

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.021>

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВОКЗАЛА СРЕДСТВАМИ ANYLOGIC

Научная статья

Елуферьева Ю.С.¹, Пальмов С.В.^{2,*}

^{1,2} Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия;

² Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (psvzo[at]yandex.ru)

Аннотация

Авторы статьи демонстрируют возможности имитационного моделирования на примере системы AnyLogic PLE. С этой целью была построена модель процесса билетно-кассового обслуживания железнодорожного вокзала. Поставлена серия экспериментов, направленных на исследование свойств созданной модели и сбора статистической информации. Далее был проведен анализ полученных результатов и выработаны рекомендации относительно модернизации моделируемого процесса. AnyLogic PLE проявил себя как эффективное средство разработки, анализа и оптимизации моделей процессов.

Ключевые слова: моделирование, имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, моделирование бизнес-процессов, AnyLogic.

SIMULATION OF RAILWAY STATION OPERATION USING ANYLOGIC MEANS

Research article

Elufereva Yu.S.¹, Palmov S.V.^{2,*}

^{1,2} Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia;

² Samara State Technical University, Samara, Russia

* Corresponding author (psvzo[at]yandex.ru)

Abstract

The authors of the article describe the simulation capabilities on the example of the AnyLogic PLE system. A model of the ticket and cash service process for the railway station was built for that. A series of experiments aimed at studying the properties of the developed model and collecting statistical information was set up. Then, the analysis of the results was carried out, and recommendations were made regarding the modernization of the process being modeled. AnyLogic PLE proved to be an effective tool for developing, analyzing and optimizing process models.

Keywords: modeling, simulation modeling, discrete-event simulation, simulation of business processes, AnyLogic.

Преобладающая часть населения прибегает к использованию железнодорожного транспорта для передвижения на дальние расстояния. Бесперебойная работа железнодорожного вокзала зависит от слаженного взаимодействия всех его подразделений. Следовательно, необходимость обладания четким представлением об эффективности функционирования вокзала является актуальным вопросом. Поскольку железнодорожный вокзал представляет собой сеть сложных взаимосвязанных процессов, для рассмотрения механизмов работы лучше использовать информационные технологии. Предпочтительнее всего для решения этой задачи, на взгляд авторов, подходит имитационное моделирование.

Цель работы была сформулирована следующим образом: построить имитационную модель железнодорожного вокзала и провести ее анализ. Это позволит выявить возможные пути повышения эффективности процессов предметной области.

Имитационное моделирование - мощный инструмент анализа деятельности человека в самых разнообразных областях. Существуют и другие «универсальные» методы моделирования, например [1, С. 265], однако они проигрывают имитационному, поскольку последнее позволяет получить качественные и количественные оценки возможных последствий принятия тех или иных решений [2]. Одним из средств имитационного моделирования является программное обеспечение компании The AnyLogic Company – AnyLogic. Отличительной его особенностью является наличие бесплатной версии для начинающих и студентов (PLE), которая, несмотря на ограничения, обладает серьезным функционалом [3], что делает возможным ее использование в учебном процессе [4].

Железнодорожный вокзал предназначен для быстрого, безопасного и качественного обслуживания пассажиров. Для них вокзал предоставляет следующие услуги: обеспечение посадки и высадки для пассажиров дальнего и пригородного сообщения; информационно-справочное обслуживание; организация пребывания в залах ожидания и в комнатах матери и ребенка; услуги носильщиков; услуги камер хранения; оформление провоза дополнительной ручной клади; оформление перевозки корреспонденции; оформление перевозки транспортного средства; оформление перевозки крупногабаритного багажа и другие услуги.

На основании изученной информации о деятельности железнодорожного вокзала, выделим его основные бизнес-процессы [5]:

1. Составление расписания.

Технологи для составления графика опираются на основные его элементы: время хода поездов различных категорий по перегонам; продолжительность стоянки поездов на станциях для выполнения технических, грузовых и пассажирских операций; станционные интервалы; интервалы между поездами в пакете; время нахождения локомотивов на станциях локомотивного депо и в пунктах оборота. Данные сводятся в единый график движения поездов, после чего все сведения формируют в таблицы для выведения на информационное табло.

2. Информационно-справочное обслуживание.

Дежурный по выдаче справок производит поиск нужной информации в системе и предоставляет ответ пассажиру на интересующий вопрос. Для удобства пассажиров выводят на табло информацию об отправлении, прибытии поездов и об их опоздании. Так же производится информирование пассажиров с помощью звуковой информации о прибытии или отправлении поездов, передачи различных объявлений и сообщений.

3. Билетно-кассовое обслуживание.

Билетный кассир для пассажира производит поиск рейсов и сообщает время ближайшего электропоезда/поезда в нужном направлении, сообщает о стоимости билета и информирует о существующих льготах и т.д. После согласования с пассажиром по всем пунктам происходит оформление билета. Так же в кассе можно обменять контрольный купон электронного билета на проездные документы примерно за 30-60 минут до отправления поезда. Для этого в кассе предоставляется номер заказа контрольного купона электронного билета и документы, подтверждающие личность. В кассах имеется услуга по оформлению электронных багажных квитанций для перевозки мелких домашних животных.

4. Заказ электронного билета.

Пассажир заходит на сайте в раздел «Покупка билетов». Вводит в предлагаемую форму станцию отправления и конечную станцию. Так как заказать электронный билет можно за 45 дней, пассажир находит нужное число в этом интервале, выбирает дату и заполняет поля с личной информацией для покупки билета. Если пассажиру нужно несколько билетов, в таблице «информация о пассажирах» можно заказать билеты еще на 3 человек, не считая вас. После оплаты заказ появляется в колонке «Мои заказы». Пассажир может его увидеть там, открыть, распечатать бланк заказа, а также скопировать его на планшет или мобильный телефон или же записать номер заказа, состоящий из 14 цифр.

1. Перевозка крупногабаритного багажа и корреспонденции.

Железнодорожные вокзалы предоставляют услуги по перевозке крупногабаритного багажа. Сотрудник центра производит замер багажа/корреспонденции/транспортного средства в присутствии отправителя. После измерения груза сотрудник центра дает отправителю на заполнение заявления на оказание перевозки груза/багажа на особых условиях.

2. Хранение ручной клади в камерах.

Кладовщик осуществляет прием материальных ценностей на склад, производит их осмотр и взвешивание. Он выдает пассажиру чек, квитанцию или жетон и перемещает материальные ценности к местам хранения.

3. Расформирование и формирование поездов.

Получая телеграммы – натурные листы на прибывающие поезда, маневровый диспетчер устанавливает, в каких из них имеются замыкающие группы, завершающие накопление составов отдельных назначений на путях сортировочного парка, и регулирует с учетом этого очередность расформирования составов на горке. С учетом максимального совмещения процессов расформирования и формирования он дает также указания дежурному по горке и маневровым бригадам о порядке расформирования и формирования поездов.

4. Ремонт составов.

Если при техническом обслуживании и коммерческом осмотре состава маневровая бригада выявила неисправные вагоны, требующие отцепочного ремонта или вагоны с коммерческим браком, то бригада отправляет вагон в ремонтное депо. Вагоны, не требующие отцепочного ремонта, ремонтируют ремонтные бригады прямо на станциях. Они устраняют все неисправности, угрожающие безопасности движения.

В соответствии с информацией представленной выше авторы статьи решили продемонстрировать возможности данного программного обеспечения, построив имитационную модель билетно-кассового обслуживания железнодорожного вокзала и проведя серию экспериментов по ее модернизации.

Для создания модели билетно-кассового обслуживания будет использована библиотека Process Modeling Library, которая поддерживает дискретно-событийный подход. Он позволяет рассмотреть процессы более детально, благодаря чему можно проанализировать их работу и выявить «узкие» места в системе. Данные используемые для создания модели были взяты из открытых источников [5], [6].

В модели (рис. 2) в качестве агента выступает «Пассажир». [7]. Для более детального рассмотрения операций процесса будем использовать единицы времени «минуты» [8], [9]. Моделируемый отрезок – один рабочий день (1440 мин.).

В итоге, была построена модель состоящая из 18 элементов, включая два блока ресурсов (рис. 2, слева внизу), задающих число кассиров и показывающих их загруженность. Для сбора и визуализации статистики модели использовались четыре блока «Данные гистограммы» (рис. 2, вверху).

Настройки модели «Билетно-кассовое обслуживание» представлены в табл. 1-6 [10].

Таблица 1 – Сведения для блока «Source»

Интенсивность прибытия, чел\мин.	Название агента
5	Пассажир

Таблица 2 – Значения вероятностей для блоков «SelectOutput»

Название блока	Значение вероятности
Выбор_Действия	0,8 (покупка в кассе)
Выбор_Кассы	0,6 (пригородный поезд)

Таблица 3 – Сведения для блоков «Queue»

Название блока	Вместимость, чел	Таймаут, мин
Кассы Пригородного Следования	150	25
Кассы Дальнего Следования	65	30
Для Печати Электронных Билетов	5	0

Таблица 4 – Сведения для блоков «Seize»

Название блока	Название ресурса	Количество ресурсов, чел.	Вместимость, чел.
Seize	Кассир Пригородный	10	10
Seize1	Кассир Дальнего Следования	5	5

Таблица 5 – Сведения для блоков «Delay»

Название блока	t_{min} , мин.	t_{cp} , мин.	t_{max} , мин.	Вместимость, чел.
Покупка билета	1	1,5	2	10
Покупка билета1	1	3	6	5
Печать Билета	0,5	1	1,5	5

Таблица 6 – Сведения для блоков «ResourcePool»

Имя переменной модели	Количество, чел.
Кассир Пригородный	10
Кассир Дальнего следования	5

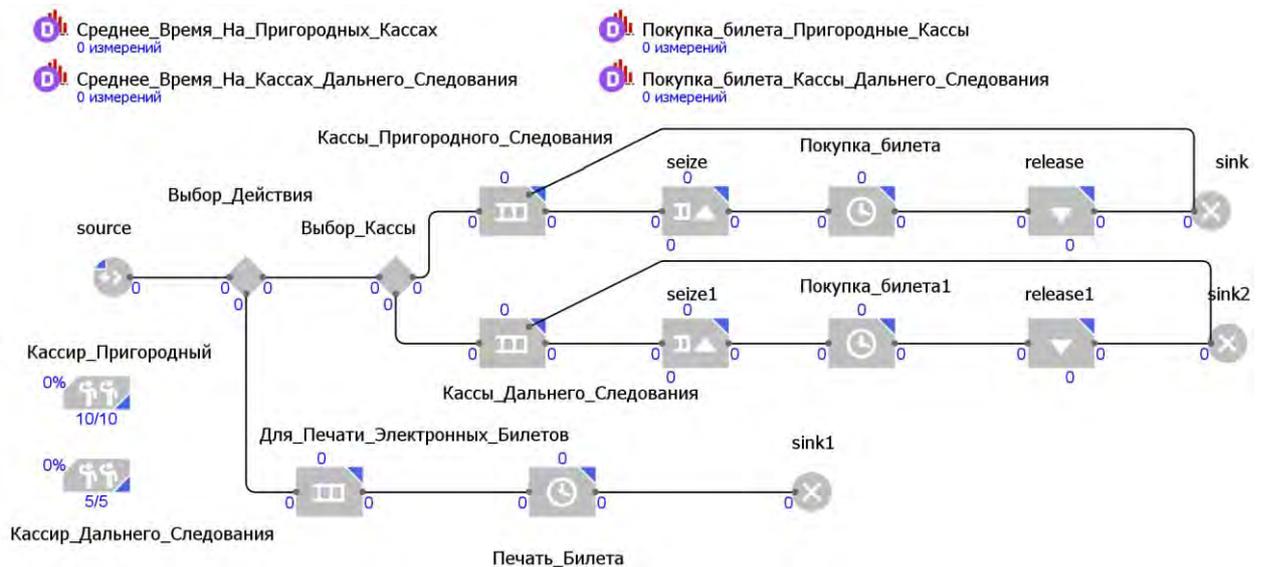


Рис. 2 – Модель процесса «Билетно-кассовое обслуживание»

После прогона модели (рис. 3), можно увидеть, что из очереди дальнего следования уходят без билета около двух процентов людей, по причине нехватки функционирующих касс. Кассиры дальнего следования задействованы на 99%. Однако на кассах пригородного сообщения этот показатель составляет всего 36%.

Данные гистограммы показывают, что среднее время потраченное на кассах пригородного сообщения составляет 1,5 минуты (табл. 7), а на кассах дальнего следования – 21,5 минут (табл. 8). При этом большее число людей попадает в промежуток обслуживания от 1,4 до 1,6 минуты на пригородных кассах – около 37%, и в промежуток от 13,9 до 20,3 минут на дальних кассах – около 27%. Кроме того, среднеквадратическое отклонение на кассах дальнего следования составляет 8,8, а на пригородных кассах всего 0,2.



Рис. 3 – Модель «Билетно-кассовое обслуживание». Результат единичного прогона

Таблица 7 – Данные гистограммы «Среднее_Время_На_Пригородных_Кассах»

Количество	3488		
Среднее	1,502		
Мин.	1,005		
Макс.	2,187		
Среднеквадр. отклонение	0,203		
Доверит. интервал для среднего	0,007		
Сумма	5238,233		
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения
1	1,2	282	282
1,2	1,4	799	1081
1,4	1,6	1295	2376
1,6	1,8	841	3217
1,8	2	270	3487
2	2,2	1	3488

Таблица 8 – Данные гистограммы «Среднее_Время_На_Кассах_Дальнего_Следования»

Количество	2214		
Среднее	21,545		
Мин.	1,296		
Макс.	38,835		
Среднеквадр. отклонение	8,762		
Доверит. интервал для среднего	0,365		
Сумма	47700,975		
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения
1,1	7,5	143	143
7,5	13,9	293	436
13,9	20,3	605	1041
20,3	26,7	466	1507
26,7	33,1	428	1935
33,1	39,5	279	2214

В то же время, среднее время приобретения билета на пригородных кассах составляет 1,5 минуты (табл. 9), а на кассах дальнего следования – 3,3 минуты (табл. 10). Больше всего пассажиров, приобретающих билеты в пригородной кассе, попадают в интервал от 1,4 до 1,5 минут – около 18%. Минимальное количество людей попадают в интервал от 1,9 до 2 минут – около 1,6%. На кассах дальнего следования наибольшее число пассажиров попадают в промежуток от 2,7 до 3,5 минут – около 29 %, а наименьшее число попадают от 0,3 до 1,1 минут – 0,1%.

Таблица 9 – Данные гистограммы «Покупка билета Пригородные Кассы»

Количество		3488	
Среднее		1,501	
Мин.		1,005	
Макс.		1,998	
Среднеквадр. отклонение		0,202	
Доверит. интервал для среднего		0,007	
Сумма		5234,683	
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения
1	1,1	78	78
1,1	1,2	205	283
1,2	1,3	312	595
1,3	1,4	492	1087
1,4	1,5	650	1737
1,5	1,6	645	2382
1,6	1,7	484	2866
1,7	1,8	356	3222
1,8	1,9	211	3433
1,9	2	55	3488

Таблица 10 – Данные гистограммы «Покупка билета Кассы Дальнего Следования»

Количество		2172	
Среднее		3,303	
Мин.		1,011	
Макс.		5,856	
Среднеквадр. отклонение		1,045	
Доверит. интервал для среднего		0,044	
Сумма		7174,541	
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения
0,3	1,1	3	3
1,1	1,9	208	211
1,9	2,7	444	655
2,7	3,5	634	1289
3,5	4,3	469	1758
4,3	5,1	290	2048
5,1	5,9	124	2172

Опираясь на полученные сведения, делаем вывод, что необходимо обеспечить эффективность касс дальнего за счет увеличения штата работников, модернизации аппаратного и программного обеспечения для сокращения времени обслуживания клиентов. Таким образом, увеличив штат на 1 единицу рабочей силы, эффективность касс возрастает и все пассажиры приобретают билеты. Среднее время проведенное на кассах дальнего следования равняется 4,7 минутам, а процент использования снизится до 87. Рекомендуется одного из кассиров с пригородного сообщения переориентировать на кассы дальнего следования. В то же время на кассах пригородного сообщения можно сократить штат сотрудников до 5, при этом функциональность касс останется неизменной, однако среднее время на кассах увеличится с 1,5 до 1,7 минут. Процент использования пригородных кассиров возрастет до 72, что означает их большую занятость (рис. 4). Однако при этом время затраченное только на покупку билета в кассе остается в тех же рамках, что и раньше. Покупка билета в пригородной кассе находится в промежутке от 1 до 1,9 минут, а в кассах дальнего следования от 1 до 5,9 минут.

При увеличении числа прибывающих хотя бы на 1 человека в минуту снова происходит переполнение очереди на кассах дальнего следования, кассиры не успевают обслужить всех пассажиров, из-за чего следует вывод, что необходимо сократить время обслуживания клиентов и увеличить количество единиц штата. При прибытии 6 человек в минуту для обслуживания всех пассажиров на кассах дальнего следования состав команды кассиров должен состоять из 7 человек, при таком соотношении люди не уходят без билета из-за долгого ожидания в очереди [11].

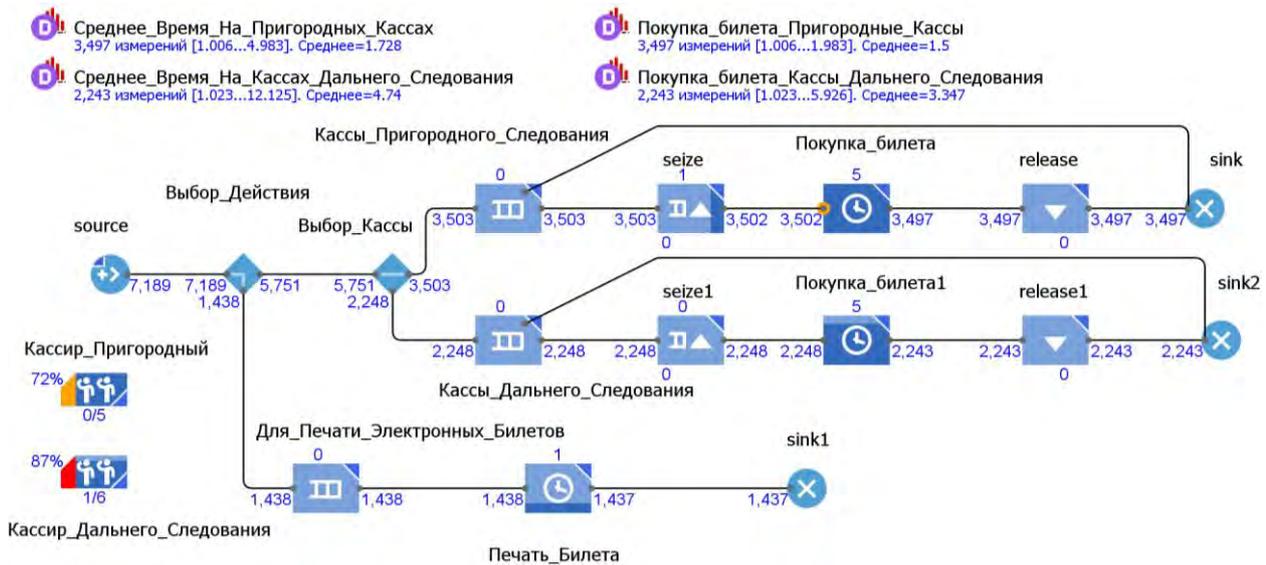


Рис. 4 – Изменения в штате кассиров

В данном примере не были рассмотрены все функциональные возможности AnyLogic, однако видно насколько эффективно использование данного продукта. Благодаря AnyLogic можно не только увидеть недостатки существующих бизнес-моделей, а также есть возможность исправить узкие места, при этом сэкономяв часть бюджета [12]. Изучая работу прототипа можно вносить изменения в имитационную модель в ходе работы, что позволяет лучше проанализировать функционирование процесса и быстро решить поставленную задачу.

Полученная в результате запусков модели статистика дала возможность проанализировать данные и произвести оценку эффективности работы вокзала. При проведении первой серии экспериментов над моделью с реальными входными параметрами было выявлено, что не все процессы находятся в идеальном соотношении рабочей силы и аппаратно- программного обеспечения, при котором бы успевали обслуживать данный поток клиентов. После проведения второй серии испытаний было найдено наиболее подходящее количество единиц штата для бизнес-процесса «билетно-кассовое обслуживание».

Таким образом, программное обеспечение AnyLogic продемонстрировало высокие результаты точности моделирования процессов. Созданная модель позволила выявить узкие места работы железнодорожного вокзала.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Лиманова Н. И. Моделирование процессов теплообмена [Электронный ресурс] / Н. И. Лиманова, Е. А. Мамзин, С. Г. Матвеев // Вестник Самарского Государственного Аэрокосмического Университета Им. Академика С.П. Королёва. – 2009 – № 3–1 (19) – С. 265–269 – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13076169> (дата обращения: 28.10.18)
2. Обухов П. А. Исследование эффективности работы сетевых серверов в среде имитационного моделирования AnyLogic [Электронный ресурс] / П. А. Обухов, А. Б. Николаев, А. В. Остроух // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3 (часть 3) – С. 338–342. – URL: <https://www.expeducation.ru/ru/article/view?id=7142> (дата обращения: 27.10.18).
3. Скачать AnyLogic [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.anylogic.ru/downloads/> (дата обращения: 27.10.18).
4. AnyLogic. Многоподходное имитационное моделирование [Электронный ресурс] / XJ Technologies Company Ltd, 2004. – URL: <http://www.anylogic.ru> (дата обращения: 27.10.18).
5. Официальный сайт РЖД: Российские железные дороги. [Электронный ресурс] / ОАО «РЖД». – М., 2003. – URL: <http://www.rzd.ru/> (дата обращения: 27.10.18).
6. Распоряжение Правительства РФ «О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (вместе с "Планом мероприятий по реализации в 2008 - 2015 годах Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года")» [Электронный ресурс] / Распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 N 877-р // КонсультантПлюс: справ. правовая система. Версия Проф. М., 2005. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_92060/ (дата обращения: 27.10.18).
7. Ланцев Е. А. Получение агентной имитационной модели из дискретно-событийного описания бизнес-процесса [Электронный ресурс] / Е. А. Ланцев, М. Г. Доррер // Научно-технические ведомости СПбГПУ – 2013. – № 3 (174) – С. 44–52. – URL: <https://www.anylogic.ru/upload/iblock/91e/91ed57d465f905d422e7a86c7e601267.pdf> (дата обращения: 28.10.18)
8. Борщев А. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем [Электронный ресурс] / А. Борщев // Имитационное Моделирование. Теория и Практика: материалы Шестой науч.- практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности ИММОД 2013 г. Казань / Издательство "ФЭН" Академии наук РТ. – Казань, 2013. – Т.1. – С. 21 – 34. – URL: <https://www.anylogic.ru/upload/iblock/e93/e93d42155672af376502dc4022515a22.pdf> (дата обращения: 28.10.18)

9. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Ю. Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
10. Российская Федерация. Федеральный закон «О железнодорожном транспорте Российской Федерации» : федеральный закон : [принят Гос. Думой 24 декабря 2002 г. : одобрен Советом Федерации 27 декабря 2002 г.] от 10.01.2003 г. № 17–ФЗ : (ред. от 20.12.2017) // Собрание законодательства РФ. – 2003, № 2, (13 января). – Ст. 169
11. Моделирование транспортной системы городских электричек: взгляд со стороны пассажира [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.anylogic.ru/blog/modelirovanie-transportnoy-sistemy-gorodskikh-elektrichkek-vzglyad-so-storony-passazhira/> (дата обращения: 28.10.18)
12. CSX решает проблемы железнодорожных перевозок с AnyLogic [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.anylogic.ru/csx-solves-railroad-operation-challenges-with-and-without-anylogic-rail-library/> (дата обращения: 28.10.18).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Limanova N. I. Modelirovaniye protsessov teploobmena [Simulation of heat transfer processes] [Electronic resource] / N. I. Limanova, Ye. A. Mamzin, S. G. Matveyev // Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Aerokosmicheskogo Universiteta Im. Akademika S.P. Korolova [Bulletin of the Samara State Aerospace University. Academician S.P. Korolev]. – 2009 – № 3–1 (19) – Pp. 265–269 – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13076169> (accessed: 28.10.18). [in Russian]
2. Obukhov P. A. Issledovanie effektivnosti raboty setevykh serveroev v srede imitatsionnogo modelirovaniya AnyLogic [Study of the effectiveness of the network servers in the simulation environment AnyLogic] [Electronic resource] / P. A. Obukhov, A. B. Nikolaev. A. V Ostroukhov // Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya [International Journal of Experimental Education]. – 2015 – № 3 (part 3) – pp. 338–342. – URL: <https://www.expeducation.ru/ru/article/view?id=7142> (accessed: 27.10.18). [in Russian]
3. Skachat' AnyLogic [Download AnyLogic] [Electronic resource]. – URL: <https://www.anylogic.ru/downloads/> (accessed: 27.10.18). [in Russian]
4. AnyLogic. Mnogopodkhodnoe imitatsionnoe modelirovanie [Multi-Approach Simulation] [Electronic resource] / XJ Technologies Company Ltd, 2004. – URL: <http://www.anylogic.ru> (accessed: 27.10.18). [in Russian]
5. Offitsialnyy sayt RZHD: Rossiyskie zheleznye dorogi [Russian Railways official website: Russian Railways] [Electronic resource] / OAO « RZHD ». – М., 2003. – URL: <http://www.rzd.ru/> (accessed: 27.10.18). [in Russian]
6. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF «O Strategii razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda (vmeste s «Planom meropriyatiy po realizatsii v 2008 – 2015 godakh Strategii razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda»)» [Order of the Government of the Russian Federation «On the Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030 (together with the «Plan of measures for the implementation in 2008–2015 of the Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030»)»] [Electronic resource] / Rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 17.06.2008 N 877–p // KonsultantPlus: sprav. pravovaya sistema. Versiya Prof. M., 2005. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_92060/ (accessed: 27.10.18). [in Russian]
7. Lantsev E. A. Poluchenie agentnoy imitatsionnoy modeli iz diskretno-sobyitiynogo opisaniya biznes-protssessa [Obtaining agent-based simulation model from a discrete-event description of a business process] [Electronic resource] / E. A. Lantsev, M. G. Dorrer // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU [Scientific and technical statements SPbGPU]. – 2013. – № 3 (174) – Pp. 44–52. – URL: <https://www.anylogic.ru/upload/iblock/91e/91ed57d465f905d422e7a86c7e601267.pdf> (accessed: 28.10.18). [in Russian]
8. Borshcheyev A. Kak stroit prostye, krasivye i poleznye modeli slozhnykh system [How to build simple, beautiful and useful models of complex systems] [Electronic resource] / A. Borshcheyev // Imitatsionnoye Modelirovaniye. Teoriya i Praktika: materialy Shestoy nauch.- prakt. konf. po imitatsionnomu modelirovaniyu i yego primeneniyu v nauke i promyshlennosti IMMOD 2013 g. [Imitation Modeling. Theory and Practice: materials of the Sixth Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry IMMOD 2013], Kazan / Izdatel'stvo "FEN" Akademii nauk RT [FEN Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan]. – Kazan, 2013. – T.1. – Pp. 21 – 34. – URL: <https://www.anylogic.ru/upload/iblock/e93/e93d42155672af376502dc4022515a22.pdf> (accessed: 28.10.18). [in Russian]
9. Karpov Yu. G. Imitatsionnoe modelirovanie system. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5 [Simulation modeling systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5] [Text] / Yu. G. Karpov. – Spb.: BKHV– Peterburg, 2006. – 400 p. [in Russian]
10. Rossiyskaya Federatsiya. Federal'nyy zakon «O zheleznodorozhnom transporte Rossiyskoy Federatsii» [Russian Federation. Federal Law «About railway transport of the Russian Federation»] : federal law: [accepted by State Duma on December 24, 2002; approved by the Federation Council on December 27, 2002] ot 10.01.2003 g. № 17–FZ : (red. ot 20.12.2017) // Sobranie zakonodatelstva PF. – 2003, № 2, (13 yanvarya). – St. 169. [in Russian]
11. Modelirovanie transportnoy sistemy gorodskikh elektrichkek: vzglyad so storony passazhira [Modeling urban trains transport system: a view from the passenger's side] [Electronic resource]. — URL: <https://www.anylogic.ru/blog/modelirovanie-transportnoy-sistemy-gorodskikh-elektrichkek-vzglyad-so-storony-passazhira/> (accessed: 28.10.18) [in Russian]
12. CSX reshayet problemy zheleznodorozhnykh perevozok s AnyLogic [CSX solves the problems of rail traffic with AnyLogic] [Electronic resource]. – URL: <https://www.anylogic.ru/csx-solves-railroad-operation-challenges-with-and-without-anylogic-rail-library/> (accessed: 28.10.18). [in Russian]