрылымын дамыту стратегияларын әзірлеуде және дамушы қалаларда тұрақты көлік жүйелерін қалыптастыруда пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: велосипед инфрақұрылымы, велосипед жолдары, көліктік жоспарлау, тұрақты даму, қалалық ұтқырлық, дамушы қалалар.

SCIENTIFIC APPROACHES AND METHODS FOR PLANNING BICYCLE PATH NETWORKS IN DEVELOPING CITIES

A. M. Karabayev[1,*], A. A. Normukhammadov[1]

[1]Tashkent State Transport University, Tashkent, Republic of Uzbekistan
[*]Corresponding author: ab.karabayev@gmail.com

Abstract. Rapid urbanization and increasing motorization in developing cities have led to growing challenges such as traffic congestion, environmental degradation, and declining urban living quality. In this context, the development of bicycle infrastructure is considered one of the key components of sustainable urban mobility. However, the successful implementation of cycling as a mode of transport largely depends on scientifically based planning of bicycle path networks.

The purpose of this paper is to systematize and comparatively analyze scientific approaches and methods for planning bicycle path networks while considering the specific characteristics of developing cities. The study examines regulatory and planning approaches, transport modeling methods, spatial (GIS-based) analysis, as well as social, environmental, and economic methods for designing bicycle networks. Particular attention is paid to evaluating their applicability under conditions of limited resources, insufficient baseline data, and fragmented urban development.

The results indicate that integrated approaches combining regulatory requirements, spatial analysis, traffic safety assessment, and socio-environmental criteria provide the highest effectiveness. The findings can be applied in developing strategies for bicycle infrastructure and creating sustainable urban transport systems in developing cities.

Keywords: bicycle infrastructure, bicycle paths, transport planning, sustainable development, urban mobility, developing cities.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).