

3. Garikapati, D. Autonomous Vehicles: Evolution of Artificial Intelligence and Learning Algorithms / D. Garikapati, S. S. Shetiya. – URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.17690> (date of access: 17.06.2025).

4. Multi-task learning for dangerous object detection in autonomous driving / Y. Chen, D. Zhao, Lv. Le, Q. Zhang. – URL: [doi:10.1016/j.ins.2017.08.035](https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.08.035) (date of access: 17.06.2025).

5. Data-Driven Intelligent Transportation Systems: A Survey / Junping Zhang; Fei-Yue Wang; Kunfeng Wang [et al.]. – URL: [doi:10.1109/tits.2011.2158001](https://doi.org/10.1109/tits.2011.2158001) (date of access: 17.06.2025).

6. Autonomous Vehicles: Sophisticated Attacks, Safety Issues, Challenges, Open Topics, Blockchain, and Future Directions / Anastasios Giannaros [et al.]. – URL: <https://doi.org/10.3390/jcp3030025> (date of access: 17.06.2025).

Представлено 24.06.2025

УДК 656

**МЕТОДОЛОГИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ МОДЕЛИ
ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИНФРАСТРУКТУРЫ СРЕДСТВ ПЕРСОНАЛЬНОЙ
МОБИЛЬНОСТИ**

**METHODOLOGY OF A MULTICOMPONENT MODEL
FOR ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF PERSONAL
MOBILITY INFRASTRUCTURE**

Карасева М. Г., ст. преп.,

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

M. Karaseva, Senior Lecturer,

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Статья представляет многокомпонентную модель оценки экономической эффективности инфраструктуры средств персональной мобильности (СПМ), объединяющую прямые транспортные эффекты, внешние факторы и экономические мультипликаторы. На

основе расширенного анализа «затраты-выгоды» предложен инструмент для комплексного учета социальных, экологических и финансовых аспектов. Модель позволяет обосновывать инвестиции в устойчивую городскую мобильность.

The article presents a multicomponent model for assessing the economic efficiency of personal mobility infrastructure, integrating direct transport effects, externalities, and economic multipliers. Using extended cost-benefit analysis, it offers a tool for comprehensive evaluation of social, environmental, and financial impacts. The model provides evidence-based justification for investments in sustainable urban mobility solutions.

Ключевые слова: *средства персональной мобильности, экономическая эффективность, устойчивая мобильность, анализ затрат-выгод, городская инфраструктура.*

Keywords: *personal mobility devices, economic efficiency, sustainable mobility, cost-benefit analysis, urban infrastructure.*

ВВЕДЕНИЕ

Современные города сталкиваются с необходимостью трансформации транспортных систем в сторону устойчивости, что требует внедрения инновационных решений, включая развитие инфраструктуры для средств персональной мобильности (СПМ), таких как велосипеды, электросамокаты и другие микромобильные устройства. Однако оценка экономической эффективности таких проектов остается сложной задачей из-за многообразия факторов, которые необходимо учитывать. Традиционные методы анализа, например, классический анализ «затраты-выгоды» (Cost-Benefit Analysis, CBA), часто оказываются недостаточными, так как не охватывают все возможные социальные, экологические и экономические эффекты.

В данной статье представлена многокомпонентная модель оценки экономической эффективности инфраструктуры СПМ, основанная на расширенном анализе «затраты-выгоды» (Extended Cost-Benefit Analysis). Модель учитывает три категории эффектов: прямые транспортные, внешние и экономические мультипликаторы, что позволяет получить более полную картину влияния инфраструктуры СПМ на городскую среду. Теоретической основой исследования служат работы А. Пигу по экстерналиям [1], а также современные разработки

в области транспортной экономики, такие как исследования Т. Литмана [2] и Геслингга [3].

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИ

Многокомпонентная модель оценки экономической эффективности инфраструктуры средств персональной мобильности (СПМ) базируется на расширенном анализе «затраты-выгоды» (Extended Cost-Benefit Analysis, ЕСВА), который дополняет традиционный подход учетом факторов, обычно исключаемых из расчетов. В отличие от стандартного СВА, фокусирующегося на прямых финансовых потоках, ЕСВА интегрирует внешние эффекты (экстерналии) и долгосрочные экономические мультипликаторы, что особенно важно для проектов, направленных на устойчивое развитие городов.

Концептуальной основой модели служит теория экстерналий А. Пигу [1], которая была адаптирована для транспортного сектора в работах Т. Литмана [2]. Согласно этой теории, инфраструктура СПМ генерирует не только прямые выгоды для пользователей, но и опосредованные эффекты для общества, такие как снижение загрязнения воздуха или уменьшение заторов. Для их количественной оценки в модель включены три взаимосвязанных категории.

1. Прямые транспортные эффекты.

Данная категория отражает непосредственные изменения в транспортной системе. Затраты включают капитальные вложения в строительство велодорожек, парковок и систем навигации, а также эксплуатационные расходы (обслуживание, ремонт). Выгоды, в свою очередь, охватывают экономию времени пользователей СПМ, снижение затрат домохозяйств на автомобильный транспорт и уменьшение нагрузки на дорожную сеть. Например, переход даже 10 % автомобилистов на СПМ может сократить заторы на 3–5 % [3], что демонстрирует значимость учета таких факторов.

2. Внешние эффекты.

Инфраструктура СПМ влияет на среду за рамками транспортной системы. К негативным экстерналиям относятся временные неудобства от строительства или риски травматизма. Однако положительные эффекты преобладают: снижение выбросов CO₂ и шума, улучшение здоровья населения благодаря повышению физической активности, а также сокращение потребности в парковочных

пространствах. Согласно исследованиям, города с развитой велоинфраструктурой экономят более 100 млн долларов ежегодно на медицинских расходах, связанных с гиподинамией [4].

3. Экономические мультипликаторы.

Развитие инфраструктуры СПМ стимулирует экономическую активность. Основные выгоды включают рост стоимости недвижимости вблизи велодорожек (премия до 15 % [5]), увеличение посещаемости торговых зон и появление новых бизнес-моделей (например, сервисы аренды электросамокатов). Эти эффекты носят долгосрочный характер и усиливают общее воздействие проекта на городскую экономику.

Важнейшим аспектом модели является перевод различных эффектов в единую монетарную форму для обеспечения сопоставимости. Для этого применяются следующие подходы:

- стоимость времени определяется на основе средней заработной платы в регионе с дифференциацией по целям поездок (рабочие, учебные, развлекательные);

- стоимость выбросов оценивается с использованием рыночных цен на квоты на выбросы CO₂ и методологии оценки ущерба от загрязнения воздуха, разработанной Всемирной организацией здравоохранения;

- стоимость здоровья монетизируется через оценку экономии затрат на здравоохранение и увеличения производительности труда вследствие снижения заболеваемости;

- стоимость шумового загрязнения оценивается с использованием методологии «готовности платить» (willingness to pay) за снижение уровня шума на основе опросов населения.

Для каждой категории эффектов определяется соотношение выгод и затрат (BCR) по формуле:

$$BCR_i = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_{it}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_{it}}{(1+r)^t}},$$

где BCR_i – отношение выгод к затратам для категории i ;

B_{it} – выгоды категории i в год t ;

C_{it} – затраты категории i в год t ;

r – ставка дисконтирования;

T – период оценки (обычно 20–30 лет).

Интегральная оценка эффективности рассчитывается как сумма выгод по всем категориям, деленная на сумму затрат по всем категориям:

$$BCR_{total} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^T \frac{B_{it}}{(1+r)^t}}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^T \frac{C_{it}}{(1+r)^t}}.$$

Пример структуры затрат и выгод представлен в табл. 1. Для наглядности динамики выгод от снижения заторов можно использовать диаграмму (рис. 1).

В целом, предложенная модель позволяет комплексно оценить эффективность инфраструктуры СПМ, сочетая традиционные финансовые метрики с социально-экологическими параметрами. Однако ее применение требует детальных данных и адаптации к местным условиям.

Таблица 1 – Основные компоненты модели

Категория эффектов	Затраты	Выгоды
Прямые транспортные	Капитальные и эксплуатационные расходы	Экономия времени, снижение затрат домохозяйств
Внешние	Затраты на регулирование и лечение травм	Снижение выбросов, улучшение здоровья
Экономические мультипликаторы	–	Рост стоимости недвижимости, развитие бизнеса

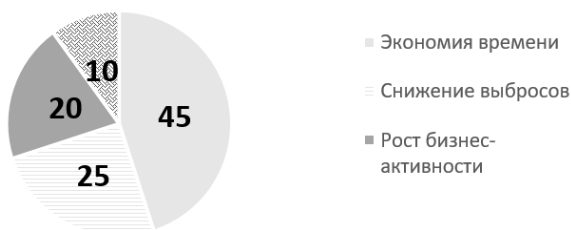


Рисунок 1 – Распределение выгод от инфраструктуры СПМ (%)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие инфраструктуры средств персональной мобильности (СПМ) представляет собой важный шаг на пути к созданию устойчивых и комфортных городских пространств. Предложенная многокомпонентная модель оценки экономической эффективности таких проектов позволяет преодолеть ограничения классического анализа «затраты-выгоды» за счет интеграции трех взаимосвязанных категорий эффектов: прямых транспортных, внешних и экономических мультипликаторов.

Проведенный анализ показывает, что учет широкого спектра факторов – от экономии времени пользователей до роста стоимости недвижимости и улучшения экологической обстановки обеспечивает более обоснованную оценку инвестиций в инфраструктуру СПМ. Особое значение имеет количественная оценка внешних эффектов, таких как снижение выбросов парниковых газов и уменьшение нагрузки на систему здравоохранения, которые традиционно остаются за рамками финансовых расчетов.

В то же время, модели требует решения ряда методологических и практических задач. Среди них – необходимость сбора детализированных данных, адаптация расчетных методик к местным условиям, а также учет поведенческих особенностей пользователей. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку унифицированных подходов к оценке нематериальных выгод, таких как повышение качества жизни горожан, а также на анализ долгосрочных эффектов внедрения СПМ в различных урбанистических контекстах.

В целом, многокомпонентная модель служит эффективным инструментом для обоснования решений в области городской мобильности, позволяя совместить экономическую целесообразность с социальными и экологическими приоритетами. Ее использование способствует формированию доказательной базы для политики устойчивого развития транспорта, что особенно актуально в условиях растущих требований к экологичности и инклюзивности городской среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пигу, А. Экономическая теория благосостояния : в 2 т. / А. Пигу; пер. с англ. – Москва : Прогресс, 1985. – 2 т.

2. Litman, T. Evaluating Transportation Economic Development Impacts / T. Litman. – Victoria : Victoria Transport Policy Institute, 2020. – URL: https://www.vtpi.org/econ_dev.pdf (date of access: 17.06.2025).

3. Gössling, S. Urban Transport Transitions: Copenhagen, City of Cyclists / S. Gössling // Journal of Transport Geography. – 2013. – Vol. 33. – P. 196–206.

4. Litman, T. Smart Congestion Relief: Comprehensive Analysis of Traffic Congestion Costs and Congestion Reduction Strategies / T. Litman, 2012. – URL: http://www.vtpi.org/cong_relief.pdf (date of access: 17.06.2025).

5. Rietveld, P. Determinants of Bicycle Use: Do Municipal Policies Matter? / P. Rietveld, V. Daniel // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2004. – Vol. 38, № 7. – P. 531–550.

Представлено 24.06.2025

УДК 656.13.05

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ТРУДА И ОТДЫХА ВОДИТЕЛЕЙ МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ 2025-ГО ГОДА

Семченков С. С., канд. техн. наук,

Лукьянчук А. Д., канд. техн. наук, доц.,

Кот Е. Н., канд. техн. наук, доц.,

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

S. Semchenkov, Ph. D. in Eng.,

A. Lukyanchuk, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

E. Kot, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматриваются особенности разработки режимов труда и отдыха водителей маршрутного пассажирского транспорта с учетом изменений законодательства, произошедших с 01.04.2025.