

Оригинальная статья / Original article

УДК 338.27

<https://doi.org/10.21869/2223-1552-2025-15-5-171-179>

Определение модели развития транспортно-логистической системы умного города

Г. В. Савин¹ ✉

¹ Уральский государственный экономический университет
ул. 8 Марта/Народной Воли, д. 62/45, г. Екатеринбург 620144, Российская Федерация

✉ e-mail: glebsavin@ya.ru

Резюме

Актуальность. Сегодня наметилась тенденция перехода многих предприятий промышленности от железнодорожного на использование автомобильного транспорта, что существенно повышает нагрузку на городскую транспортную сеть и влияет на её качество. Рост населения, обостряющиеся проблемы в области организации движения негативно влияют на время передвижения и затраты для бизнеса, населения и государства. В этой ситуации необходимы как модели, позволяющие прогнозировать потери для каждого участника потоковых процессов в городе, так и подбор признаков, на которые можно влиять муниципалитету, стейкхолдерам и населению. Развитие данных моделей открывает большие перспективы использования в области городского планирования, экономического обоснования предлагаемых мероприятий и инвестиционных проектов, а также в области обеспечения роста качества жизни человека.

Цель – обучить модели и добиться наилучшего показателя качества прогнозирования потерь для участников транспортных процессов в городе.

Задачи: выбрать наиболее релевантные признаки оценки умных городов мира с позиции мобильности, устойчивого развития и внедрения информационно-коммуникационных технологий; выбрать наиболее качественные модели прогнозирования; произвести прогноз временных и денежных потерь для городов разной людности; предложить новое видение развития инфраструктуры и сформировать модели снижения пиковой перегруженности в городе.

Методология – прогнозирование с использованием методов машинного обучения.

Результаты. Лучшей моделью для прогнозирования перегруженности является линейная регрессия. При прогнозировании потерь – модель LightGBM.

Выводы. Использование машинного обучения и предлагаемой умной дороги позволяет выделить модели развития, которые снижают пиковую перегруженность в транспортно-логистической системе умного города.

Ключевые слова: транспортно-логистическая система; умный город; мобильность; потери; модели машинного обучения; линейная регрессия; умная дорога.

Конфликт интересов: В представленной публикации отсутствует заимствованный материал без ссылок на автора и (или) источник заимствования, нет результатов научных работ, выполненных автором публикации лично и (или) в соавторстве, без соответствующих ссылок. Автор декларирует отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Савин Г. В. Определение модели развития транспортно-логистической системы умного города // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2025. Т. 15, № 5. С. 171–179. <https://doi.org/10.21869/2223-1552-2025-15-5-171-179>

Поступила в редакцию 10.08.2025

Принята к публикации 08.09.2025

Опубликована 31.10.2025

Determining the development model of the transport and logistics system of a smart city

Gleb V. Savin¹ ✉

¹ Ural State University of Economics
62/45 March 8/Narodnaya Volya Str., Yekaterinburg 620144, Russian Federation

✉ e-mail: glebsavin@ya.ru

Abstract

Relevance. Today there is a tendency for many industrial enterprises to switch from rail to the use of road transport, which significantly increases the load on the urban transport network and affects its quality. Population growth, exacerbating problems in the field of traffic organization negatively affect the time of movement and costs for business, population and the state. In this situation, both models are needed to predict losses for each participant in the city's streaming processes, as well as the selection of signs that can be influenced by the municipality, stakeholders and the population. The development of these models opens up great prospects for use in the field of urban planning, the economic justification of the proposed activities and investment projects, as well as in the field of ensuring the growth of the quality of human life.

The purpose is to train models and achieve the best indicator of the quality of loss forecasting for participants in transport processes in the city.

Objectives: to select the most relevant features of assessing smart cities in the world from the standpoint of mobility, sustainable development and the introduction of information and communication technologies; Select the best forecasting models make a forecast of temporary and monetary losses for cities of different populations; propose a new vision for infrastructure development and shape models for reducing peak congestion in the city.

The methodology is prediction using machine learning techniques.

Results. The best model to predict congestion is linear regression. When predicting losses – LightGBM model.

Conclusions. The use of machine learning and the proposed "smart road" makes it possible to highlight development models that reduce peak congestion in the transport and logistics system of a smart city.

Keywords: transport and logistics system; smart city; mobility; losses; machine learning models; linear regression; smart road.

Conflict of interest: In the presented publication there is no borrowed material without references to the author and (or) source of borrowing, there are no results of scientific works performed by the author of the publication, personally and (or) in co-authorship, without relevant links. The author declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Savin G.V. Determination of the development model of the transport and logistics system of a smart city. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Economics, Sociology and Management*. 2025;15(5):171–179. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1552-2025-15-5-171-179>

Received 10.08.2025

Accepted 08.09.2025

Published 31.10.2025

Введение

Для большинства городов мира время является важным показателем, который влияет на качество жизни населения и сервис. При известной транспортной перегруженности городов существующими методами нельзя решить текущие проблемы. Без приоритета общественного транспорта [1, с. 105], выстроенной системы логистических центров [2, с. 508], компьютеризации основных логистических процессов, без разработки сервисов [3, с. 244], улучшающих каче-

ство жизни человека, ситуация не будет развиваться, а останется прежней: увеличивается население – растет перегруженность города. Выход следует искать в проектировании транспортно-логической системе (ТЛС) города, а именно: в формировании маршрутов умной дороги [4], в запуске автономных транспортных средств [5], в развитии сервиса «мобильность как услуга» [6], а также в скоординированном функционировании всех участников [7] при создании соответствующей умной инфраструктуры [8].

При этом в наши дни развитие технологий Индустрии 4.0 и 5.0 [9, с. 921] в городской логистике позволяет сформировать основной вектор, обеспечивающий более прогрессивное масштабирование успешных проектов с целью снижения издержек как для бизнеса [10, с. 111], так и для населения при транспортировке [11] в границах муниципального образования [12] с целью создания интеллектуальных транспортных экосистем [13].

Материалы и методы

ТЛС умного города с позиции системной динамики в области [14, с. 228] организации движения представляет собой совокупность потоковых процессов с существующими агрегатами состояний пути следования [15, с. 231], а также самих участников потоковых процессов (погрузка – посадка, разгрузка – высадка и движение). Неопределенность и вероятностный режим движения создают высокую перегруженность [16, с. 77], что приводит к потерям времени и высоким стоимостным затратам основных участников в городе.

Многие города также отличаются друг от друга структурой ВРП, темпами его прироста, бюджетами, особенностями формирования транспортных процессов, географическим положением и климатом. При этом показатели «управляемой критичности» у них разные – отражают показатели основных участников (их характеристики, правила поведения, память, особенности принятия решений, а также алгоритм изменения правил поведения). К примеру, для исследуемого пула 150 городов медианный уровень использования мотоцикла при передвижении составляет: 0,6–3,0 млн чел. – 0,9%; 3,0–10,0 млн чел. – 1,7% и более 10,0 млн чел. – 1,1%. Также ТЛС отличаются по другим критериям (рис. 1), а также по индексам мобильности (рис. 2).

Помимо перечисленных выше показателей, выделены также следующие признаки транспортно-логистических си-

стем городов: время поездки (мин); скорость (км/ч); задержка утром (мин) и вечером (мин); уровень автомобилизации; уровень НИОКР; показатель адаптации граждан; гибкость управления; уровень технического образования в городе; уровень развития паркинга и управления трафиком; степень внедрения экологичного транспорта; инновации бизнеса в городе; уровень развития умной экономики; реализация муниципальных программ при городском планировании и т. д.

В дополнение в области Индустрии 4. и 5.0 учитывались обеспеченность развития информационно-коммуникационными технологиями, степень удовлетворения потребности и опыт использования ими, а также потенциальные направления их развития.

В итоге – выборка 150 городов; 59 – выделенных признаков.

Результаты и их обсуждение

Во всех транспортно-логистических системах в первой группе с населением свыше 3 млн чел. отмечен рост транспортной перегруженности (μ) до ~53%, средняя скорость движения транспорта составляет ~28,61 км/ч, утренние и вечерние задержки ~ 19 мин, средние годовые потери ~75,23 ч, или 114,16 у. е. Для городов с населением от 0,6 до 3 млн чел. (и менее 0,6 млн чел.) перегруженность доходит до ~66 % (39 %), средняя скорость составляет ~29,47 (33,16) км/ч, утренние и вечерние задержки ~21 мин (11 мин), средние годовые потери ~62,84 (47,01) ч, или 119,04 (102,2) у. е. соответственно.

Для первой группы ТЛС умного города среднее значение $\mu = 23$ %, при этом в пиковые часы с 6:00 до 18:00 $\mu = 35$ %; максимальная μ достигает 72 %. Самые перегруженные города относятся ко второй категории, в которой μ доходит до 87 %. Среднее значение в пиковые часы – 50 %, или 39 ч/нед. Данные города еще находятся на стадии инфраструктурных изменений. Для третьей группы ТЛС умного города характерны уже реализован-

ные проекты развития компонентов интеллектуальных систем и иной транспортно-логистической инфраструктуры,

и ситуация в них характеризуется лучшими показателями здесь; среднее значение $\mu = 35\%$ и 40% соответственно.

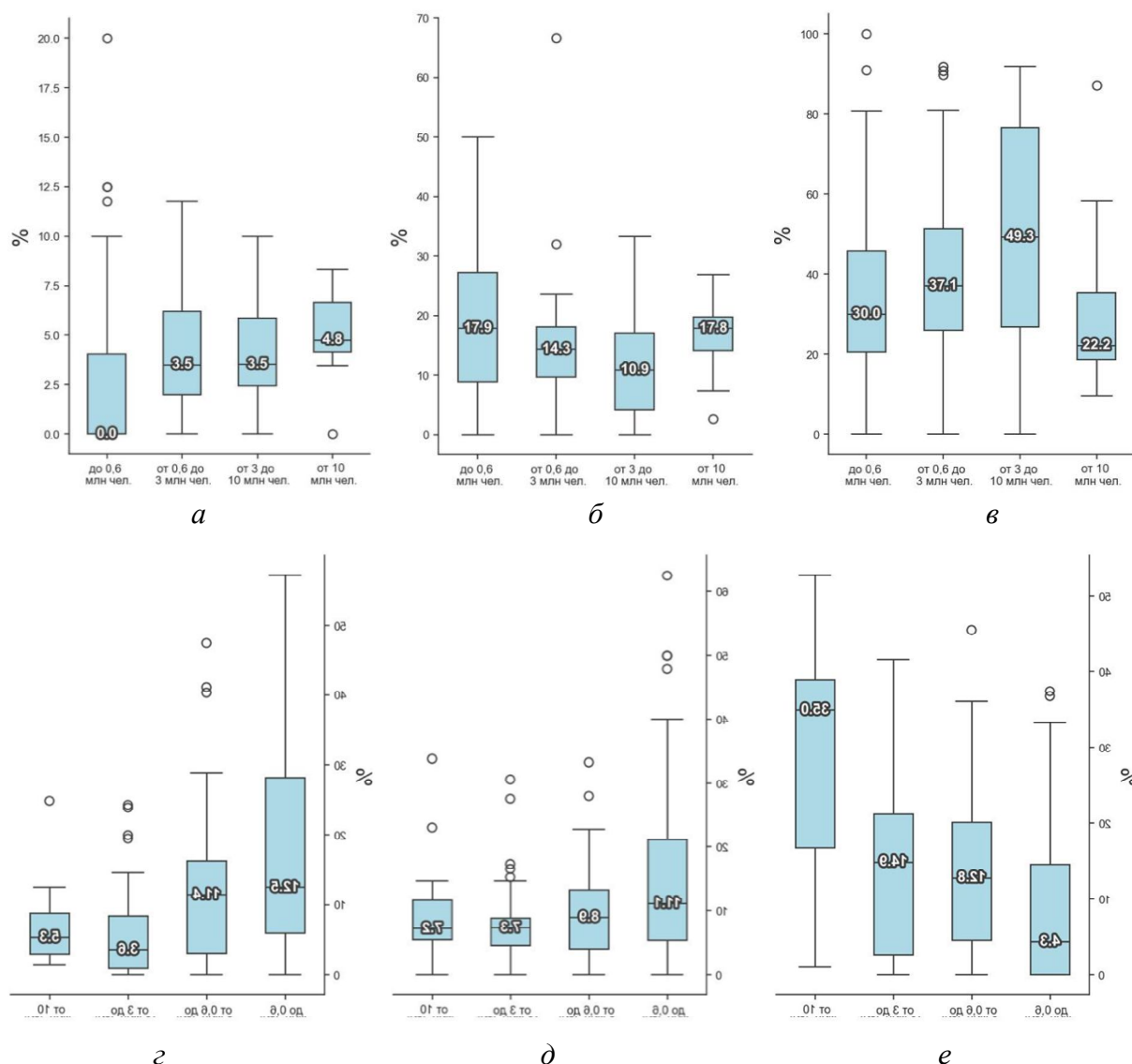


Рис. 1. Карта мобильности и межквартильный диапазон в разрезе исследуемых ТЛС умного города: а – уровень работы на дому; б – уровень пешей прогулки; в – уровень использования авто; г – уровень использования велосипеда; д – уровень использования автобуса; е – уровень использования трамвая / метро

Применим машинное обучение для прогнозирования перегруженности и потерь в год (табл. 1, 2).

Лучшей моделью для прогнозирования перегруженности системы является линейная регрессия с показателем качества при кросс-валидации – 0,85 и относительно небольшой среднеквадратичной ошибкой 3,88.

При прогнозировании потерь перспективной можно назвать модель градиентного бустинга LightGBM, которая на основании заложенных критериев дает наилучший результат. Данная модель позволяет определить основные признаки развития ТЛС умного города, которым необходимо уделить особое внимание для снижения перегруженности и потерь для всех участников.

Сформируем прогнозный вариант развития ТЛС умного города, который обусловлен текущими закономерностями

прироста населения (1,5 % в год), а также приведенными моделями машинного обучения (табл. 3).

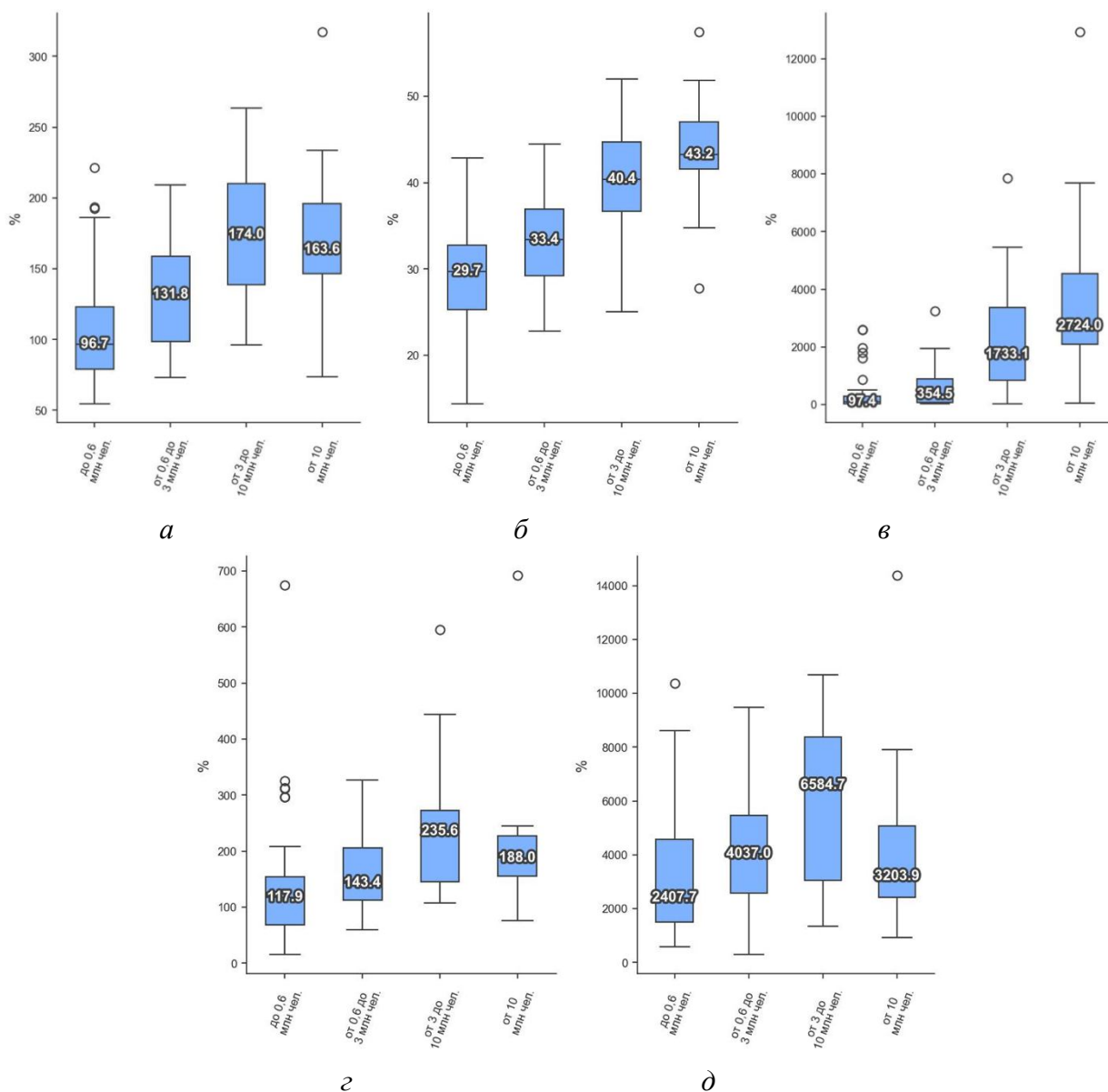


Рис. 2. Оценка исследуемых ТЛС умного города по индексу мобильности и межквартильному диапазону: а – сводный индекс трафика; б – индекс времени поездки; в – индекс времени ожидания; г – индекс неэффективности поездки; д – индекс выбросов CO2 транспорта

Таблица 1. Модели прогнозирования перегруженности ТЛС умного города и их гиперпараметры

Гиперпараметры	Случайный лес	LightGBM	CatBoost Regressor	SGDLinear Regression	Линейная регрессия
<i>Результаты обучения моделей</i>					
RMSE	5,81	4,43	3,00	33,37 / 4,3	6,74
Время обучения / предсказания, с	0,4/0,01	0,4/0,001	0,4/0,001	0,001/0,001	2,68/0,001
Средняя оценка качества модели	0,56	0,78	0,77	0,77	0,85
RMSE на всей выборке	5,2	3,82	3,46	3,82	3,88

Таблица 2. Модели прогнозирования потерь ТЛС и их гиперпараметры

Гиперпараметры	Случайный лес	LightGBM	CatBoost Regressor	SGDLinear Regression	Линейная регрессия
<i>Результаты обучения моделей</i>					
RMSE	37,79	17,24	33,19	37,69	55,9
Время обучения / предсказания, с.	0,14/0,01	0,05/0,011	0,02/0,001	0,001/0,001	2,67/0,001
Средняя оценка качества модели	0,27	0,72	0,4	0,43	0,02
RMSE на всей выборке	28,7	15,63	30,41	26,1	36,79

Таблица 3. Прогноз потерь для ТЛС умного города на 2026–2050 гг.

Год	Потери для города с населением 200 тыс. чел.		Потери для города с населением 1,5 млн чел.		Потери для города с населением 10 млн чел.	
	ч	у. е.	ч	у. е.	ч	у. е.
2026	113,2	614	158,3	1713	175,3	1928
2027	114,0	616	160,3	1729	177,5	1952
2028	114,8	618	162,4	1744	179,6	1976
2029	115,6	620	164,5	1760	181,8	2000
2030	116,4	622	166,7	1777	184,0	2024
2031	117,3	625	168,8	1793	186,2	2048
2032	118,1	627	171,0	1809	188,4	2073
2033	118,9	629	173,2	1826	190,7	2098
2034	119,8	631	175,4	1843	193,0	2123
2035	120,7	634	177,7	1860	195,3	2148
2036	121,5	636	179,9	1877	197,7	2174
2037	122,2	638	182,2	1894	200,0	2200
2038	122,9	639	184,5	1912	202,4	2226
2039	123,5	641	186,9	1929	204,8	2253
2040	124,2	643	189,2	1947	207,2	2279
2041	124,9	644	191,6	1965	209,7	2306
2042	125,6	646	194,0	1983	212,2	2334
2043	126,3	648	196,5	2002	214,7	2361
2044	127,0	649	198,9	2020	217,2	2389
2045	127,7	651	201,4	2039	219,7	2417
2046	128,4	653	203,9	2058	222,3	2445
2047	129,1	655	206,4	2077	224,9	2474
2048	129,8	657	209,0	2096	227,6	2503
2049	130,6	658	211,6	2116	230,2	2532
2050	131,3	660	214,2	2119	232,9	2756

Результаты отражают, сколько дополнительно времени потратит любой участник процесса передвижения в городе при ежедневной 30-минутной транспортировке.

Предложим новую транспортно-логистическую инфраструктуру, позволяющую снизить потери – транспортно-коммуникационный коридор (ТКК или

умная дорога), который в данном исследовании соединяет зоны расселения и потребления, т. е. зоны функционирования. В этой связи проектирование ТКК как элемента будущих транспортно-логистических систем представляется необходимым и целесообразным, позволяющим уже в наши дни ускоренными темпами перейти в область формирования коопе-

рациональных транспортных систем. В «коридоре» существуют разные участники; он имеет определенные показатели скорости организации движения, адаптивной логистической координации, спроса и пр. Их использование решает сразу несколько проблем: во-первых, повышается эффективность массового пассажирского транспорта (МПТ), его полезный пробег и обеспечивается ускоренное обновление подвижного состава с заменой на более современные варианты; во-вторых, обеспечивается гибкое планирование функционирования маршрутной сети при соблюдении самонастраиваемого графика

движения МПТ; в-третьих, появляется возможность внедрить повышающие и понижающие тарифы ценообразования на широкий спектр основных и дополнительных услуг; в-четвертых, при полной автоматизации можно привести аварийность по транспортно-коммуникационным коридорам к нулевым или близким значениям; в-пятых, происходит ускоренное перемещение грузов в ТЛС, рост мобильности, улучшение экологии и уровня качества жизни в городах. Снижение пиковой перегруженности ТЛС умного города можно представить в виде следующих моделей (рис. 3).

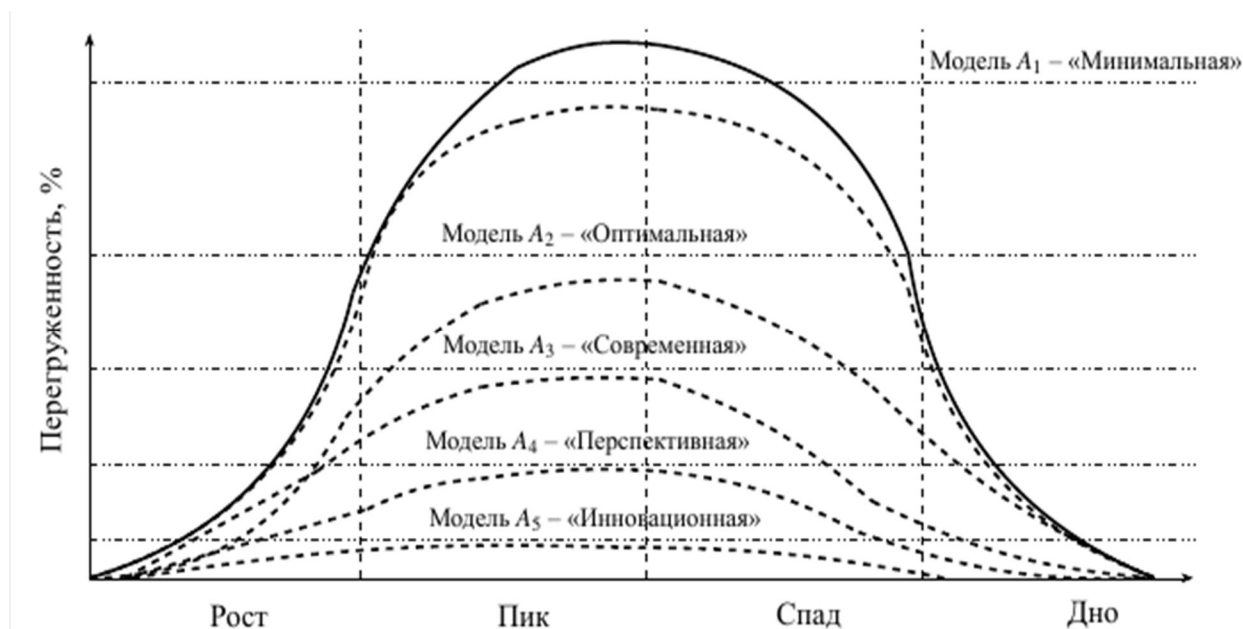


Рис. 3. Снижение пиковой перегруженности ТЛС умного города

Приведенные модели характеризуются более прогрессивным развитием технологий Индустрии 4.0 и 5.0, что позволит автоматизировать перемещение в границах муниципального образования и сформировать единую экосистему ТЛС умного города.

Выводы

Следует подчеркнуть, развитие любой ТЛС умного города осуществляется не всегда комплексно по той причине, что в этом процессе участвует множество заинтересованных организаций

(стейкхолдеров) и муниципалитетов в рамках утвержденных бюджетов. Решение выявленных проблем сегодня происходит в основном путем внедрения интеллектуальных и автоматизированных систем или их компонентов, что позволяет повысить эффективность потоковых процессов. Причем в условиях цифрового общества нет необходимости копировать проекты, которые имеют длительный период окупаемости, и поэтому появляется возможность разумно расходовать привлекаемые и ассигнованные средства на развитие инноваци-

онных проектов, которые приносят наибольший эффект.

Предлагаемый авторский подход позволит решить проблему перегружен-

ности в городах мира, а также определить перцептивные направления развития ТЛС умного города для достижения заданного уровня потерь.

Список литературы

1. Шульженко Т. Г., Жук А. Е. Ценностно ориентированный подход к оценке качества услуг в логистической системе общественного пассажирского транспорта // Телескоп: журнал социологических и маркетинговых исследований. 2021. № 2. С. 100-109.
2. Бочкарев А. А., Соловьев Д. С. Проблема оптимизации сетевой структуры цепей поставок и методы ее решения // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Т. 14, № 5-1. С. 502-511.
3. Силкина Г. Ю., Шевченко С. Ю., Щербаков В. В. Потребительская ценность технологий искусственного интеллекта в цифровой логистике и управлении цепями поставок // Интеллектуальная инженерная экономика и Индустрия 5.0 (ИНПРОМ-2024): сборник трудов X Международной научно-практической конференции: в 2 т. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. С. 243-247.
4. Гдалин А. Д. Тренды исследований мобильности населения – компонент пространственного поведения в городской среде // Региональные геосистемы. 2024. Т. 48, № 3. С. 354-367.
5. Labajo V., Nagel S. Delivering seamless urban mobility: expert recommendations and best practices for consumer-centric Mobility-as-a-Service solutions // Urban, Planning and Transport Research. 2025. Vol. 13, is 1. <https://doi.org/10.1080/21650020.2025.2501999>
6. Макаревич С., Янишевский О. Оптимизация городской мобильности: потенциал и ограничения модели «мобильность как услуга» // Городские исследования и практики. 2024. Т. 9, № 3. С. 78-94.
7. Васильев В. П. Тренды городской мобильности // Автомобильные дороги. 2024. № 2 (1107). С. 76-77.
8. Тасуева Т. С., Борисова В. В. Институциональный каркас цифровой инфраструктуры региона: монография. М.: ИП Аборкина Екатерина Оскаровна, 2022. 213 с.
9. Кулыев С. Умные транспортные системы: как технологии меняют городскую мобильность // Вестник науки. 2024. Т. 1, № 11 (80). С. 920-923.
10. Афанасенко И. Д., Борисова В. В. Цифровые технологии в циркулярной цепочке создания ценности // Трансформация экономики евразийских стран в условиях неопределенности: сборник научных статей. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского государственного экономического университета, 2024. С. 109-113.
11. Cannon R., Mukhtar-Landgren D., Fred M. Organising integrated urban mobility: actions, roles and identities in an evolving landscape // Mobilities. 2025. P. 1–19. <https://doi.org/10.1080/17450101.2025.2484233>
12. Galanakis K., Heinz H., Marggraf C. Place-based sustainable urban mobility: a conceptual framework to spark local designs // Regional Studies. 2024. N 58(12). P. 2419–2434. <https://doi.org/10.1080/00343404.2024.2406290>
13. Gergis F. H. Collaborative forms of governance in sustainable urban mobility schemes at the sub-governmental levels: a scoping literature review // International Journal of Urban Sustainable Development. 2024. N 16(1). P. 343–359. <https://doi.org/10.1080/19463138.2024.2411049>
14. Шайтура С. В., Кожаев Ю. П. Транспортные экосистемы // Славянский форум. 2023. № 2 (40). С. 226-233.
15. Шульженко Т. Г., Жук А., Иванова Д. П. Логистика новой городской мобильности: ценностно ориентированный подход: монография. М.: Научно-издательский центр ИНФРА – М, 2023. 546 с.
16. Эльдарханов Х.-М. Ю., Абубакаров М. В. Кризис городского транспортного производства: научные проблемы и актуальные решения: монография. Махачкала: Алеф, 2021. 96 с.

References

1. Shulzhenko T.G., Zhuk A.E. A value-oriented approach to assessing the quality of services in the logistics system of public passenger transport. *Teleskop: zhurnal sociologicheskikh i marketingovykh issledovanij* = *Telescope: Journal of Sociological and Marketing Research*. 2021;(2):100-109. (In Russ.)

2. Bochkarev A.A., Soloviev D.S. The problem of optimizing the network structure of supply chains and methods of solving it. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra = Economy: Yesterday, Today, Tomorrow*. 2024;14(5-1):502-511. (In Russ.)
3. Silkina G.Yu., Shevchenko S.Yu., Shcherbakov V.V. Consumer value of artificial intelligence technologies in digital logistics and supply chain management. In: *Intellectual'naya inzhenernaya ekonomika i Industriya 5.0 (INPROM-2024): sbornik trudov X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Intelligent Engineering Economy and Industry 5.0 (INPROM-2024): Collection of works of the X International Scientific and Practical Conference*. St. Petersburg: POLITEKh-PRESS; 2024. P. 243-247. (In Russ.)
4. Gdalin A.D. Trends in population mobility research – a component of spatial behavior in an urban environment. *Regional'nye geosistemy = Regional Geosystems*. 2024;48(3):354-367. (In Russ.)
5. Labajo V., Nagel S. Delivering seamless urban mobility: expert recommendations and best practices for consumer-centric Mobility-as-a-Service solutions. *Urban, Planning and Transport Research*. 2025;13(1). <https://doi.org/10.1080/21650020.2025.2501999>
6. Makarevich S, Yanishevsky O. Optimizing urban mobility: the potential and limitations of the mobility-as-a-service model. *Gorodskie issledovaniya i praktiki = Urban Research and Practice*. 2024;9(3):78-94 (In Russ.)
7. Vasiliev V.P. Urban mobility trends. *Avtomobil'nye dorogi = Highways*. 2024;(2):76-77. (In Russ.)
8. Tasueva T.S., Borisova V.V. Institutional framework of the digital infrastructure of the region. Moscow: IP Aborkina Ekaterina Oskarovna; 2022. 213 p. (In Russ.)
9. Kulyev S. Smart transport systems: how technologies are changing urban mobility. *Vestnik nauki = Bulletin of Science*. 2024;1(11):920-923. (In Russ.)
10. Afanasenko I.D., Borisova V.V. Digital technologies in the circular value chain. In: *Transformatsiya ekonomiki evraziiskikh stran v usloviyakh neopredelennosti: sbornik nauchnykh statei = Transformation of the economies of Eurasian countries in conditions of uncertainty: Collection of scientific articles*. St. Petersburg: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta; 2024. P. 109-113. (In Russ.)
11. Cannon R., Mukhtar-Landgren D., Fred M. Organising integrated urban mobility: actions, roles and identities in an evolving landscape. *Mobilities*. 2025. P. 1-19. <https://doi.org/10.1080/17450101.2025.2484233>
12. Galanakis K., Heinz H., Marggraf C. Place-based sustainable urban mobility: a conceptual framework to spark local designs. *Regional Studies*. 2024;(58):2419-2434. <https://doi.org/10.1080/00343404.2024.2406290>
13. Gergis F. H. Collaborative forms of governance in sustainable urban mobility schemes at the sub-governmental levels: a scoping literature review. *International Journal of Urban Sustainable Development*. 2024;(16):343-359. <https://doi.org/10.1080/19463138.2024.2411049>
14. Shaitura S.V., Kozhaev Yu.P. Transport ecosystems. *Slavyanskij forum = Slavic Forum*. 2023;(2):226-233. (In Russ.)
15. Shulzhenko T.G., Zhuk A., Ivanova D.P. Logistics of new urban mobility: a value-oriented approach: monograph. Moscow: Nauchno-izdatel'skii tsentr INFRA – M; 2023. 546 p. (In Russ.)
16. Eldarkhanov H.-M.Yu., Abubakarov M.V. Crisis of urban transport production: scientific problems and current solutions. Makhachkala: Alef; 2021. 96 p. (In Russ.)

Информация об авторе / Information about the Author

Савин Глеб Владимирович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры логистики и коммерции, Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация,
e-mail: glebsavin@ya.ru,
ORCID: 0000-0001-8670-2289

Gleb V. Savin, Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor of Logistics and Commerce, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russian Federation,
e-mail: glebsavin@ya.ru,
ORCID: 0000-0001-8670-2289