ISSN 2587-6775 (Print)

УДК: 656.01

ДИСКРЕТНО – СОБЫТИЙНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ МЕТРО ГОРОДА ХОШИМИН (НА ПРИМЕРЕ СТАНЦИИ ТХАОДЬЕН)

Нгуен Минь Тьиен[1], Багинова В.В.[2]

[1] Ханойский университет науки и коммуникаций
[2] Российский университет транспорта

Аннотация: в исследовании представлена дискретно-событийная имитационная модель наземной станции линии метро № 1 Бен Тхань – Суой Тьен (на примере станции Тхаодьен). Проведены эксперименты и анализ организации работы станции на основе классификации уровней качества обслуживания (Level of Service — LOS) и ключевых эксплуатационных показателей. Также предложены рекомендации по дальнейшему развитию применения имитационного моделирования в организации систем метрополитена Вьетнама.

Ключевые слова: метрополитен, имитационное моделирование, транспортная технология, транспортная система Вьетнама, организация работы станции, инфраструктура, интенсивный поток, пассажиры.

© Нгуен Минь Тьиен, Багинова В.В.

Поступила 25.07.2024, одобрена после рецензирования 03.09.2025, принята к публикации 03.09.2025.

Для цитирования:
Нгуен Минь Тьиен, Багинова В.В. Дискретно – событийная имитационная модель организации работы наземных станций метро города Хошимин (на примере станции Тхаодьен) // Логистика и управление цепями поставок. - 2025. - Т. 22, №2 (115). - С. 23–32.

Информация об авторах:
Нгуен Минь Тьиен – аспирант, Ханойский университет науки и коммуникаций, nguyenminchienutc@gmail.com.
Багинова В.В. - д.т.н., профессор, профессор кафедры: «Логистика и управление транспортными системами, Российский университет транспорта РУТ (МИИТ).

Ввод в эксплуатацию линии метро №1 (Бен Тхань – Суой Тьен) ознаменует важный этап в развитии системы общественного транспорта города Хошимин. Линия протяжённостью 19,7 км включает 14 станций, из которых 3 — подземные, а 11 — наземные. Она соединяет центр города с восточными районами. Наиболее распространённым типом станций на линии являются эстакадные станции [7], которые представляют собой два отдельных перрона, расположенных по обе стороны от путей и обслуживающих поезда, движущиеся в противоположных направлениях. Станция Тхаодьен — одна из наземных станций линии метро №1, расположенная в районе Тхаодьен города Тху Дык. Это густонаселённый район с развитой коммерческой инфраструктурой, поэтому ожидается, что станция Тхаодьен будет обслуживать значительное количество пассажиров после ввода линии в эксплуатацию. Оценка организации работы имеет важное значение для проверки проектных решений станции и разработки эффективных сценариев её эксплуатации.

Одной из приоритетных задач городской транспортной политики является развитие и ускоренная модернизация инфраструктуры пассажирских перевозок в условиях постоянного роста спроса. Имитационное моделирование является эффективным инструментом для решения задач по оптимизации транспортной инфраструктуры с учётом разнообразия сценариев перевозок.

В рамках оценки организации работы станции Тхаодьен рассматриваются потоки движения пассажиров, функционирование турникетов и движение поездов. Все эти действия представляют собой различные события, взаимодействие которых оказывает влияние на общее функционирование станции. Поэтому, в исследовании применяется дискретно-событийное имитационное моделирование, которое позволяет точно воспроизводить такие события и их взаимодействие при эксплуатации станции метро.

На начальном этапе эксплуатации каждый поезд линии метро №1 состоит из трёх вагонов. Поезда курсируют с 5:00 до 23:30 с интервалом 5–10 минут в зависимости от времени суток. Таким образом, в часы пик через станцию может проходить до 12 поездов в каждом направлении. При прибытии поезда значительное количество пассажиров одновременно выходит и заходит в вагоны. Основной проблемой в таких условиях становится способность станции эффективно и безопасно обслуживать высокие пассажиропотоки в часы пик [7,11].

Первое исследование, посвящённое эффективности обслуживания, было представлено в руководстве Traffic Engineering Handbook [4]. Однако содержащиеся в нём стандарты в основном отражали лишь максимальную пропускную способность объектов, не учитывая степень удобства передвижения пешеходов. Последующие научные работы уточнили шкалу оценки и сформировали концепцию уровня качества обслуживания (Level of Service – LOS) применительно к различным участникам движения (пешеходы, транспортные средства и др.). Одним из первых авторов, предложивших подход к оценке LOS, является Baerwald J. E [8]. Согласно его исследованиям, выделяют шесть уровней обслуживания от A до F:

- A — Очень свободно: пешеходы передвигаются комфортно, без ограничений, с максимальной скоростью;
- B — Комфортно: возможны редкие контакты, допускается обгон других пешеходов;
- C — Начало конфликтов: скорость снижается, требуется избегать столкновений;
- D — Плотный поток: скорость заметно падает, обгон невозможен, возникают частые конфликты;
- E — Очень высокая плотность: движение замедлено до шагов, существует угроза заторов;
- F — Перегрузка: поток блокирован, движение хаотично, возможны скопления на лестницах и платформах.

Значения шкалы LOS основаны на классическом уравнении потоков [8]:

$$q = u*k$$

где:

q — средний поток (единиц/с/м ширины);

u — средняя скорость (м/с);

k — средняя плотность (число объектов на единицу площади).

Эти параметры позволяют более точно определить взаимосвязь между интенсивностью потока, скоростью движения, плотностью и уровнем комфорта для конкретных участников движения. Последующие исследования John J. Fruin [9] уточнили шкалу LOS для пешеходов, однако они охватывают только случаи непрерывного движения. Изучение уровня обслуживания в условиях прерывистого передвижения (ожидание, формирование очередей) было далее развито в рамках исследований Transportation Research Board (TRB) [12]. Сравнительный анализ шкал Level of Service для железнодорожных и метрополитенных станций представлен авторами в Таблице 1.

Таблица 1

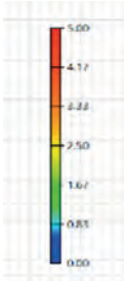
Сравнение шкал уровня обслуживания по данным предыдущих исследований

Название исследования	Область применения	Значения шкалы					
		A	B	C	D	E	F
Fruin, J.J., Designing for pedestrians: A level-of-service concept, 1971 [9]	Зона непрерывного движения	≤ 0.31	0.31-0.43	0.43-0.72	0.72-1.08	1.08-2.15	≥ 2.15
TRB, Transit Capacity and Level of Service Manual, 2nd ed. [12]	Зона непрерывного движения	≤ 0.31	0.31-0.43	0.43-0.72	0.72-1.11	1.08-2.15	≥ 2
	Зона ожидания / формирования очередей	≤ 0.83	0.83-1.11	1.11-1.42	1.42-3.33	3.33-5	≥ 5
L.F.L. Hermant, A methodology for the determination of access gate/turnstile upstream spatial requirements and levels of service, 2013 [10]	Зона ожидания / формирования очередей	≤ 0.83	0.83-1.11	1.11-1.42	1.42-3.33	3.33-5	≥ 5
Ariel Lopez, Infrastructure Typology of Metro Stations: A Passenger Simulation Approach Based on Efficiency and Capacity, 2025 [6]	Зона ожидания / формирования очередей	≤ 0.83	0.83-1.08	1.08-1.54	1.54-3.27	3.37-5.26	≥ 5.26

В рамках данного исследования моделируются действия пассажиров в зонах приобретения билетов и прохода через турникеты, где формируются прерывистые потоки движения. Эти зоны характеризуются остановками, ожиданием и формированием очередей. В связи с этим для оценки пропускной способности станции Тхаодьен используется пятиуровневая шкала, представленная в Таблице 2.

Таблица 2

Цветовая шкала в модели

Цветовая шкала в модели	LOS	Цвет	Плотность (пассажиров/м²)
	F	Красный	≥ 5
	E	Оранжевый	3.33-5
	D	Жёлтый	1.42-3.33
	C	Зелёный	1.11-1.42
	B	Светло-синий	0.83-1.11
	A	Голубой	≤ 0.83

На линии метро № 1, функционирующей с 5:00 до 23:30, интервалы между поездами составляют от 5 до 10 минут в зависимости от времени суток. В часы пик (18:00–19:00) станция обслуживает до 2000 пассажиров. Входные данные для имитационной модели станции приведены в Таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные модели

Показатели	Значения
Скорость движения пассажиров (м/с)	1,2-1,6
Интервал между поездами - Δ t (с)	300
Количество вагонов	3
Количество пассажиров, входящих на станцию	1000
Количество пассажиров, покидающих станцию	1000
Скорость эскалатора (м/с)	0,5
Длина платформы (м)	137,5
Ширина платформы (м)	22
Площадь платформы (м²)	3000
Количество билетных касс	2
Количество входных турникетов	4

При разработке имитационного моделирования существуют три основных подхода к моделированию: системно-динамическое, дискретно-событийное, агентное моделирование[1,2,4]. В работе, с целью прояснения роли имитационного моделирования в организации наземной станции, был выполнен пример дискретно-событийного моделирования станции Тхаодьен.

Разработана дискретно-событийная модель станции Тхаодьен с помощью среды AnyLogic (рисунки 1 и 2). Модель состоит из блоков, которые имитируют различные действия (события), происходящие с агентами объектами (пассажирами и поездами). К этим событиям относятся: формирование потоков пассажиров и поездов в модели (trainSource, pedSource), процессы перемещения пассажиров и движения поездов (pedGoTo, trainMoveTo), процессы посадки и высадки пассажиров (delay), Процесс покупки билетов пассажирами (pedService) и окончание выполнения операций (sink).

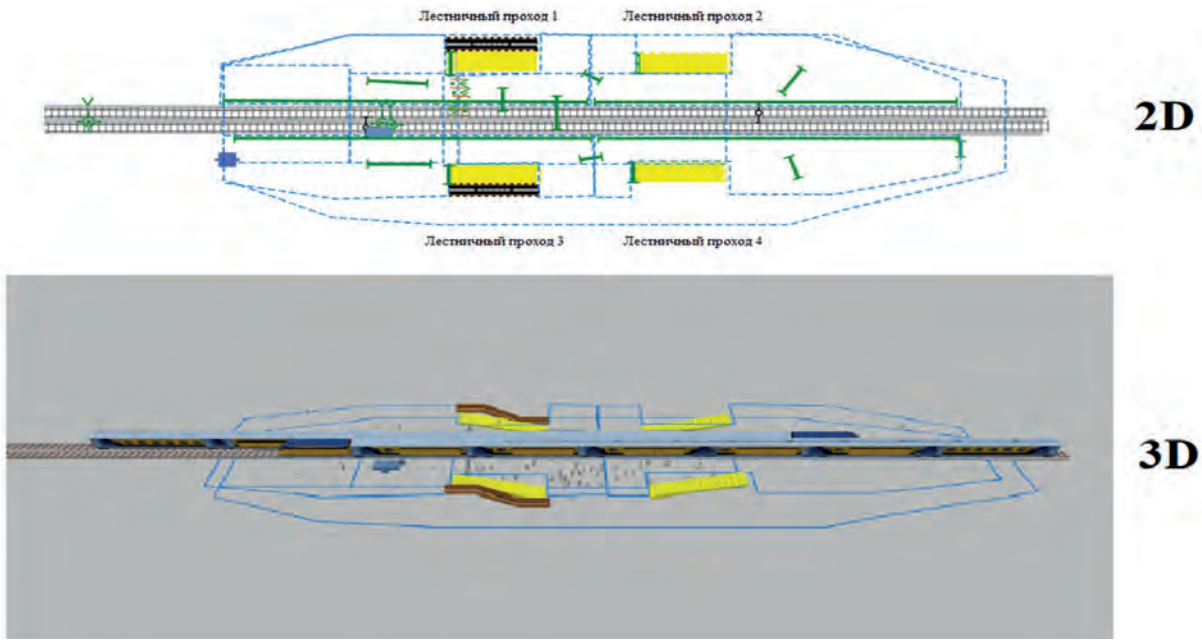


Рисунок 1. Разметка моделируемого пространства станции Тхаодьен в среде AnyLogic.

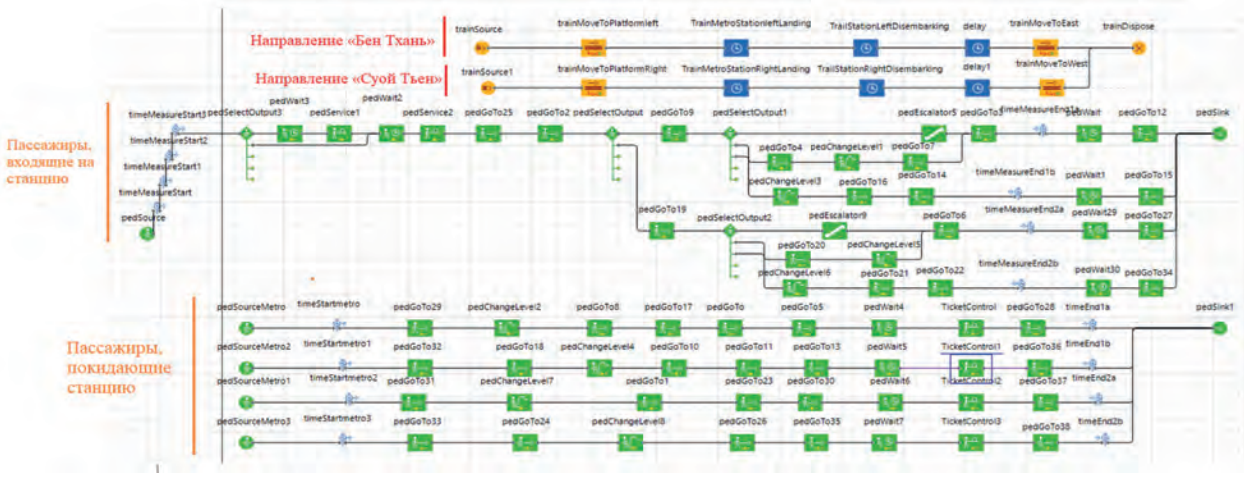


Рисунок 2. Архитектура имитационной дискретно-событийной модели станции Тхаодьен.

Результаты эксперимента в условиях часа пик при неизменной пассажиропотоке на станции Тхаодьен и различных интервалах между поездами представлены на рисунке 3 и в таблице 4.

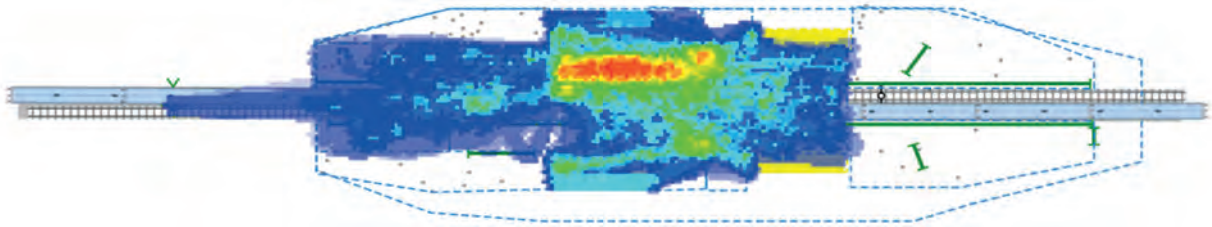


Рисунок 3(а). Карта плотности при Δt = 300 секунд.

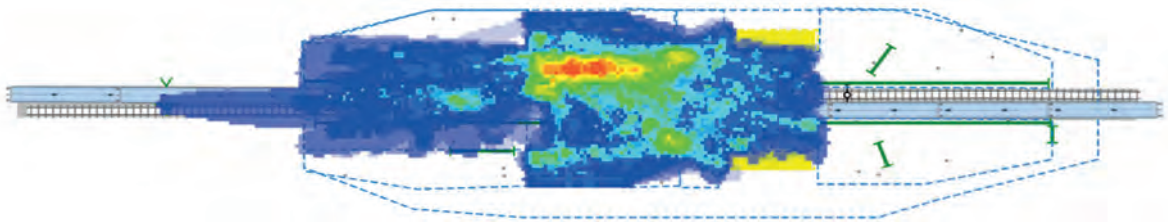


Рисунок 3(б). Карта плотности при Δt = 240 секунд.

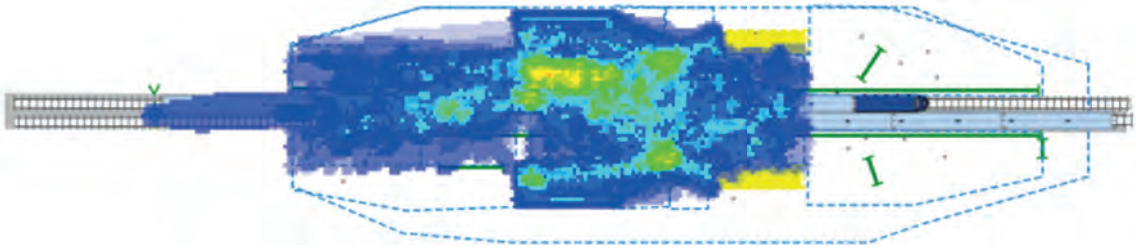


Рисунок 3(в). Карта плотности при Δt = 180 секунд.

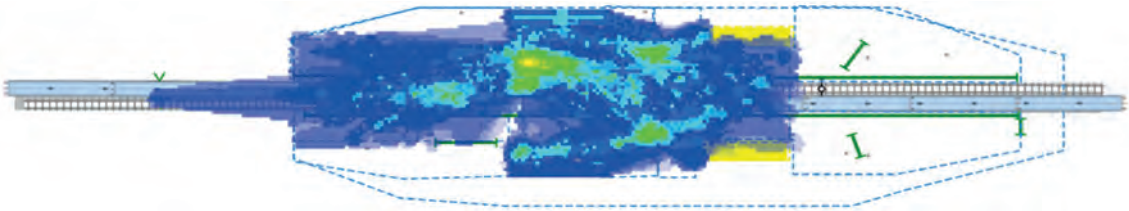


Рисунок 3(г). Карта плотности при Δt = 120 секунд.

Таблица 4

Результаты эксперимента

	Среднее время перемещения пассажиров от турникета до посадки в поезд (секунд)	Среднее время перемещения пассажиров от выхода из поезда до выхода со станции (секунд)	Шкала плотности в зоне турникетов
Δt = 300 секунд	86	407	F
Δt = 240 секунд	85	329	F
Δt = 180 секунд	80	242	C
Δt = 120 секунд	80	137	B

Проведенные эксперименты показали, что величина интервала движения поездов (Δt) критически влияет на эксплуатационные показатели станции:

- при Δt = 300 с среднее время выхода пассажиров со станции достигает 407 с, а уровень LOS в зоне турникетов ухудшается до F;

- сокращение интервала до 180 с снижает время выхода до 242 с и улучшает LOS до C;

- оптимальным в час пик оказался интервал 120 с, при котором время выхода уменьшается до 137 с, а LOS достигает комфортного уровня B

Таким образом, для обеспечения приемлемого качества обслуживания (LOS ≤ C) в часы наибольшего спроса интервал движения поездов на станции Тхаодьен не должен превышать 180 с. При дальнейшем сокращении

до 120 с достигается наилучший баланс между пропускной способностью и уровнем комфорта пассажиров.

Проведенное исследование подтвердило эффективность дискретно-событийного имитационного моделирования для анализа работы наземных станций метро (на примере станции Тхаодьен линии № 1 г. Хошимина). Таким образом, оценка пропускной способности зон с прерывистыми потоками предлагает адаптированную пятиуровневую шкалу LOS и её визуализацию в цветовой гамме модели. Полученные результаты подтверждают применимость такой шкалы для быстрой диагностики «узких мест» инфраструктуры и оперативного подбора оптимальных сценариев работы.

Список источников

1. Багинова, В. В. Управление транспортными системами и логистической инфраструтурой : учеб. Пособие / В. В. Багинова, А. Ю. Кузьмин. – Москва : Прометей, 2020. – С. 35–38. – ISBN 978-5-00172-043-0.

2. Рахмангулов, А.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования [Текст] / А.Н. Рахмангулов, О.А. Копылова, П.Н. Мишкуров. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 300 с.

3. Кузьмин, Д. В. Разработка имитационной дискретно-событийной модели транспортной инфраструктуры с использованием инструментов оптимизации / Д. В. Кузьмин, В. В. Багинова, Д. А. Краснобаев, Д. В. Мусатов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 17, № 2. – С. 42-48. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48. – EDN DXCLTV.

4. Кузьмин, Д. Дискретно-событийная имитационная модель железнодорожного вокзала / Д. Кузьмин, В. Багинова, А. Агейкин // X Международный научный Сибирский транспортный форум – ТрансСибирь 2022, Новосибирск, 02–05 марта 2022 года. – Новосибирск : Эльзевир, Б. В., 2022. – С. 929–937. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.091. – ЭДН ФАГВФГ.

5. Нгуен Минь Тьиен Применение имитационного моделирования в организации и развитии логистических центров Вьетнама / Нгуен Минь Тьиен, А. В. Багинов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1 (89). С. 95-105

6. A. Lopez, S. Seriani, A. Peña, V. Aprigliano, and B. Arredondo, «Infrastructure typology of metro stations: A passenger simulation approach based on efficiency and capacity,» Applied Sciences, vol. 15, no. 6, 2025.

7. Achieve Realty VN. (2024, November 25). Tất tần tật về Metro TP.HCM: Tuyến Bến Thành - Suối Tiên từ A-Z. AchieveReal.com. https://achievereal.com/tat-tan-tat-ve-metro-tphcm-tuyen-ben-thanh-suoi-tien-tu-a-z/379/

8. Baerwald, J. E., ed. Traffic Engineering Handbook. Institute of Traffic Engi neers, 3rd Edition, 1965.

9. Fruin, J.J. Designing for pedestrians: A level-of-service concept. Highw. Res. Rec. 1971, 377, 1–15.

10. L. F. L. Hermant, «A Methodology for the Determination of Access Gate/Turnstile Upstream Spatial Requirements and Levels of Service,» in Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, July 15–18, 2013, pp. 1–12.

11. Traveloka. (n.d.). [GNS] Metro Số 1 Bến Thành - Suối Tiên: Hành trình “lột xác” giao thông Sài Gòn. Traveloka. https://www.traveloka.com/vi-vn/explore/tips/gns-metro-so-1-ben-thanh-suoi-tien/473173

12. TRB.Transit Capacity and Level of Service Manual, 2nd ed.; TCRP Report 100; Transportation Research Board: Washington, DC, USA, 2003, pp. 1-5.

ISSN 2587-6775 (Print)

DISCRETE-EVENT SIMULATION MODEL FOR THE OPERATION OF GROUND METRO STATIONS IN HO CHI MINH CITY (CASE STUDY: THAO DIEN STATION)

Nguyen Minh Chien[1], Baginova V.V.[2]

[1] Hanoi University of Science and Communications
[2] Russian University of Transport.

Abstract: this study presents a discrete-event simulation model of a ground-level station on Metro Line No. 1 Ben Thanh – Suoi Tien (using Thao Dien station as a case study). Experiments and analysis of the station's operational organization were conducted based on the classification of Level of Service (LOS) and key performance indicators. The study also provides recommendations for further development of simulation modeling applications in the organization of Vietnam's metro systems.

Keywords: metro, simulation modeling, transport technology, Vietnam transport system, station operations organization, infrastructure, intensive flow, passengers.

© Nguyen Minh Chien, Baginova V.V.

Received 25.07.2025, approved 03.09.2025, accepted for publication 03.09.2025.

For citation:
Nguyen Minh Chien, Baginova V.V. Discrete-event simulation model for the operation of ground metro stations in Ho Chi Minh city (case study: Thao Dien station). Logistics and Supply Chain Management. 2025. Vol 22, Iss 2 (115). pp. 23-32.

Information about the authors:
Nguyen Minh Thien - Postgraduate Student, Hanoi University of Science and Communication, nguyenminchienutc@gmail.com.
Baginova V.V. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department: «Logistics and management of transport systems, Russian University of Transport.

References

1. Baginova, V. V. Management of transport systems and logistics infrastructure: textbook. Manual / V. V. Baginova, A. Yu. Kuzmin. - Moscow: Prometheus, 2020. - Pp. 35-38. - ISBN 978-5-00172-043-0.

2. Rakhmangulov, A. N. Railway Transport and Technological Systems: Organization of Functioning [Text] / A. N. Rakhmangulov, O. A. Kopylova, P. N. Mishkurov. - Magnitogorsk: Publishing House of Magnitogorsk. state technical University named after G. I. Nosov, 2014. - 300 p.

3. Kuzmin, D. V. Development of a discrete-event simulation model of transport infrastructure using optimization tools / D. V. Kuzmin, V. V. Baginova, D. A. Krasnobaev, D. V. Musatov // T-Comm: Telecommunications and transport. - 2023. - Vol. 17, No. 2. - Pp. 42-48. - DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48. - EDN DXCLTV.

4. Kuzmin, D. Discrete-event simulation model of a railway station / D. Kuzmin, V. Baginova, A. Ageikin // X International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2022, Novosibirsk, March 02-05, 2022. – Novosibirsk: Elsevier, B.V., 2022. – P. 929–937. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.091. – EDN FAGVFG.

5. Nguyen Minh Chien Application of simulation modeling in the organization and development of logistics centers in Vietnam / Nguyen Minh Chien, A. V. Baginov // Bulletin of the Rostov State Transport University. 2023. No. 1 (89). P. 95-105

6. A. Lopez, S. Seriani, A. Peña, V. Aprigliano, and B. Arredondo, «Infrastructure typology of metro stations: A passenger simulation approach based on efficiency and capacity,» Applied Sciences, vol. 15, no. 6, 2025.

7. Achieve Realty VN. (2024, November 25). Tất tần tật về Metro TP.HCM: Tuyến Bến Thành - Suối Tiên từ A-Z. AchieveReal.com. https://achievereal.com/tat-tan-tat-ve-metro-tphcm-tuyen-ben-thanh-suoi-tien-tu-a-z/379/

8. Baerwald, J. E., ed. Traffic Engineering Handbook. Institute of Traffic Engi neers, 3rd Edition, 1965.

9. Fruin, J.J. Designing for pedestrians: A level-of-service concept. Highw. Res. Rec. 1971, 377, 1–15.

10. L. F. L. Hermant, «A Methodology for the Determination of Access Gate/Turnstile Upstream Spatial Requirements and Levels of Service,» in Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, July 15–18, 2013, pp. 1–12.

11. Traveloka. (n.d.). [GNS] Metro Số 1 Bến Thành - Suối Tiên: Hành trình “lột xác” giao thông Sài Gòn. Traveloka. https://www.traveloka.com/vi-vn/explore/tips/gns-metro-so-1-ben-thanh-suoi-tien/473173

12. TRB.Transit Capacity and Level of Service Manual, 2nd ed.; TCRP Report 100; Transportation Research Board: Washington, DC, USA, 2003, pp. 1-5.