3 *Еловой, И. А.* Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : монография / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

4 СП 119.13330.2024 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм». – М-во строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Изд. официальное. – М., 2024. – 223 с.

I. A. ELOVOY, S. A. PETRACHKOV

BASIC REQUIREMENTS FOR DESIGNING THE TRACK DEVELOPMENT OF RAILWAY STATIONS IN TRANSPORT CONNECTIONS MODERN CONDITIONS

The theoretical foundations of the formation of transport and logistics systems in modern conditions are considered, the reasons for the need for new approaches to the design of railway infrastructure are identified, and the basic requirements for designing the track development of railway stations of general and non-general use in the presence of wagons of various ownership are proposed.

Получено 26.10.2025

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025

УДК 656.224

А. А. ЕРОФЕЕВ, ХЭ ХУН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
Erofeev_AA@bsut.by

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ

Определена актуальность задачи моделирования пассажиропотоков в транспортных пересадочных узлах (ТПУ). Формализован процесс обслуживания пассажиров при входе в ТПУ. Установлены возможные виды очередей на обслуживание пассажиров и систематизированы фазы обслуживания в зависимости от видов. Установлены аналитические зависимости определения времени нахождения пассажиров в очереди. Предложена блок-схема моделирования пассажиропотоков в ТПУ.

В связи с быстрым развитием экономики Китая и постоянным улучшением уровня жизни населения возрастают требования к безопасности перевозок, разнообразию и качеству транспортных услуг, уровню обслуживания пассажиров в транспортных средствах и в транспортных пересадочных узлах (ТПУ). Высокоскоростные и междугородние поезда стали предпочтительными видами транспорта для многих пассажиров.

Железнодорожный транспорт обслуживает большие объемы пассажиропотоков, что в отдельные периоды времени (крупные праздники, выходные дни и др.) может вызывать переполнение станций, возникновение избыточных очередей, а в некоторых случаях ведет к инцидентам, связанным с нарушением безопасности перевозок и обслуживания пассажиров. Поэтому при проектировании ТПУ особое внимание следует уделять безопасности, комфорту и беспрепятственному движению пассажиров.

Повышение качества обслуживания на станциях, снижение рисков безопасности и достижение «доступа без очередей» стали ключевыми целями для обслуживания пассажиров при въезде на железнодорожные станции. Проверка документов (идентификация пассажиров) и досмотр перед поездкой службами безопасности часто являются двумя самыми длительными этапами и характеризуются длинными очередями. Разумное расположение объектов для проведения этих операций позволит улучшить транспортное обслуживание пассажиров [1−6].

В данной статье рассмотрен процесс моделирования нахождения пассажиров в очередях на этапах идентификации и досмотра службами безопасности.

Процесс входа пассажиров в ТПУ в общем виде включает шесть этапов: покупка билета, проверка документов и идентификация, досмотр службами безопасности, ожидание поезда, проверка билета и посадка в поезд [7]. Разные процедуры въезда необходимо выполнять на различных объектах обслуживания, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 − Укрупненная модель обслуживания пассажиров в ТПУ

С распространением интернета всё больше пассажиров в Китае выбирают покупку билетов на сайте «Китайские железные дороги 12306». С внедрением электронных билетов очереди на этапе «покупка билета» больше не являются ограничивающим элементом.

Из процесса входа пассажиров в ТПУ видно, что длина очередей на различных этапах в основном зависит от факторов, связанных с параметрами пассажиропотока и с объектами обслуживания станции. Факторы, связанные с параметрами пассажиропотоков, в основном включают характер прибытия пассажиров (закон распределения), их количество (интенсивность, плотность) и объем перевозимого багажа.

Факторы, связанные с объектами обслуживания станции, в основном относятся к устройствам обслуживания пассажиров на станции (в том числе автоматических терминалов для идентификации, пунктов ручной проверки документов и т. д.) а также к среднему времени обслуживания этими устройствами.

Однако важным фактором, влияющим на время нахождения пассажиров в очереди, является вид организации очереди, т. е. возможность сменять очередь в процессе обслуживания. Целью данной работы является разработка методики моделирования процессов обслуживания пассажиров в зависимости от видов организации очереди.

С целью моделирования пассажиропотоков в ТПУ предлагается выделить одноочередную параллельную и гибридную виды очередей.

Одноочередная параллельная относится к системе очередей, в которой количество очередей на различных этапах остается неизменным и они независимы друг от друга. После того как пассажиры выбирают очередь на первом этапе, они не могут изменить ее на последующих этапах (рисунок 2).



Рисунок 2 – Модель параллельной очереди

Этот вид преимущественно используется на станциях с низким пассажиропотоком, где количество устройств идентификации, сканеров багажа и персонала, выполняющего ручной досмотр, одинаково. Когда пассажиры входят в станцию, процессы формирования очередей на разных устройствах независимы друг от друга. В периоды непикового сезона для экономии ресурсов может быть открыт только один канал очередей.

Гибридная очередь – это ситуация, при которой в имеются два или более этапа очередей и количество очередей на каждом этапе различается. В таком случае после входа пассажиров в систему очередей на определенном этапе может произойти переформирование очередей, и пассажирам необходимо самостоятельно выбрать, к какой очереди присоединиться (рисунок 3). Из-за технологических ограничений, таких как площадь станции и стоимость сканеров багажа, большинство крупных ТПУ используют гибридный вид очередей при входе. В таких случаях, как правило на станции установлено больше устройств идентификации, чем сканеров багажа, что может привести к переполнению на этапе досмотра безопасности. Для ускорения ручного досмотра за одним сканером багажа обычно закреплены два сотрудника, выполняющие ручной досмотр.

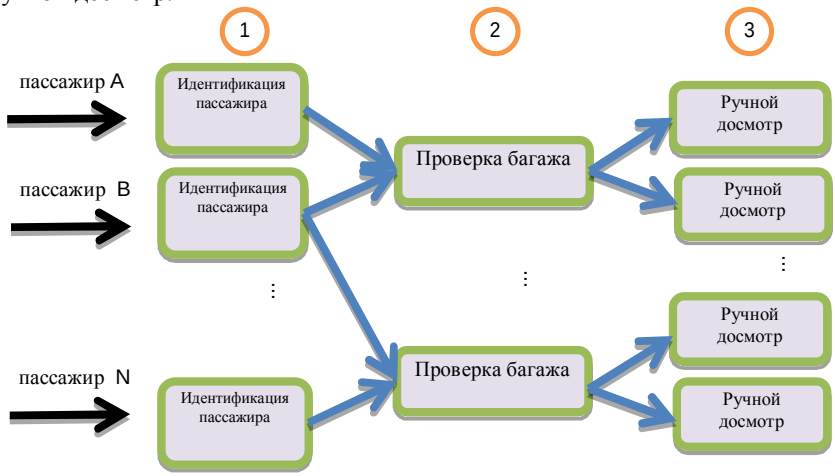


Рисунок 3 – Гибридный режим моделирования очередей

Система моделирования очереди на вход в ТПУ состоит из трех основных частей: процесс входа, правила очередности и механизмы обслуживания. Процесс входа относится к схеме прибытия пассажиров на станцию, правила очередности определяют порядок, которому пассажиры следуют при прохождении через станцию, а механизмы обслуживания относятся к частям, где пассажиры получают услуги внутри системы очереди на станции. Исследовательские данные о входе пассажиров на станцию показывают, что схема прибытия пассажиров в процессе входа подчиняется распределению Пуассона; пассажиры следуют правилу «первый пришел – первый обслужен» при прохождении через станцию, а механизмы обслуживания, через которые проходят пассажиры при входе на станцию, делятся на три части: идентификация пассажиров (проверка документов), автоматизированная проверка багажа службами безопасности и ручной досмотр (рисунок 4).



Рисунок 4 − Модель очереди процесса входа пассажиров в ТПУ

Согласно гепотезе прибытие пассажиров подчиняется распределению Пуассона [8−10], и вероятность того, что *n* пассажиров прибудут в систему очереди в течение временного интервала *t*, описывается уравнением [1]

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^n}{n!} (\lambda > 0,\ n = 0,\ 1,\ 2,\ ..., N), \quad (1)$$

где λ − средняя скорость прибытия пассажиров. Ее оценка может быть выполнена методом максимального правдоподобия:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i = \bar{X}. \quad (2)$$

Когда количество пассажиров превышает пропускную способность пункта идентификации, прибывающий пассажир становится в очередь. В среднем каждому пассажиру требуется 4−10 секунд, чтобы пройти через пункт проверки личности [11].

Чтобы обеспечить безопасность внутри станции, персоналу обычно поручают вручную выполнять процесс сканирования багажа, когда багаж проходит через сканер, и этот этап, как правило, ограничивает скорость проверки багажа. В настоящее время скорость проверки багажа в Китае в среднем составляет 0,2 м/с, при этом большинство конвейерных лент для проверки багажа имеют длину 3,5 метра. В результате время проверки багажа становится самым продолжительным этапом всего процесса ожидания в очереди. Поэтому, когда количество пассажиров n превышает количество сканеров для багажа *c*, избыток пассажиров (*n*-*c*) должен будет стоять в очереди для ожижания проверки. Длина очереди рассчитывается следующим образом:

$$L_q = \sum_{n=c}^{\infty}(n-c)P_N = \frac{\rho^c}{c!}P_0 \sum_{n=c}^{\infty}(n-c)\rho_c^{(n-c)} = \frac{\rho^c}{c!}\rho^c P_0 \sum_{n=1}^{\infty} n\rho_c^{(n-1)} = \frac{\rho^c \rho_c}{c!}\frac{1}{(1-\rho_c)^2}P_0. \quad (3)$$

Данные зависимости должны использоваться при моделировании времени нахождения пассажиров в очереди на входе в ТПУ.

Моделирование процессов обслуживании пассажиров при входе в ТПУ предлагается выполнять с использованием программного пакета AnyLogic . AnyLogic – это эффективный программный продукт, который имеет верифицированные библиотеки модельных компонентов (в том числе объектов

железнодорожного транспорта) и совмещает три подхода имитационного моделирования в одной модели: системная динамика, дискретно-событийное моделирование и агентное моделирование.

Процесс построения имитационной модели в AnyLogic показан на рисунке 5.

Вначале строится карта моделирования на основе планировки помещений ТПУ. Настраиваются параметры пассажиропотоков (пешие агенты) и создается блок-схема логики моделирования. Затем вводятся параметры, такие как схема прибытия пассажиров и время обслуживания объектов, в соответствии с данными опроса. В завершении запускается модель имитационного моделирования.

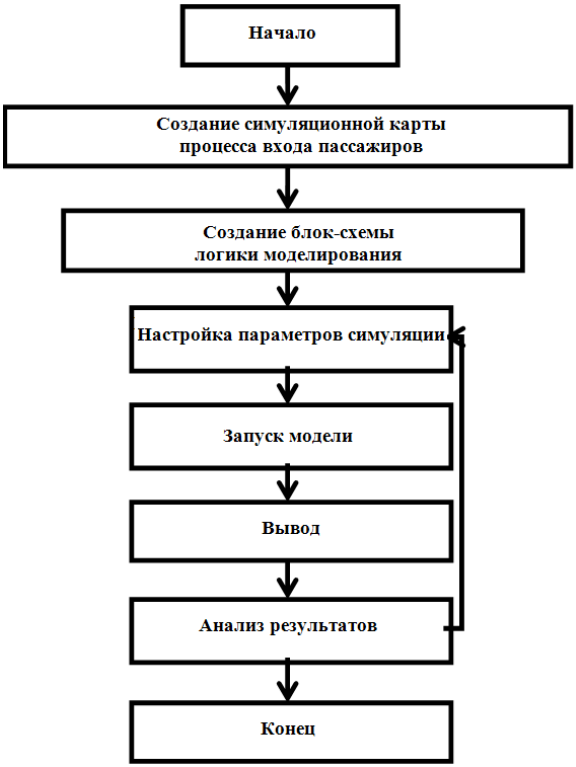


Рисунок 5 – Блок-схема построения модели имитационного моделирования AnyLogic очередей пассажиров на железнодорожной станции

Таким образом, предложенные в данной статье методологические подходы к моделированию процессов обслуживания пассажиров в ТПУ позволят в дальнейшем строить более точные модели, учитывающие не только

свойства пассажиропотоков и параметры устройств обслуживание, но и поведение пассажиров в процессе их нахождения в очередях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Сетти, Дж. Р.* Модель симуляции пассажирского терминала / Дж. Р. Сетти, Б. Дж. Хатчинсон // Журнал транспортного инжиниринга. – 1990. – № 4. – С. 517–535.

2 *Такакува, С.* Моделирование симуляции движения людей: анализ пассажиропотока на международных вылетах в аэропортном терминале / С. Такакува, Т. Ояма // Труды IEEE. – 2003. – № 2. – С. 1627–1634.

3 *Чжанг, Ц.* Оптимальные двупороговые политики в очереди M/G/1 с двумя типами отпусков. Оценка производительности / Ц. Чжанг, Р. Г. Виксон, М. Дж. Эниге. – 1997. – 29 (1). – С. 63–80.

4 *Си, Я.* Анализ и оптимизация системы продажи билетов Чэндунского железнодорожного вокзала / Я. Си, Дз. Шу, Х. Ин // Системы услуг и управление услугами, Международная конференция по системам услуг и управлению услугами, 2007.

5 *Ван, М.* Применение теории очередей для характеристики и оптимизации пассажиропотока на досмотре безопасности аэропорта / М. Ван // Журнал прикладной математики и физики. – 2017. – № 05 (09). – С. 48–56.

6 *Чжан, С.* Динамическая симуляция и анализ оптимизации организации пассажиропотоковых маршрутов в Пекинском южном вокзале / С. Чжан // Железнодорожное компьютерное приложение. – 2010. – № 19 (7). – С. 11–14.

7 *Ян, Л.* Оптимизация процесса въезда в железнодорожную пассажирскую станцию / Л. Ян, Цз. Чжун, Ю. Чжан // Китайские железные дороги. – 2019. – С. 45–49.

8 *Дай, Цз.* Оптимизация очередей при въезде в железнодорожную станцию на основе теории очередей и симуляции AnyLogic / Цз. Дай // Железнодорожное компьютерное приложение. – 2018. – № 27 (9). – С. 40–43.

9 *Ся, Б.* Симуляционное исследование оптимизации пассажирских объектов и потоковых маршрутов в крупных высокоскоростных железнодорожных станциях / Б. Ся // Чэнду : Южно-западный железнодорожный университет, 2015. – С. 21–27.

10 *Цинь, Л.* Исследование метода оценки и рационального проекта распределения оборудования для проверки билетов в крупных узловых железнодорожных станциях / Л. Цинь // Пекин : Пекинский железнодорожный университет, 2008. – С. 83–88.

11 *Цзян, Я.* Исследование распределения количества оборудования для продажи билетов и досмотра безопасности в высокоскоростных железнодорожных станциях / Я. Цзян // Чанша : Центрально-южный университет, 2013. – С. 72–78.

A. A. EROFEEV, HE HONG

GENERALIZED MODEL OF PASSENGER SERVICE AT TRANSPORT HUBS

The relevance of modeling passenger flows at transport hubs is determined. The process of passenger service at the entrance to transport hubs is formalized. Possible types of passenger service queues are identified, and service phases are systematized depending on the type. Analytical dependencies for determining passenger queue times are established. A flowchart for modeling passenger flows at transport hubs is proposed.

Получено 01.11.2025