

# ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫЕ УЗЛЫ - ОСНОВА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Вакуленко С.П., Евреенова Н.Ю.

Российский университет транспорта (МИИТ)

post-iuit@bk.ru, nevreenova@mail.ru

*Аннотация: В данной работе рассмотрена концепция создания транспортно-пересадочных узлов как основных элементов транспортной инфраструктуры, позволяющих использовать преимущества различных видов транспорта, обеспечивающих качественную и доступную услугу пассажирам, используя опыт создания и тенденции формирования транспортно-пересадочных узлов в России и за рубежом.*

Ключевые слова: транспортно-пересадочный узел, мультимодальные пассажирские перевозки, моделирование.

## Введение

Важнейшим элементом транспортной инфраструктуры, обеспечивающим взаимодействие видов транспорта, осуществляющих пассажирские перевозки, являются транспортно-пересадочные узлы (ТПУ).

В настоящее время большинство сформированных ТПУ расположено в точках пересечения наложенных друг на друга транспортных сетей различных видов транспорта. Такое расположение часто не соответствует оптимальной системе их формирования исходя из потребности освоения корреспонденций пассажиропотоков взаимодействующих видов транспорта. Необходимо формировать сеть размещения ТПУ, в первую очередь учитывая корреспонденции пассажиропотоков в пределах транспортных коридоров на рассматриваемых направлениях, а затем формировать транспортную сеть с учётом возможного использования видов транспорта, учитывая их технические, технологические, стоимостные, скоростные и другие преимущества при обосновании выбора.

Возникает необходимость развития транспортной инфраструктуры с учётом и на базе формирования современных транспортно-пересадочных узлов, составляющих в перспективе основу мультимодальных пассажирских перевозок.

## 1 Обзор литературы

Описать транспортные процессы, происходящие в ТПУ и промоделировать его пассажиропотоки, позволяют математические модели, главная задача которых – определение и прогнозирование параметров функционирования транспортной системы, учитывая качество реализуемых транспортных процессов.

Решение задач моделирования пассажиропотоков объектов транспортной инфраструктуры рассмотрены в работах: Доенина В.В. [1-2], Т. Ю. Константиновой [3], Сорокина А. А. [4], Б. И. Торопова [5], Д. Хелбинга [6-7], В.В. Холщевникова [8] и др.

Математические модели, применяемые для анализа транспортных систем, весьма разнообразны по математическому аппарату, используемым данным и степени детализации описания движения пассажиропотоков.

Модели перемещения пассажиров подразделяются на макроскопические, где моделируется поведение потока в целом, но не моделируется поведение отдельных пешеходов, и микроскопические, где моделируется поведение отдельных пассажиров и в которых каждый пешеход представлен отдельным элементом.

Практически во всех разработанных за последние годы моделях использовались физические законы для моделирования движения пешеходов, сводя их перемещение к движению элементарных частиц. В газокINETической модели движение пешеходов рассматривается как движение молекул в разжиженном газе. Точная скорость и положение пешеходов-молекул неизвестны, но известно распределение частиц, исходя из уравнения Больцмана.

ГазокINETическая модель [6] наиболее распространенная в области моделирования процессов перемещения пассажиров и пешеходов, однако, она является идеализированным представлением для дискретного потока объектов, не являющихся малыми частицами, и не может эффективно применяться для анализа поведения конкретных транспортных систем. С её помощью невозможно исследование взаимодействия частиц (например, отдельных пассажиров), движущихся внутри

потока (общего потока пассажиров) с различными скоростями, выполняющими различные манёвры (обгон, перестроение, повороты и т. д.).

В моделях, использующих дискретное пространство (клеточные автоматы) [9] – пространство представляется сеткой, в каждой ячейке, которой может поместиться только один пешеход, движение моделируется за счет перехода пешеходов между клетками по определенным правилам. Поток объектов рассматривается как случайный процесс перемещения дискретного множества частиц. Для реализации этих моделей на основе использования теории систем массового обслуживания или имитационного моделирования необходим обширный статистический материал, характеризующий свойства пассажиропотока, получение которого, как правило, и составляет одну из главных трудностей исследования. Как и в первом варианте, здесь нет возможности для учёта индивидуальных свойств объектов, особенностей их поведения, различных вариантов управления каждым из объектов в отдельности и т.д. Преимуществом клеточных автоматов являются: простые локальные правила, быстрые вычисления, хорошая калибровка.

В модели социальных сил [7] для описания движения пешеходов используют Ньютоновскую механику, а силы порождаются социальными взаимодействиями. Модель социальных сил имеет хорошее приближение к реальным условиям, реалистичную анимацию, дополнена логикой принятия решений более высокого уровня, чем в моделях с дискретным пространством.

В магнитной модели (модель притягивающих сил) [10] пассажиры или пешеходы представляются в виде электрических зарядов, находящихся в магнитном поле. Пешеходы и препятствия – положительные заряды, а цели движения – отрицательные заряды. Пешеходы движутся к цели и избегают столкновений. На каждого пешехода воздействуют две силы. Первая — магнитная сила, определённая в законе Кулона, которая зависит от величины электрического заряда пешехода и расстояния между пешеходом и целью его движения. Вторая сила действует на пешеходов с целью предотвращения столкновений с другими пешеходами или препятствиями посредством использования ускорения.

Кроме того, известны модели, использующие теорию очередей для описания движения пассажиров или пешеходов в терминах вероятностных функций, а также расчетные модели, в которых большая часть параметров разово рассчитывается на основании данных практического эксперимента, составляются таблицы зависимости этих параметров от числа пешеходов и размеров помещения.

ТПУ – сложная система, состоящая из дискретного множества элементов (пассажиров), перемещающихся в дискретном пространстве в дискретные моменты времени, и при этом каждый элемент (пассажир) может автономно, независимо от других принимать решение о том, что необходимо сделать на следующем шаге, исходя из анализа своего собственного поведения или состояния всей среды (ТПУ) в целом на данном шаге. Такая система не может быть смоделирована с помощью магнитной, газокинетической или других перечисленных выше моделей. Необходимы другие принципы, учитывающие, что в основе организации движения пассажиропотоков и перемещения пассажиров лежат логические зависимости. Этим принципам больше всех соответствует транспортная модель, разработанная д.т.н., профессором В.В. Доениным и построенная на логико-разностных подходах [1-2].

## **2 Современные тенденции формирования ТПУ за рубежом**

В зарубежной практике ТПУ накоплен богатый опыт создания многофункциональных комплексов. Примеры таких ТПУ можно увидеть в Европе, странах Азии, в США.

Комплексная реконструкция транспортной инфраструктуры, проводимая в Японии в последние годы, позволила достигнуть глубокой интеграции систем внешнего (межрегионального), регионального железнодорожного, автомобильного и городских видов пассажирского транспорта путем формирования ТПУ. Подобный подход является основным и реализуется в составе практически всех крупных градостроительных разработок. Основное планировочное решение крупных ТПУ Японии различных типов – ТПУ с единым распределительным уровнем, расположенным в надземном или подземном пространстве.

Примером удачного решения по формированию ТПУ является сооружение и ввод в эксплуатацию нового Центрального железнодорожного вокзала в Берлине (Hauptbahnhof). Вокзал имеет пять ярусов и сооружен в месте пересечения в разных уровнях двух многопутных железнодорожных линий, пути которых вместе с пассажирскими платформами образуют два самостоятельных перронных парка.

Формирование ТПУ путем строительства многоуровневого транспортно-пересадочного комплекса (ТПК) характерно и для ТПУ США. Примером такого ТПК служит Большой Центральный вокзал Нью-Йорка. В транспортно-пересадочном узле г. Кембридж осуществляется пересадка пассажиров с конечной станции метрополитена на междугородные автобусные маршруты.

В Великобритании в результате реконструкции старинное здание лондонского вокзала Сент-Панкрас превратилось в многофункциональный ТПК с ресторанами, магазинами, фермерским рынком и пятизвездочным отелем, связанный сразу с 6 линиями лондонской подземки и железнодорожным вокзалом Кингз-Кросс. Главным условием, обеспечивающим комплексу деловую и коммерческую привлекательность, остается удобство пассажиров, доступность всем видам транспорта и высокая скорость пересадки.

Во Франции (Страсбург) ТПУ - точка пересечения сети главных национальных железнодорожных линий, региональной сети и ряда городских транспортных систем. Трамвай прибывает к ТПУ в подземном уровне, автобусы – на уровне земли.

Анализ развития ТПУ в Великобритании, Германии, США, Франции, Японии и ряде других стран, позволяет сделать вывод об общей тенденции в их формировании – увеличении доли сервисной и торговой составляющей ТПУ. Основными решениями, усиливающими коммерческую составляющую ТПУ, являются:

- увеличение коммерческих площадей ТПУ, используемых для оказания сервисных и торговых услуг;
- расширение набора сервисных услуг, не связанных с перевозочным процессом.

К основным мировым тенденциям развития ТПУ относят:

- создание современных многофункциональных ТПК, координирующих работу систем транспортных коридоров и обеспечивающих взаимодействие различных видов транспорта на всех его территориальных уровнях;
- интеграция железнодорожного транспорта с системой скоростного внеуличного транспорта (метрополитен, скоростной трамвай и т.д.) за счёт размещения вестибюлей метрополитена внутри ТПУ, сформированных на базе железнодорожных вокзалов;
- рост функциональности существующих ТПУ и обеспечение пассажиров не только необходимым комплексом транспортных услуг, но целым рядом сервисных, бизнес-услуг (Берлин, Сеул, Пекин, Кембридж);
- вовлечение ТПУ в проекты комплексного развития территорий города в зоне их влияния;
- увеличение доли частных операторов в управлении ТПК в европейских и азиатских странах;
- реконструкция и развитие ТПУ за рубежом обычно проходят в вертикальной и горизонтальной плоскостях и предполагают строительство многофункциональных транспортно-пересадочных комплексов; создание пешеходных галерей, соединяющих основные пункты тяготения пассажиропотоков, входящих в состав ТПУ; изменение параметров основных элементов ТПУ;
- оптимизация организации коммерческой деятельности за счёт правильной организации функционального пространства ТПУ.

Зарубежный опыт формирования ТПУ показывает, что такие проекты не только обеспечивают высокую пропускную способность и комфорт пассажиров, а также транспортных средств, но и являются успешной моделью организации и реорганизации городской среды в важнейших точках крупных городов мира.

### **3 История и перспективы формирования и развития ТПУ в России**

Транспортная проблема крупных городов России остается одной из острейших. Современные крупные города развиваются столь стремительными темпами, что их транспортная инфраструктура не успевает развиваться и трансформироваться такими же темпами в соответствии с ростом количества жителей и рабочих мест, создающихся в городе и ближайших пригородах. Одним из способов решения этой проблемы является выработка рациональной структуры и технологии функционирования ТПУ. Формирование сети ТПУ в крупных городах России включает в себя следующие этапы развития.

Первый этап связан с экономическим развитием в России её ж.-д сообщения, со строительством новых ж.-д. линий и развитием городов. Начало формирования системы ТПУ было положено с

началом строительства (1843 г.) и ввода в эксплуатацию (1851 г.) магистральной железной дороги Санкт-Петербург – Москва. В период с 1851 по 1902 год были построены все существующие ныне вокзалы крупных городов России (включая 9 вокзалов Москвы, которые с некоторыми изменениями существуют до настоящего времени), Транссибирская магистраль, соединившая европейскую часть страны и Урал с Дальним Востоком. Первые ТПУ формировались как узлы, в которых обеспечивалась пересадка с внешнего (магистрального транспорта, в большинстве случаев ж.-д.) на городской транспорт.

Второй этап связан с развитием в России скоростного внеуличного городского транспорта. С момента открытия первой линии метрополитена (в Москве в 1935 году) можно вести отсчёт интенсивного развития ТПУ, и именно с этого момента ТПУ стали обретать свой нынешний вид. Чуть позже линии метрополитена были открыты в Ленинграде (Санкт-Петербурге) (1955), Нижнем Новгороде (1985), Новосибирске (1986), Самаре (1987), Екатеринбурге (1991) и Казани (2005). Одновременно идёт интенсивная электрификация железных дорог и развитие пригородных перевозок в крупных узлах с формированием сети остановочных пунктов и пассажирских зонных станций с пассажирскими платформами, вокзалами и павильонами для обслуживания пассажиров их высадки, посадки и пересадки на другие виды транспорта, в том числе наземный пассажирский транспорт (НПТ), включая скоростные его виды (трамвай, монорельс и др.).

Третий этап – современный этап, связан с интенсивным развитием в России крупных и крупнейших городов и их пригородов. Если первые два этапа связаны с процессом технического и технологического развития транспорта, то начало третьего этапа обусловлено в основном причинами экономического, социального и градостроительного характера. ТПУ превращаются в современные многофункциональные ТПК (транспортно-пересадочные комплексы), в состав которых стали входить не только инфраструктура взаимодействующих видов транспорта и инфраструктура ТПУ, но и торговые, сервисные центры, гостиницы и т.д.

Развитие транспортных систем, их адаптация к условиям рынка приводит к необходимости качественного изменения функций и структуры ТПУ, которая обусловлена двумя основными причинами:

- необходимостью предоставления пассажиру качественно нового уровня транспортных услуг, а также сервисных услуг различного профиля пассажиру и посетителю, с целью повышения конкурентоспособности массовых общественных видов пассажирского транспорта перед индивидуальным;
- исчерпанием в городах территориальных ресурсов для одноуровневого развития транспортных сетей и их инфраструктуры в целом, а также инфраструктуры ТПУ.

Результатом вышеописанных этапов исторического развития транспортной инфраструктуры стали формирующиеся сегодня ТПУ в крупных городах России.

В настоящее время в транспортных узлах крупных городов России сложилась и действует достаточно обширная сеть ТПУ различных видов. Основные ТПУ сформированы и продолжают формироваться, главным образом, вблизи общегородских центров, в центре города, в местах размещения вокзальных комплексов различных видов пассажирского транспорта. Формирование ТПУ обусловлено закономерностями комплексной организации пересадочного процесса.

#### **4 Моделирование пассажиропотоков транспортно-пересадочного узла**

В процессе моделирования пассажиропотоков транспортно-пересадочного узла выделим шесть этапов со следующей последовательностью реализации:

- сбор исходных данных для имитационного моделирования (планировочные решения ТПУ, структура и размеры пассажиропотоков, число билетных касс, турникетных линий и т.д.);
- формализованное описание пассажиропотоков ТПУ, формируемых в моделируемом пространстве;
- построение имитационной модели для конкретного варианта планировочного решения ТПУ и конкретных размеров пассажиропотоков;
- проведение необходимого числа модельных испытаний на имитационной модели для обеспечения требуемой точности результатов моделирования;
- определение рациональных характеристик обслуживания пассажиропотоков;
- рационализация планировочных решений ТПУ.

Апробация разработанного подхода к моделированию пассажиропотоков, возникающих в пространстве транспортно-пересадочного узла, выполнена на примере ТПУ «Тимирязевская» Московского транспортного узла.

В пространстве ТПУ «Тимирязевская» формируются 34 различных видов пассажиропотоков, разделенные на три группы: исходящий пассажиропоток  $W_i$  – пассажиры, достигшие пункта назначения и имеющие цель выйти из ТПУ; входящий пассажиропоток  $V_i$  – пассажиры, имеющие проездные документы и, войдя на территорию ТПУ, сразу следующие на пересадку; входящий пассажиропоток  $C_i$  – пассажиры, которым необходимо приобрести проездные документы, войдя на территорию ТПУ, и направляющиеся к кассам. Формализованное описание пассажиропотока  $V^u$  (пассажиры с проездными документами, следующие с эскалатора к входу на пассажирскую платформу) будет иметь вид:

$$(1) \frac{V_i^{ub}}{q_0^b} BST \frac{V_i^{ub}}{q_0^b}; \frac{V_i^{ub}}{q_0^b} Tl_1 R \frac{V_i^{us}}{q_0^s}; \frac{V_i^{us}}{q_0^s} Kl_1 L \frac{V_i^{ux}}{q_0^x}; \frac{V_i^{ux}}{q_0^x} BST \frac{V_i^{ux}}{q_0^x}; \frac{V_i^{ux}}{q_0^x} C_f EX \frac{V_i^{ux}}{q_0^x};$$

$$\frac{V_i^{ux}}{q_0^x} B(d)ST(d) \frac{V_i^{ux}}{q_0^x}; \frac{V_i^{ux}}{q_0^x} TU(c)TU(o) \frac{V_i^{ut}}{q_0^t}; \frac{V_i^{ut}}{q_0^t} TU(o)ST \frac{V_i^{ut}}{q_0^t}.$$

где  $b$  – фаза движения пассажира от эскалатора до первого поворота направо;

$Tl_1$  – линия, за которой пассажир поворачивает направо;

$s$  – фаза движения пассажира после поворота до первого поворота налево;

$Kl_1$  – линия последней кассы, за которой пассажир поворачивает налево к какому-то из турникетов  $TU_z$ ;

$x$  – фаза движения пассажира после поворота до турникета  $z$ ;

$t$  – фаза движения пассажира после прохода турникета  $z$ ;

$C_f$  – пассажиры кассы  $f$ , образующие очереди у входа к платформам пригородных поездов;

$TU(c)$ ,  $TU(o)$  – турникеты закрытый и открытый соответственно (открытие турникета происходит при приближении пассажира).

Имитационная модель транспортно-пересадочного узла построена с использованием отечественного профессионального пакета имитационного моделирования AnyLogic 7 University (образовательная версия). При её построении была активно задействована пешеходная библиотека AnyLogic, в которой пассажиры движутся в непрерывном пространстве, реагируя на различные виды препятствий в виде стен и других пассажиров.

Для выбора рациональных параметров ТПУ в качестве регулируемых параметров использовались – число билетных касс и число турникетов, управляющее воздействие – изменение сочетаний числа касс и турникетов. Критерий оценки – число пассажиров, совершивших пересадку за модельное время. Обязательное условие – отсутствие скопления пассажиров в моделируемом пространстве.

Результаты моделирования первоначального варианта планировочного решения приведены на рисунке 1.

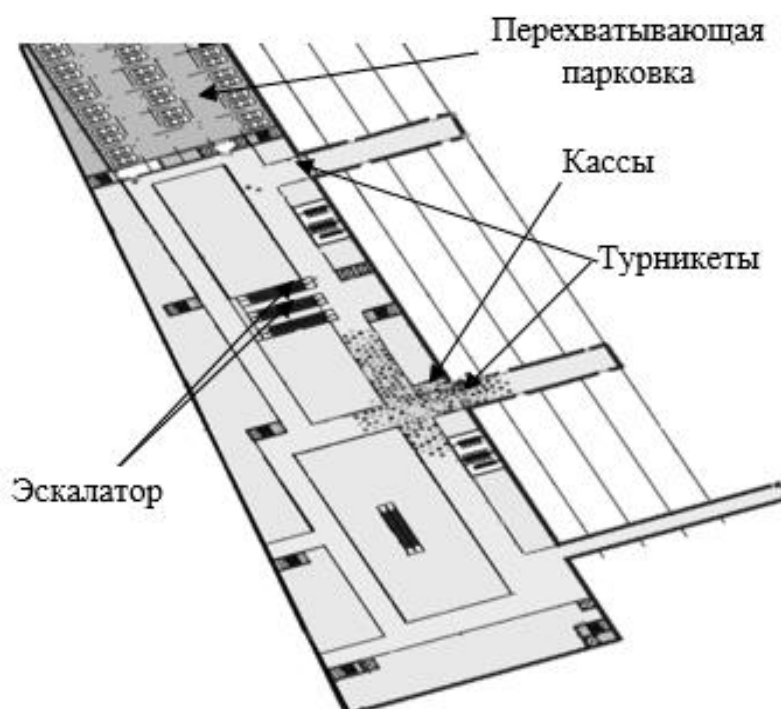


Рис. 1. Результаты моделирования для первоначального варианта планировочного решения

Увеличение числа билетных касс и турникетов без изменения планировки не позволило развязать пассажиропотоки – маршруты перемещения и нахождения пассажиров, выстраивающихся в очередь к кассам, пересекаются с маршрутами перемещения и нахождения пассажиров, выстраивающихся в очередь к турникетам. Принимая это во внимание, произведена перепланировка ТПУ: изменено расположение билетных касс; перенесена зона расположения залов ожидания. Вариантом, обеспечивающим пересадку максимального числа пассажиров за модельное время, после перепланировки оказался вариант со следующими параметрами: число билетных касс – 3; число турникетов – 6. На рисунке 2 приведены результаты моделирования для рационализированного варианта планировочного решения.

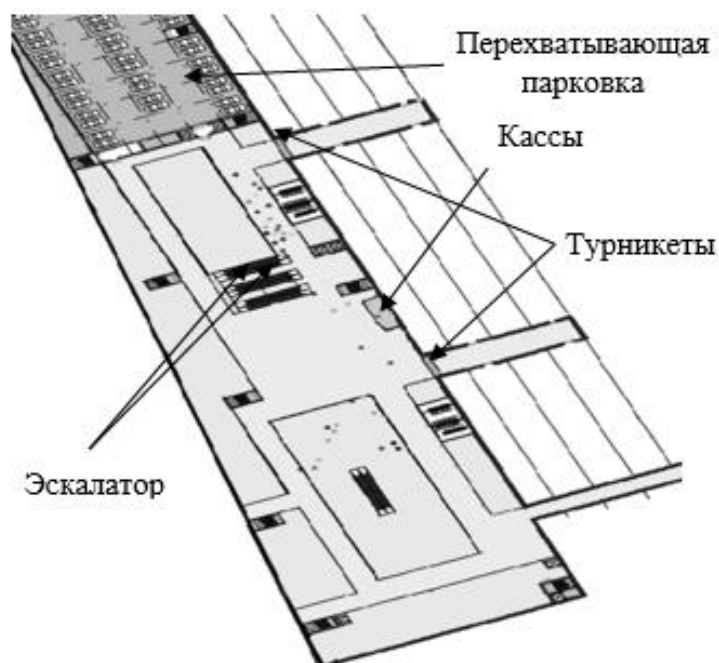


Рис. 2. Результаты моделирования для рационализированного варианта планировочного решения

Используя данный подход можно, изменяя внешние параметры ТПУ (размер пассажиропотока, расписание движения видов транспорта, взаимодействующих в ТПУ, скорость движения пассажиров и их размеры, время нахождения пассажиров в залах ожидания пригородного сообщения) выбирать рациональные внутренние параметр ТПУ (число билетных касс, турникетов, планировочное решение ТПУ и т.д.).

## 5 Концепция формирования и развития ТПУ

Анализ нормативной и проектной документации, содержащей планировку существующих территорий ТПУ, показал, что многие узлы не отвечают современным требованиям по обеспечению быстрой, безопасной и комфортной пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой. Большинство ТПУ не приспособлено для перемещения маломобильных групп населения.

Для реализации планов и проектов реконструкции и формирования системы современных ТПУ необходима разработка единой нормативной документации, включающей обязательные требования к их составу, планировочным параметрам, пропускной способности отдельных объектов.

В рамках Концепции формирования и развития мультимодальных ТПУ необходима проработка следующих ключевых вопросов:

- порядок определения границ ТПУ с учетом использования потенциала существующих проектно-планировочных решений;
- порядок определения состава ТПУ (по функциональным зонам, объектам и элементам) с учетом современных требований по обеспечению комфортных и безопасных условий при пересадке пассажиров на другие виды транспорта, а также прогнозируемого пассажиропотока;
- порядок определения оптимального размера и функционального состава коммерческих площадей для повышения инвестиционной привлекательности ТПУ;

- требования к благоустройству территорий ТПУ с учетом комплексных планов развития регионов их нахождения;
- формирование укрупненных технико-экономических показателей функционирования ТПУ, отражающих их эффективность;
- разработка методики выбора оптимального варианта формирования и развития транспортно-пересадочного узла;
- порядок обоснования инвестиций в создание ТПУ.

Также необходимо особое внимание уделять функциональным, экономическим и технологическим аспектам их строительства, схемам взаимодействия с регионами.

Необходимо тщательно прорабатывать вопрос финансирования проектов создания и развития ТПУ на всех уровнях: федеральном, региональном и местном, учитывая бюджет государства, региона, города. При формировании ТПУ должен быть найден баланс между комфортом пассажира и доходами частных инвесторов. Так как создание ТПУ – социально важный проект, его реализация должна быть осуществлена на принципах государственно-частного партнерства.

## 6 Формирование транспортно-пересадочных узлов московской агломерации

В рамках программы развития транспортной инфраструктуры Московского региона реализуется проект, основными целями которого являются: перераспределение пассажиропотока для организации более равномерной загрузки транспортной системы Москвы, создание для пассажиров альтернативных вариантов осуществления поездок.

При формировании ТПУ Московской агломерации возможна планировка ТПУ в двух вариантах. Первый – предусматривает создание «плоскостного» ТПУ (рис. 3) со следующими мероприятиями: строительство и реконструкция в ТПУ объектов транспортного назначения («перехватывающие» парковки, отстойно-разворотные площадки, пассажирские платформы и т.д.); покрытие посадочных перронов навесами, защищающими пассажиров от атмосферных осадков; упорядочение объектов мелкорозничной торговли в ТПУ; создание пространственно-функциональной взаимосвязи между отдельными элементами ТПУ и т.д.

Второй подход подразумевает строительство многоуровневых ТПУ (рис. 4), обеспечивающих комфортные условия пересадки с одного вида транспорта на другой (например, железная дорога – метрополитен) или в пределах транспортной сети одного вида транспорта (например, с одного железнодорожного направления на другое).

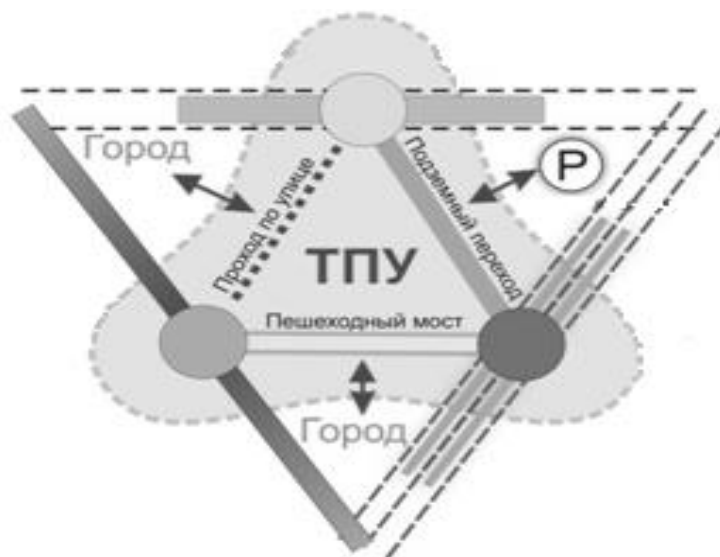


Рис. 3. Схема «плоскостного» транспортно-пересадочного узла

Каждый уровень такого ТПУ имеет свою специализацию и объединяет все его основные элементы: основные и дополнительные пешеходные пути; пассажирские залы ожидания; посадочные перроны; «перехватывающие» парковки и т. д. Для обеспечения инвестиционной привлекательности такого объекта в составе ТПУ необходимо размещение коммерческих объектов. Вопрос размещения, состава и размера коммерческих площадей ТПУ должен прорабатываться с

целью реализации основной его социальной задачи – обеспечение максимально комфортной пересадки пассажиров с минимальными затратами времени.

При формировании ТПУ для обеспечения удобной и комфортной пересадки пассажиров необходимо изменение существующего взаимного расположения устройств по обслуживанию пассажиров.

Оптимизация структуры площадей в целях максимизации доходности ТПУ при одновременном выполнении условий удовлетворения потребности пользователей к обслуживанию позволит: определить необходимые размеры операционных площадей; увеличить до максимально возможного уровня доли коммерческих площадей; снизить до минимально необходимого уровня доли служебных площадей, выделенных для служб ТПУ и для организаций, занимающих территорию на безвозмездной основе.

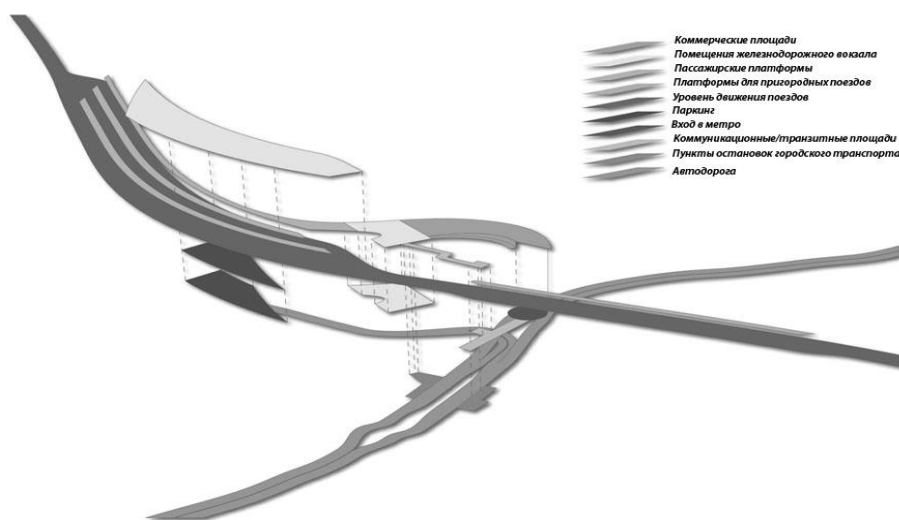


Рис. 4. Схема многоуровневого транспортно-пересадочного узла

Оценку эффективности планировочных решений, формируемых ТПУ и ТПК в Московской агломерации, можно провести с помощью имитационного моделирования на основе данных о пассажиропотоках методом многокритериальной системы оценок, в котором каждому критерию работы ТПУ и ТПК (длина очереди, общее время пересадки, кратчайшее расстояние пересадки, состав и размер проектируемых площадей ТПК и т.д.) присваивается коэффициент, который соответствует «весу» данного параметра в итоговом значении оценки эффективности рассматриваемого варианта.

Предложенный подход моделирования пассажиропотоков, возникающих в пространстве транспортно-пересадочного узла, можно использовать при проведении экспертизы предпроектных и проектных решений сооружения и развития ТПУ для их научно обоснованной оценки. Возможно использование основных положений концепции формирования и развития ТПУ в программах и проектах развития транспортной инфраструктуры.

Создание сети мультимодальных ТПУ улучшит уровень транспортного обслуживания Московского мегаполиса; вызовет увеличение доли населения, пользующегося общественным транспортом; сократит время, затрачиваемое пассажирами на поездки, что позволит повысить уровень социального обслуживания жителей города Москвы и его пригородов, сделать их привлекательнее для финансовых вложений; улучшить экологию.

Анализируя результаты выполненного исследования, можно рекомендовать для выбора параметров транспортно-пересадочных узлов использовать интеллектуальные системы моделирования пассажиропотоков, с помощью которых можно выполнять экспертизу предпроектных и проектных решений формирования и развития ТПУ.

## Литература

1. Доенин В.В. Моделирование транспортных процессов и систем. – М.: Изд. «Компания Спутник +», 2012. – 288 с.
2. Доенин В.В. Логико-разностные модели транспортных процессов. – М.: Изд. «Компания Спутник +», 2008. – 276 с.



3. *Константинова Т.Ю.* Методы и средства оптимизации режимов работы устройств станций и узлов метрополитена: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Константинова Татьяна Юрьевна. – Санкт-Петербург, Петербургский государственный университет путей сообщения, 2006. – 177 с.
4. *Сорокин А.А.* Моделирование городских пассажирских перевозок: дисс. канд. экономических наук: 08.00.13 / Сорокин Анатолий Александрович. – Ставрополь, Ставропольский государственный университет, 2005. – 198 с.
5. *Торопов Б.И.* Развитие пассажирских комплексов на основе закономерностей формирования пассажиропотоков: дисс. канд. технических наук: 05.22.00 / Торопов Борис Иванович. – Киев, Киевский институт железнодорожного транспорта, 2000. – 154 с.
6. *Helbing D.* Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations, Pedestrian and Evacuation Dynamics Springer-Verlag / D. Helbing // New York, 2002. pp. 21-58.
7. *Helbing D.* Social force model for pedestrian dynamics / D. Helbing // Physical review E, May 1995.
8. *Холщевников В.В.* Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дисс. д-ра. технических наук: 05.23.10 / Холщевников Валерий Васильевич. Москва, Московский инженерно-строительный институт, 1983. – 486 с.
9. *Burks Arthur W.* Essays on Cellular Automata [Text] / Arthur W. Burks // University of Illinois Press, 1970.
10. *Mehran R.* Abnormal Crowd Behavior Detection using Social Force Model [Text] / R. Mehran, A. Oyama, M. Shah // IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Miami, 2009.