

Научная статья

УДК 338.22.021.4

DOI: 10.47475/1994-2796-2026-512-6-170-179

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Владислав Петрович Середин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,
vladislav.seredin410@yandex.ru, 0000-0002-5138-4900

Аннотация. Актуальность темы обусловлена необходимостью выбора оптимальных моделей финансирования проектов устойчивого развития городского транспорта в условиях бюджетных ограничений и растущих требований к экологической и социальной эффективности. Существующие методики фрагментированы и не позволяют комплексно оценить все аспекты реализации. Цель работы — разработка универсального алгоритма поддержки принятия решений для выбора формата реализации проектов (бюджетное, частное финансирование, ГЧП) для элементов наземного городского пассажирского транспорта. Для решения проблемы предложен новый композитный показатель и пошаговый алгоритм, интегрирующий оценку экономической эффективности, устойчивого развития и рисков реализации проекта. Этот инструмент позволяет объективно сравнивать сценарии на основе мультипликативной агрегации критериев, обеспечивая сбалансированный выбор в интересах всех стейкхолдеров.

Ключевые слова: алгоритм, устойчивое развитие городского транспорта, государственно-частное партнерство, многокритериальный анализ, композитный показатель

Для цитирования: Середин В. П. Разработка алгоритма реализации проекта устойчивого развития элементов транспортного комплекса // Вестник Челябинского государственного университета. 2026. № 6 (512). С. 170–179. DOI: 10.47475/1994-2796-2026-512-6-170-179.

Original article

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR THE IMPLEMENTATION OF A PROJECT FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF THE TRANSPORT COMPLEX

Vladislav P. Seredin

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, vladislav.seredin410@yandex.ru, 0000-0002-5138-4900

Abstract. The relevance of the topic is driven by the need to select optimal financing models for sustainable urban transport development projects amidst budgetary constraints and growing demands for environmental and social efficiency. Existing methodologies are fragmented and fail to provide a comprehensive assessment of all implementation aspects. The aim of this work is to develop a universal decision-support algorithm for selecting project implementation formats (budget funding, private financing, PPP) for elements of ground urban passenger transport. To address this problem, a novel composite indicator and a step-by-step algorithm are proposed, integrating assessments of economic efficiency, sustainable development and risks. This tool enables an objective comparison of scenarios based on the multiplicative aggregation of diverse criteria, ensuring a balanced choice that serves the interests of all stakeholders.

Keywords: algorithm, sustainable urban transport development, public-private partnership, multicriteria analysis, composite indicator

For citation: Seredin VP. Development of an Algorithm for the Implementation of a Project for the Sustainable Development of Elements of the Transport Complex. *Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2026;(6(512):170-179. (In Russ.). DOI: 10.47475/1994-2796-2026-512-6-170-179.

Введение

В условиях текущих социально-экономических трансформаций вопросы устойчивого развития городов и систем общественного транспорта приобретают особую значимость, поскольку напрямую связаны с улучшением качества жизни населения и снижением экологических рисков. Несмотря на изменение глобальных приоритетов и смещение акцентов в сторону политико-экономической повестки, на региональном и городском уровнях устойчивость, напротив, сохраняет ключевую роль как инструмент ответа на внутренние вызовы развития. Это обусловлено ориентацией органов власти на повышение социальной инклюзивности, снижение экологического воздействия, адаптацию инфраструктуры и укрепление конкурентоспособности территорий. Реализация принципов устойчивого развития в городском управлении становится возможной при наличии соответствующей технологической базы и институциональной готовности к структурным изменениям, что позволяет оптимизировать использование ресурсов, модернизировать инфраструктуру и обеспечить долгосрочную стабильность городских систем [1; 2].

В актуальной геополитической ситуации, характеризующейся экономическими рестрикциями и сбоями в традиционных поставках, государство и бизнес вынуждены формировать новые модели безопасного экономического сотрудничества. Одним из таких механизмов становится государственно-частное партнерство (ГЧП), которое позволяет органам власти в условиях бюджетных ограничений реализовывать инфраструктурные проекты через юридически закрепленное соглашение с частным инвестором, предусматривающее объединение ресурсов и распределение рисков [3; 4].

В практике реализации инфраструктурных проектов, включая объекты транспортной сферы, наряду с механизмом ГЧП применяются и традиционные источники финансирования, прежде всего бюджетные ассигнования и прямые частные вложения. Выбор конкретной модели взаимодействия публичного и частного секторов в современных социально-экономических условиях приобретает принципиальное значение в связи с ограниченными возможностями бюджетной системы, необходимостью повышения результативности инвестиционных процессов и обеспечения надлежащего качества управления проектами. Существенную роль также играет возможность дифференцированного распределения проектных рисков между участниками проекта: строительных, эксплуа-

тационных и финансовых. Эффективное распределение рисков позволяет снизить фискальную нагрузку и повысить устойчивость реализации проектов. При этом инфраструктурное развитие оказывает долгосрочное влияние на параметры экономического роста и качество жизни населения, что требует выбора таких финансово-организационных моделей, которые обеспечивают достижение целевых показателей в заданные сроки. Вместе с тем недостаточная институциональная проработка механизмов ГЧП, неопределенность подходов к распределению рисков, а также неблагоприятная макроэкономическая конъюнктура, характеризующаяся высоким уровнем ключевой ставки Банка России, сдерживают интерес частных инвесторов к участию в подобных проектах. В связи с этим обоснование решений в сфере финансирования инфраструктуры должно опираться не только на экспертные суждения, но и на формализованные научные методы и модели [5; 6].

На сегодняшний день среди научного сообщества отсутствуют универсальные алгоритмы выбора подходящего формата взаимодействия частного бизнеса и государства при реализации инфраструктурных транспортных проектов с учетом интересов и целей устойчивого развития элементов транспортного комплекса (ТК) в части наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ) (в особенности в отношении выделенных полос, подвижного состава, остановочных пунктов, остановочных павильонов и др.) в разрезе нескольких вариантов финансирования проектов: частного, бюджетного и при применении ГЧП. С целью проверки данной гипотезы проведем литературный обзор научных работ как отечественных, так и иностранных авторов.

Обзор научных публикаций, посвященных оценке и выбору транспортных проектов, позволяет выделить несколько устойчивых методологических направлений. Существенная часть исследований опирается на сочетание сценарного планирования и многокритериального анализа решений [7–9], что обеспечивает учет неопределенности развития, но одновременно усиливает зависимость результатов от экспертных оценок и параметров сценариев. Наряду с этим развивается направление, ориентированное на сценарно-системное и имитационное моделирование транспортных систем [10; 16; 17], позволяющее детально анализировать технико-технологические характеристики, однако слабо интегрированное с финансово-экономическими механизмами реализации проектов. Значительное распространение

в практике государственно-частного партнерства получили финансово-экономические методы и подходы Value for Money [11; 12; 20], при этом их аналитический фокус преимущественно сосредоточен на оценке затрат и экономической эффективности без комплексного учета параметров устойчивого развития. Отдельную группу составляют исследования, направленные на формирование системы показателей устойчивости городского транспорта [14; 15; 18], которые носят в основном методико-обзорный характер. Перспективным, но пока ограниченно применимым направлением остаются гибридные интеллектуальные методы поддержки принятия решений [13], в то время как институциональные исследования ГЧП [19] преимущественно фокусируются на нормативно-организационных аспектах и не предлагают формализованных прикладных инструментов выбора проектных решений.

Проведенный анализ существующих алгоритмов и механизмов принятия решений при выборе сценариев развития транспортных систем подтверждает исходные предпосылки исследования. Рассмотренные подходы учитывают финансовые параметры, показатели устойчивого развития и формы взаимодействия участников проектов, включая механизмы государственно-частного партнерства, однако в большинстве случаев применяются разрозненно и не формируют целостной методики. Анализ научных публикаций свидетельствует об отсутствии универсального инструмента, позволяющего в рамках единого подхода одновременно оценивать устойчивость инфраструктурных проектов, варианты их финансирования и распределение рисков и эффектов между участниками как на уровне отдельных объектов, так и в системе наземного городского пассажирского транспорта в целом. В связи с этим обоснованной представляется задача разработки интегрального композитного показателя, обеспечивающего комплексную оценку и выбор наиболее рационального сценария развития с учетом совокупности рассматриваемых факторов.

Таким образом, целью исследования является разработка алгоритма принятия решений, позволяющего для различных сценариев развития элементов транспортного комплекса в сфере наземного городского пассажирского транспорта обосновывать выбор оптимального формата финансирования и взаимодействия государства и частного сектора с учетом целевых показателей устойчивого развития.

Материалы и методы исследования

Данное исследование основано на методах анализа и синтеза данных, дедукции и индукции. Научная база сформирована из публикаций в рецензируемых научных журналах, содержащих оригинальные обзоры и исследования по заданной тематике и размещенных в таких базах данных, как: Scopus, Web of Science, РИНЦ и Google Scholar. В результате проведенного литературного обзора был сформирован перечень научных исследований, который позволил подтвердить актуальность исследования и разработать алгоритм принятия решений о выборе формата реализации проекта устойчивого развития транспортного комплекса в контексте устойчивого развития НГПТ. Также был разработан и представлен композитный показатель (CI), объединивший в себе значения таких показателей, как экономическая эффективность проекта (PI); уровень устойчивого развития проекта (SD) и риск реализации проекта (R).

Результаты исследования и их обсуждения

С учетом существующих «пробелов» и недостатков научных исследований автором был сформирован и представлен (рис. 1) необходимый алгоритм принятия решения о выборе формата реализации проекта устойчивого развития транспортного комплекса в контексте устойчивого развития наземного городского пассажирского транспорта.

Количество потенциальных сценариев развития анализируемых элементов ТК может быть любым, в зависимости от целей, задач, обстоятельств и доступных финансовых средств, климатических и географических условий и особенностей рассматриваемого субъекта РФ.

Реализация алгоритма предполагает следующую методику расчета показателей и субпоказателей композитного показателя:

На первом этапе определяется элемент транспортного комплекса в сфере наземного городского пассажирского транспорта, для которого разрабатывается алгоритм выбора формата реализации проекта устойчивого развития, с опорой на экспертные оценки, приоритеты государственных программ, объективные потребности территории и результаты социологических исследований.

На втором этапе формируются сценарии его устойчивого развития с использованием инструментов «умного управления», включая методы многокритериального анализа и формализованные модели принятия решений.

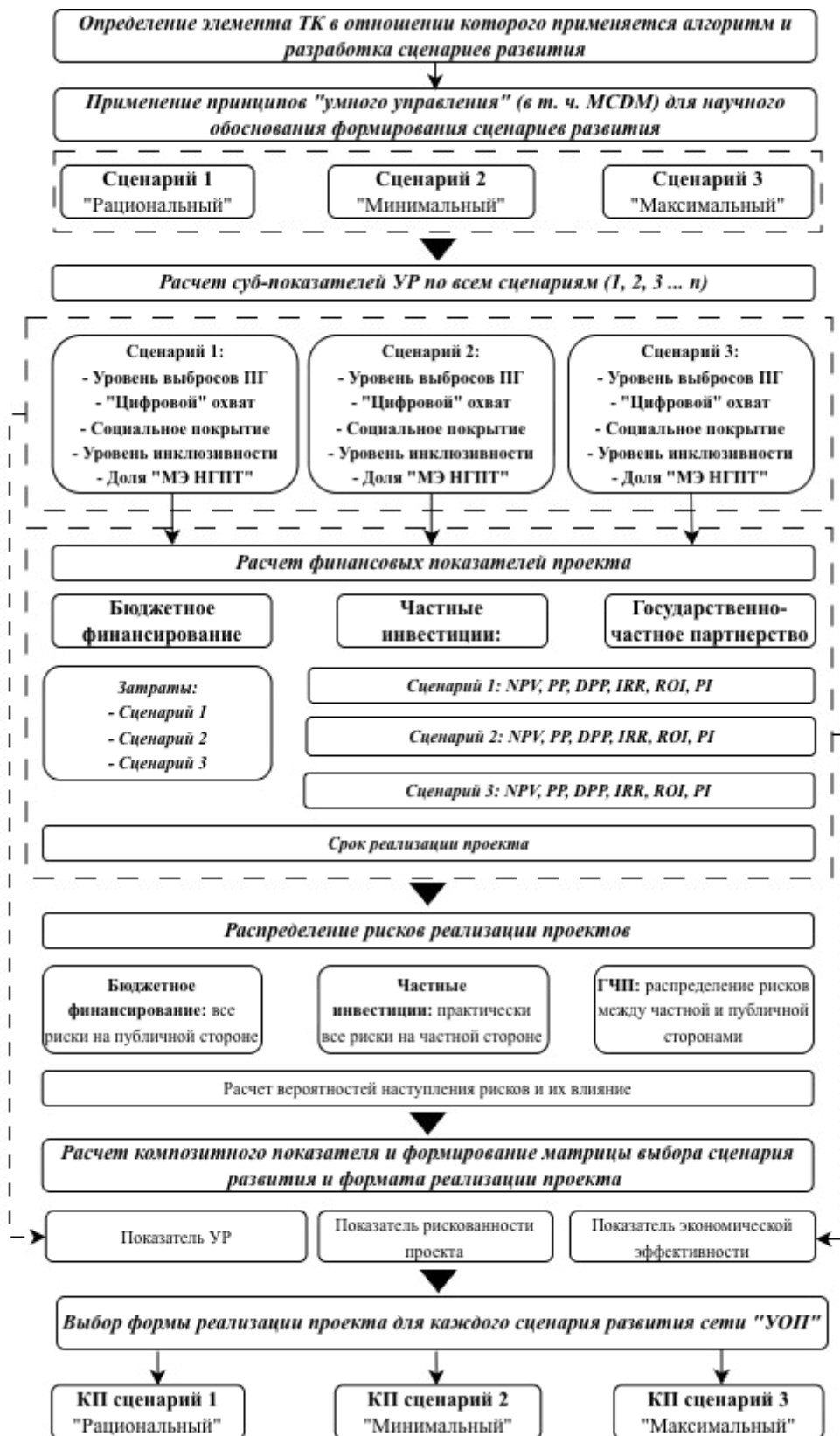


Рис. 1. Алгоритм принятия решения о выборе формата реализации проекта устойчивого развития транспортного комплекса в контексте устойчивого развития наземного городского пассажирского транспорта

Fig. 1. Algorithm for making a decision on the choice of the format for implementing a project for sustainable development of the transport complex in the context of sustainable development of ground urban passenger transport

Источник: составлено автором.

На основе ранее сформированных трех или более сценариев потенциального развития элемента транспортного комплекса далее необходимо рассчитать субпоказатели устойчивого развития за исключением субпоказателя, представляющего финансовую сферу устойчивого развития, потому как он будет рассчитываться далее отдельно с учетом потенциального привлечения частных инвестиций.

Расчет агрегированного показателя устойчивого развития происходит следующим образом:

- *Рассчитываются выбросы парниковых газов, в тоннах:*

Для подсчета уровня выбросов CO_2 от нескольких видов топлива, сжигание которых генерирует электроэнергию, необходимо воспользоваться следующей упрощенной формулой [21–24] (формула 1):

$$\text{Выбросы } \text{CO}_2 = E \cdot EF, \quad (1)$$

где E — общее потребление электроэнергии (кВт·ч);

EF — коэффициент выбросов CO_2 для определенного источника энергии (г $\text{CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$).

- *Рассчитывается цифровой охват населения, в %:*

Чтобы рассчитать процент цифрового охвата населения и уровень территориального покрытия территории города «умным» элементом ТК (например, «умными остановками»), необходимо воспользоваться прикладным ПО (QGIS) или языком программирования Python.

В общем виде формула расчета уровня «цифрового» охвата населения выглядит следующим образом (формула 2):

$$\text{Уровень цифрового охвата} = \frac{P_s}{P_t} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где уровень цифрового охвата — уровень охвата населения «умным» элементом ТК, (%);

P_s — количество жителей, проживающих в зоне пешеходной доступности от «умного» элемента ТК;

P_t — общая численность населения территории.

- *Рассчитывается уровень социального покрытие населения, в км:*

Формула расчета уровня социального покрытия территории «умными элементами» ТК (%) (формула 3):

$$S_c = \frac{S_r}{S_t} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где S_c — уровень социального покрытия территории «умными элементами» ТК;

S_r — суммарная площадь социального покрытия (охвата) «умным» элементом ТК (рассчитывается как объединенная площадь всех кругов с радиусом пешеходной доступности), км^2 ;

S_t — общая площадь населенного пункта, км^2 .

Показатель S_r рассчитывается по формуле (формула 4):

$$S_r = N \cdot \Pi \cdot K \cdot R^2, \quad (4)$$

где N — количество «умных элементов» (например, «умных остановок»);

R — радиус охвата территории одним «умным элементом» ТК (обычно 400–500 м в случае, если «умным» элементом ТК является «умная остановка»);

Π — математическая константа ($\approx 3,14159$);

K — коэффициент перекрытия зон ($0 < K \leq 1$), учитывает взаимное перекрытие зон соседних «умных элементов» ТК.

При расчете S_r важно исключать пересечения зон покрытия («умными элементами»), чтобы избежать двойного счета.

- *Рассчитывается уровень безопасности (инклюзивности), %:*

Показатель рассчитывается как отношение количества «умных элементов» ТК (например, «умных остановок») к общему количеству анализируемых элементов ТК (от общего числа остановочных пунктов) (формула 5):

$$\frac{I_i}{I_t} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где I_i — количество «умных элементов» ТК, обеспечивающих необходимый уровень инклюзивности (безопасности);

I_t — общее количество элементов ТК.

Прежде чем рассчитывать агрегированный показатель устойчивого развития, необходимо привести все субпоказатели к единому виду и одной системе измерения (произвести нормирование).

Для приведения показателей к единой шкале [0, 1] используются формулы min-max нормирования:

— для показателей типа benefit (чем больше, тем лучше) (формула 6):

$$X_{\text{norm}} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}; \quad (6)$$

— для показателей типа cost (чем меньше, тем лучше) (формула 7):

$$X_{\text{norm}} = \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (7)$$

где X — значение по определенному субпоказателю; $X_{\min}$ — минимальное значение; $X_{\max}$ — максимальное значение.

Проведя нормирование, необходимо рассчитать итоговый агрегированный показатель «устойчивого развития элемента транспортного комплекса». Формула расчета выглядит следующим образом (формула 8):

$$SD = (v_1 \cdot m_1) + (v_2 \cdot m_2) + (v_3 \cdot m_3) + \dots + (v_n \cdot m_n) = \sum_{i=1}^n v_i \cdot m_i, \quad (8)$$

где SD — агрегированный показатель устойчивого развития транспортного комплекса в части НГПТ;

v_i — весовой коэффициент i -го субпоказателя. Формируется в зависимости от целей и приоритетов;

m_i — нормированное значение i -го субпоказателя сферы УР.

Агрегированный показатель рассчитывается по каждому потенциальному сценарию развития.

Расчет финансовых показателей по всем сценариям потенциального развития и в разрезе различных способов взаимодействия и реализации проекта необходимо произвести по трем направлениям: при бюджетном финансировании (все затраты и риски на публичной стороне), при частном финансировании (все затраты и риски на частной стороне) и при реализации проекта ГЧП (разделение затрат рисков). Помимо расчета стандартных показателей (NPV, PP, DPP, IRR, ROI) необходимо рассчитать и показатель экономической эффективности проекта (PI) по формуле 9:

$$PI = \frac{NPV + 1}{I}. \quad (9)$$

Данный показатель демонстрирует рентабельность инвестиций: насколько каждая единица вложенных средств (I) генерирует чистую приведенную стоимость (NPV).

Расчет уровня риска реализации проекта по трем формам взаимодействия. Расчет риска происходит по формуле 10:

$$R_i = P_i \cdot L_i \cdot (1 - U_i), \quad (10)$$

где R_i — величина риска;

P_i — вероятность наступления события;

L_i — потенциальные потери (ущерб);

U_i — доля риска, уже учтенного или покрытого мерами управления.

Совокупный риск (R) проекта рассчитывается по формуле 11:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (11)$$

Исходя из практического опыта, а также на основе мнения транспортных экспертов, можно констатировать, что при бюджетном финансировании все риски на себя берет публичная сторона, при частном финансировании большую часть рисков (как правило, $\approx 70\%$) берет на себя частная сторона, при формате ГЧП риски распределяются следующим образом: по числу рисков почти половина ($\approx 50\text{--}51\%$) формально лежит на концессионере, $\approx 36\text{--}37\%$ — совместно и $\approx 11\%$ — на концеденте (в среднем по транспортной отрасли).

Перед расчетом композитного показателя (CI) значения всех полученных величин (PI , SD , R) необходимо привести к единой метрике (нормировать значения по формулам 6 и 7).

Далее введем итоговый композитный показатель (CI), расчет которого осуществляется по формуле 12:

$$CI = (PI \cdot v_i) + (SD \cdot v_i) + (R \cdot v_i), \quad (12)$$

где v_i — весовой коэффициент i -го субпоказателя;

PI — показатель экономической эффективности;

R — показатель риска проекта;

SD — показатель устойчивого развития.

По итогу расчета композитного показателя в разрезе трех потенциальных сценариев развития и трех форматов взаимодействия формируется матрица и выбирается наивысший показатель, отражающий наилучший вариант устойчивого развития анализируемого элемента ТК (табл. 1). Однако стоит учитывать, что итоговое решение

Таблица 1

Table 1

Матрица принятия решения на основе композитного показателя (CI)
Composite Index (CI) Decision Matrix

Формат взаимодействия Сценарий	Бюджетное финансирование	Частное финансирование	ГЧП
Сценарий 1	CI_1	CI_4	CI_7
Сценарий 2	CI_2	CI_5	CI_8
Сценарий 3	CI_3	CI_6	CI_9

Источник: составлено автором.

зависит от целей и задач, которые ставит перед собой руководство территориальной единицы. Если в приоритете устойчивое развитие (социально-экологическое благополучие и экономическая рациональность), то стоит выбирать решение, основанное на максимальных значениях показателей устойчивости, но при этом могут возникнуть риски снижения заинтересованности частной стороны в прямом инвестировании в проект или его реализацию в формате ГЧП (частный бизнес, как правило, больше заинтересован в максимальной финансовой выгоде и минимальных рисках (а не в повышении общего уровня устойчивости, если это не является приоритетом в его политике корпоративной социальной ответственности)).

Необходимо отметить, что предложенный алгоритм принятия решения о выборе формата реализации проекта устойчивого развития транспортного комплекса в контексте устойчивого развития наземного городского пассажирского транспорта является универсальным и может быть применен по отношению к разным элементам ТК в части НГПТ. Применение алгоритма позволит всесторонне оценить элемент НГПТ на предмет его текущего и потенциального (после реализации какого-либо из сценариев) уровня устойчивого развития; посредством применения МАИ и/или других научных методов принятия решений произвести рациональные и объективные вычисления с целью выбора наиболее оптимального (с точки зрения лица принимающего решения) сценария потенциального воздействия на элемент НГПТ для его последующего точечного устойчивого развития посредством модернизации и/или перевооружения; определить и рассчитать соответствующие показатели УР, наиболее полно описывающий объект анализа, вычислить интегральный показатель, при помощи которого можно будет отслеживать прогресс УР через определенные временные промежутки и рассчитать необходимые финансовые показатели с целью нахождения рентабельности проекта, а также рассмотреть возможность реализации проекта путем использования формата ГЧП, распределив и оценив все потенциальные риски и возможные синергетические эффекты от совместной (с частной стороной) реализации проекта.

Заключение

По итогу проведенного исследования можно отметить, что основная цель, заключавшаяся в раз-

работке алгоритма принятия решения о выборе формата реализации проекта устойчивого развития элементов транспортного комплекса в контексте устойчивого развития наземного городского пассажирского транспорта, была достигнута. Кроме того, был сформулирован и предложен композитный показатель, включающий в себя перечень показателей устойчивого развития, экономической эффективности и совокупного риска при разных форматах взаимодействия частной и публичной сторон.

Основным преимуществом разработанного алгоритма является объединение финансовой, устойчивой и риск-ориентированной оценки в рамках единой формализованной модели. В отличие от традиционных финансовых подходов, он учитывает нефинансовые эффекты устойчивого развития. По сравнению с классическими многокритериальными методами предложенное решение характеризуется более высокой интерпретируемостью и меньшей зависимостью от субъективных экспертных оценок. В то же время, в отличие от сложных машинных методов, алгоритм сохраняет прозрачность и воспроизводимость, что имеет принципиальное значение при обосновании управленческих решений и реализации проектов в формате государственно-частного партнерства.

Научная значимость разработанных алгоритма и композитного показателя заключается в формировании нового подхода к многокритериальной оценке инвестиционных проектов, основанного на мультипликативной агрегации разнородных показателей. Такой подход позволяет преодолеть ограничения традиционных аддитивных моделей и формирует методологическую основу для междисциплинарных исследований на стыке экономики, экологии и теории управления. Предложенная методология вносит вклад в развитие теории принятия решений, предлагая формализованный инструмент балансировки противоречивых требований, предъявляемых к современным инфраструктурным проектам.

Дальнейшие исследования будут направлены на применение алгоритма по отношению к инфраструктурным транспортным проектам, а также на его расширение и интеграцию с инструментом оценки уровня готовности территориальных единиц (регионов РФ) к внедрению концепции устойчивого развития транспортного комплекса в контексте устойчивого развития НГПТ.

Список источников

1. Toli A. M. The Concept of Sustainability in Smart City Definitions // *Frontiers in Built Environment*. 2020. Т. 6, № 77. DOI: 10.3389/fbuil.2020.00077.
2. Середин В. П., Гутман С. С., Середин Е. П. Исследование влияния подсистем и функциональных элементов «Умного транспорта» на устойчивое развитие городов и городских агломераций // *Вестник Челябинского государственного университета*. 2024. № 11 (493). С. 18–27.
3. Голубкина К., Абрамян С. Государственно-частное партнерство: содержание, формы, идентификация особенностей на транспорте // *Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки*. 2019. № 1. С. 57–59.
4. Середин В. П. Возможности применения механизма государственно-частного партнерства при реализации проектов по развитию сети «умных остановочных павильонов» // IX Ежегодная научная конференция «Государственно-частное партнерство в сфере транспорта: модели и опыт»: сб. тез. докл. СПб., 2024. С. 67–74.
5. Чубрина К. Взаимоотношения государства и бизнеса: формы развития // *Международный экспедитор*. 2021. № 4. С. 15–17.
6. Белкина Е., Тонян М., Кутовая А. Формы государственно-частного партнерства // *Экономический рост: проблемы, закономерности, перспективы*: сборник статей Международной научно-практической конференции (Пенза, 15 октября 2017 г.) / под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2017. С. 161–164.
7. Liu M., Balali V., Wei H.-H., Peña-Mora F. A. Scenario-based Multi-criteria Prioritization Framework for Urban Transportation Projects // *American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2015. Vol. 3, № 6. P. 193–199. DOI: 10.12691/ajcea-3-6-1.
8. Schroeder M. J., Lambert J. H. Scenario-based multiple criteria analysis for infrastructure policy impacts and planning // *Journal of Risk Research*. 2010. Vol. 14, № 2. P. 191–214. DOI: 10.1080/13669877.2010.515314.
9. Manzolli J. A., Trovão J. P., Antunes C. H. Scenario-Based Multi-criteria decision analysis for rapid transit systems implementation in an urban context // *eTransportation*. 2021. Vol. 7, № 100101. DOI: 10.1016/j.etrans.2020.100101.
10. Asgarpour S., Hartmann A., Gkiotsalitis K., Neef R. Scenario-Based Strategic Modeling of Road Transport Demand and Performance // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2023 Vol. 2677, № 5. P. 1415–1440. DOI: 10.1177/03611981221143377.
11. Volden G. H. Assessing public projects' value for money: An empirical study of the usefulness of cost-benefit analyses in decision-making // *International Journal of Project Management*. 2019. № 37 (4). С. 549–564. DOI: 10.1016/j.ijproman.2019.02.007.
12. Zhao J., Liu H. J., Love P. E. D., Greenwood D., Sing M. C. P. Value for Money assessments for Public-Private Partnerships: characteristics, research directions, and policy implications // *Developments in the Built Environment*. 2023. Vol. 16. Art. 100246. DOI: 10.1016/j.dibe.2023.100246.
13. Zakeri S., Konstantas D., Sorooshian S. A novel ML-MCDM-based decision support system for evaluating autonomous vehicle integration scenarios in Geneva's public transportation // *Artificial Intelligence Review*. 2024. Vol. 57. Art. 310. DOI: 10.1007/s10462-024-10917-w.
14. Гришаева Ю. М., Матанцева О. Ю., Спирин И. В., Савосина М. И., Ткачева З. Н., Васин Д. В. Устойчивое развитие транспорта в городах России: опыт и актуальные задачи // *Юг России: экология, развитие*. 2018. Т. 13, № 4. С. 24–46. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46.
15. Спирин И. В., Матанцева О. Ю., Гришаева Ю. М., Савосина М. И. Устойчивое развитие транспортного комплекса города: методология, проблемы, решения // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019)*: материалы XII Международной конф., 1–3 окт. 2019 г. / Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова РАН. М., 2019. С. 675–682.
16. Цыганов В. В., Савушкин С. А., Бородин В. А. Технология сценарного моделирования эволюции крупномасштабного транспортного комплекса // *ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2021. № 2 (18). С. 31–36. DOI: 10.47501/ITNOU.2021.2.31-36.
17. Савушкин С. А. Система моделей сценарного моделирования транспортного комплекса // *Труды конференции MLSD'2023*, Москва, 26–28 сентября 2023 г. М.: ИПУ РАН, 2023. С. 1018–1029. DOI: 10.25728/mlsd.2023.
18. Савосина М. И. Оценка эффективности устойчивого развития транспорта // *Мир транспорта*. 2020. Т. 18, № 2. С. 50–66. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-50-66.

19. Шор И. М., Шелестова Д. А. Особенности, показатели и проблемы реализации проектов государственно-частного партнерства в транспортной сфере // Вестник Государственного университета промышленности. Серия: Экономика. 2024. № 2. С. 104–112. DOI: 10.18384/2949-5024-2024-2-104-112.
20. Ларченко Л. В., Родионов Д. Г., Жарская Х. В. Государственно-частное партнерство как форма реализации крупных инвестиционных проектов городского развития // Инновации. 2021. № 6 (272). С. 61–67. DOI: 10.26310/2071-3010.2021.272.6.008.
21. Газман В. Д. Экономическая оценка выбросов CO₂ в экологическом разделе ESG // Экономический журнал ВШЭ. 2022. Т. 26, № 4. С. 579–597. DOI: 10.17323/1813-8691-2022-26-4-579-597.
22. Максимова О. В., Гинзбург В. А., Лытов В. М. Сравнение методик расчета выбросов от автотранспорта и их чувствительности к структурированию автопарка // Вестник СибАДИ. 2020. Т. 17, № 5. С. 612–622.
23. Hörandner L., Duldner-Borca B., Beil D., Putz-Egger L.-M. Measurement Techniques, Calculation Methods, and Reduction Measures for Greenhouse Gas Emissions in Inland Navigation — A Preliminary Study. Sustainability. 2024. № 16 (7). Art. 3007. DOI: 10.3390/su16073007.
24. Мухутдинова З. Б., Гарипова С. Р. Расчет выбросов углекислого газа предприятия и их компенсации за счет озеленения (на примере Янаульского филиала АО «Башкоммунэнерго») // Доклады Башкирского университета. 2022. Т. 7, № 3. С. 138–142. DOI: 10.33184/dokbsu-2022.3.1.

References

1. Toli A. The Concept of Sustainability in Smart City Definitions. *Frontiers in Built Environment*. 2020;6(77). DOI: 10.3389/fbuil.2020.00077.
2. Seredin VP, Gutman SS, Seredin EP. Research of the influence of “Smart transport” subsystems and functional elements on the sustainable development of cities and urban agglomerations. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2024;(11(493)):18-27. (In Russ.).
3. Golubkina K, Abramyan S. Public-private partnership: content, forms, identification of features in transport. *Gumanitarnye, sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennye nauki = Humanities, Social-Economic and Social Sciences*. 2019;(1):57-59. (In Russ.).
4. Seredin VP. Possibilities of applying the public-private partnership mechanism in the implementation of projects for the development of a network of “smart stop pavilions”. *IX Ezhegodnaya nauchnaya konferentsiya “Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v sfere transporta: modeli i opyt” = IX Annual Scientific Conference “Public-Private Partnership in the Transport Sector: Models and Experience”: collection of abstracts*. St. Petersburg; 2024. Pp. 67–74. (In Russ.).
5. Chubrina K. State and business relations: forms of development. *Mezhdunarodnyi ekspeditor = International Forwarder*. 2021;(4):15-17. (In Russ.).
6. Belkina E, Tonyan M, Kutovaya A. Forms of public-private partnership. *Ekonomicheskii rost: problemy, zakonmernosti, perspektivy = Economic Growth: Problems, Patterns, Perspectives*. Penza; 2017. Pp. 161–164. (In Russ.).
7. Liu M, Chang T, Wang J. Scenario-based Multi-criteria Prioritization Framework for Urban Transportation Projects. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2015;3(6):193-199. DOI: 10.12691/ajcea-3-6-1.
8. Schroeder MJ, Lambert JH. Scenario-based multiple criteria analysis for infrastructure policy impacts and planning. *Journal of Risk Research*. 2010;14(2):191-214. DOI: 10.1080/13669877.2010.515314.
9. Manzolli JA, Trovão JP, Antunes CH. Scenario-Based Multi-criteria decision analysis for rapid transit systems implementation in an urban context. *eTransportation*. 2021;7:100101. DOI: 10.1016/j.etrans.2020.100101.
10. Asgarpour S, Hartmann A, Gkiotsalitis K, Neef R. Scenario-Based Strategic Modeling of Road Transport Demand and Performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2023;2677(5):1415-1440. DOI: 10.1177/03611981221143377.
11. Volden GH. Assessing public projects’ value for money: An empirical study of the usefulness of cost–benefit analyses in decision-making. *International Journal of Project Management*. 2019;37(4):549-564. DOI: 10.1016/j.ijproman.2019.02.007.
12. Zhao J, Liu HJ, Love PED, Greenwood D, Sing MCP. Value for Money assessments for Public-Private Partnerships: characteristics, research directions, and policy implications. *Developments in the Built Environment*. 2023;16:100246. DOI: 10.1016/j.dibe.2023.100246.
13. Zakeri S, Konstantas D, Sorooshian S. A novel ML–MCDM-based decision support system for evaluat-

ing autonomous vehicle integration scenarios in Geneva's public transportation. *Artificial Intelligence Review*. 2024;57:310. DOI: 10.1007/s10462-024-10917-w.

14. Grishaeva YM, Belyaeva SV, Ivanova EV. Sustainable transport development in Russian cities: experience and current tasks. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: Ecology, Development*. 2018;13(4):2-46. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46. (In Russ.).

15. Spirin IV, Frolov IE, Kurenkova PA. Sustainable development of the city's transport complex: methodology, problems, solutions. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD'2019): materialy XII Mezhdunarodnoi konf. = Proceedings of the XII International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD'2019)*. Moscow, Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS; 2019. Pp. 675–682. (In Russ.).

16. Tsyganov VV, Savushkin SA, Borodin VA. Scenario modeling technology for the evolution of a large-scale transport complex. *Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii = Information Technologies in Science, Education and Management*. 2021;(2(18)):31-36. DOI: 10.47501/ITNOU.2021.2.31-36. (In Russ.).

17. Savushkin SA. A system of models for scenario modeling of a transport complex. *Trudy konferentsii MLSD'2023 = Proceedings of the Conference MLSD'2023*. Moscow; 2023. Pp. 1018–1029. DOI: 10.25728/mlsd.2023. (In Russ.).

18. Savosina MI. Evaluation of the effectiveness of sustainable transport development. *Mir transporta=World of Transport*. 2020;18(2):50-66. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-50-66. (In Russ.).

19. Shor IM, Shelestova DA. Features, indicators and problems of implementing public-private partnership projects in the transport sector. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta prosveshcheniya. Seriya: Ekonomika = Bulletin of the State University of Education. Series: Economics*. 2024;(2):104-112. DOI: 10.18384/2949-5024-2024-2-104-112. (In Russ.).

20. Larchenko LV, Rodionov DG, Zharskaya KV. Public-private partnership as a form of implementation of large investment projects for urban development. *Innovatsii i investitsii = Innovations and Investments*. 2021;(6):278-282. (In Russ.).

21. Gazman VD. Economic assessment of CO₂ emissions in the environmental section of ESG. *Ekonomicheskii zhurnal VShE = HSE Economic Journal*. 2022;26(4):579-597. DOI: 10.17323/1813-8691-2022-26-4-579-597. (In Russ.).

22. Maksimova OV, Ginzburg VA, Lytov VM. Comparison of vehicle emission calculation methods and their sensitivity to the vehicle fleet structure. *Vestnik SibADI = SibADI Bulletin*. 2020;17(5):612-622. (In Russ.).

23. Hörandner L, Duldner-Borca B, Beil D, Putz-Egger L—M. Measurement Techniques, Calculation Methods, and Reduction Measures for Greenhouse Gas Emissions in Inland Navigation — A Preliminary Study. *Sustainability*. 2024;(16(7)):3007. DOI: 10.3390/su16073007.

24. Mukhutdinova ZB, Garipova SR. Calculation of carbon dioxide emissions of an enterprise and their compensation through landscaping (on the example of the Yanaul branch of JSC "Bashkommunenergo"). *Doklady Bashkirskogo universiteta = Reports of the Bashkir University*. 2022;7(3):138-142. DOI: 10.33184/dokbsu-2022.3.1. (In Russ.).

Информация об авторе

В. П. Середин — аспирант Высшей инженерно-экономической школы Института промышленного менеджмента, экономики и торговли.

Information about the author

V. P. Seredin — Postgraduate Student at the Higher School of Engineering and Economics, Institute of Industrial Management, Economics and Trade.

Статья поступила в редакцию 26.11.2025; одобрена после рецензирования 18.02.2026; принята к публикации 15.06.2026.

The article was submitted 26.11.2025; approved after reviewing 18.02.2026; accepted for publication 15.06.2026.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.