

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ МОСКОВСКОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КОЛЬЦА



А.Е. Чекмарев



С.А. Васильев

Рассмотрены возможности оценки пропускной способности элементов инфраструктуры транспортно-пересадочных узлов Московского центрального кольца посредством профессионального пакета имитационного моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: транспортно-пересадочный узел, имитационное моделирование пассажиропотоков

EDN: RPCVXO

Развитие транспортной инфраструктуры городских агломераций является одним из ключевых направлений повышения транспортной доступности. При этом все ее элементы должны развиваться комплексно.

Транспортно-пересадочный узел (ТПУ) представляет собой хаб, где концентрируются пассажиропотоки взаимодействующих видов городского транспорта. Оценка пропускной способности ТПУ в условиях «пиковых» значений пассажиропотока с целью

выявления лимитирующих ее элементов (входные группы, лестничные марши, эскалаторы, турникетные линейки, рамки металлодетекторов, кассы, автоматы по продаже билетов и т.п.), приобретает особую актуальность [1;4].

Московское центральное кольцо (МЦК) открылось 5 лет назад и востребованность его только возрастает. За все время работы МЦК воспользовались 633 млн пассажиров [7], причем суточный пассажиропоток увеличился с 300 тыс. пассажи-

Чекмарев Александр Евгеньевич, заместитель директора научно-образовательного центра «Цифровые высокоскоростные транспортные системы» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: оптимизация транспортных систем и процессов, современные технологии работы транспортно-технологических систем и узлов, моделирование транспортных процессов. Автор 16 научных работ.

Васильев Сергей Александрович, инженер-исследователь отдела интеллектуального управления движением научно-образовательного центра «Управление мобильностью в транспортных системах агломераций» Академии «Высшая инженерная школа» Российского университета транспорта (АВИШ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: совершенствование технологии перевозочного процесса, современные технологии работы станций и узлов, моделирование транспортных процессов.

Кузнецова Анжелика Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: совершенствование грузовых и пассажирских железнодорожных перевозок, современные методы организации перевозочного процесса, инновационные технологии на железнодорожном транспорте, организации движения поездов и пассажирских перевозок, информационные технологии в процессе управления перевозками. Автор 30 научных работ, в том числе одной монографии.

Подорожкина Алла Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы совершенствования технологии работы железнодорожных станций и участков, организации движения поездов и пассажирских перевозок, информационные технологии в процессе управления перевозками. Автор 36 научных работ, в том числе одной монографии.

ров в 2016 г. [8] до 650 тыс. пассажиров в 2021 г. [9]. Благодаря интеграции ТПУ МЦК и платформ пригородных железнодорожных направлений, на этих станциях пассажиропоток вырос на 30–50%. Примером служат такие ТПУ как «Ростокино» и «Нижегородская», также к ним можно будет отнести и ТПУ МЦК «Крымская», по окончании строительства станции метро «Крымская» (Севастопольский проспект). В связи с вышесказанным, на первый план выходят вопросы увеличения пропускной способности МЦК в целом, и отдельных ТПУ в частности, а также адекватной оценки пропускной способности их инфраструктуры.

Возникает необходимость прогнозирования и моделирования взаимодействия и динамики пассажиропотоков на транспортных объектах. Моделирование является наиболее эффективным способом решения задач, связанных с оптимизацией структуры ТПУ и движением пассажиропотоков внутри него с учетом разнообразия транспортных ситуаций и их случайного проявления. Кроме того, процессы прогнозирования и моделирования могут послужить своевременной оценке складывающейся ситуации при пиковых нагрузках по пассажиропотоку [10].

Поведение пассажиров является довольно сложным процессом, поэтому при планировании объектов с высокой плотностью пешеходного движения и ограниченным пространством для оптимизации потоков пешеходов, гарантированного предотвращения дискомфорта и снижения задержек, а также повышения безопасности движения, целесообразно проводить имитационное моделирование [2;4–6].

С использованием российского профессионального пакета имитационного моделирования AnyLogic были созданы имитационные модели и произведено имитационное моделирование пассажиропотоков на ТПУ МЦК «Крымская», «Ростокино», «Хорошево», «Верхние котлы», «Деловой центр».

AnyLogic поддерживает сбор статистики по плотности движущихся объектов в моделируемом пространстве и отображение этой информации на презентации в виде карты плотности [3].

Карта плотности пассажиропотока позволяет визуализировать соответствие цветов и численных значений плотности пассажиропотоков при моделировании в виде цветовой шкалы (заливки). Плотность потока измеряется в пассажирах на 1 квадратный метр. Красным цветом отображается критическая плотность пассажиропотока, 3 пасс./м². Желтый и зеленый цвета характеризуют пассажиропоток со средней плотностью, 1,5–2 пасс./м². Синий цвет используется для отображения низкой плотности, до 1,5 пасс./м².

При нулевой плотности на определенном участке уровня этот участок не закрашивается.

Для обобщенной оценки состояния работы ТПУ применяется цветовая градация. Каждому эксперименту после обработки присваивается тот или иной цвет в зависимости от результата эксперимента:

- красный цвет (нерабочий режим) — означает, что ТПУ не работает, образуются сгущения пассажиропотоков с низкой скоростью продвижения на входных группах, турникетных линиях, подходах к эскалаторам и других элементах инфраструктуры ТПУ, которые с течением времени увеличиваются, парализуя работу остановочного пункта;

- оранжевый цвет (терминальный режим) — означает, что ТПУ справляется с пропуском пассажиропотока, но присутствуют явные признаки перегруженности. Плотность пассажиропотока достигает критических значений и превышает их, образуются очереди на входных группах, турникетных линиях, подходах к эскалаторам и других элементах инфраструктуры ТПУ. Наблюдается динамика роста времени нахождения пассажиров на ТПУ и общего количества пассажиров на ТПУ;

- желтый цвет (устойчивый режим) — означает, что ТПУ работает стабильно, но на некоторых участках плотности пассажиропотока достигают критических значений по времени больше 20% от среднего времени нахождения пассажиров на ТПУ;

- зеленый цвет (комфортный режим) — означает, что ТПУ стабильно работает, а значения плотности пассажиропотока не превышают критических.

В процессе работы модели ТПУ, по каждому эксперименту отображаются параметры, характеризующие пассажиропотоки. В частности, визуализируются графики плотности, интенсивности пассажиропотоков в моделируемом пространстве ТПУ, длины очередей перед устройствами для обслуживания пассажиров, пропускной способности павильонов и др.

Текущие и перспективные значения пассажиропотока, которые служат исходными данными для моделирования, задает заказчик проекта.

В процессе имитационного моделирования создается базовая модель ТПУ, отображаемая в формате 2D и 3D. Его можно разделить на несколько этапов. На схеме остановочного пункта выделяются базовые элементы, к которым относятся: лестницы, эскалаторы, переходы, тоннели, зоны досмотра, двери и т.д. Определяется маршрут следования пассажиропотоков по назначениям, описывается каждый маршрут по элементам с учетом разграничения встречных потоков, скорость движения пассажиропотоков вычисляется отдельно для каждого элемента пути и зависит от плотности пассажиропотока. Определяется коли-

чество пассажиров по назначениям, прошедшее по элементу в максимальный час. Определяются наиболее загруженные элементы и их параметры, исходя из которых рассчитывается максимальная пропускная способность элементов (чел./ч). Рассчитывается интенсивность пассажиропотока каждого назначения на подходах к загруженным элементам.

На следующем этапе, модель адаптируется для использования на конкретном ТПУ. Учитывается:

- распределение пассажиропотока между павильонами как на вход, так и на выход;
- распределение пассажиров между входами одного павильона;
- распределение пассажиров на платформе;
- соотношение пассажиров, приобретающих проездные билеты в кассах и билетных терминалах;
- распределение времени на обслуживание одного пассажира в кассе, билетном терминале, турникете;
- скорость движения пассажиров;
- населенность поезда;
- интервал движения поездов;
- время стоянки поезда;
- наличие одновременного прибытия поездов с обоих направлений (залповое прибытие пассажиров).

Работа ТПУ считается стабильной, если за исследуемый период времени (час пик с 8:00 до 9:00) не возникает затруднений при передвижении пассажиров в ТПУ и их обслуживании в сервисах.

Для каждого ТПУ проводится оценка пропускной способности при текущих значениях пассажиропотока в час пик с возможностью 2D и 3D-визуализации модели. В качестве примера на рис. 1 приведен вид (3D) модели ТПУ МЦК «Крымская».

По результатам экспериментов на модели ТПУ при текущих пассажиропотоках устанавливают следующие параметры функционирования ТПУ в условиях «пиковых» нагрузок:

- очереди на турникетных линиях на вход и выход, а также у сходов на платформы во время залпового прибытия пассажиров и продолжительность их наличия;
- общее количество пассажиров, находящихся в павильонах ТПУ и на пассажирской платформе и наличие или отсутствие тенденции роста;
- время, затраченное как на посадку (от входных групп до двери вагона), так и на выход (от двери вагона до входных групп) для павильонов и наличие или отсутствие тенденции роста;
- диапазон изменения значений плотности пассажиропотока в павильонах и достижение им критических границ;
- диапазон изменения значений плотности пассажиропотока на платформе и достижение им критических границ;
- наличие или отсутствие на ТПУ зон со значениями плотности пассажиропотока приближающимися к критическим в соответствии с картой плотности пассажиропотока.



Рис. 1. Вид (3D) модели ТПУ МЦК «Крымская», при текущих значениях пассажиропотока

Пакет AnyLogic позволяет, в процессе реализации каждого эксперимента получить визуализацию результатов в виде графиков изменения соответствующей величины во времени.

На основе проведенных экспериментов на модели ТПУ выполняется оценка режима работы ТПУ (нерабочий, терминальный, устойчивый, комфортный).

Затем проводится аналогичная оценка пропускной способности ТПУ при заданных значениях пассажиропотока в «час пик» на перспективу.

В том случае, если на основе проведенных экспериментов получены результаты о функционировании ТПУ в терминальном режиме, присутствии признаков перегруженности, наличии очередей переходящих в заторы, то тогда делается вывод о целесообразности реконструкции ТПУ. Предлагаются проектные решения, направленные на увеличение площади павильонов, количества входных групп, турникетов, эскалаторов или разделение пассажиропотоков в ограничивающем элементе инфраструктуры реконструкции, а также другие в зависимости от того, какой конкретно ТПУ рассматривается и какие результаты моделирования были получены.

Так, например:

• график, приведенный на рис. 2, свидетельствует о том, что в восточном павильоне рассматриваемого ТПУ очереди на турникетных линиях на вход и выход превышают 150 человек, очередь у схода на платформу во время залпового прибытия пассажиров достигает 250 человек. Очереди имеют устойчивую тенденцию роста, идет накопление пассажиров в павильоне;

• график, приведенный на рис. 3, свидетельствует о том, что общее количество пассажиров, находящихся в павильонах ТПУ и на пассажирской платформе, имеет устойчивую тенденцию роста;

• график, приведенный на рис. 4, свидетельствует о том, что в восточном павильоне наблюдается устойчивый рост времени, затраченного как на посадку (от входных групп до двери вагона), так и на выход (от двери вагона до входных групп);

• график, приведенный на рис. 5, свидетельствует о том, что плотность пассажиропотока в западном павильоне рассматриваемого ТПУ, принимает средние значения, а плотность пассажиропотока на платформе и в восточном павильоне превышает критическое значение 3 пасс./м², что свидетельствует о формировании сгущения пассажиропотоков с низкой скоростью продвижения;

• на карте плотности пассажиропотока ТПУ (рис. 6) наблюдаются обширные зоны с критическими значениями плотности пассажиропотока (свыше 3 пасс./м²).

По результатам экспериментов, проведенных для модели ТПУ «Крымская» выявлено, что он функционирует в терминальном режиме (оранжевый цвет) около 20 минут, затем переходит в нерабочий режим — красный цвет; присутствуют явные признаки перегруженности, на элементах ТПУ формируются очереди переходящие сгущения пассажиропотоков с низкой скоростью продвижения; практически все элементы ТПУ восточного павильона (турникеты, эскалаторы, входные группы) не в состоянии освоить данные размеры пассажиропотока.

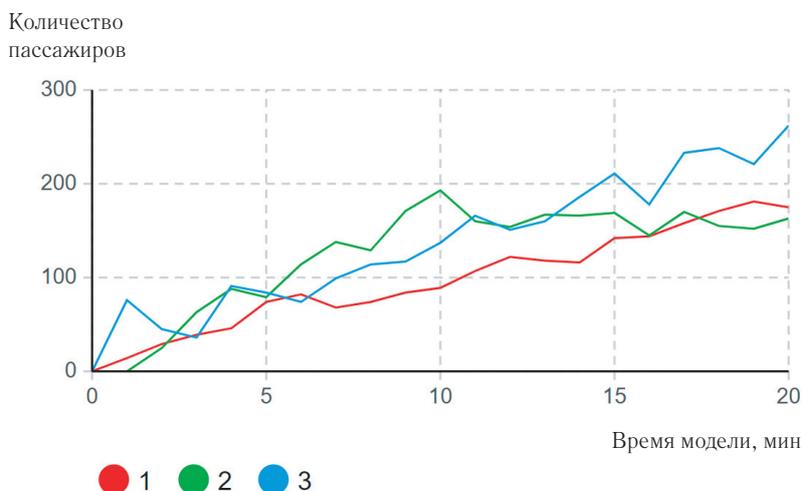


Рис. 2. Очередь перед элементом восточного павильона: 1 – турникетная линия на вход; 2 – турникетная линия на выход; 3 – сход на платформу

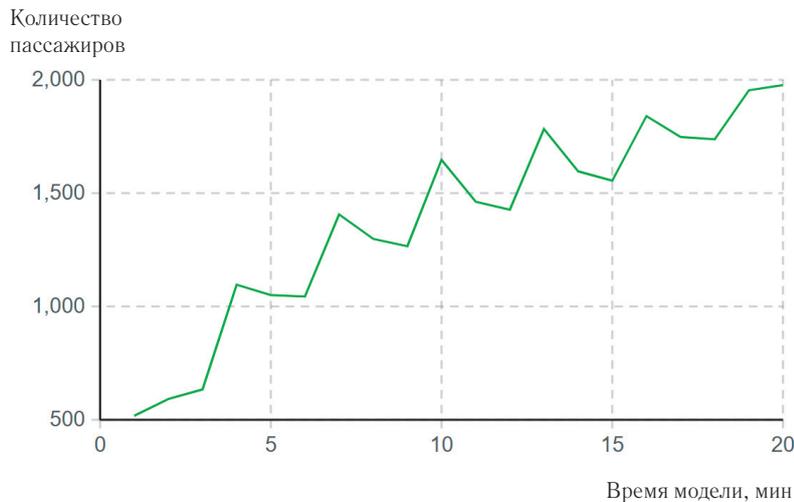


Рис. 3. Количество пассажиров на ТПУ



Рис. 4. Время затраченное пассажирами: 1 – на вход; 2 – на выход в восточный павильон

Следовательно, для устойчивой работы ТПУ при перспективных значениях пассажиропотоков необходима реконструкция с увеличением площадей павильонов, количества турникетов, эскалаторов.

Используя приведенный выше подход для оценки пропускной способности ТПУ «Крымская», МЦК «Ростокино», «Хорошёво», «Верхние котлы», «Деловой центр» было произведено имитационное моделирование пассажиропотоков на ТПУ и даны рекомендации для разработки проектных решений на перспективу до 2030 г.

В результате проведенных экспериментов имитационного моделирования можно сделать вывод о том, что при достаточной верификации и валидации моделей данный метод оценки пропускной способности:

- подходит для оценки пропускной способности параметров ТПУ различной конфигурации, с разным количеством платформ, входных групп и других инфраструктурных особенностей;
- дает объективную картину загруженности ТПУ;
- показывает проблемные элементы, зоны, влияние одних элементов на другие;
- позволяет оценить величину предельного пассажиропотока на ключевых элементах ТПУ, визуализировать их работу для разных условий;
- позволяет организовать движения пассажиров в пределах зданий и помещений пассажирского комплекса (пассажирских платформ, тоннелей, турникетных линий и т.д.);
- выработать рекомендации по развитию инфраструктуры.

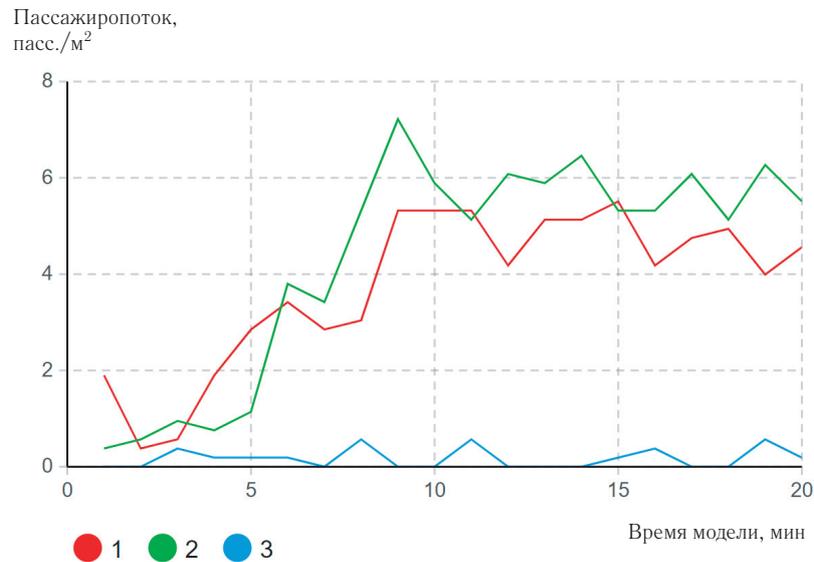


Рис. 5. Плотность пассажиропотока: 1–платформа; 2–восточный павильон; 3–западный павильон



Рис. 6. Карта плотности пассажиропотока

Литература

1. Евреенова, Н.Ю. Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта: специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок»: диссертация кандидата на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евреенова Надежда Юрьевна – Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). – Москва, 2014. – 197 с. – Текст: непосредственный.
2. Лычкина, Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие для слушателей программы eMBA / Н.Н. Лычкина, В.В. Годин. – Москва: Государственный университет управления, 2005. – 250 с. – Текст: непосредственный.
3. Киселева, М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: учебно-методическое пособие / М.В. Киселева. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. – 87 с. – Текст: непосредственный.
4. Левченко, М.А. Имитационное моделирование транспортно-пересадочных узлов / М.А. Левченко. – Текст: непосредственный // Молодой учёный. – 2017. – № 11. – С. 79–81.

5. Моделирование пешеходных потоков: [сайт]. –URL:<http://www.simulation.su>. (дата обращения: 25.11.2021).
6. Имитационное моделирование как основной способ поддержки принятия решений в современном мире. Об организации имитационных исследований в России / В.В. Девятков, Н.Б. Кобелев, А.А. Емельянов, В.А. Половников, А.М. Плотников. –Текст: непосредственный // Третья всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2007. Сборник докладов. Пленарные доклады. –2007. –Т1. –С. 37–46.
7. Информационная служба портала Стройкомплекса: [сайт]. –URL:<https://stroi.mos.ru/news/mtsk-pierieviezlo-633-milliona-passazhirov-za-piat-liet-sobianin> (дата обращения: 25.11.2021).
8. Информационная служба портала Стройкомплекса: [сайт]. –URL:<https://stroi.mos.ru/news/bolieie-300-tysiach-passazhirov-pierieviezlo-mtsk-9-noiabria> (дата обращения: 25.11.2021).
9. Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)»: [сайт]. –URL:<https://tass.ru/moskva/9105893> (дата обращения: 25.11.2021).
10. Савостьянов, А.В. Современные методы прогнозирования пассажиропотоков / А.В.Савостьянов, Я.В. Храменкова, А.Н. Кузнецова. –Текст: непосредственный // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. –2018. – №14. –С. 36–39.