

<https://doi.org/10.18503/SMTS-2025-15-1-11-22>

ISSN 2949-0952 (Print)

УДК 656.072(24)



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПассажиРОВ НА ПРИМЕРЕ СТАНЦИИ МЕТРО

Кузьмин Д.В.¹, Багинова В.В.¹, Коробовский К.М.^{1*}¹ Российский университет транспорта (МИИТ), гор. Москва, Россия* Контактное лицо: kirillkorobovskiy@gmail.com (К.К.М.)
kuzminmiit@gmail.com (К.Д.В.), vvbaginova@gmail.com (В.В.В.)

Аннотация. Представлен способ использования среды имитационного моделирования AnyLogic для анализа процессов обслуживания пассажиров на станции метро. Основным результатом исследования является доказательство возможности анализа работы станции метро с помощью созданной модели. Построенная имитационная модель позволяет выявлять «узкие» места в процессах обслуживания пассажиров, определять наиболее загруженные участки станции, разрабатывать и оценивать эффективность решений по оптимизации работы станции. В исследовании показан пример оценки эффективности решений по ускорению обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах, а также в результате увеличения числа терминалов. Статья представляет интерес для специалистов в области моделирования транспортных систем, а также для инженеров и проектировщиков, работающих над созданием и оптимизацией работы станций метро. Результаты исследования могут быть использованы для повышения эффективности работы существующих станций метро, а также для разработки новых проектов.

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование, станция метрополитена, пассажиропоток, транспортная система, оптимизация работы станции

© Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Коробовский К.М., 2025

Поступила: 21 апреля 2025; Принята к публикации: 17 октября 2025; Опубликовано: 19 октября 2025

Для цитирования:

Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Коробовский К.М. Моделирование процессов обслуживания пассажиров на примере станции метро // Недропользование и транспортные системы. 2025. Т. 15. № 1. С. 11–22.
<https://doi.org/10.18503/SMTS-2025-15-1-11-22>



Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



MODELING PASSENGER SERVICE PROCESSES USING THE EXAMPLE OF A METRO STATION

Dmitry Kuzmin¹, Vera Baginova¹, Kirill Korobovsky^{1*}

¹ Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

* Corresponding: kirillkorobovskiy@gmail.com (K.K.)

kuzminmiit@gmail.com (D.K.), vybaginova@gmail.com (V.B.)

Abstract. This paper presents a method for using the AnyLogic simulation environment to analyze passenger service processes at a metro station. The main result of the study is proof of the possibility of analyzing the operation of a metro station using the created model. The constructed simulation model allows identifying bottlenecks in passenger service processes, determining the busiest areas of the station, and developing and evaluating the effectiveness of solutions for optimizing station operations. The study shows an example of evaluating the effectiveness of solutions to speed up passenger service at ticket offices and terminals, as well as the result of increasing the number of terminals. The article is of interest to specialists in the field of transport system modeling, as well as to engineers and designers working on the creation and optimization of metro stations. The results of the study can be used to improve the efficiency of existing metro stations, as well as to develop new projects.

Keywords: discrete event modeling, metro station, passenger flow, transportation system, station operation optimization

© Kuzmin D., Baginova V., Korobovsky K., 2025

Received: April 21, 2025; Accepted: October 17, 2025; Published: October 19, 2025

For citation:

Kuzmin D., Baginova V., Korobovsky K. Modeling Passenger Service Processes Using the Example of a Metro Station // Subsurface Management and Transportation Systems. 2025, Vol.15, No.1, pp. 11-22. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2025-15-1-11-22>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

В условиях растущего пассажиропотока и развития систем метрополитена актуальной задачей становится оптимизация работы существующих и проектируемых станций метро. Одним из эффективных инструментов для её решения является имитационное моделирование, позволяющее анализировать работу станций метро и выявлять слабые места в процессах обслуживания пассажиров. Имитационное моделирование позволяет создать виртуальную модель станции метро, которая будет воспроизводить реальные условия работы. Это даёт возможность оценить эффективность работы станции, определить «узкие» места в процессах обслуживания пассажиров и разработать рекомендации по их оптимизации [1].

Одним из популярных инструментов для имитационного моделирования является среда AnyLogic. Она предоставляет широкие возможности для создания сложных моделей, включая моделирование транспортных систем. В данной статье рассматривается применение среды AnyLogic для моделирования работы станции метро.

Целью исследования является анализ и оптимизация процессов, происходящих на станции метро, с помощью среды имитационного моделирования AnyLogic для повышения эффективности работы станции и улучшения качества обслуживания пассажиров.

2. Описание моделируемого объекта

Для моделирования была выбрана станция «N», расположенная в городе Москва. Схема станции представлена на рис. 1.

Станция метро имеет два входа, каждый из которых оборудован четырьмя металл-детекторами, тремя терминалами для продажи билетов и двумя кассами на каждом входе, семью турникетами на вход на платформу метро и четырьмя турникетами на выход из метро.

Рядом со станцией расположены три крупных торговых центра и девять жилых комплексов, автобусное депо (возле выхода № 1), которое является конечной остановкой для 14 городских и 3 областных маршрутов автобусов. Недалеко от станции также находится высшее учебное заведение. Наличие множества источников пассажиропотока делает станцию центром одного из самых оживлённых транспортных узлов города. Поэтому для эффективного и комфортного использования станции требуется тщательное планирование и оптимизация процессов обслуживания пассажиров на данной станции.

3. Описание имитационной модели

Элементы разметки пространства разработанной имитационной модели располагаются на двух уровнях. На первом уровне расположены входы в метро, на втором – островная платформа. Визуальное трёхмерное

представление в модели входов в метро показано на рис. 2 и 3.

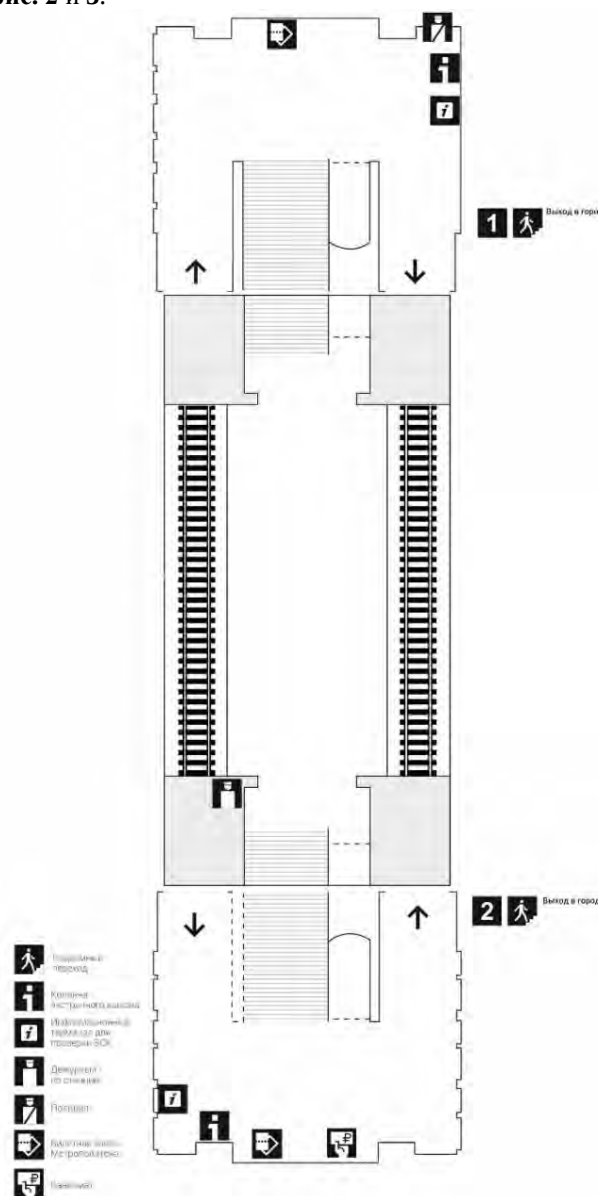


Рис. 1. Схема исследуемой станции метро «N»

Fig. 1. Layout of the investigated metro station “N”

Основные исходные данные имитационного эксперимента с моделью задаются с использованием двух панелей управления, при помощи которых определяются, соответственно, минимальные и максимальные значения параметров пассажиропотока (рис. 4) и потока поездов (рис. 5). Множество параметров пассажиропотока включает следующие данные:

- интенсивность пассажиропотока для каждого входа в интервале от 0 до 3000 пассажиров в час;
- доля пассажиров, которым необходимо приобрести билеты – от 0.01 до 1;
- время обслуживания в кассах и терминалах для каждого входа – от 10 до 120 сек.

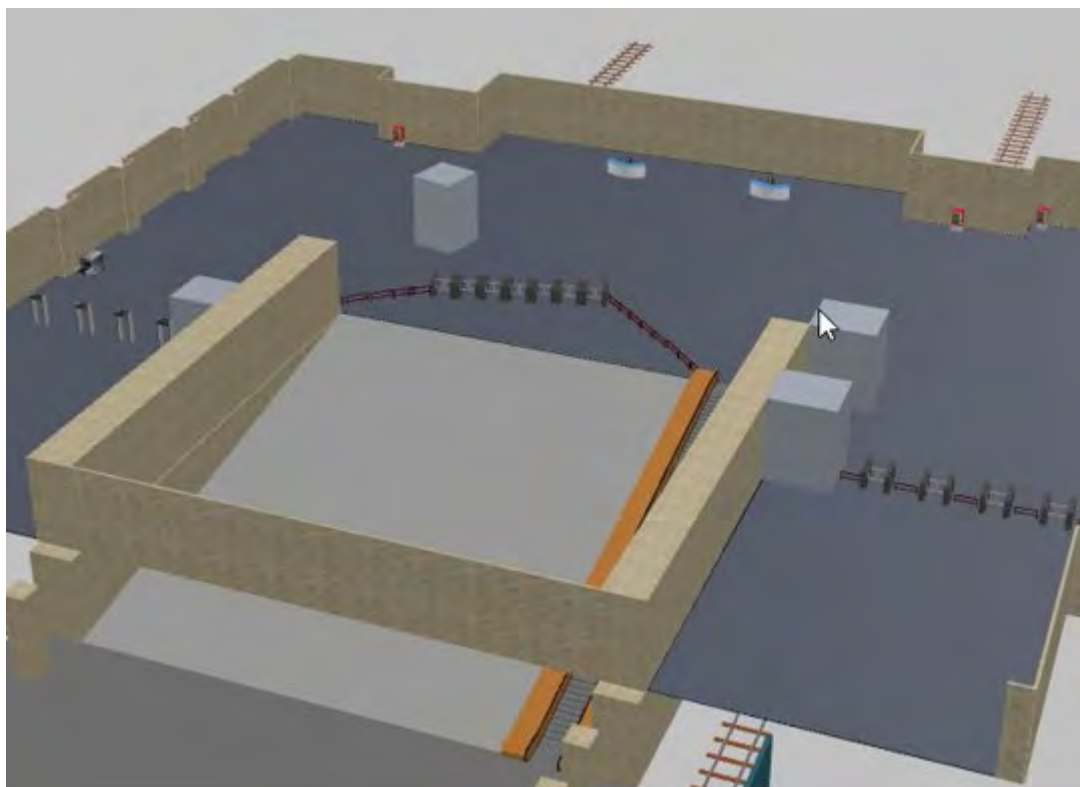


Рис. 2. Визуальное представление в имитационной модели вестибюля входа № 1 станции метро «N»
Fig. 2. Visual representation in a simulation model of the entrance No. 1 lobby of metro station “N”

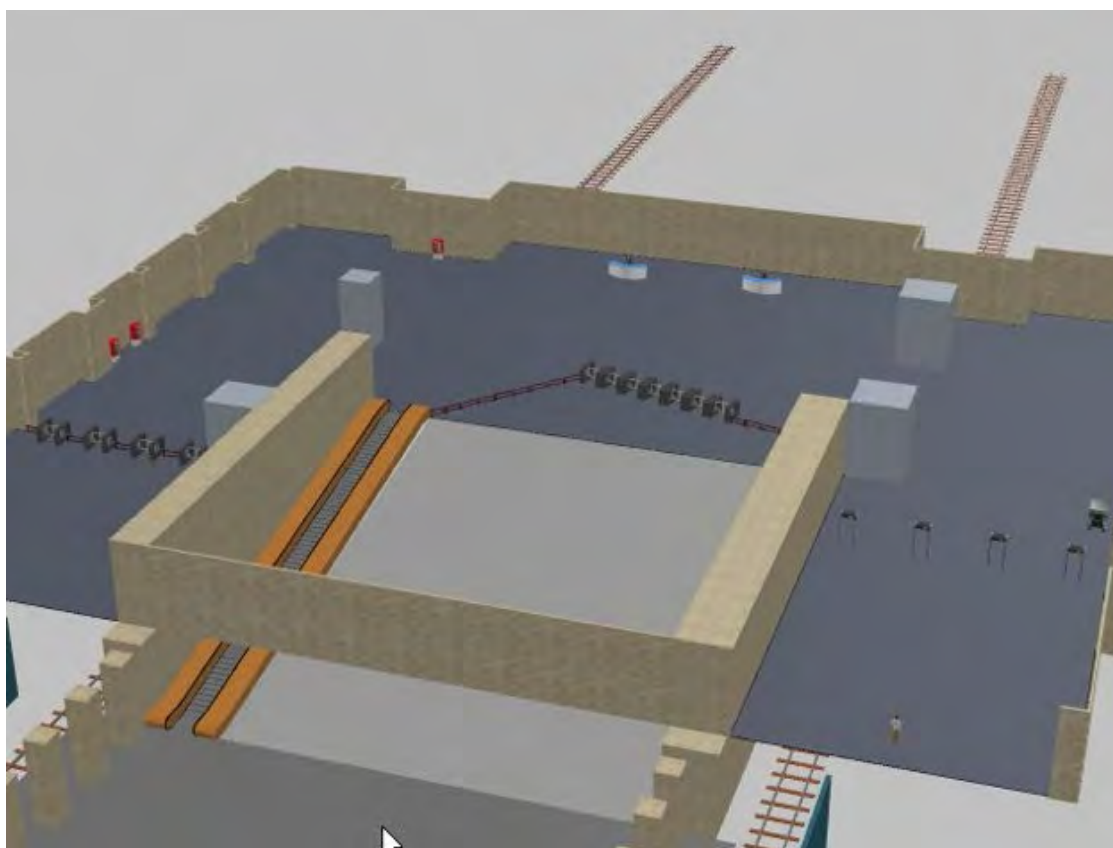


Рис. 3. Визуальное представление в имитационной модели вестибюля входа № 2 станции метро «N»
Fig. 3. Visual representation in a simulation model of the entrance No. 2 lobby of metro station “N”

Панель управления Пассажирами метро	
Интенсивность потока в час	
Вход 1	Вход 2
Доля пассажиров без билета	
Вход 1	Вход 2
Время Обслуживания в кассах (минуты)	Вход 1 От До
	Вход 2 От До
Время Обслуживания в терминалах (секунды)	Вход 1 От До
	Вход 2 От До
Доля пассажиров идущих к составу в сторону Алма-Атинской	

Рис. 4. Панель управления параметрами пассажиро-потока

Fig. 4. Passenger flow parameters control panel

Множество параметров потока поездов включает в себя следующие данные:

- интервал между поездами для каждого направления – от 0 до 90 сек.;
- время стоянки поезда на станции или время ожидания поездом окончания посадки-высадки пассажиров – от 20 до 60 сек.;
- количество пассажиров, выходящих из поездов каждого направления.

Результаты имитационного эксперимента представляются в графической форме и содержат (рис. 6):

- динамику числа вошедших пассажиров через каждый вход;
- динамику текущего числа пассажиров в метро;
- долю пассажиров, покупающих билеты;
- распределение покупок билетов между кассами и терминалами;
- длины очередей к каждой кассе и терминалу, чел.;
- динамику числа пассажиров, ожидающих на платформе поезда каждого направления;
- время обслуживания в кассах и терминалах.

Панель управления составами метро	
Задержка в прибытии состава метро (секунд)	
состав в сторону Алма-Атинская	состав в сторону Ховрино
Время ожидания пассажиров (секунд)	
состав в сторону Алма-Атинская	состав в сторону Ховрино
Количество пассажиров выходящих из состава	
состав в сторону Алма-Атинская	От До
состав в сторону Ховрино	От До

Рис. 5. Панель управления параметрами поездопотока

Fig. 5. Train flow parameter control panel

Процессная диаграмма имитационной модели [2] станции метро (рис. 7) построена на основе дискретно-событийного подхода к имитационному моделированию, с использованием стандартных библиотек блоков AnyLogic [3]:

- пешеходной библиотеки;
- библиотеки моделирования процессов;
- железнодорожной библиотеки.

Описание основных функций каждого блока разработанной имитационной модели представлено в табл. 1.

В разработанной модели, помимо стандартных блоков, использовался код, написанный на языке Java [4, 5, 1].

Потребность в этом возникла, потому что, во-первых, для отображения значений максимального, минимального и среднего времени нахождения пассажиров в очередях к кассам и терминалам с использованием столбчатых диаграмм брались значения из данных гистограммы «distribution». Эти данные накапливаются в модели блоком *TimeMeasureEnd*, который в данной модели вычисляет продолжительность нахождения каждого пассажира на станции.

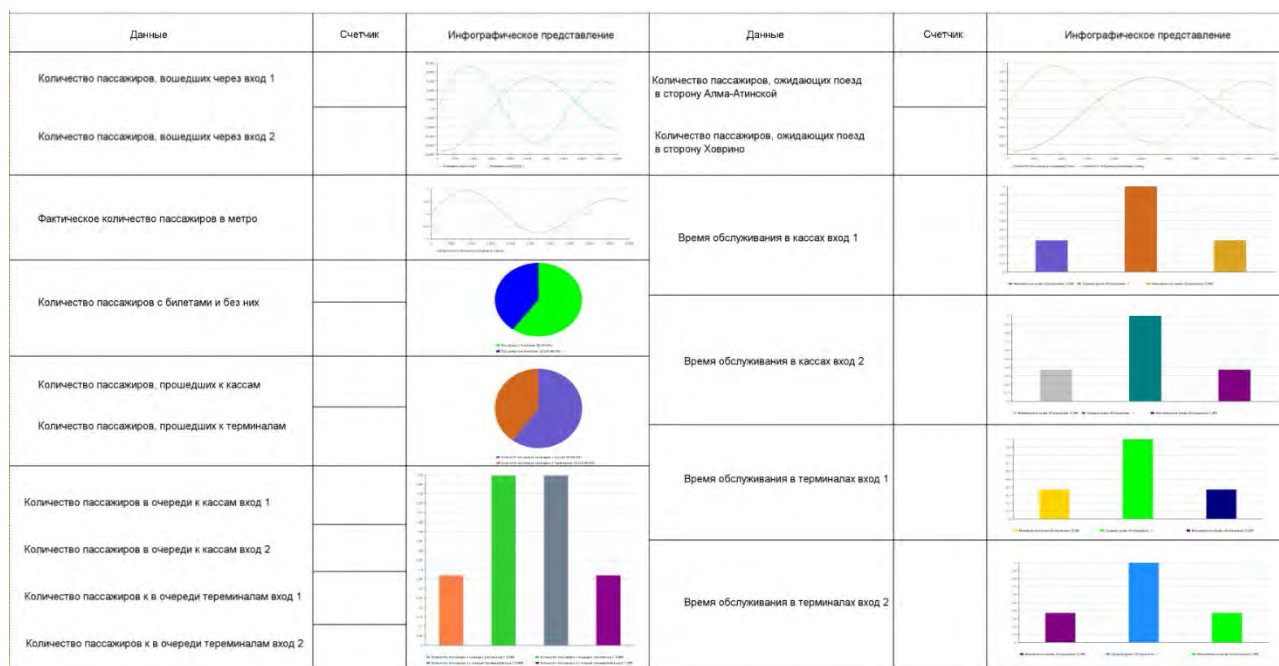


Рис. 6. Представление результатов имитационного моделирования работы станции метро

Fig. 6. Simulation modeling of metro station operation results presentation

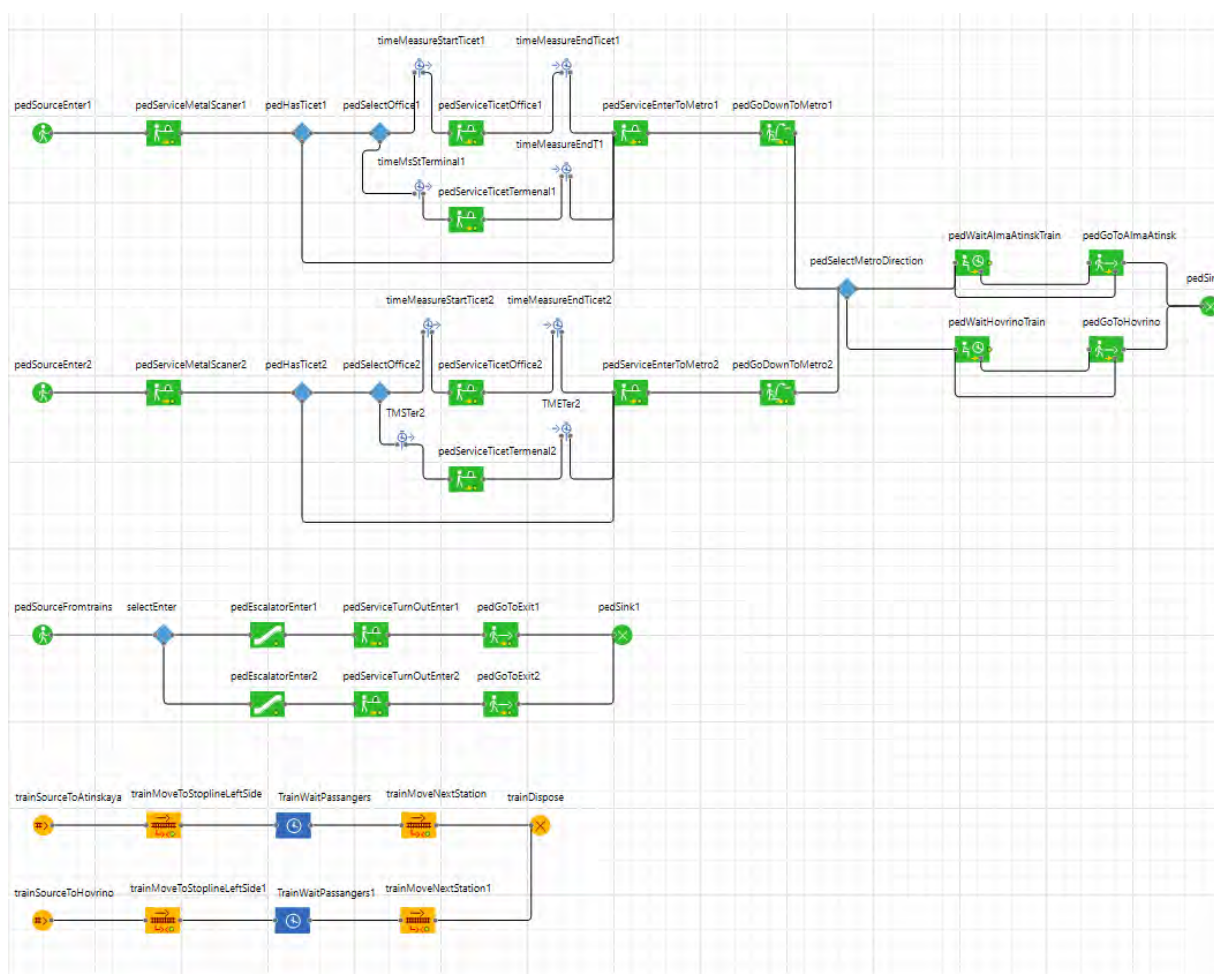


Рис. 7. Процессная диаграмма имитационной модели станции метро «N» в среде AnyLogic

Fig. 7. Simulation model process diagram of metro station "N" in the AnyLogic software

Табл. 1. Функции блоков AnyLogic, использованные для построения имитационной модели станции метро [3]
Table 1. AnyLogic block functions are used to build a simulation model of a metro station [3]

Название блока	Графическое обозначение блока на процессной диаграмме (рис. 7)	Основная функция блока
Пешеходная библиотеки		
<i>PedSource</i>		Генерация пешеходов. Является начальной точкой диаграммы процесса моделирования пассажиропотока
<i>PedService</i>		Моделирование обслуживания пассажиров в билетных кассах, терминалах, а также на турникетах
<i>PedChangeLevel</i>		Перемещение пассажиропотока между уровнями модели
<i>PedWait</i>		Моделирование задержки (остановки) пассажира
<i>PedGoTo</i>		Моделирование движения пассажиров
<i>PedEscalator</i>		Моделирование работы эскалатора
<i>PedSink</i>		Вывод пешеходов из модели. Является конечной точкой диаграммы процесса моделирования пассажиропотока
Библиотека моделирования процессов		
<i>SelectOutput</i>		Выбор пешеходами направления движения
<i>TimeMeasureStart</i>		Начало измерения продолжительности нахождения каждого пассажира на разных участках станции
<i>TimeMeasureEnd</i>		Окончание измерения продолжительности нахождения пассажира на разных участках станции
<i>Delay</i>		Задерживает агентов (данной модели – поездов) в течение заданного периода времени
Железнодорожная библиотека		
<i>TrainSource</i>		Моделирование прибытия поезда на станцию
<i>TrainMoveTo</i>		Моделирование движения поезда
<i>TrainDispose</i>		Моделирование убытия поезда со станции

Для исключения возможных неопределённых (*Infinite*) значений этих данных в модели использовалось следующее тернарное выражение (пример общего вида для получения минимального значения из элемента «*distribution*») [2]

Double.isInfinite(timeMeasureEnd.distribution.min()) ? 0 : timeMeasureEnd.distribution.min().

Во-вторых, подсчёт числа пассажиров, находящихся в разных местах станции, с последующим построением графиков выполнялся с использованием структуры данных типа «коллекция» и следующей функции общего вида [5]

sum(collection, item -> item.value),

где *sum* – имя функции суммирования; *collection* – имя коллекции; *item* – имя элементов коллекции, например пассажиров; *value* – имя числового параметра элемента коллекции, например количества пассажиров в очереди к терминалу.

Наконец, поведение пассажиров без билетов подчинялась в модели следующей логике: если в очередях в кассы находится больше 20 человек, то пассажир направляется к терминалам. Выбор пассажиром места покупки билета моделировалось блоком *SelectOutput* и тернарным оператором [6]

sum(officeQLine, qLine -> qLine.size()) > 20 ? false : true,

где *officeQLine* – имя объекта обслуживания (касса с очередью); *qLine* – имя коллекции – очереди к кассе; *size()* – метод определения числа пассажиров в очереди; *false* – логическая переменная, сигнализирующая блоку *SelectOutput* о необходимости перенаправить очередного пассажира к терминалам продажи билетов; *true* – пассажир становится в очередь в билетную кассу.

4. Эксперименты с моделью и полученные результаты

План экспериментов с построенной имитационной моделью состоял из двух этапов. На первом этапе выполнялась оценка перерабатывающей способности сервисов станции метро. Для этого проводились серии экспериментов для разной интенсивности пассажиропотока и с различной долей пассажиров, покупающих билеты в кассах или терминалах. На втором этапе оптимизировалось число терминалов и время обслуживания пассажиров в кассах и терминалах с целью сокращения затрат времени пассажиров.

Модельное время во всех экспериментах составило 3600 сек., что соответствует одному часу работы станции. Интенсивность пассажиропотока в первой серии экспериментов выбрана равной 500 чел./ч. для каждого входа на станцию метро. Доля пассажиров без билетов изменялась от 0.25 до 0.75. Исходные данные и

основные результаты первой серии имитационных экспериментов представлены в **табл. 2**.

Во второй серии первого этапа экспериментов интенсивность пассажиропотока на станцию увеличена до 1000 чел./ч. для каждого входа. Доля пассажиров, которые нуждались в покупке билетов, также изменялась от 0.25 до 0.75. Исходные данные и основные результаты второй серии имитационных экспериментов представлены в **табл. 3**.

Результаты экспериментов первого этапа показали, что при увеличении интенсивности потока и доли пассажиров, покупающих билеты в кассах и терминалах, средняя продолжительность обслуживания пассажиров в сервисах значительно увеличивается. Сравнение результатов, полученных в результате экспериментов на первом этапе, представлено в **табл. 4** и на **рис. 8**.

На втором этапе имитационных экспериментов были выполнены две серии оптимизационных экспериментов для обоснования решений по уменьшению времени обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах при условии максимального пассажиропотока интенсивности 1000 чел./час на каждом входе в метро.

В первой серии уменьшалась продолжительность обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах. Во второй серии экспериментов увеличивалось число терминалов на две единицы на каждом входе при неизменной (первоначальной) продолжительности обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах. Все эксперименты второго этапа проводились при условии, что доля пассажиров, которые приобретают билеты, составляет 0.5 и 0.7. Исходные данные и результаты серий оптимизационного эксперимента представлены в **табл. 5** и **6**. Сравнение результатов оптимизационных экспериментов между собой, а также с результатами, полученными на первом этапе имитационных экспериментов, представлены в **табл. 7** и на **рис. 9**.

Анализ результатов оптимизации показал эффективность обоих предложенных решений, однако реализация соответствующих решений характеризуется различными затратами и сложностью.

Сокращение продолжительности обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах возможна в результате:

- изменения организации работы кассиров, совершенствования алгоритмов работы;
- обновления программного обеспечения;
- совершенствования конструкции терминалов.

Предполагается, что реализация перечисленных решений потребует как значительных финансовых затрат, так и сложна с учётом разнообразных организационных ограничений и сложностей. С другой стороны, приобретение и установка дополнительных терминалов прежней конструкции потребует меньших затрат и, на наш взгляд, является более реальным решением.

Табл. 2. Исходные данные и результаты серии экспериментов при минимальной интенсивности пассажиропотока
Table 2. Initial data and results of a series of experiments at minimum passenger traffic intensity

Показатели	Эксперимент I.1		Эксперимент I.2		Эксперимент I.3	
	Вход 1	Вход 2	Вход 1	Вход 2	Вход 1	Вход 2
Исходные данные						
Интенсивность пассажиропотока, чел./ч.	505	505	505	505	505	505
Продолжительность обслуживания в кассах, мин./чел.	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2
Продолжительность обслуживания в терминалах, сек./чел.	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30
Число терминалов, шт.	3	3	3	3	3	3
Доля пассажиров без билетов	0.5	0.5	0.25	0.25	0.75	0.75
Результаты						
Средняя продолжительность обслуживания в терминалах, мин./чел.	2.5	2	2	2	2.3	2.6
Средняя продолжительность обслуживания в кассах, мин./чел.	15	14	12	11	15	17
Средняя длина очереди к терминалам, чел.	0	2	0	0	1	1
Средняя длина очереди к кассам, чел.	22	21	20	22	25	24

Табл. 3. Исходные данные и результаты серии экспериментов при максимальной интенсивности пассажиропотока
Table 3. Initial data and results of a series of experiments at maximum passenger traffic intensity

Показатели	Эксперимент I.1		Эксперимент I.2		Эксперимент I.3	
	Вход 1	Вход 2	Вход 1	Вход 2	Вход 1	Вход 2
Исходные данные						
Интенсивность пассажиропотока, чел./ч.	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Продолжительность обслуживания в кассах, мин./чел.	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2
Продолжительность обслуживания в терминалах, сек./чел.	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30
Число терминалов, шт.	3	3	3	3	3	3
Доля пассажиров без билетов	0.5	0.5	0.25	0.25	0.75	0.75
Результаты						
Средняя продолжительность обслуживания в терминалах, мин./чел.	5	6	2	2,5	11	10
Средняя продолжительность обслуживания в кассах, мин./чел.	16	16	15	16	17	17
Средняя длина очереди к терминалам, чел.	42	59	0	0	80	78
Средняя длина очереди к кассам, чел.	25	21	21	23	21	29

Табл. 4. Значения средней суммарной продолжительности обслуживания пассажиров в сервисах по результатам первого этапа имитационных экспериментов, мин./чел.
Table 4. Average total passenger service time in services based on the results of the first stage of simulation experiments, minutes/person

Номер входа	Интенсивность пассажиропотока, чел./ч.	Доля пассажиров, покупающих билеты в кассах или терминалах	
		0.5	0.75
1	505	17.5	17.3
	1000	21	28
	Изменение, %	+20	+61
	505	16	19.6
2	1000	22	27
	Изменение, %	+37	+37

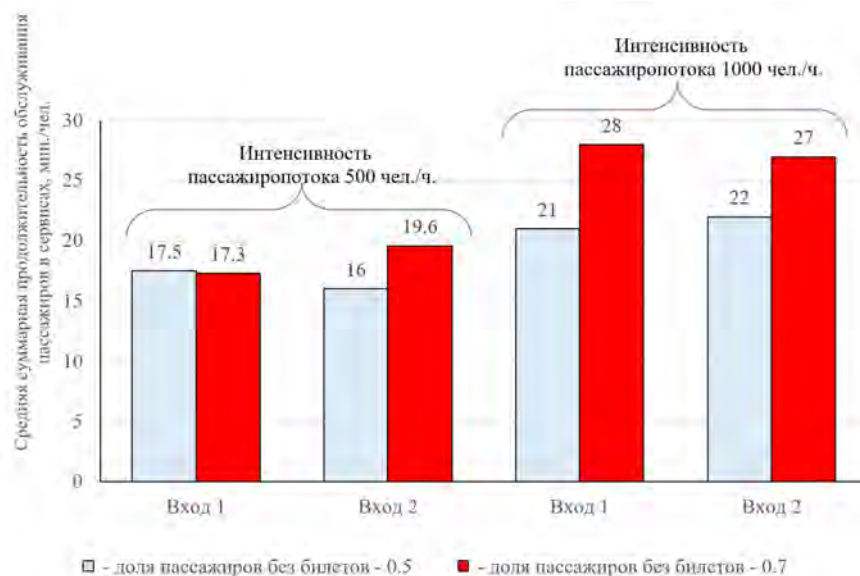


Рис. 8. Изменение средней суммарной продолжительности обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах станции метро при увеличении интенсивности пассажиропотока

Fig. 8. Change in the average total duration of passenger service at ticket offices and terminals in metro stations with an increase in passenger traffic intensity

Табл. 5. Исходные данные и результаты серии экспериментов при сокращённой продолжительности обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах

Table 5. Initial data and results of a series of experiments with reduced passenger service time at ticket offices and terminals

Показатели	Эксперимент I.1		Эксперимент II.2	
	Вход 1	Вход 2	Вход 1	Вход 2
Исходные данные				
Интенсивность пассажиропотока, чел./ч.	1000	1000	1000	1000
Продолжительность обслуживания в кассах, мин./чел.	1	1	1	1
Продолжительность обслуживания в терминалах, сек./чел.	10 ~ 20	10 ~ 20	10 ~ 20	10 ~ 20
Число терминалов, шт.	3	3	3	3
Доля пассажиров без билетов	0.5	0.5	0.75	0.75
Результаты				
Средняя продолжительность обслуживания в терминалах, мин./чел.	2	2.5	3	4
Средняя продолжительность обслуживания в кассах, мин./чел.	12	12	13	13
Средняя длина очереди к терминалам, чел.	2	1	4	10
Средняя длина очереди к кассам, чел.	27	22	25	24

Табл. 6. Исходные данные и результаты серии экспериментов при увеличении числа терминалов по продаже билетов

Table 6. Initial data and results of a series of experiments with an increase in the number of ticket terminals

Показатели	Эксперимент I.1		Эксперимент II.2	
	Вход 1	Вход 2	Вход 1	Вход 2
Исходные данные				
Интенсивность пассажиропотока, чел./ч.	1000	1000	1000	1000
Продолжительность обслуживания в кассах, мин./чел.	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2
Продолжительность обслуживания в терминалах, сек./чел.	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30	20 ~ 30
Число терминалов, шт.	5	5	5	5
Доля пассажиров без билетов	0.5	0.5	0.75	0.75
Результаты				
Средняя продолжительность обслуживания в терминалах, мин./чел.	5	6	2	2.5
Средняя продолжительность обслуживания в кассах, мин./чел.	16	16	15	16
Средняя длина очереди к терминалам, чел.	42	59	0	0
Средняя длина очереди к кассам, чел.	25	21	21	23

Табл. 7. Сравнение значений средней суммарной продолжительности обслуживания пассажиров в сервисах по результатам имитационных экспериментов до и после оптимизации, мин./чел.

Table 7. Comparison of average total passenger service times in services based on simulation experiment results before and after optimization, minutes/person

Номер входа	Номера экспериментов	Содержание эксперимента	Доля пассажиров, покупающих билеты в кассах или терминалах	
			0.5	0.75
1	I.4 и I.6	До оптимизации	21	28
	II.1 и II.2	Уменьшение продолжительности обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах	14	16
	II.3 и II.4	Увеличение числа билетных терминалов	19	21
2	I.4 и I.6	До оптимизации	21	28
	II.1 и II.2	Уменьшение продолжительности обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах	14.5	17
	II.3 и II.4	Увеличение числа билетных терминалов	20.6	22.5

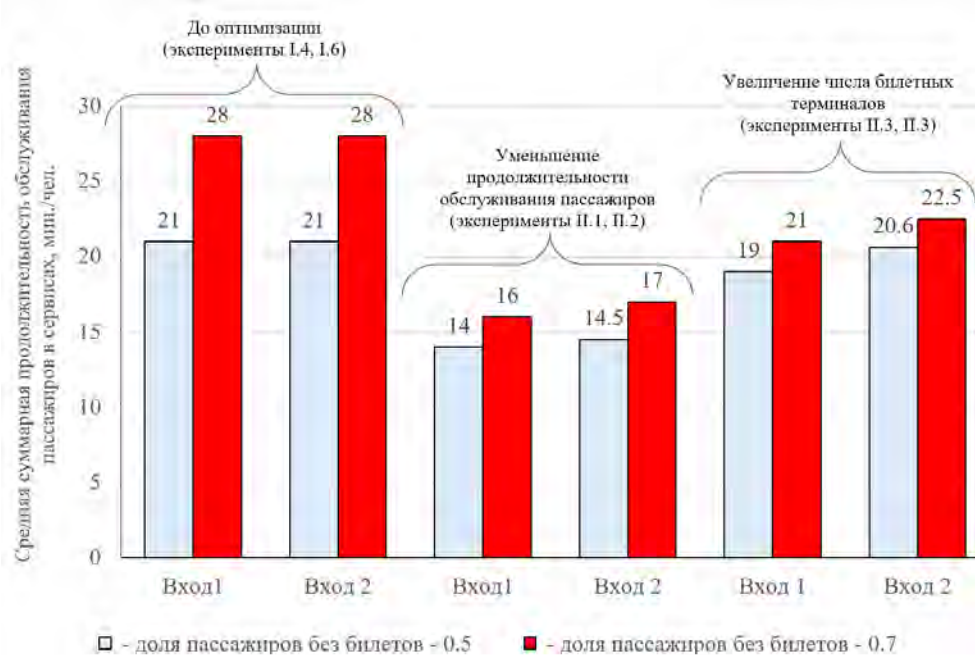


Рис. 9. Изменение средней суммарной продолжительности обслуживания пассажиров в билетных кассах и терминалах станции метро до и после оптимизации

Fig. 9. Change in the average total duration of passenger service at ticket offices and terminals in the metro station before and after optimization

Результаты сравнения эффективности предполагаемых решений по сокращению времени покупки пассажирами билетов на станции метро приведены в табл. 8.

Из таблицы видно, что сокращение затрат времени на обслуживание одного пассажира в билетных кассах и терминалах позволяет получить больший эффект по сравнению с решением по увеличению числа терминалов. Однако реализация такого решения, предположительно, связана с большими финансовыми затратами и организационными сложностями. Установка дополнительных терминалов является более доступным решением, хотя и менее эффективным, особенно в случае небольшого числа пассажиров, покупающих билеты, в общем пассажиропотоке.

Табл. 8. Оценка эффективности предлагаемых оптимизационных решений

Table 8. Assessment of the proposed optimization solutions effectiveness

Доля пассажиров без билетов	Номер входа	Эффективность решения, %	
		Сокращение времени обслуживания пассажира	Увеличение числа терминалов
0.5	1	34	10
	2	31	2
0.7	1	43	25
	2	40	21

5. Заключение

Представлена имитационная модель станции метро, построенная с использованием программного инструмента AnyLogic. Модель позволяет проводить эксперименты по оценке существующей перерабатывающей способности при различных значениях интенсивности пассажиропотока для выявления «узких» мест в случае увеличения интенсивности. Кроме того, построенная модель использовалась в исследовании для проверки эффективности различных организационных и технических решений по увеличению перерабатывающей способности станции.

Эксперименты с моделью позволили выявить случаи возникновения очередей и длительного ожидания пассажирами обслуживания в билетных кассах и терминалах станции при увеличении интенсивности входящего пассажиропотока до 1000 чел./ч. для каждого из двух входов станции, а также при большой доле (до 0.7) пассажиров, нуждающихся в приобретении билета.

Предложены два решения по уменьшению длины очередей. В первом решении предлагается сократить

затраты времени на обслуживание пассажиров в билетных кассах и терминалах в результате совершенствования как конструкции терминалов, так и алгоритмов и программного обеспечения в кассах. Согласно второму решению, предлагалось увеличение числа терминалов существующей конструкции.

Несмотря на то, что первое решение позволяет практически в два раза быстрее обслуживать пассажиров без билетов, но, учитывая значительные предполагаемые затраты на его реализацию, предложено реализовать менее затратное решение по увеличению числа терминалов по продаже билетов.

Разработанная и представленная имитационная модель может использоваться как базовая для создания моделей других станций метро. Модель позволяет производить оценку эффективности системы обслуживания пассажиров при различных условиях, определять оптимальные параметры системы, прогнозировать затраты времени на обслуживание пассажиров в различных условиях, проверять реалистичность и оценивать эффективность различных решений по совершенствованию работы станции метро и устранению «узких» мест.

Список литературы

1. Kuzmin D., Baginova V., Ageikin A. Discrete Event Simulation Model of the Railway Station // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 63. pp. 929-937. <https://www.doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.091>. EDN FAGWFG.
2. Кузьмин Д.В., Багинова В.В. Дискретно-событийная имитационная модель работы перекрёстка // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки : труды международной научно-практической конференции, посвящённой 125-летию университета 22 октября 2021 года. Москва: Российский университет транспорта. С. 487-497. <https://www.doi.org/10.47581/2022/Obrazcov.65>. EDN TJOCUB.
3. Документация AnyLogic [Электронный ресурс]. URL: <https://anylogic.help/ru/> (дата обращения: 02.01.2025).
4. Антонова В.М., Гречишкина Н.А., Кузнецов Н.А., Сухорукова Н.А. Моделирование трафика систем массового обслуживания в среде AnyLogic на примере пассажиропотока станции метро // *Журнал радиоэлектроники*. 2018. № 3. С. 13. EDN XODNGH.
5. Kuzmin D., Baginova V. Discrete-Event Intersection Operation Model (Yasnyy Proyezd-Dezhnev street, Moscow). // *Robotics, Machinery and Engineering Technology for Precision Agriculture* / M. Shamtsyan [et al.]. Singapore: Springer Singapore, 2022. pp. 283-294. https://www.doi.org/10.1007/978-981-16-3844-2_29.
6. Антонова В.М., Гречишкина Н.А., Кузнецов Н.А. Анализ результатов моделирования пассажиропотока станции метро в программе AnyLogic // *Информационные процессы*. 2018. Т. 18. № 1. С. 35-39. EDN YTZVRH.

References

1. Kuzmin, D., Baginova, V. and Ageikin, A. 2022. Discrete Event Simulation Model of the Railway Station. *Transportation Research Procedia*, Vol. 63, pp. 929–937.
2. Kuzmin D.V. and Baginova V.V. 2021. Discrete-Event Simulation Model of Intersection Operation, *Academician Vladimir Nikolaevich Obratsov - Founder of Transport Science*. Moscow, Russian University of Transport , pp. 487–497. (In Russ.).
3. *AnyLogic Documentation*. <https://anylogic.help/en/> (Accessed 2 January 2025).
4. Antonova V.M., Grechishkina N.A., Kuznetsov N.A. and Sukhorukova N.A. 2018. Modeling Traffic in Mass Service Systems in the AnyLogic Software Using the Example of Passenger Flow at a Metro Station. . *Journal of Radio Electronics*, No. 3, p. 13. (In Russ.).
5. Kuzmin, D. and Baginova, V. 2022. Discrete-Event Intersection Operation Model (Yasnyy Proyezd-Dezhnev street, Moscow). M. Shamtsyan, M. Pasetti and A. Beskopylny (eds), *Robotics, Machinery and Engineering Technology for Precision Agriculture*, Vol. 247. Singapore, Springer Singapore (Smart Innovation, Systems and Technologies), pp. 283–294.
6. Antonova V.M., Grechishkina N.A. and Kuznetsov N.A. 2018. Analysis of the Results of Passenger Flow Modeling at a Metro Station Using the AnyLogic Program. *Information Processes*, Vol. 18, No. 1, pp. 35–39. (In Russ.).