

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПАССАЖИРОПОТОКА СТАНЦИИ МЕТРО В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC ПРИ ВВЕДЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСЛУГ И С ПОИСКОМ «УЗКИХ МЕСТ»

В. М. Антонова^{1,2}, Н. А. Гречишкина², Н. А. Кузнецов²

¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

² Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
125009, Москва, Моховая 11-7

Статья поступила в редакцию 4 апреля 2018 г.

Аннотация. Целью данной работы является исследование пассажиропотока с помощью среды имитационного моделирования AnyLogic на типичной станции метро с целью исследования узких мест при ее перегрузках и использования пассажирами различных дополнительных услуг, предоставляемых метрополитеном. В предыдущей работе авторов уже были представлены результаты моделирования пассажиропотока в среде имитационного моделирования AnyLogic. Предлагаемая в этой статье модель описывает схему, основанную на данных, полученных на реальной станции метро, в которой некоторые пассажиры должны покупать билеты, при этом все уезжающие пассажиры должны проходить через турникеты и металлодетектор, и лишь небольшая часть пассажиров из них пользуется дополнительными услугами, например, снимает деньги с банкомата или активируют карту «Тройка» у специального устройства. Затем все пассажиры отправляются на другой уровень обслуживания - к поездам, при этом весь пассажиропоток получает задержку на эскалаторе. Модель также учитывает и выходящий пассажиропоток, не использующий дополнительных услуг.

Ключевые слова: система массового обслуживания, пассажиропоток, метро, моделирование, AnyLogic.

Abstract. The aim of the article is to study the passenger flow using the simulation environment AnyLogic at a typical metro station in order to find the bottlenecks and

using various additional services by passengers provide in the subway. The previous paper has already presented the results of the study of passenger traffic in AnyLogic simulation environment. The model proposed in this article describes the scheme based on data obtained at the real metro station, in which some passengers have to buy tickets, while all departing passengers must pass through turnstiles and metal detector, and only a small part of passengers use additional services, for example, withdraws money from an ATM or activate a "Troika" card from a special device in a metro station. Then all the passengers are sent to another level of service - to the trains, while the entire passenger traffic receives a delay on the escalator. The model also takes into account the outgoing passenger traffic that does not use additional services. However, the traffic of incoming and outgoing passenger traffic can be mixed interfering with each other. Similar model can be used and for other objects of transport infrastructure stations, airports, sea ports, bus terminals and etc.

Keywords: queueing system, passenger traffic, subway, modeling, AnyLogic.

Теоретические сведения

В работе рассматривается случай с постоянной интенсивностью поступления заявок в конкретные промежутки времени, при этом вероятность появления пассажира считается постоянной. Таким образом, поток поступающих на обслуживание заявок считается стационарным. Также принято, что количество пассажиров не зависит от числа вошедших ранее, поэтому рассматриваемый поток является потоком без последствия. Допущено, что вероятность одновременного поступления двух пассажиров на станцию мала, поэтому поток считается ординарным.

При рассмотрении работы системы на фиксированном промежутке времени вероятность поступления пассажира в конкретный момент времени можно оценивать с помощью интенсивности поступления пассажиров, а именно количеством пассажиров за единицу времени работы модели. Заявка входящего пассажиропотока считается обслуженной до конца, когда пассажир сел в поезд и уехал, для выходящего пассажиропотока - когда пассажир вышел из метро.

Модель рассматриваемой в работе системы представлена набором

нескольких более мелких подсистем, описывающих поведение турникетов, поездов, касс и т.д. Каждая из этих подсистем характеризуется определенным временем обслуживания, которое является случайной величиной, подчиненной закону нормального распределения [2].

Вычисление интенсивности поступления пассажиров с каждого входа осуществлялось на основе карты суточного пассажиропотока станций московского метро (рис.1), при этом определялись временные промежутки и масштаб модели [3]. Учитывалось, что в пассажиропоток включаются как отъезжающие, так и приезжающие пассажиры.

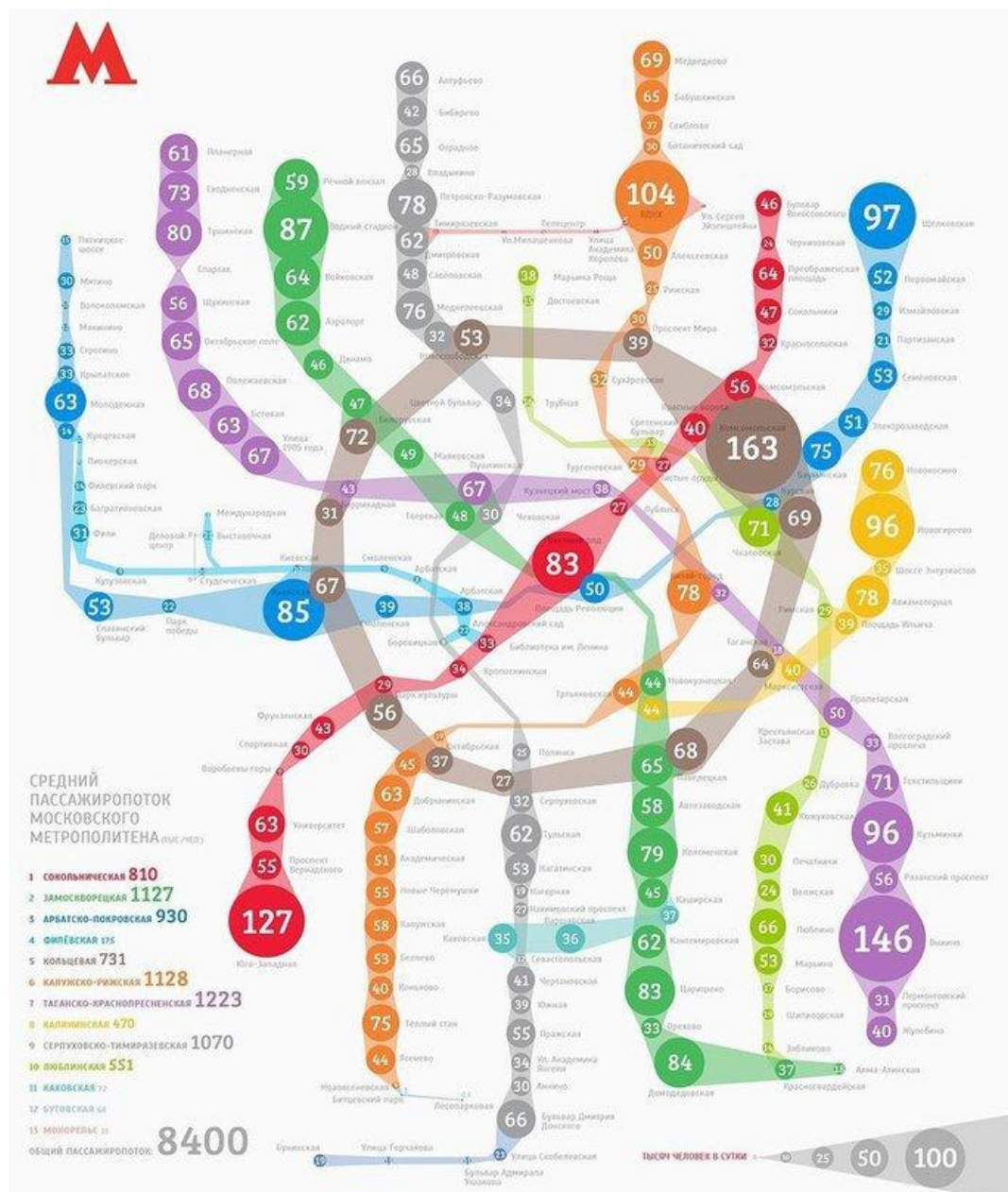


Рис.1. Пассажиропоток станций московского метро.

Время обслуживания пассажиров подсистемами вычислялось из реальных показателей с учетом следующих параметров:

- Банкомат – от 60 до 180 секунд;
- Касса – от 30 до 90 секунд;
- Автомат по продаже билетов – от 30 до 60 секунд;
- Металлодетектор – до 0,5 секунды;
- Турникет – от 60 до 120 секунд;
- Время ожидания поезда – от 60 до 120 секунд.

Практическая часть

Средствами моделирования была создана станция московского метро Митино Арбатско-Покровской линии. Станция имеет суточный пассажиропоток 30 тыс. человек, что является небольшим по меркам метро Москвы. Были рассчитаны интенсивности пассажиропотока в разное время суток, исходя из суточного пассажиропотока (Таблица 1 и Рис.2), полученных из [4].

Таблица 1. Интенсивность пассажиропотока в зависимости от времени суток.

Час	Пассажиров	Отношение вход\общее	Вход	Выход
5:30	150	0,90	135	15
6:30	500	0,90	450	50
7:30	5000	0,95	4750	250
8:30	4000	0,85	3400	600
9:30	2000	0,80	1600	400
10:30	1000	0,70	700	300
11:30	1000	0,70	700	300
12:30	500	0,60	300	200
13:30	500	0,60	300	200
14:30	500	0,50	250	250
15:30	500	0,40	200	300
16:30	500	0,30	150	350
17:30	1500	0,20	300	1200
18:30	2500	0,20	500	2000
19:30	4000	0,10	400	3600
20:30	2000	0,10	200	1800

21:30	2000	0,30	600	1400
22:30	1000	0,30	300	700
23:30	500	0,50	250	250
0:30	250	0,50	125	125
1:00	100	0,10	10	90



Рис.2. Гистограмма интенсивности пассажиропотока станции Митино по часам.

План станции метро Митино получен с официального сайта московского Метрополитена (Рис.3) [5].

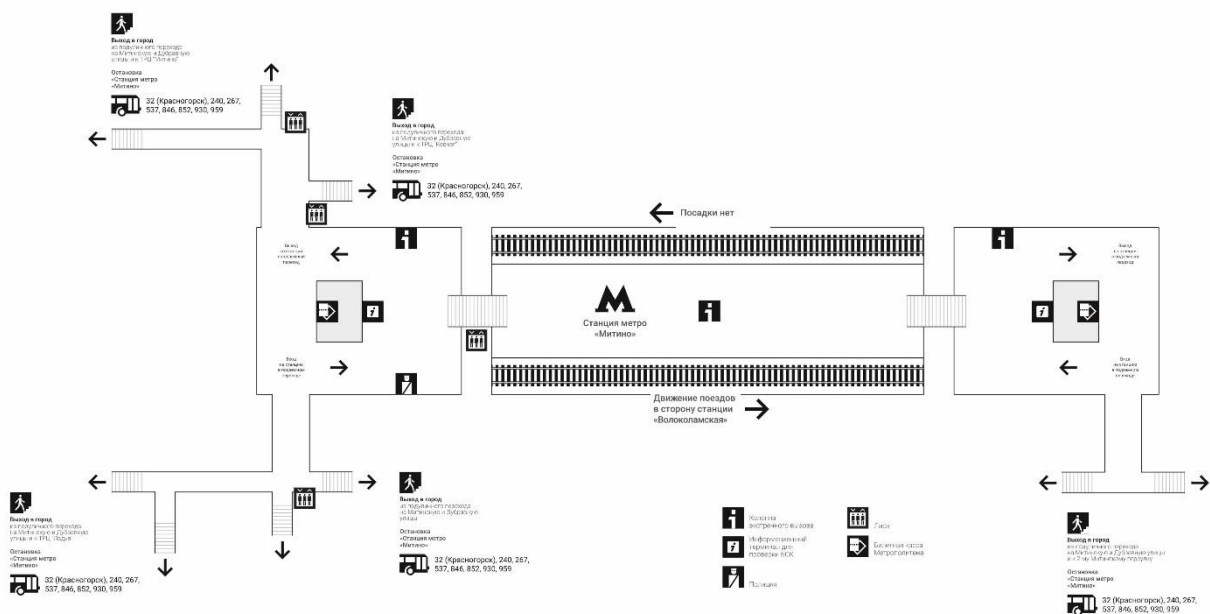


Рис.3. План станции метро Митино.

Станция имеет 2 вестибюля и 9 входов (7 слева и 2 справа). Такая особенность расположения входов происходит из-за перекоса нагрузки, т. к. количество пассажиров, проходящих через левый вестибюль, в разы больше, чем через правый, потому что слева располагаются остановки общественного транспорта. При определении интенсивности пассажиропотока сделаны следующее допущение: поток пассажиров в модели меньше своего реального значения в три раза, так как длина платформы в модели меньше (вместо 168 м в реальности, а 35 м - в модели). Поэтому интенсивность входящего пассажиропотока снижается в 3 раза, для обеспечения пропорции.

При моделировании был взят промежуток времени 7:30 - 8:30 утра. Исходя из Таблицы 1, пассажиропоток в этом промежутке составляет 5000 тысяч человек, из которых 4750 человек поступают на вход и 250 человек на выход. Распределение пассажиров по входам и выходам представлено в Таблице 2. При этом интенсивность поступления пассажиров также разделена на 3 из-за допущений модели, описанных ранее. Эти вопросы более подробно были рассмотрены авторами ранее в [6].

Таблица 2. Распределение пассажиропотока по выходам.

Выход	Доля использования	На вход	На выход
ТЦ Митино	0,1	475	25
Ковчег	0,15	712,5	37,5
Митинская	0,15	712,5	37,5
Ладья 1	0,1	475	25
Ладья 2	0,1	475	25
Дубравная 1	0,05	237,5	12,5
Дубравная 2	0,25	1187,5	62,5
Митинская 2	0,05	237,5	12,5
Митинская 3	0,05	237,5	12,5

Описание Модели

В среде AnyLogic была построена модель станции метро Митино, представленная рис.4.

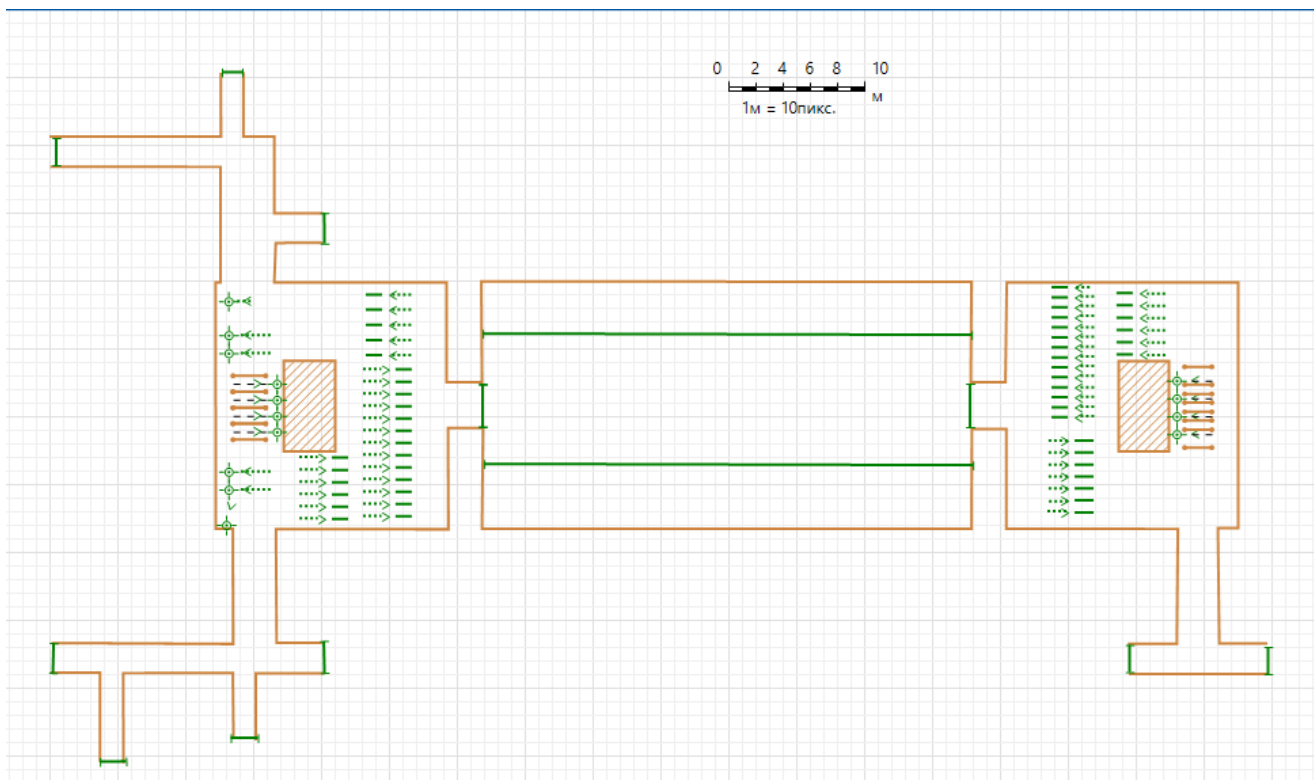


Рис.4. Модель станции Митино в среде AnyLogic.

Центральная часть модели – платформа, она находится на нижнем уровне (lowGround). Два узких прохода по бокам - это лестницы, связывающие нижний уровень (ground), где находятся вестибюли с более низким уровнем (lowGround), на который прибывают поезда. Верхняя целевая линия соответствует поезду, идущему в сторону конечной станции Пятницкое шоссе, нижняя – поезду, идущему в центр к станции Волоколамская.

Набор блоков, осуществляющих обслуживание, представлен на рис.5. Верхняя часть блоков соответствует обслуживанию пассажиров на входе, а нижняя часть – обслуживанию на выходе.

Для исследования времени задержки пассажиропотока от введения дополнительных услуг, в модели было допущено, что части пришедших пассажиров необходима покупка билетов, которую они совершают в кассах или через мобильное приложение своего телефона, активируя покупку через

прикладывание карты «Тройка» к специальному устройству. Пример покупки билетов у кассиров показан в центре рис.6.

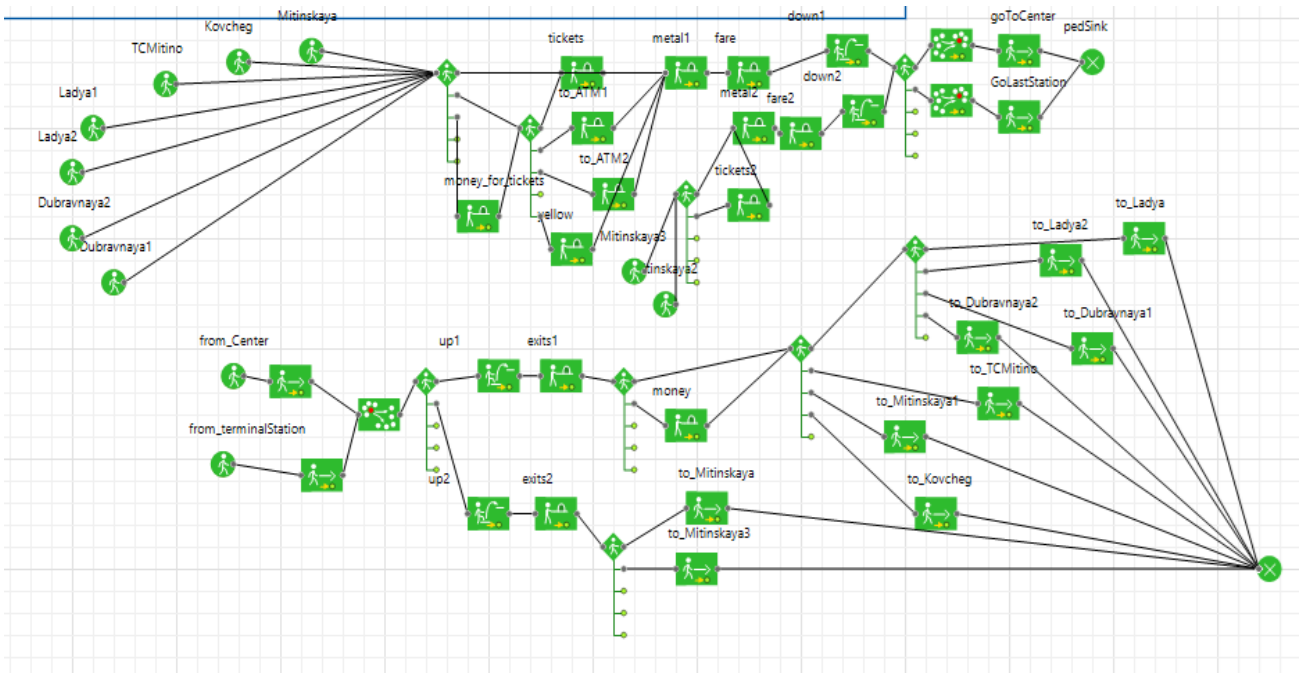


Рис.5. Набор блоков для осуществления обслуживания в исследуемой модели.

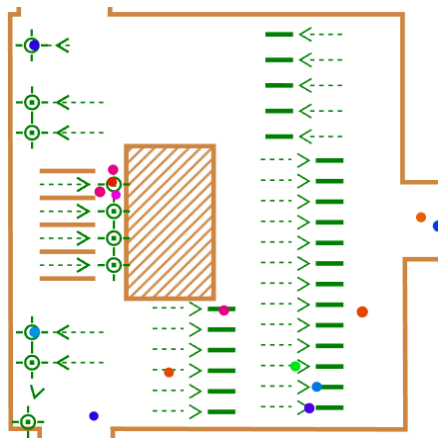


Рис.6. Пассажиры, покупающие билеты в кассах (в центре).

Для просмотра анимации щелкните на изображении.

Также было введено допущение, что небольшая часть пассажиров снимает деньги с банкомата. На Рис.7 красным квадратом обведен человек, снимающий деньги с банкомата.

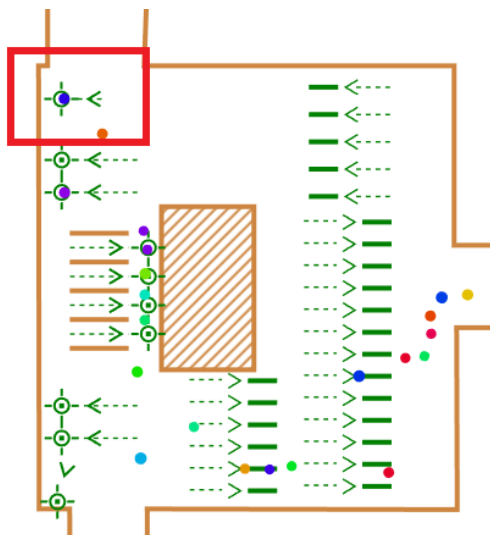


Рис. 7. Снятие денег с банкомата.

Пассажиры, которые должны активировать карту «Тройка» у специального устройства, представлены на Рис.8. Здесь черным квадратом обведен элемент, моделирующий прибор для активации карты «Тройка».

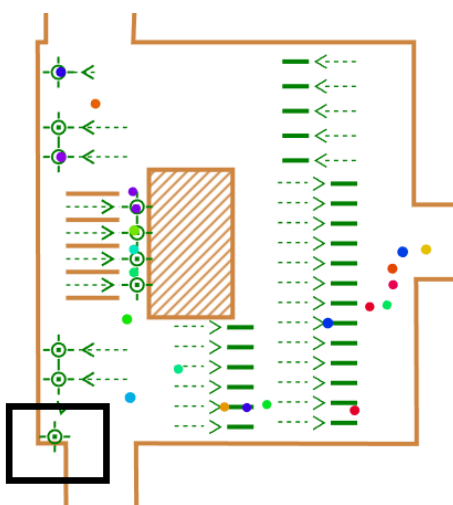


Рис.8. Активация карты «Тройка».

Все пассажиры проходят через турникеты и металлодетектор. На рис.9 черным квадратом обведены пассажиры, проходящие через рамки детектора, а красным – через турникеты.

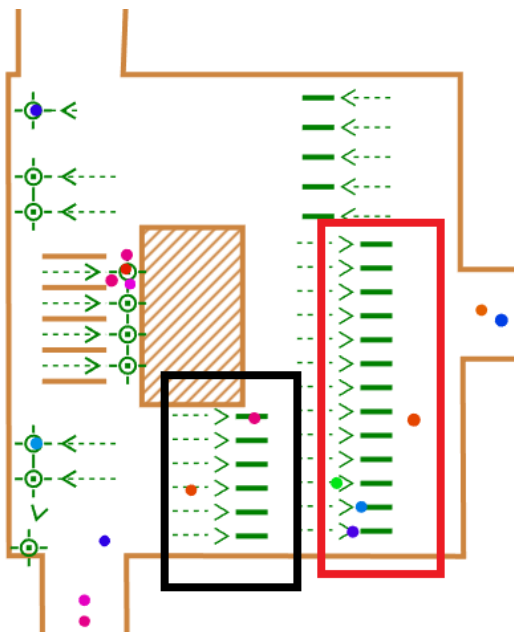


Рис.9. Прохождение пассажирами рамок металлодетектора и турникетов.

В модели пассажиры садятся в поезда группыми, что представлено на рис.10, здесь у нижней целевой линии одним цветом окрашены пассажиры, которые сформированы в группу для посадки на поезд. Остальные будут дожидаться прибытия следующего поезда. Формирование группы ведется по времени, соответствующему среднему времени ожидания поездов.

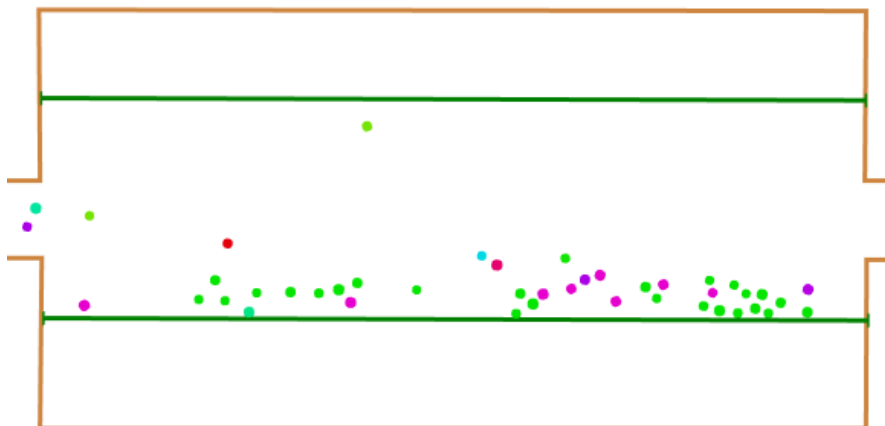


Рис.10. Формирование группы пассажиров для посадки на поезд.

Для просмотра анимации щелкните на изображении.

Одновременно на платформу группами прибывают пассажиры, выходящие из поездов. На рис.11 черным прямоугольником выделена группа пассажиров, прибывших на поезде из центра.

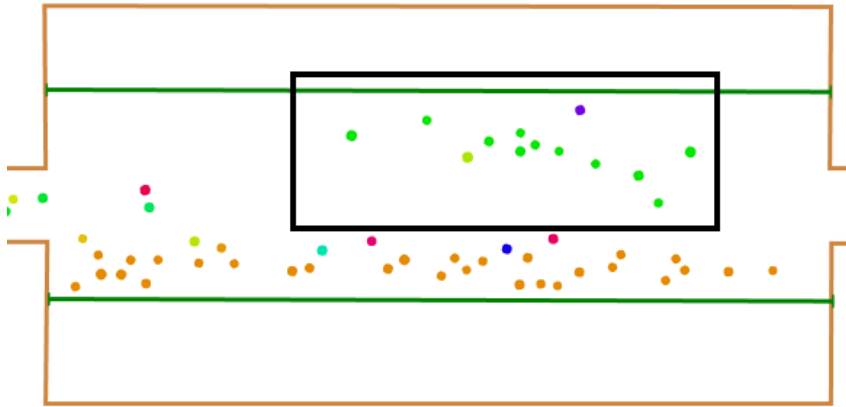


Рис.11. Группа пассажиров, вышедших из поезда.

Для оценки характеристик качества обслуживания пассажиропотока получены статистические результаты. Они представлены на рис.12. Это обработка за час исследуемой модели для входящих пассажиров.

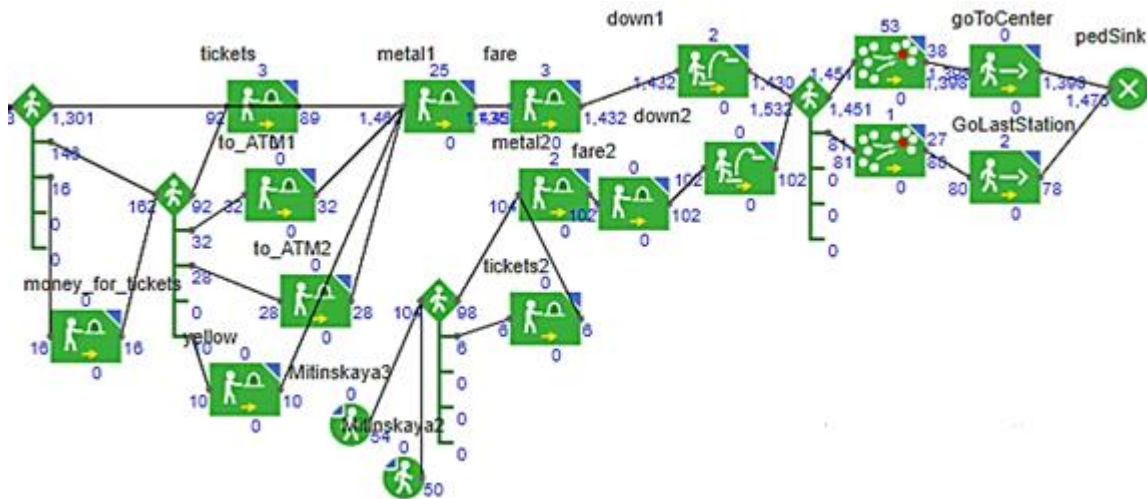


Рис.12. Отработавшая модель для входящих пассажиров.

Из модели видно, что билеты активировали 16 человек, купили билеты 92 пассажира, сняли деньги из двух банкоматов 32 и 28 человек. Возможно,

необходима установка третьего банкомата для снятия денег для уменьшения очереди и потери потенциальных клиентов.

Для определения мест потенциальных заторов при их лавинообразном образовании использована карта плотности пешеходов (рис.13). Карта показывает, что наиболее загруженные места это:

- лестницы для спуска на платформу,
- нижний переход от четырех входов, в котором сходятся пассажиры от загруженных наземных остановок транспорта,
- платформа со стороны отъезжающего в центр поезда.

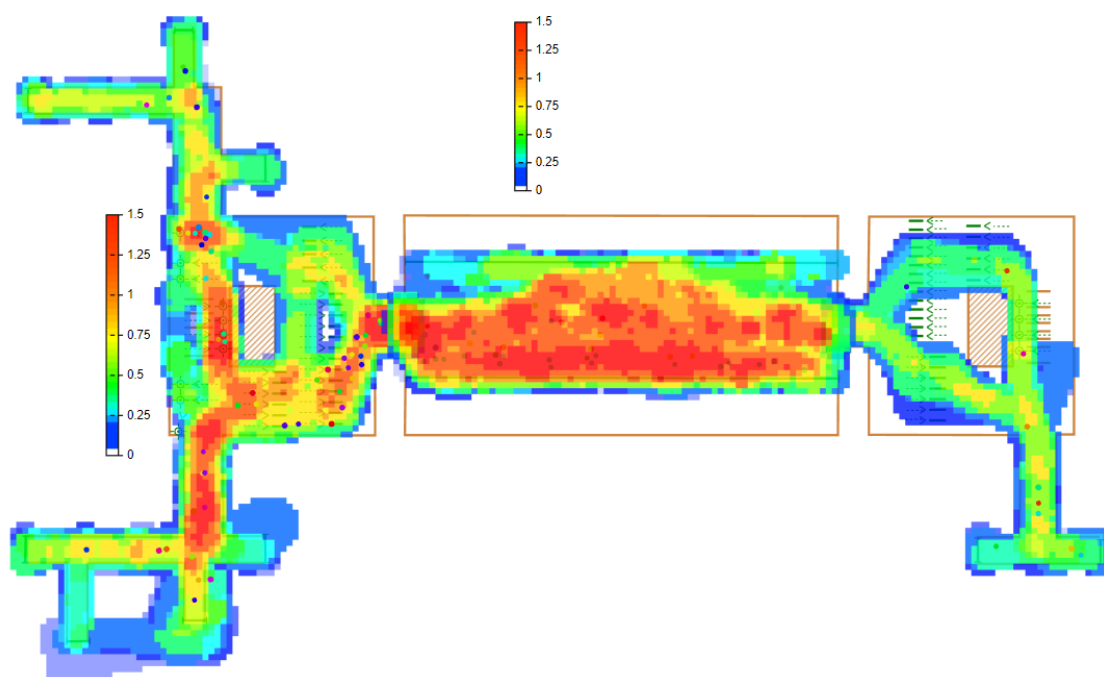


Рис.13 – Карта плотности пешеходов с потенциальными заторами.

Для просмотра анимации щелкните на изображении.

Таким образом, рассмотренная в работе модель позволяет оценить загруженность конкретной станции метро в зависимости от времени суток и определить узкие места при возникновении перегрузок. Сделаны рекомендации по установке банкоматов и других систем массового обслуживания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-29-09497 офи-м).

Литература

1. Антонова В.М., Гречишкина Н.А., Кузнецов Н.А. Анализ результатов моделирования пассажиропотока станции метро в программе AnyLogic. Информационные процессы, 2018, Том 18, № 1, с. 35–39
2. Степанов, С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия-Телеком, 2015. 886 с.
3. Метрополитен в цифрах [электронный ресурс]. Сайт Московского метрополитена. Режим доступа <http://mosmetro.ru/press/digits/> (дата обращения 16.03.2019)
4. Расписание поездов [электронный ресурс]. Сайт Московского метрополитена. Режим доступа http://mosmetro.ru/schedule/schedule_res.php?st=line2_20 (дата обращения 16.03.2019)
5. Утверждены предпроектные предложения станций «Волоколамская» и «Митино» Арбатско – Покровской линии. Сайт ОАО МЕТРОГИПРОТРАНС Режим доступа <http://www.arhmetro.ru/home/news/0/9/> (дата обращения 16.03.2019)
6. Антонова В.М., Кузнецов Н.А., Волков Д.О., Гречишкина Н.А. Метод оптимизации пропускной способности пункта досмотра на высокоскоростном транспорте. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017, No. 3, 2017. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/mar17/7/text.pdf>

Для цитирования:

В. М. Антонова, Н. А. Гречишкина, Н. А. Кузнецов. Исследование модели пассажиропотока станции метро в среде имитационного моделирования AnyLogic при введении дополнительных услуг и с поиском «узких мест». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. № 4. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/apr19/7/text.pdf>