

T. A. VLASIUK, A. N. BELOUS

**EXPERIENCE IN USING INFORMATION
NAVIGATION FOR PASSENGERS AT RAILWAY STATIONS
IN COUNTRIES WESTERN EUROPE**

We consider the use of various types of information navigation at railway stations in Western Europe, which reflect the location of the main objects at the station, stopping point, for example, ticket offices, waiting rooms, places of embarkation and disembarkation of passengers, etc., which greatly simplifies their orientation when traveling. This is especially important for foreign citizens visiting a foreign country for the first time and traveling without a guide or interpreter. The classification and brief description of information navigation is presented, taking into account the distinctive features.

Получено 02.11.2020

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2020**

УДК 656.21:004.414.23

А. К. ГОЛОВНИЧ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
golovnich_alex@mail.ru*

С. П. ВАКУЛЕНКО

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
post-iuit@bk.ru*

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ
ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ
ПАССАЖИРСКИХ ОБУСТРОЙСТВ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ**

Рассматриваются проблемы наглядного и реалистичного отражения пассажиропотоков на трехмерной модели пассажирских обустройств пассажирской станции. В условиях сложной и разветвленной сети перемещения пассажиров, особенностей формирования точек зарождения и погашения потоков за пределами границы вокзального комплекса пассажирской станции воспроизведение всех операций, выполняемых с пассажирами на пассажирских обустройствах модельной пассажирской станции, представляется сложной, неоднозначной в своем решении задачей. Предлагается ряд принципиально новых позиций, формирующих адекватную реальности среду трехмерного моделирования технологии работы пассажирских обустройств пассажирской станции.

Введение. Пассажирская станция с точки зрения воспроизведения выполняемых операций в соответствующей трехмерной модели является специфическим отдельным пунктом с пассажирскими устройствами для обслуживания пассажиров. Посадка и высадка пассажиров являются основными и наиболее сложными для визуализации операциями, которые выполняются на пассажирской станции. Продолжительность этих операций определяется высотой пассажирских платформ. В зависимости от мощности пассажиропотока проектируются схемы с одним или двумя приемоотправочными путями у пассажирской платформы. Маршруты движения пассажиропотоков проходят по тоннелям, мостам, конкорсам, перронам с выходом в пассажирское здание и на привокзальную площадь к остановочным пунктам наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ) и метрополитена.

Модельная реконструкция операций в границах только пассажирской станции оказывается неполной из-за исключения областей зарождения и погашения потоков, которые находятся за пределами непосредственной её границы. Поэтому рассматривается возможность моделирования работы пассажирских устройств пассажирской станции как системы транспортного обслуживания, включающей комплекс устройств и сооружений всего транспортно-пересадочного узла (ТПУ). С этих позиций модельное пространство пассажирской станции не ограничивается путевым развитием приемоотправочных парков и характеристиками пассажирских платформ, а включает вокзал, привокзальную площадь и остановочные пункты различных видов НГПТ и метрополитена в пределах пешей доступности от пассажирской станции. Такой полный охват комплекса пассажирских устройств и сооружений позволит более эффективно моделировать работу пассажирской транспортной системы с возможностью последующего анализа и оценки качества транспортного обслуживания.

Общая схема визуализации пассажиропотоков. Отражение технологических процессов обслуживания пассажиропотоков на пассажирской станции в 3D-модели неотделимо от наглядного и реалистичного способа визуализации перемещения пассажиров. На примере рисунка 1 определим основные маршруты движения пассажиров и способы их графического представления при перемещении к посадочным платформам и остановочным пунктам различных видов городского транспорта.

В зависимости от плотности пассажиропотока можно представить условными графическими образами, групповыми или индивидуальными аватарами, определяющими соответственно группу пассажиров или персонажирующего пассажира в отдельности. Низкая или высокая плотности пассажиропотоков указывает на интенсивность движения пассажиров ниже или выше средней за расчетное время.

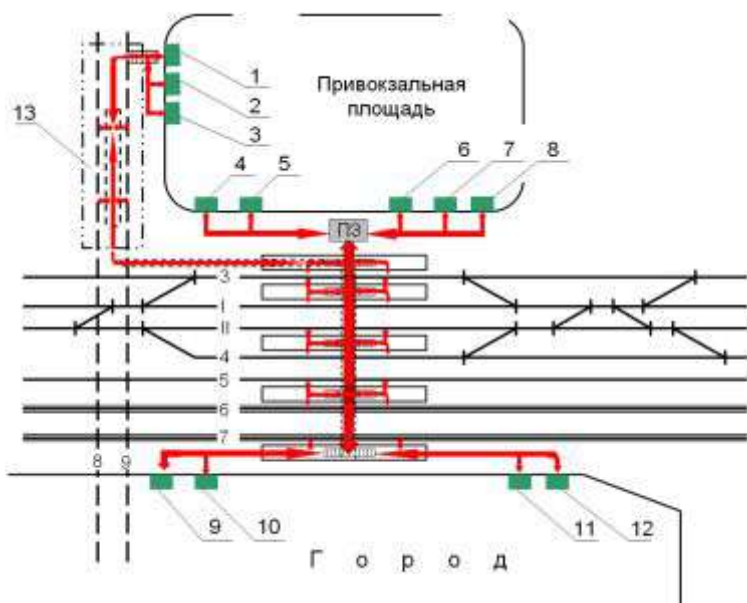


Рисунок 1 – Маршруты движения пассажиропотоков в узле взаимодействия различных видов транспорта с пассажирскими обустройствами пассажирской станции при использовании инфраструктуры: путевого развития: I, II, 3–5 – пассажирской станции; 6–7 – городского трамвая; 8–9 – линии метро; сооружений: 1–12 – остановочных пунктов автобусов, троллейбусов, маршрутных такси; 13 – станции метрополитена

Аватарная реконструкция движения пассажиров по выделенным маршрутам отражается цветовыделяющими геометрическими примитивами с определенной текстурой и соответствующими пиктограммами (рисунок 2).

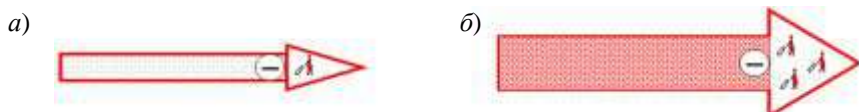


Рисунок 2 – Пиктографические конструкции пассажиропотоков различной плотности: а – низкой; б – высокой

Знак \ominus у основания стрелки является графической кнопкой компьютерного изображения и указывает на скрытое содержание атрибутов визуально представляемого потока. Кроме текстуры из большого числа точек пассажиропоток высокой плотности дополняется изображением на стрелке пиктограмм трех пассажиров, для низкой плотности – одного пассажира. При нажатии данной кнопки изображение меняется на \oplus с выдачей информационной панели, содержащей текущие признаки идентифицируемого объекта (рисунок 3).

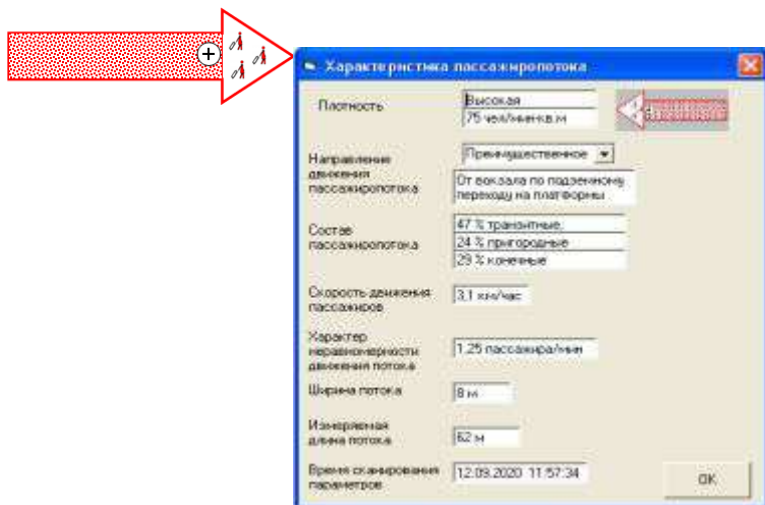


Рисунок 3 – Параметры выделенного пассажиропотока

Все параметры пассажиропотока оцениваются в конкретный момент времени санирования, так как они постоянно изменяются из-за влияния различных факторов (расписания по прибытию и отправлению пассажирских поездов, метрополитена, трамваев, автобусов и др.). Данные по потокам могут быть необходимы не только в точках погашения, но и разделения (например, для рисунка 1 – при выходе части пассажиров от основного потока, перемещающегося по туннельному переходу, на посадочные платформы к поездам и городскому трамваю).

Для формирования полной картины распределения и движения пассажиропотоков в пересадочном узле требуется получать все данные по подходу транспортных средств НГПТ к остановочным пунктам, числу пассажиров во всех транспортных средствах, целям поездок. Чем полнее и точнее такая информация, тем достовернее будет смоделированный пассажиропоток. Динамическое компьютерное отображение перемещения пассажиров в границах транспортных потоков представляется как реконструкция движущихся информационных волн от областей зарождения до погашения пассажиропотоков. Визуально перемещения пассажиров в области потока (*потоковой зоне*) отражаются как множественное движение текстурных красных точек (см. рисунок 2) от основания стрелки к ее вершине.

Все потоковые зоны распадаются на целый ряд отдельных корреспонденций пассажиров, движущихся навстречу друг другу от одного пункта зарождения к другому пункту погашения потока (рисунок 4).

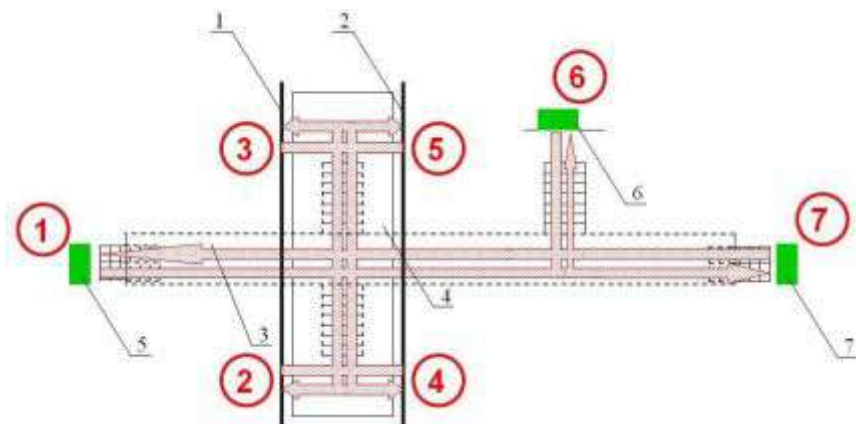


Рисунок 4 – Композиционная структура связи в точках зарождения и погашения пассажиропотоков узла взаимодействия по элементам инфраструктуры: 1, 2 – путей пассажирской станции; 3 – подземного перехода; 4 – пассажирской платформы; 5–7 – остановочных пунктах городского транспорта; ①-⑦ – пунктах зарождения и погашения пассажиропотоков

Для данной потоковой зоны формируется соответствующая матрица (таблица 1), значения которой m_{ij} определяют количество пассажиров, перемещающихся из точки i зарождающегося потока в точку j погашаемого потока.

Таблица 1 – Матрица пассажиропотоков

Номер	1	2	3	4	5	6	7	Итого
1	-	$m_{1,2}$	$m_{1,3}$	$m_{1,4}$	$m_{1,5}$	$m_{1,6}$	$m_{1,7}$	O_1
2	$m_{2,1}$	-	$m_{2,3}$	$m_{2,4}$	$m_{2,5}$	$m_{2,6}$	$m_{2,7}$	O_2
3	$m_{3,1}$	$m_{3,2}$	-	$m_{3,4}$	$m_{3,5}$	$m_{3,6}$	$m_{3,7}$	O_3
4	$m_{4,1}$	$m_{4,2}$	$m_{4,3}$	-	$m_{4,5}$	$m_{4,6}$	$m_{4,7}$	O_4
5	$m_{5,1}$	$m_{5,2}$	$m_{5,3}$	$m_{5,4}$	-	$m_{5,6}$	$m_{5,7}$	O_5
6	$m_{6,1}$	$m_{6,2}$	$m_{6,3}$	$m_{6,4}$	$m_{6,5}$	-	$m_{6,7}$	O_6
7	$m_{7,1}$	$m_{7,2}$	$m_{7,3}$	$m_{7,4}$	$m_{7,5}$	$m_{7,6}$	-	O_7
Итого	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	

Сумма значений по каждой строке $O_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n m_{ij}(t)$ характеризует величину пассажиропотока в конкретной точке зарождения в момент времени t . Погашаемый поток Π_i рассчитывается посредством введения поправки на время достижения i -й точки пассажирами с любой j -й точки зарождения потока. Если необходимо определить мощность погашаемого потока в i -й точке в момент времени t , то нужно в каждой j -й точке определить поток, сформировавшийся в адрес конкретной i -й точки во время

$(t - t_{дв(j,i)})$, где $t_{дв(j,i)}$ – время, необходимое для перемещения пассажиров из точки j в точку i . Тогда расчетный погашаемый поток в j -й точке определится как $\Pi_j = \sum_{i=1, i \neq j}^n m_{ij} (t - t_{дв(j,i)})$.

В общем случае все пассажиропотоки в узле взаимодействия следует рассматривать как единую потоковую зону, в которой пассажиры могут перемещаться между любыми областями зарождения и погашения потоков. Установленные цели движения пассажиров позволят сформировать *полную матрицу потоков* и трансформировать ее в соответствующую визуализированную графическую конструкцию, накладываемую на динамическую 3D-станцию. Наиболее наглядной подобная картина представляется в ракурсе вида сверху, приближенном к плановому образу (по примеру рисунка 1).

При разработке трехмерной модели пассажирских устройств пассажирской станции потоковую зону следует рассматривать как особый объект проектирования, не детализируемый до уровня визуализации каждого пассажира в отдельности, если плотность пассажиропотока выше предельно низкой. В потоковой зоне выделяется группа пассажиров, объединенная по признаку общности маршрута передвижения. Эта группа называется *рекомбинантной* и в 3D-интерпретации представляется как некоторое облако точек определенного цвета, перемещаемое в заданном направлении. Визуально каждая рекомбинантная группа отделяется от соседней границы с различной насыщенностью цвета в соответствии с плотностью потока. Если смежные рекомбинантные группы потоковой зоны имеют одинаковую плотность, то они различаются оттенками красного и желтого цветов. Скорость перемещения облака точек соразмерна с реальной скоростью движения пассажиропотока.

Потоковая зона перемещения пассажиров имеет области взаимного проникновения рекомбинантных групп, которые обладают сложной структурой потока (рисунок 5).

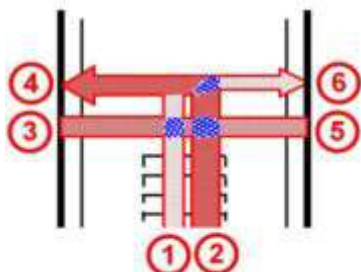


Рисунок 5 – Взаимодействия рекомбинантных групп в контролируемых зонах контакта пассажиропотоков

После слияния двух потоков в общий некоторое время наблюдается относительно устойчивое движение этих потоков без перемешивания. Эти области называются *пост-транзитивными*. Скорость движения потоков на выходе из данных областей уменьшается.

В указанных областях сложного взаимодействия возникают зоны слияния, разделения и пересечения потоков, которые называются конфликтными точками соответственно 1, 2 и 3-го родов (КТ-1, КТ-2, КТ-3). Для выделенных шести точек зарождения и погашения пассажиропотоков (см. рисунок 5) формируются конфликтные позиции 1, 2 и 3-го родов (соответственно $P_{КТ-1}$, $P_{КТ-2}$, $P_{КТ-3}$), идентифицируемые при взаимодействии следующих потоков $m_{i,j}$:

$$\begin{aligned} P_{КТ-1}: m_{3,6} \wedge m_{2,6}; m_{5,1} \wedge m_{3,1}; m_{5,4} \wedge m_{2,4}; \\ P_{КТ-2}: m_{2,6} \wedge m_{2,4}; m_{3,6} \wedge m_{3,1}; m_{5,4} \wedge m_{5,1}; \\ P_{КТ-3}: m_{3,6} \wedge m_{5,4}; m_{3,6} \wedge m_{2,4}; m_{5,4} \wedge m_{2,6}. \end{aligned} \quad (1)$$

Конфликтные точки первого рода характеризуются слиянием двух потоков в один общий. Визуально в этой области наблюдается смешение исходных цветов потоков с формированием нового, не наблюдавшегося в первоначальных рекомбинантных потоках. Конфликтные точки второго рода определяются расщеплением общего потока и формированием двух или более обособленных потоков с различными цветами визуального отражения каждого из возникающих потоков. Конфликтные точки третьего рода являются наиболее сложными в модельной реализации, в которой следует отражать специфичные позиции процесса разведения различных потоков, обеспечивающие взаимопроникновение их друг через друга. При значительных интенсивностях пересекающихся пассажиропотоков проектируют маршруты пересечения в разных уровнях (в данной статье структуры высокой плотности потоков не рассматриваются). Если потоки встречаются в одном уровне (как рассматривается в примере рисунка 1), то визуально в модели данная область отражается как мигающая с переходом от цвета одного потока к цвету другого.

Область слияния потоков. Для представленных на рисунке 5 схем движения пассажиров определим позиции конфликтных точек. Слияние потоков $P_{КТ-1}$ определено первой строкой выражения (1). Зоны соответствующих конфликтных точек определены на рисунке 6.

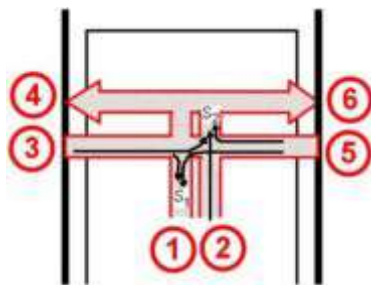


Рисунок 6 – Зоны конфликтных точек слияния потоков рекомбинантных групп

Точка слияния S_1 характеризуется соединением двух потоков $m_{3,1} \wedge m_{5,1}$, а S_2 – при движении трех потоков $m_{5,4} \wedge (m_{2,6} \leftrightarrow m_{2,4}) \wedge m_{3,6}$. Следует указать, что в действительности точка S_2 формируется на месте встречи четырех потоков (на это указывает элемент записи $m_{2,6} \leftrightarrow m_{2,4}$), однако совпадающее направление движения пассажиров $m_{2,6}$ и $m_{2,4}$ в точке слияния S_2 не требует пока выделения этих потоков как обособленных.

Такая необходимость возникнет позже при подходе к соответствующей точке разделения этих потоков. Технологически различий между слиянием двух и трех потоков не наблюдается. При этом мощности соответствующих подводящих потоков могут быть таковы, что в результате суммарные потоки в точках слияния $M_{S_2} < M_{S_1}$.

Область разделения потоков более сложна в технологическом и иллюстративном аспектах. При слиянии две рекомбинантные группы теряют свои индивидуальные признаки в небольшой по размерам и быстро исчезающей посттранзитивной зоне. Разделение потоков визуализируется с определенным перестроением пассажиров при подходе к области конкретной специализации движения. Данная зона называется *предтранзитивной*, функционирующей более длительную время и распространяющей свое влияние на большее пространство, чем посттранзитивная зона слияния потоков (рисунок 7).

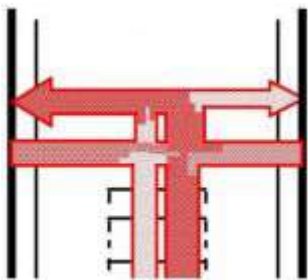


Рисунок 7 – Зоны конфликтных точек разделения потоков в предтранзитивной зоне рекомбинантных групп

Предтранзитивная зона всегда формируется при подходе к точкам разделения потоков. Облако соответствующих точек, идентифицирующих пассажиропоток, хаотически турбулентно ускоряется в своем движении, определяя разделяющиеся потоки на достаточном расстоянии от точек разделения. Чем более плотные пассажиропотоки разделяются, тем большая по длине пред-транзитивная зона ожидается. Если мощности разделяющихся потоков R_1 и R_2 выше некоторого предельного уровня, то предтранзитивную зону целесообразно проектировать как специальный маршрут прохода пассажиров общего потока $R_1 + R_2$, который «мягко» разделяется на определенной длине транспортного буфера $L_{R_1+R_2}$.

Область пересечения потоков. Размер области пересечения потоков не имеет выраженных границ. Ее начало определяется завершением пост-транзитивной зоны, конец – встречными маршрутами одиночных пассажиров (рисунок 8).

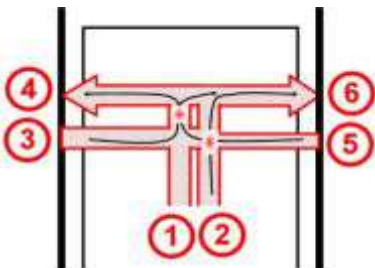


Рисунок 8 – Зоны конфликтных точек пересечения потоков рекомбинантных групп

Вероятной формой области пересечения потоков является эллипс с ориентированной большой полуосью в направлении более мощного потока. Если пересекаются потоки C_1 и C_2 с одинаковой интенсивностью, то форма области будет близка к круговой с уменьшением вероятности пересечения маршрутов от центра к периферии.

Для примера рисунков 5, 6 общий вид взаимодействующих потоков представлен на рисунке 9 и таблице 2.

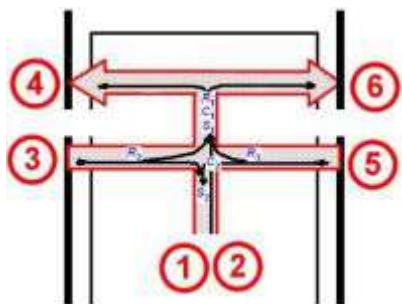


Рисунок 9 – Точки слияния (S_i), разделения (R_i) и пересечения (C_i) потоков

Таблица 2 – Контактные точки слияния, разделения и пересечения взаимодействующих потоков

Потоки	m_{24}	m_{26}	m_{31}	m_{36}	m_{51}	m_{54}
m_{24}	-	R_1	н	$S_1 R_1 C_1$	C_2	S_1
m_{26}		-	н	S_1	C_2	$S_1 R_1 C_1$
m_{31}			-	R_2	S_2	н
m_{36}				-	н	$S_1 R_1 C_1$
m_{51}					-	R_3
m_{54}						-
н – независимые потоки.						

Приведенная симметричная матрица включает только существующие потоки между фиксированными областями зарождения O_i и погашения Π_j потоков. Благодаря этому размерность данной матрицы по сравнению с исходной (см. таблицу 1) существенно сокращается. Независимые потоки, как правило, не соприкасаются, но в определенных случаях могут взаимодействовать (при узких проходах для пассажиров, случайных переходах пассажиров из одного потока в другой).

Моделирование движения пассажиров в потоке с незначительной интенсивностью. Если плотность пассажиропотока рекомбинантной группы переходит в зону предельно низкой, то движение пассажиров моделируется с использованием индивидуальных аватаров. Путь каждого пассажира может быть показан с помощью соответствующего спрайтового изображения, представляющего собой анимационный образ человека, перемещающегося в потоковой зоне в соответствии с целью поездки. Если движение пассажира прослеживается от пункта зарождения потока, к которому он принадлежит, до области его погашения в пределах пересадочного узла, то моделируется *экстракомпонентный пассажиропоток*. При фиксации аватарных конструкций только в пределах пассажирских обустройств пассажирской станции визуализируется *интрокомпонентный пассажиропоток*. За пределами границ пассажирских обустройств пассажирской станции интрокомпонентный пассажиропоток формируется по правилам моделирования информационных объектов с высокой плотностью пассажиров в виде облака точек.

Выводы. Операции посадки-высадки пассажиров и их перемещение по установленным маршрутам движения потоков достаточно сложно представить на динамической 3D-модели пассажирских обустройств пассажирской станции. Необходимость учета неравномерности пассажиропотоков, наличия многочисленных областей их слияния, разделения, пересечения, детализации потока до уровня реконструкции каждого пассажира формируют общее проблемное поле корректной модельной реконструкции технологических операций, производимых на пассажирской станции. В статье обозначен целый ряд принципиальных позиций, которые в своем большинстве носят постановочный характер и требуют проведения дополнительных исследований. В числе важных вопросов следующие:

- целесообразно определить уровень предельно низкой плотности пассажиропотока, при которой целесообразно переходить к проектированию индивидуальных аватаров;
- требуется разработать шкалу хроматических визуализаторов пассажиропотоков различной плотности и при их смещении;
- важно исследовать пост- и предтранзитивные зоны и определить их эффективные размеры;
- особый интерес представляют параметры транспортного буфера, «подготавливающего» разделение потока на составляющие, которые должны зависеть от плотностей общего и разделяющих потоков;

– для потоковых зон пассажирских обустройств пассажирских станций должны быть разработаны эффективные схемы перемещения потоков (аналогично рисункам 6–9 и таблице 2), обеспечивающие минимальные пересекающиеся по мощности потоки;

– наличие каких-либо демонстрационных модельных имитаций движения пассажиропотоков на пассажирских обустройствах станции позволило бы экспертно протестировать возникающие реконструктивные ситуации и оценить степень их адекватности операциям, производимым на реальной пассажирской станции.

Решение этих и других вопросов позволит создать среду трехмерного моделирования состояний пассажирских обустройств с оценкой загрузки соответствующих областей и получить рекомендации по совершенствованию качества обслуживания пассажиров на пассажирских обустройствах пассажирской станции в частности и в переса-дочном узле в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Головнич, А. К. Концептуальные основы разработки трехмерных компьютерных моделей железнодорожных станций : [монография] / А. К. Головнич – Гомель, БелГУТ, 2019. – 199 с.

2 Головнич, А. К. Специфика отражения объектного пространства трёхмерных моделей станций / А. К. Головнич // Мир транспорта. – № 6 (79). т. 16. М. : МГУПС Императора Николая II, 2018. – С. 6–13.

3 Вакуленко, С. П. Моделирование пассажиропотоков в ТПУ / С. П. Вакуленко, В. В. Доенин, Н. Ю. Евреенова // Мир транспорта. – 2014. – № 4 (53). – С. 124–131.

4 Вакуленко, С. П. Транспортно-пересадочные узлы: организация пассажиропотоков : учеб. пособие / С. П. Вакуленко, В. В. Доенин, Н. Ю. Евреенова. – М. : РУТ (МИИТ), 2017. – 116 с.

5 Вакуленко, С. П. Применение математических моделей для моделирования объектов транспортной инфраструктуры / С. П. Вакуленко, В. В. Доенин, Н. Ю. Евреенова, М. А. Ефремова / Безопасность движения поездов : Тр. XVI научно-практической конференции 29–30 октября 2015 г., Москва, МИИТ. Разд. 7 «Культура безопасности, организация производственного процесса». – 2005. – С. VII-30–VII-32.

A. K. GOLOVNICH, S. P. VAKULENKO

COMPUTER VISUALIZATION TECHNOLOGICAL OPERATIONS FUNCTIONING 3D-MODEL PASSENGERDEVICES OF PASSENGER STATION

The problems of realistic reflection passengerstreams on 3D-model of passenger station. We observe the complex and ramified network of moving the passengers, features of formation points origin and points disappear of flows outside border of passenger station. The reproduction all operation is represented by a difficult and ambiguous problem. The new positions form adequate system to a reality 3D-modeling technology of passenger station.

Получено 25.09.2020