ORIGINAL PAPER
Modern technologies. System analysis. Modeling *2023. No. 4 (80). pp. 27–38*
DOI 10.26731/1813-9108.2023.4(80).27-38 **УДК** 656.211.5

Построение модели организации потоков пассажиров на вокзальном комплексе

И.А. Чубарова✉, А.Д. Доможирова
Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация
✉ia7chubarova@gmail.com

Резюме
В организации работы вокзальных комплексов моделирование становится важной частью производственного процесса. Оно помогает детально продумать и оптимизировать практически все: от проектов зданий вокзала до загруженности инфраструктуры железнодорожного транспорта и использования ресурсов. При организации потоков пассажиров в здании вокзала и на привокзальной площади необходима оценка проходимости отдельных зон, числа посетителей, попадающих в какую-либо зону, а также плотности их потока. Актуальным является исследование загрузки элементов вокзального комплекса и выявление узких мест в перемещении людей в здании вокзала. В статье рассмотрены вопросы целесообразности применения имитационного моделирования в деятельности вокзальной инфраструктуры. Представлены результаты моделирования пассажиропотоков в системе AnyLogic. Процесс создания модели состоит из ряда этапов. На начальном этапе устанавливается главный критерий организации пассажиропотока – равномерное распределение и накопление пассажиров. Затем происходит выбор критериев системы, чтобы задать параметры модели: количество посетителей, интенсивность их прибытия. Впоследствии создается блок-схема, соответствующая структуре вокзального комплекса. Разработанная имитационная модель организации пассажиропотоков показала необходимость их деления на дальних и пригородных с целью равномерного накопления ожидающих отправления пассажиров. Учитывая, что пешеходные потоки нужно организовывать соответственно их источникам и направлениям движения, моделирование пассажиропотоков с AnyLogic позволяет определить характер транспортной доступности, что является важнейшим критерием при оценке качества предоставления услуг посетителям вокзального комплекса.

Ключевые слова
вокзальный комплекс, пешеходный поток, система AnyLogic, построение моделей, моделирование, организация пассажиропотока, посетители, пассажиры, транспортная доступность

Для цитирования
Чубарова И.А. Построение модели организации потоков пассажиров на вокзальном комплексе / И.А. Чубарова, А.Д. Доможирова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 4 (80). С. 27–38. DOI 10.26731/1813-9108.2023.4(80).27-38.

Информация о статье
поступила в редакцию: 03.10.2023 г.; поступила после рецензирования: 13.11.2023 г.; принята к публикации: 14.11.2023 г.

Building of a Model for Organizing Passenger Flows at the Station Complex

I.A. Chubarova✉, A.D. Domozhirova
Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation
✉ia7chubarova@gmail.com

Abstract
In organizing the work of station complexes, modeling becomes an important part of the production process. It helps to think through in detail and optimize almost everything: from station building designs to the workload of railway transport infrastructure and resource usage. When organizing passenger flows in the station building and on the station square, it is necessary to assess the trafficability of individual zones, the number of visitors entering any of the zones, as well as the density of visitor flow. It is relevant to study the loading of elements of the station complex and identify bottlenecks in the movement of station visitors. The article discusses the feasibility of using simulation modeling in the activities of station infrastructure. The results of modeling passenger flows in the AnyLogic system are presented. The process of creating a model consists of a number of stages. At the initial stage, the main criterion for organizing passenger flow is established - the uniform distribution and accumulation of passengers. Then the system criteria are selected to set the model parameters: the number of visitors, the intensity of their arrival. Subsequently, a block diagram is created corresponding to the structure of the station complex. The developed simulation model for organizing passenger flows showed the need to divide passenger flows into long-distance and suburban ones in order to evenly accumulate passengers awaiting departure. Considering that pedestrian flows need to be organized according to their sources and directions of movement, modeling passenger flows with AnyLogic makes it possible to determine the nature of transport accessibility, which is the most important criterion when assessing the quality of services provided to visitors at the station complex.

Keywords
station complex, pedestrian flow, AnyLogic system, model building, simulation, organization of passenger flow, visitors, passengers, transport accessibility

For citation
Chubarova I.A., Domozhirova A.D. Postroenie modeli organizatsii potokov passazhirov na vokzal'nom komplekse [Building of a Model for Organizing Passenger Flows at the Station Complex]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 4(80), pp. 27–38. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.4(80).27-38.

Article info
Received: October 3, 2023; Revised: November 13, 2023; Accepted: November 14, 2023.

Введение

Технологический процесс работы вокзального комплекса включает в себя организацию перемещения пассажиров. На внеклассных вокзалах и вокзалах первого класса из-за большого количества посетителей требуется делить поток пассажиров путем точного расположения справочных устройств, билетных касс и отдельных проходов для дальних и пригородных пассажиров [1–3].

Необходимость разделения пассажиропотоков на вокзальном комплексе должна быть тщательно обоснована. Большое значение в этом вопросе имеет применение цифровых технологий, в том числе моделирование производственных процессов [4–6]. AnyLogic – программная среда, с помощью которой можно создавать модели распределения потоков посетителей на объектах инфраструктуры, например на железнодорожных вокзалах [7, 8]. В данной статье рассматривается возможность применения системы AnyLogic для создания модели организации пассажиропотока на вокзальном комплексе.

Создание имитационной модели организации пассажиропотока на вокзальном комплексе

В рамках проведенного исследования в системе AnyLogic была разработана имитационная модель организации пассажиропотока вокзального комплекса Иркутск-Пассажирский, имеющего три основных подъезда.

В модели агентами являются посетители вокзального комплекса в течении суток [9, 10]. Количество элементов в созданной модели – 22.

Настройки модели организации пассажиропотока вокзального комплекса Иркутск-Пассажирский представлены в табл. 1–4.

Таблица 1. Сведения блока «Source-1»
Table 1. Information for the «Source-1» block

Расписание интенсивности прибытия пассажиров Passenger Arrival Rate Schedule			
Время (московское), ч. Time (Moscow), hour	Интенсивность прибытия пассажиров, пасс./ч. Passenger arrival intensity, pass / hour	Время (московское), ч. Time (Moscow), hour	Интенсивность прибытия пассажиров, пасс./ч. Passenger arrival intensity, pass / hour
00:00–01:00	165	12:00–13:00	114
01:00–02:00	276	13:00–14:00	87
02:00–03:00	356	14:00–15:00	63
03:00–04:00	218	15:00–16:00	133
04:00–05:00	73	16:00–17:00	154
05:00–06:00	58	17:00–18:00	173
06:00–07:00	151	18:00–19:00	61
07:00–08:00	15	19:00–20:00	69
08:00–09:00	75	20:00–21:00	21
09:00–10:00	219	21:00–22:00	41
10:00–11:00	223	22:00–23:00	82
11:00–12:00	42	23:00–00:00	38

 © И.А. Чубарова, А.Д. Доможирова, 2023

Таблица 2. Значения условий для блоков «SelectOutput»
Table 2. Condition values for «SelectOutput» blocks

Название блока Block name	Выбор выхода Exit selection	Значение условия Condition value
Выбор1	При выполнении условия	((Покупка_билета_в_БПА.size>2)||(queue.size<1))
Выбор2	Заданной вероятностью	0,97 (посетитель отправляется)
Выбор3		0,98 (пассажир не обратиться к ЛВОКп)
Выбор4		0,97
Выбор5	При выполнении условия	Ожидание_отправления.size<60

Таблица 3. Данные для блоков «Delay»
Table 3. Data for «Delay» blocks

Название блока Block name	Минимальное время, мин. Minimum time, min	Вероятное время, мин. Probable time, min	Максимальное время, мин. Maximum time, min	Вместимость, чел. Capacity, people
Обращение к начальнику вокзала	1	1,5	2	1
Покупка билета в кассе	2	2,5	3	4
Покупка билета в билетопечатающем автомате	1,5	2	2,5	4
Посещение туалета	1,5	2	2,5	5

В табл. 1 приведено расписание интенсивности прибытия пассажиров на вокзальный комплекс для покупки билетов в кассах дальнего и пригородного сообщений, а также пассажиров, которые приходят с уже купленными билетами (пассажиры дальних поездов, пассажиры, купившие билеты заранее и купившие билеты онлайн). Число провожающих в среднем составляет 8 % от общего числа отправляющихся пассажиров, что тоже учтено.

Моделирование организации пассажиропотоков вокзального комплекса Иркутск-Пассажирский начинается с помещения двух блоков «Source» на рабочую область программы AnyLogic и задания основных свойств данных блоков (рис. 1). Этим блокам присваивается одно общее имя «Вход_подъезд_3». Для задания интенсивности прибытия пассажиров учитываются два элемента расписания с указанием интенсивности прибытия пассажиров по часам (см. табл. 1). Добавление двух блоков обусловлено тем, что часть прибывающих посетителей сразу после досмотра идет приобретать билет в пригородную кассу или к билетопечатающему автомату (БПА), а другая часть приходит уже с приобретенными билетами [11, 12].

Для моделирования прохождения досмотра добавляется два блока «Service» с именами «Досмотр» и «Досмотр1». Данные блоки захватывают для агента заданное количество ресурсов (рамок металлоискателя), задерживают их, а затем освобождают захваченные им ресурсы [13].

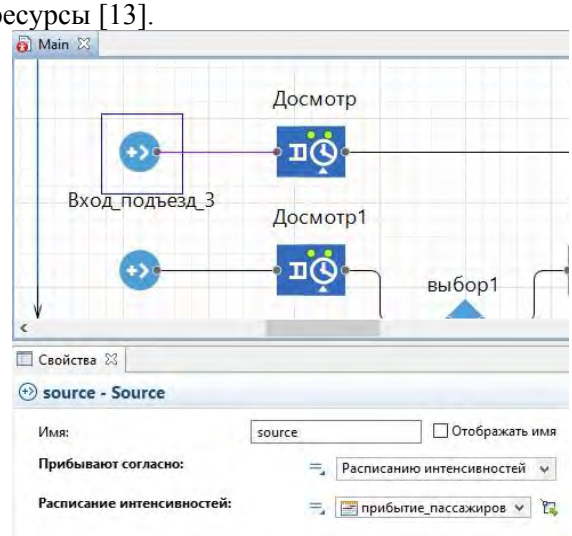


Рис. 1. Блок «Source»
Fig. 1. Blocks "Source"

Далее для обоих путей добавляются блоки «SelectOutput» (рис. 2). В первом случае данному блоку присвоено имя «Выбор3» и он показывает, что часть посетителей обращается к дежурному помощнику начальника вокзала (ЛВОКп). Затем к блоку «Выбор3» присоеди-

няется блок «Выбор4», который учитывает пассажиров, посещающих туалет. Далее присоединяется блок «Выбор5», который обозначает, что в случае занятия всех сидячих мест в подъезде (60 мест), посетитель ждет отправления стоя. В случае проследования посетителя на кассу добавляется блок «Выбор1», который указывает на выбор места покупки билета (касса или БПА). Также в модели существует еще один блок «SelectOutput». Данный блок имеет имя «Выбор2», он означает что, после покупки билета посетитель либо ожидает отправления поезда, и блок соединяется с блоком «Выбор3», либо билет куплен на другую дату, и пассажир покидает вокзал [14, 15].

Теперь необходимо обозначить процессы обращения к ЛВОКп, посещение туалета и ожидание отправления. Для этого добавляются блоки «Delay» (рис. 3).

Завершают модель два блока «Sink», которые показывают уход посетителей из подъезда № 3. Этим блокам присвоены имена «Выход к поездам» и «Выход в город» (рис. 4).

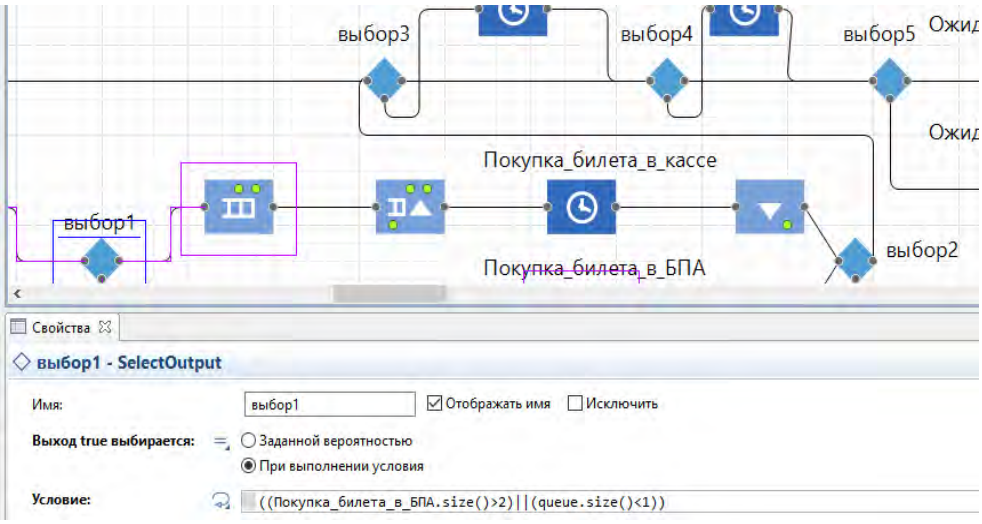


Рис. 2. Блок «SelectOutput»
Fig. 2. Blocks «SelectOutput»

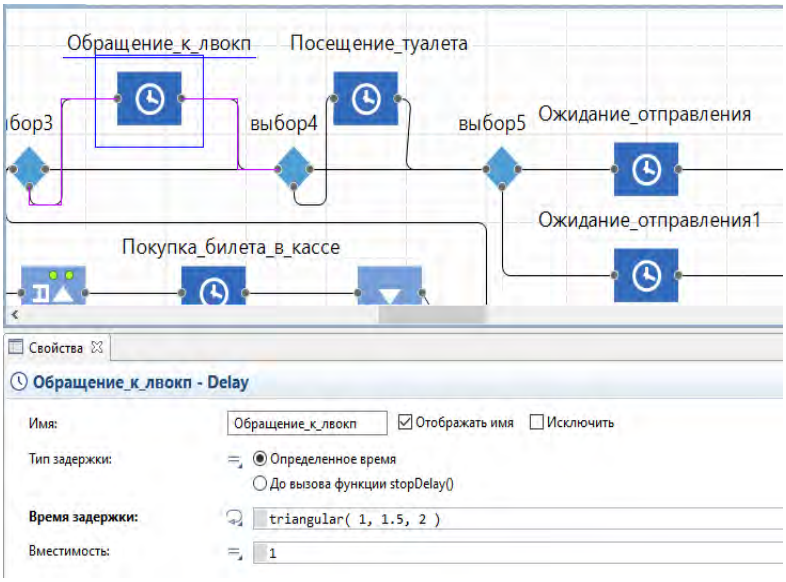


Рис. 3. Блок «Delay»
Fig. 3. Blocks «Delay»

 © И.А. Чубарова, А.Д. Доможирова, 2023

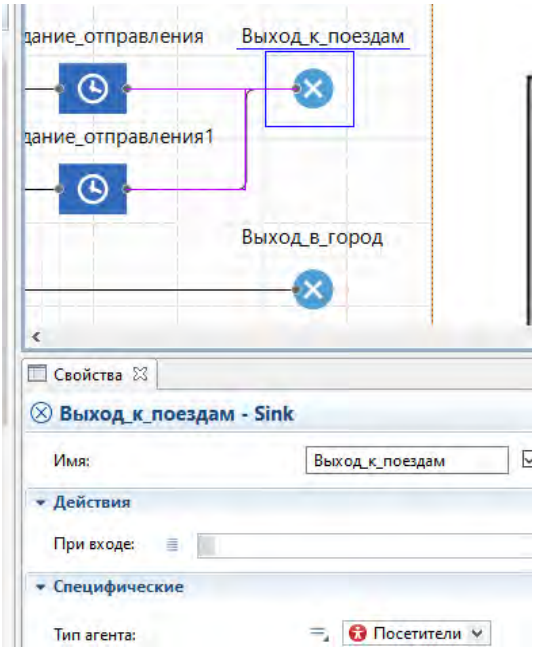


Рис. 4. Блок «Sink»
Fig. 4. Blocks «Sink»

С учетом заданных значений и блоков в существующих условиях, модель организации пассажиропотоков вокзального комплекса Иркутск-Пассажирский» представлена на рис. 5.

После построения самой модели, для визуализации процессов, происходящих в подъезде вокзального комплекса, в среде AnyLogic имеется возможность создания анимации передвижения пассажиров при помощи прямоугольных узлов [14]:

– вход (для обозначения места создания посетителей);
– зона досмотра;
– зона ожидания сидя;
– зона ожидания стоя;
– зона обслуживания в БПА;
– зона обслуживания в кассах;
– зона очереди в кассы;
– туалет;
– зона обращения к ЛВОКп;
– зона, где находятся кассиры;
– зона, где находится ЛВОКп.

План с анимацией представлен на рис. 6.

Создание модели объемного вида проводится в формате 3D (рис. 7, 8).

В рамках исследования построено несколько статистических диаграмм. Первая диаграмма показывает, сколько посетителей (в процентах) совершали различные функции в пределах третьего подъезда (рис. 9).

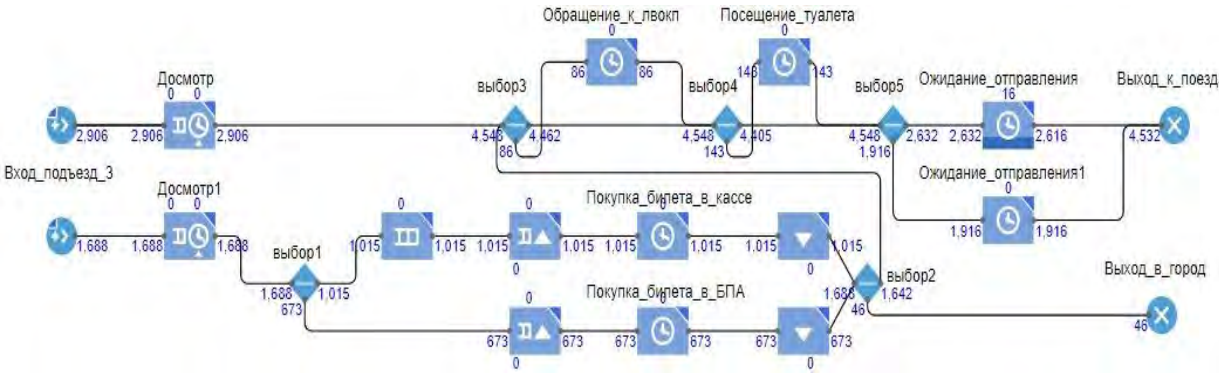


Рис. 5. Имитационная модель «Организация пассажиропотоков инфраструктуры вокзала Иркутск-Пассажирский»
Fig. 5. Simulation model «Arrangement of passenger flows of the station infrastructure Irkutsk-Passenger»

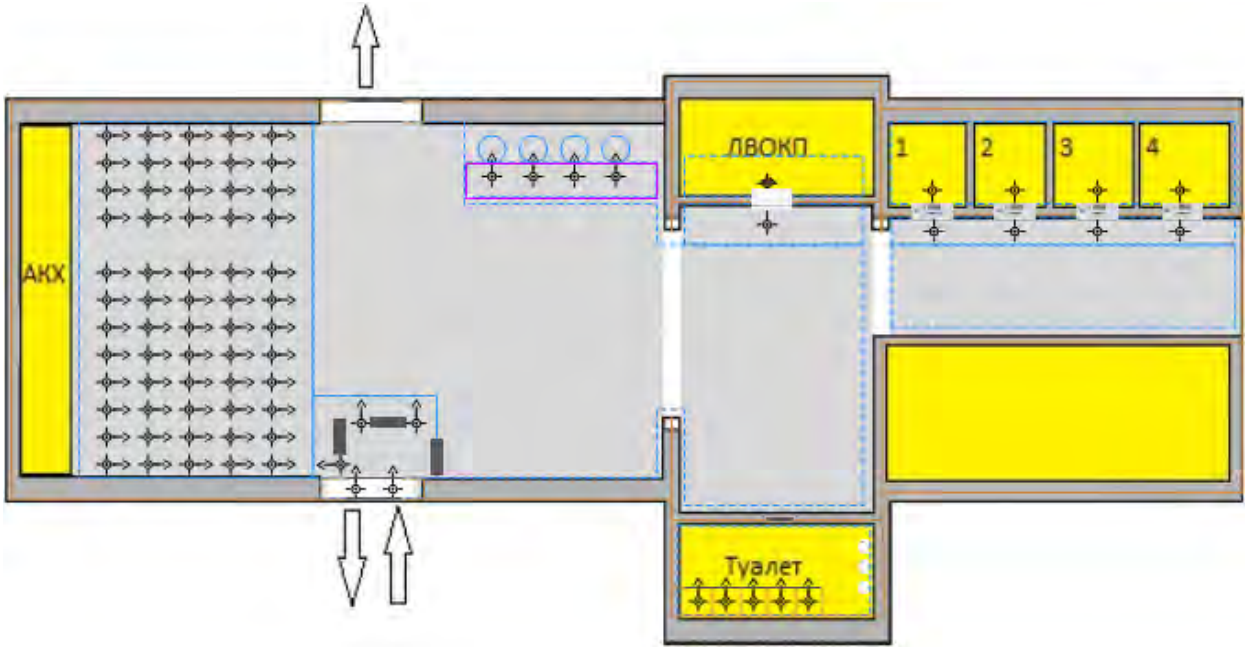


Рис. 6. Анимация модели организации пассажиропотоков подъезда № 3 инфраструктуры вокзала Иркутск-Пассажирский
Fig. 6. Animation of the model of organization of passenger traffic at entrance No 3 of the station infrastructure Irkutsk-Passenger

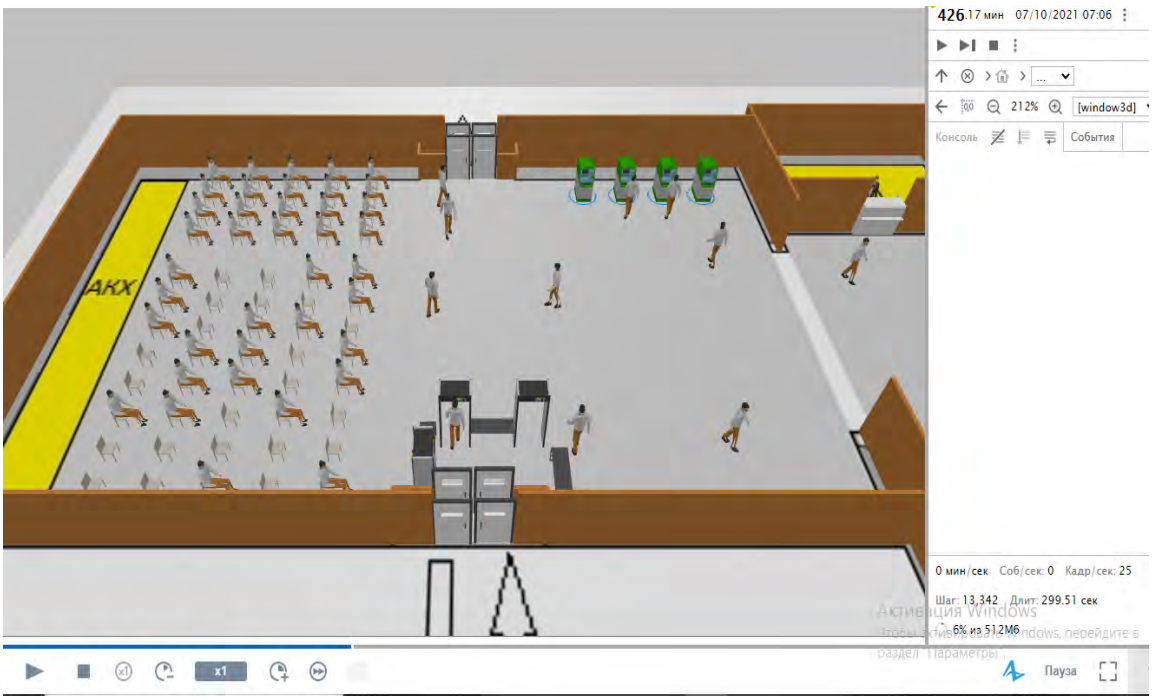


Рис. 7. Вход и зал ожидания подъезда № 3 инфраструктуры вокзала Иркутск-Пассажирский
Fig. 7. Entrance and waiting room entrance No 3 of the station infrastructure Irkutsk-Passenger

 © И.А. Чубарова, А.Д. Доможирова, 2023

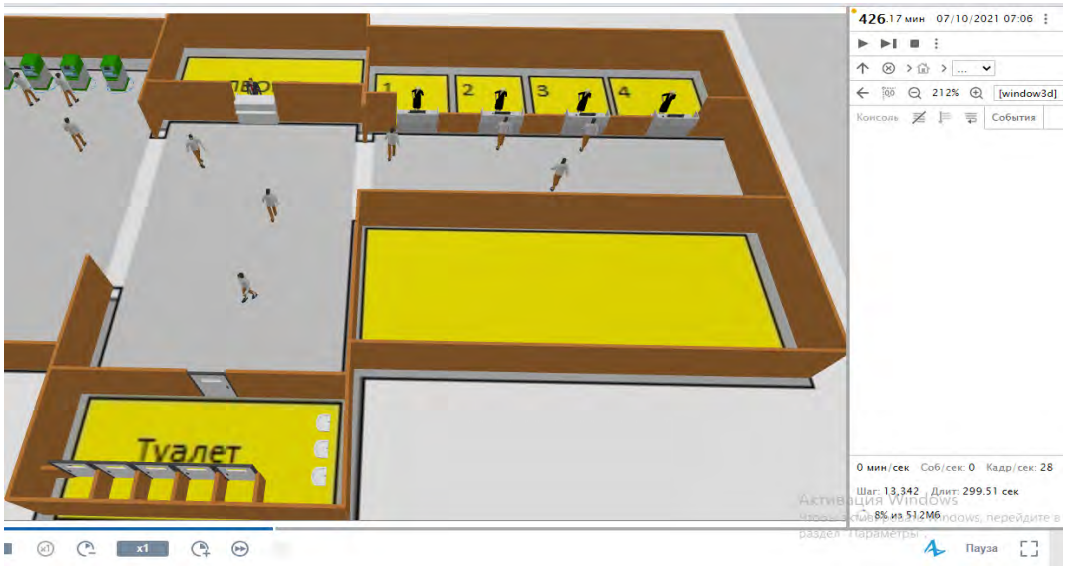


Рис. 8. Часть модели подъезда №3 инфраструктуры вокзала Иркутск-Пассажирский
Fig. 8. Part of the model of entrance No 3 of the station infrastructure Irkutsk-Passenger

Рис. 9. Диаграмма процентного соотношения действий посетителей
Fig. 9. Visitor Action Percentage Chart

Большее число посетителей (61,25 %) приходят в подъезд № 3 с купленным заранее билетом и ожидают отправления поезда, не совершая при этом никаких других дополнительных действий. Меньшая часть посетителей (1,88 %) параллельно с ожиданием обращаются по своим вопросам к ЛВОКп. При этом 36,87 % посетителей при посещении подъезда № 3 покупают билеты, из них 22,17 % – в кассах, а 14,7 % – в БПА.

Также в рамках исследования было проанализировано количество человек, ожидающих отправления поезда стоя. График с распределением во времени числа пассажиров, ожидающих стоя, представлен на рис. 10.

Число стоящих людей достигает максимальных значений в периоды интенсивного движения поездов, когда отправляется по несколько дальних поездов и поездов пригородного сообщения, что вызывает неудобства для пассажиров.

Очевидна необходимость разделения дальних и пригородных пассажиропотоков при нахождении их в зале ожидания для совершенствования обслуживания и повышения комфорта пассажиров.

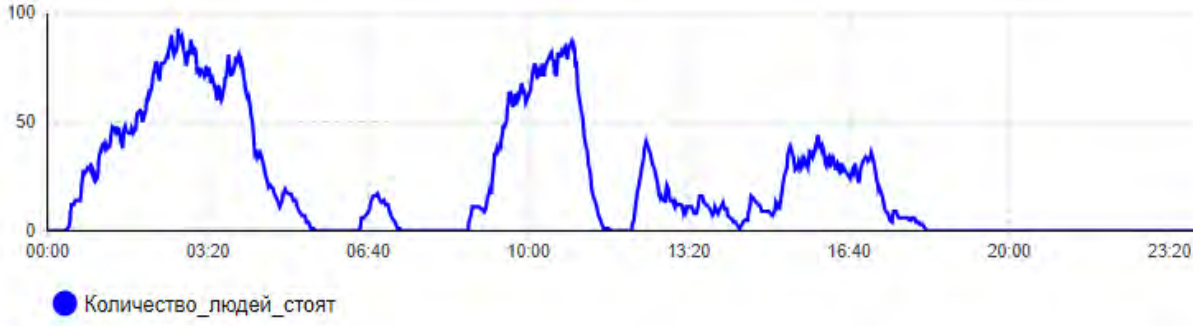


Рис. 10. Временной график количества людей, ожидающих отправления стоя
Fig. 10. Timeline of the number of people waiting for departures standing

В ходе исследования построена модель разделения пассажиропотока по подъездам вокзального комплекса: из подъезда № 1 отправляются пассажиры дальнего следования, а из подъезда № 3 пассажиры пригородного сообщения. Данная модель состоит из 43 блоков.

Для разработки модели данные табл. 1 были скорректированы и приведены в табл. 4.

Имитационная модель для новых условий представлена на рис. 11.

Для этой модели проведен анализ действий посетителей в подъездах № 1 и 3, который представлен в виде диаграмм (рис. 12, 13).

Таблица 4. Сведения блока «Source»
Table 4. Information for the «Source» block

Расписание интенсивности прибытия пассажиров Passenger Arrival Rate Schedule		
Время (московское), ч. Time (Moscow), hour	Интенсивность прибытия пассажиров, пасс. / ч. Passenger arrival intensity, pass / hour	
	Блок «Вход подъезд 1» Block «Entrance entrance 1»	Блок «Вход подъезд 3» Block «Entrance entrance 3»
00:00–01:00	115	45
01:00–02:00	65	125
02:00–03:00	135	67
03:00–04:00	105	36
04:00–05:00	5	89
05:00–06:00	23	3
06:00–07:00	83	61
07:00–08:00	2	10
08:00–09:00	12	11
09:00–10:00	101	93
10:00–11:00	110	2
11:00–12:00	12	12
12:00–13:00	0	80
13:00–14:00	5	29
14:00–15:00	21	31
15:00–16:00	92	89
16:00–17:00	35	0
17:00–18:00	141	0
18:00–19:00	15	0
19:00–20:00	0	0
20:00–21:00	0	0
21:00–22:00	12	0
22:00–23:00	87	0
23:00–00:00	23	10

 © И.А. Чубарова, А.Д. Доможирова, 2023

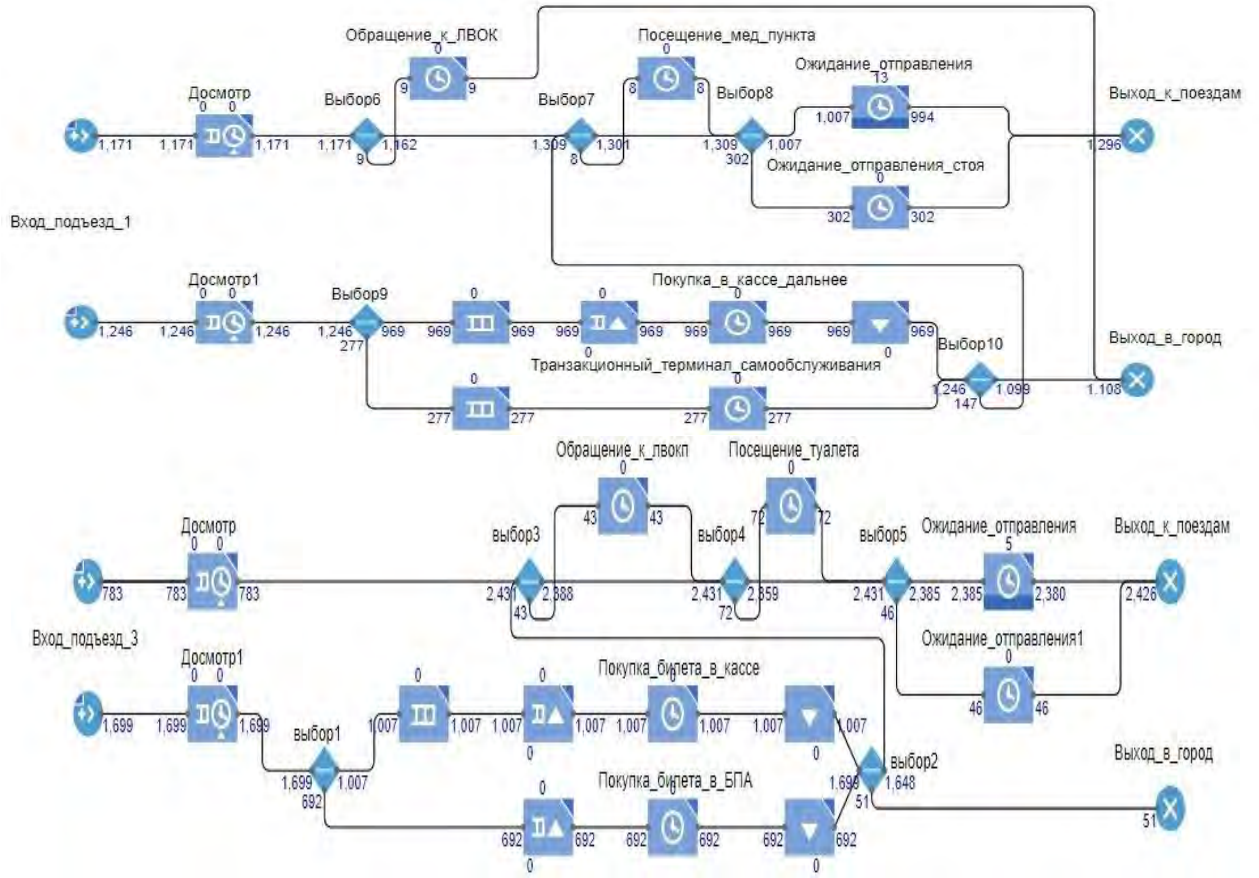


Рис. 11. Имитационная модель «Организация пассажиропотоков станции Иркутск-Пассажирский с разделением пассажиропотоков дальнего и пригородного следования по разным подъездам»
Fig. 11. Simulation model «Arrangement of passenger traffic at the station Irkutsk-Passenger with the separation of long-distance and suburban passenger traffic at different entrances»

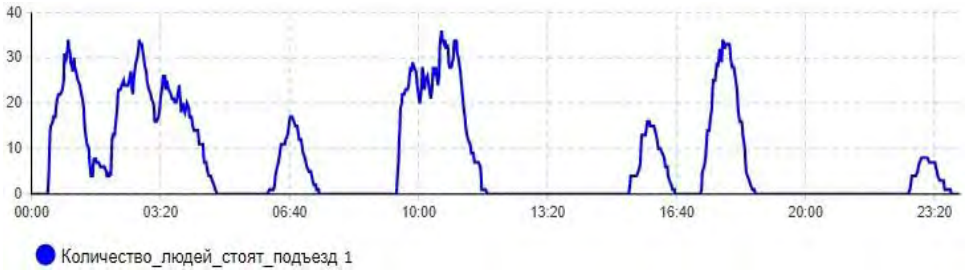
Рис. 12. Диаграмма процентного соотношения действий посетителей первого подъезда
Fig. 12. Diagram of the percentage the first entrance visitors' actions

Рис. 13. Диаграмма процентного соотношения действий посетителей третьего подъезда
Fig. 13. Diagram of the percentage of the third entrance visitors' actions

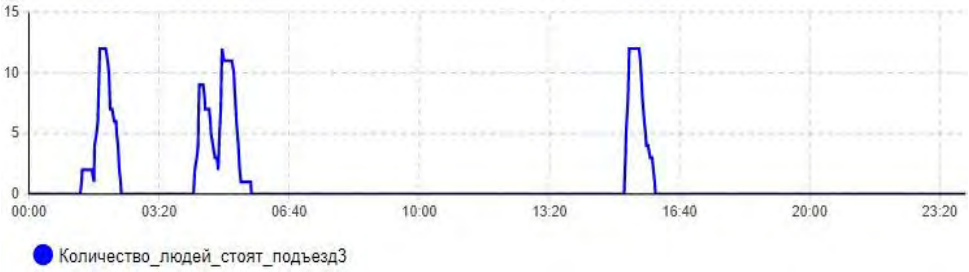
На данных диаграммах видно, что в первом подъезде преимущественная часть посетителей (51,83 %) приходят в подъезд № 1 для покупки билета, из них 40,31 % – покупают в кассах, а 11,52 % – в транзакционных терминалах самообслуживания (ТТС). Близким к данному значению (47,46 %) является число посетителей, которые приходят в подъезд № 1 с купленным заранее билетом и ожидают отправления поезда, не совершая при этом никаких других дополнительных действий. Наименьшую часть составляют посетители, которые обращаются к ЛВОКп и в медицинский пункт.

Если рассматривать подъезд № 3, то можно увидеть, что по сравнению с диаграммой первой модели (см. рис. 8) снизилась доля ожидающих посетителей (с 61,25 до 29,67 %). На данной модели наибольшая часть посетителей перед отправлением покупает билеты (68,59 %): в кассах – 40,65 %, в БПА – 27,94 %. Наименьшую часть также занимает обращение к ЛВОКп.

Анализ количества человек, ожидающих отправления стоя при разделении пассажиропо-



а



б

Рис. 14. Временной график количества людей, ожидающих отправления стоя в подъезде № 1 (*а*) и в подъезде № 3 (*б*)
Fig. 14. Time schedule of the number of people waiting for departure standing at entrance No 1 (*a*) and at entrance No 3 (*b*)

 © И.А. Чубарова, А.Д. Доможирова, 2023

тока показал, что число стоящих людей достигает своих максимальных значений в периоды интенсивного отправления поездов (рис. 14). Можно заметить, что общее число людей, ожидающих отправления стоя, в течение суток снизилось в данной модели по сравнению с предыдущей моделью на 81,84 %.

Заключение

В научной статье рассмотрена перспектива применения имитационного моделирования при организации потоков пассажиров на вокзальном комплексе. В рамках исследования выполнен анализ интенсивности прибытия пассажиров на вокзал в течение суток, посещение ими различных зон, в том числе зоны досмотра, зоны ожидания, зоны обслуживания в кассах, зоны обращения к ЛВОКп [15, 16].

С использованием программного обеспечения AnyLogic в ходе работы были созданы имитационные модели перемещения пассажиров в реальных условиях и с учетом выявленных негативных факторов при нахождении пассажиров в зоне ожидания. Выполненная оценка проходимости зон дала обоснование необходимости разделения пассажиропотоков дальнего следования и пригородного сообщения на вокзальном комплексе Иркутск-Пассажирский [17, 18].

Применение различных методов моделирования производственных процессов сегодня относится к одной из важнейших траекторий развития современных цифровых технологий в стране и позволяет решать сложные задачи без значительных материальных затрат. Итог исследования показал, что использование продукта AnyLogic на инфраструктуре вокзала Иркутск-Пассажирский при сроке окупаемости менее одного года дает экономический эффект почти 7 млн руб. в год.

Список литературы

1. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. URL: http://www.rzd.ru (Дата обращения 18.09.2023).
2. Об утверждении типового технологического процесса работы железнодорожного вокзального комплекса : распоряжение ОАО «РЖД» от 23.09.2020 № 2072/р (ред. 10.10.2022). Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локал. сети.
3. ГОСТ Р 58171-2018. Услуги на железнодорожном транспорте. Требования к обслуживанию пассажиров на вокзальных комплексах. Введ. 2018–12–01. М. : Стандартинформ, 2018. 22 с.
4. Рудин Р.Ю. Решение транспортных задач с помощью имитационного моделирования // Достижения науки и образования. 2016. № 11 (12). С. 12–16.
5. Устинова Е.С. Умный вокзал. Концептуальные решения «smart-вокзал» ОАО РЖД // Синергия наук. 2021. № 55. С. 338–347.
6. Особенности моделирования пассажиропотока объектов транспортной инфраструктуры / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова, О.И. Коровкина и др. // Экономика железных дорог. 2021. № 7. С. 41–47.
7. AnyLogic : сайт. URL : https:/www.anylogic.ru/ (Дата обращения 11.09.2023).
8. Никонова Я.И., Проскурякова Е.А. Цифровизация железнодорожных вокзальных комплексов // Инновационные транспортные системы и технологии. 2022. Т. 8. № 3. С. 31–44.
9. Елуферьева Ю.С., Пальмов С.В. Моделирование работы железнодорожного вокзала средствами AnyLogic // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 12-1 (78). С. 121–127.
10. Свистунова А.С., Хасанов Д.С., Кравец Д.М. Имитационное моделирование на железнодорожном вокзале в программной среде AnyLogic // Системный анализ и проектирование в управлении : сб. науч. тр. XXIV Междунар. науч. и учеб.-практ. конф. СПб., 2020. Ч. 2. С. 274–282.
11. Свистунова А.С., Хасанов Д.С. Имитационное моделирование процессов обслуживания пассажиров на железнодорожном вокзале // Транспорт России: проблемы и перспективы-2020 : материалы Юбилейной междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2020. Т. 2. С. 28–32.
12. Svistunova A.S. Using the AnyLogic software product in modeling the passenger traffic of a railway station // Computing, Telecommunications and Control. 2020. Vol. 13. № 4. P. 54–65.
13. Козлов П.А., Колокольников В.С., Копылова Е.В. Об имитационном моделировании и имитационных системах // Транспорт Урала. 2019. № 1 (60). С. 3–6.
14. Смесова К.С., Кандрашина Т.Е., Баусова З.И. Имитационная модель системы обслуживания пассажиров железнодорожного вокзала // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XVII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2017. С. 211–215.
15. Чубарова И.А. Вокзалы. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2014. 168 с.
16. Самуйлов В.М., Медовщиков И.А., Каргапольцева Т.А. Железнодорожный вокзал будущего // Инновационный транспорт. 2020. № 1 (35). С. 3–10.
17. Черенцов Д.Ю., Холомеева Н.В. Модернизация инженерных сетей пассажирских железнодорожных комплексов в соответствии с их современными функциями // Политранспортные системы : материалы XI междунар. науч.-техн. конф. Новосибирск, 2020. С. 198–202.
18. Майоров Н.Н., Романек В.А. Вопросы выбора математических моделей для исследования пассажирских потоков в транспортных системах // Системный анализ и логистика. 2017. № 1 (14). С. 39–45.

References

1. Rossiiskie zheleznye dorogi (Elektronnyi resurs) [Russian Railways (Electronic Resource)]: Available at: http://www.rzd.ru (Accessed September 18, 2023).

2. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 23.09.2020 № 2072/r (red. 10.10.2022) «Ob utverzhdenii tipovogo tekhnologicheskogo protsessa raboty zheleznodorozhnogo vokzal'nogo kompleksa» [Order of JSC «Russian Railways» dated September 23, 2020 No 2072/r (ed. October 10, 2022) «On approval of the standard technological process of the railway station complex»].

3. GOST R 58171-2018. Uslugi na zheleznodorozhnom transporte. Trebovaniya k obsluzhivaniyu passazhirov na vokzal'nykh kompleksakh [State Standard R 58171-2018. Services in railway transport. Requirements for passenger service at railway stations]. Moscow: Stadartinform Publ., 2018. 22 p.

4. Rudin R.Yu. Reshenie transportnykh zadach s pomoshch'yu imitatsionnogo modelirovaniya [Solving transport problems using simulation modeling]. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya* [Achievements of science and education], 2016, no. 11(12), pp. 12–16.

5. Ustinova E.S. Umnyi vokzal. Kontseptual'nye resheniya «smart-vokzal» OAO RZhD [Smart station. Conceptual solutions for the «smart station» of JSC «Russian Railways»]. *Sinergiya nauk* [Synergy of Sciences], 2021, no. 55, pp. 338–347.

6. Vakulenko S.P., Evreenova N.Yu., Korovkina O.I., Alekseeva K.V. Osobennosti modelirovaniya passazhiropotoka ob''ektov transportnoi infrastruktury [Features of passenger traffic modeling of transport infrastructure facilities]. *Ekonomika zheleznykh dorog* [Economy of railways], 2021, no. 7, pp. 41–47.

7. AnyLogic. Available at: https:/www.anylogic.ru/ (Accessed September 18, 2023).

8. Nikonova Ya.I., Proskuryakova E.A. Tsifrovizatsiya zheleznodorozhnykh vokzal'nykh kompleksov [Digitalization of railway station complexes]. *Innovatsionnye transportnye sistemy i tekhnologii* [Innovative transport systems and technologies], 2022, vol. 8, no. 3, pp. 31–44.

9. Elufer'eva Yu.S., Pal'mov S.V. Modelirovanie raboty zheleznodorozhnogo vokzala sredstvami Anylogic [Modeling of the railway station operation by means of Anylogic]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International scientific research journal], 2018, no. 12-1(78), pp. 121–127.

10. Svistunova A.S., Khasanov D.S., Kravets D.M. Imitatsionnoe modelirovanie na zheleznodorozhnom vokzale v programmnoi srede AnyLogic [Simulation modeling at a railway station in the AnyLogic software environment]. *Sbornik nauchnykh trudov XXIV Mezhdunarodnoi nauchnoi i uchebno-prakticheskoi konferentsii «Sistemnyi analiz i proektirovanie v upravlenii» (v 3 ch.)* [Proceedings of the XXIV International Scientific and educational-practical conference «System analysis and design in management» (in 3 parts)]. Saint Petersburg, 2020, part 2, pp. 274–282.

11. Svistunova A.S., Khasanov D.S. Imitatsionnoe modelirovanie protsessov obsluzhivaniya passazhirov na zheleznodorozhnom vokzale [Simulation modeling of passenger service processes at a railway station]. *Materialy Yubileinoi mezhdunarodnoi-nauchno prakticheskoi konferentsii «Transport Rossii: problemy i perspektivy-2020»* [Proceedings of the Jubilee International scientific and Practical conference « Transport of Russia: problems and prospects-2020»]. Saint Petersburg, 2020, vol. 2, pp. 28–32.

12. Svistunova A.S. Using the AnyLogic software product in modeling the passenger traffic of a railway station. *Computing, Telecommunications and Control*, 2020, vol. 13, no. 4, pp. 54–65.

13. Kozlov P.A., Kolokol'nikov V.S., Kopylova E.V. Ob imitatsionnom modelirovanii i imitatsionnykh sistemakh [About simulation modeling and simulation systems]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2019, no. 1(60), pp. 3–6.

14. Smesova K.S., Kandrashina T.E., Bausova Z.I. Imitatsionnaya model' sistemy obsluzhivaniya passazhirov zheleznodorozhnogo vokzala [Simulation model of the railway station passenger service system]. *Sbornik statei XVII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Problemy informatiki v obrazovanii, upravlenii, ekonomike i tekhnike»* [Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference «Problems of informatics in education, management, economics and technics»]. Penza, 2017, pp. 211–215.

15. Chubarova I.A. Vokzaly [Train stations]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2014. 168 p.

16. Samuilov V.M., Medovshchikov I.A., Kargapol'tseva T.A. Zheleznodorozhnyi vokzal budushchego [Railway station of the future]. *Innovatsionnyi transport* [Innovative transport], 2020, no. 1 (35), pp. 3–10.

17. Cherentsov D.Yu., Kholomeeva N.V. Modernizatsiya inzhenernykh setei passazhirskikh zheleznodorozhnykh kompleksov v sootvetstvii s ikh sovremennymi funktsiyami [Modernization of engineering networks of passenger railway complexes in accordance with their modern functions]. *Materialy XI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Politransportnye sistemy»* [Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference «Polytransport systems»]. Novosibirsk, 2020, pp. 198–202.

18. Mayorov N.N., Romanek V.A. Voprosy vybora matematicheskikh modelei dlya issledovaniya passazhirskikh potokov v transportnykh sistemakh [Issues of choosing mathematical models for studying passenger flows in transport systems]. *Sistemnyi analiz i logistika* [System analysis and logistics], 2017, no. 1 (14), pp. 39–45.

Информация об авторах

Чубарова Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: ia7chubarova@gmail.com.

Доможирова Алена Дмитриевна, старший преподаватель кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: zenitalena@mail.ru.

Information about the authors

Irina A. Chubarova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operational Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk;e-mail: ia7chubarova@gmail.com.

Alena D. Domozhirova, Assistant Professor of the Department of Operational Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: zenitalena@mail.ru.

 © И.А. Чубарова, А.Д. Доможирова, 2023