ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ

П.И. Козлов, Д.Н. Власов*

*Научно-исследовательский и проектный институт Генерального плана города Москвы
(НИПИ Генплана Москвы), 125047, г. Москва, ул. 2-я Брестская, д. 2/14;*

**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается способ оценки качества транспортных решений, принимаемых в транспортно-пересадочных узлах (ТПУ). Проведен анализ отечественной нормативной документации и зарубежного опыта по данной теме. Особое внимание уделено исследованию пешеходных потоков в пересадочных комплексах интермодальных ТПУ.

Целью исследования считается разработка комплексного оценочного критерия Level of Service по аналогии с зарубежной практикой.

Авторами статьи предлагается использовать теорию массового обслуживания с элементами теории графов, методик и закономерностей, лежащих в основе применяемого при планировании и размещении ТПУ в США показателя уровня обслуживания — Level of Service, а также данные натурных обследований, проведенных методом видеофиксации пешеходных потоков.

В ходе натурных обследований планируется провести анализ внешних и внутренних факторов, влияющих на образование и состав пешеходного потока, определить количественные значения основных параметров пешеходного потока (плотность, скорость, интенсивность) и закономерности их изменения в зависимости от конструктивных особенностей среды пешеходного движения.

Определение показателей качества обслуживания пассажиров в ТПУ позволит разработать интегральный критерий на основе Level of Service, с учетом специфики функционирования ТПУ России, а также методологию, позволяющую осуществлять к примеру, обоснованный выбор комбинаций конструктивных элементов и планировочных параметров объектов пешеходного движения, что сделает возможным снижение затрат на строительство и эксплуатационных расходов при размещении пересадочных комплексов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: качество обслуживания пассажиров, транспортная инфраструктура, транспортно-пересадочный узел, пешеходный поток, теория массового обслуживания

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Козлов П.И., Власов Д.Н. Оценка параметров качества обслуживания пассажиров в транспортно-пересадочных узлах // Вестник МГСУ. Т. 12. Вып. 5 (104). С. 529–536. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.529-536

PASSENGER SERVICE QUALITY PARAMETERS ASSESSMENT AT TRANSPORT INTERCHANGE HUBS

P.I. Kozlov, D.N. Vlasov*

*Research and Project Institute of Moscow City Master Plan of (NiPI of the General Plan of Moscow),
2/14 2nd Brestskaya str., Moscow, 125047, Russian Federation;*

**Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGU),
26 Yaroslavlshoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

ABSTRACT. The article discusses a quality assessment method for transport decisions made in transport interchange hubs. Analysis of domestic regulatory documentation and international experience on this subject is performed. It is stated that the domestic regulatory documentation lacks such method of assessment. Special attention is paid to study of pedestrian flows in interchange complexes of intermodal transport interchange hubs.

The aim of the study is development of the Level of Service comprehensive assessment criterion by analogy with the international practice.

The authors propose to use the queueing theory with elements of the theory of graphs, techniques and regularities that underlie the Level of Service (service factor applied in planning and location of TIH in the USA) as well as data from field surveys carried out by the pedestrian flows video detection method.

During the field surveys it is planned to perform analysis of external and internal factors influencing the formation and composition of a pedestrian flow, to determine quantitative values of the main parameters of pedestrian flow (density, speed, intensity) and regularities of their variation depending on the design features of pedestrian traffic environment.

Determination of passenger service quality factors in TIH will help to develop an integral criterion based on the Level of Service, taking into account the specifics of TIH functioning in Russia as well as a methodology that allows a reasonable choice of combinations of structural elements and planning parameters of pedestrian traffic objects which will let to reduce construction costs and operating costs for location of interchange complexes.

KEY WORDS: passenger service quality, transport infrastructure, transport interchange hub, pedestrian flow, queueing theory

FOR CITATION: Kozlov P.I., Vlasov D.N. Otsenka parametrov kachestva obsluzhivaniya passazhirov v transportno-peresadochnykh uzлах [Passenger Service Quality Parameters Assessment at Transport Interchange Hubs]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 5 (104), pp. 529–536. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.529-536

Повышение уровня урбанизации явилось мощным импульсом для развития системы транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) в нашей стране. На территории РФ проектирование ТПУ осуществляется посредством разработки проекта планировки территории — основного градостроительного документа, позволяющего совершить переход от концепции территориального развития к детальной проработке и реализации основных задач по повышению комфортности городской среды.

Совокупность ТПУ РФ имеет трехуровневую структуру с характерными для каждого уровня целями и задачами функционирования. Так, узлы макроуровня функционируют в масштабах всей страны, обеспечивая транспортную целостность территорий, узлы мезоуровня обеспечивают движение пассажиропотоков на территориях агломераций и регионов, микроуровень системы формируется из отдельных ТПУ, основной задачей которых является обеспечение нормативных показателей качества обслуживания пассажиров и повышение общей привлекательности систем пассажирского транспорта.

Главной целью реконструкции ТПУ является качественный рост уровня обслуживания пассажиров и повышения комфортности среды обитания в городе.

При разработке проекта планировки ТПУ первоочередной задачей является удовлетворение потребностей в доступе для пассажиров и транспорта

со своими уникальными установками и характеристиками. В основе всех реконструируемых и вновь формируемых ТПУ нашей страны используются три направления планировочного развития.

Реконструктивно-организационный метод представляет собой комплекс локально-реконструктивных мероприятий, наиболее эффективными из которых являются: уменьшение или полная ликвидация объектов мелкорозничной торговли, выделение обособленных площадей для перронов наземного пассажирского транспорта, устройство пешеходных галерей для обеспечения защиты пассажиров от погодных явлений, организация упорядоченной парковки индивидуального транспорта или полное его запрещение. Положительной стороной метода является относительно невысокая стоимость внедрения комплекса реконструктивных мероприятий, однако стоит отметить, что на качество обслуживания пассажиров в узле их реализация существенного влияния не окажет.

Метод приоритетного развития объектов транспортной инфраструктуры подразумевает строительство в узле только объектов транспортной инфраструктуры — перехватывающих стоянок, здания пересадочного комплекса с залами ожидания для пассажиров и билетными кассами, а также обеспечение их взаимосвязи с элементами ТПУ; кроме того планировочное решение узла также включает в себя весь комплекс или часть мероприятий реконструктивно-организационного мето-

Рис. 1. Система ТПУ Российской Федерации

да. Данный метод решает исключительно комплекс транспортных проблем и не предусматривает интеграцию культурно-бытовых и досуговых объектов в планировочную структуру ТПУ.

Строительство пересадочного комплекса предусматривает строительство в узле пересадочного комплекса с развитыми системами пешеходных связей и информационного обеспечения, позволяющими обеспечить комфортное взаимодействие основных элементов транспортной инфраструктуры с объектами торгово-бытового и социального обслуживания пассажиров. Строительство пересадочного комплекса в ТПУ также предполагает новое строительство или реконструкцию объектов транспортной инфраструктуры не входящей в состав пересадочного узла.

Основным результатом реализации первых двух методов является улучшение транспортного обслуживания пассажиров на прилегающей территории. Формирование пересадочных узлов, имеющих в своем составе пересадочные комплексы, рассматривается как один из элементов устойчивого развития территорий городов и агломераций. Размещение в узле объектов социальной инфраструктуры и торговли, имеющих высокую доступность для всех групп населения, что обеспечивается развитой транспортной инфраструктурой, быстро превращают такие ТПУ в основные фокусы тяготения. Интенсивное развитие территории приводит к росту пешеходных потоков в узле и необходимости оценки качества обслуживания его пассажиров.

Поэтому особое внимание стоит уделить механизму оценки эффективности принимаемых транспортных решений при разработке проектов таких узлов. В частности оценке качества условий пешеходного движения как важнейшего показателя формирования комфортной среды на территории ТПУ.

Проблема организации комфортных условий для передвижения пешеходных потоков как в зданиях и сооружениях, так и вне их всегда оставалась одной из сложнейших градостроительных задач. С.В. Беляевым, В.М. Предтеченским и А.И. Ми-

линским в середине XX века были заложены первые нашей стране научно-методические основы их изучения, в зарубежном научном сообществе можно выделить работы таких ученых, как Р. Юинг, Р. Чарльз, Дж.Дж. Фруйн. Указанные исследования в большей степени решают задачи обеспечения надлежащих условий для работы и отдыха людей и их безопасной своевременной эвакуации в зданиях массового назначения, не располагающих функцией пересадки [1, 2]. Процессы, происходящие при формировании и функционировании пешеходных потоков в интермодальных пересадочных комплексах, остаются малоизученными, что затрудняет оценку эффективности их транспортной составляющей [3].

В отечественной нормативной документации в настоящее время нет комплексного критерия, представляющего из себя четко структурированную систему показателей качества и методик их оценки, который бы использовался на всех этапах (планирование, проектирование, эксплуатация) существования пересадочного узла [4].

При попытке формирования такого критерия немаловажным шагом было проведение анализа зарубежной методической документации по данной тематике. В США при выборе расположения ТПУ и планирования доступа к ним используется показатель уровня обслуживания (Level of Service — LOS) [5]. LOS оценивает разные виды движения и доступа, опираясь при этом на четкую иерархию, приоритет в которой отдается комфорту и безопасности пешеходного движения. В концепции LOS среда пешеходного движения делится на три основных объекта (пешеходные дорожки, зоны ожидания и лестничные сходы), каждый из которых имеет собственную градацию уровней обслуживания, методику расчетов и набор критериев оценки движения с конкретными численными показателями (табл. 1).

Такая система позволяет эффективно реализовывать главную цель планирования доступа — обеспечение оптимального уровня обслуживания

Табл. 1. Нормы уровней обслуживания пассажиров в среде пешеходного движения LOS [5]

Уровень обслуживания	Лестничные сходы		Зоны ожидания		Пешеходные дорожки		
	Пешеходное пространство, м ² /пеш.	Поток в сечении, пеш./м/мин	Среднее пешеходное пространство, м ² /пеш.	Среднее расстояние между людьми, м	Пешеходное пространство, м ² /пеш.	Средняя скорость, м/с	Поток в сечении, пеш./м/мин
A	>1,9	>1,6	>1,2	>1,2	>3,25	1,32	0...2,1
B	1,4...1,9	1,6...2,3	0,9...1,2	1,0...1,2	2,3...3,25	1,26	2,1...3,0
C	0,9...1,4	2,3...3,3	0,7...0,9	0,9...1,0	1,4...2,3	1,21	3,0...4,6
D	0,7...0,9	3,3...4,3	0,3...0,7	0,6...0,9	0,9...1,4	1,14	4,6...6,0
E	0,4...0,7	4,3...5,6	0,2...0,3	<0,6	0,5...0,9	0,76	6,0...7,6
F	<0,4	Варьируется	<0,2	Варьируется	<0,5	<0,76	Варьируется

пассажиры в периоды самой большой активности. Для тротуаров и лестничных сходов такие периоды соответствуют утренним часам «пик». Для зон ожидания самыми тяжелыми периодами являются вечерние «пиковые» часы.

Главное достоинство такого подхода — при минимальном количестве оценочных критериев имеется возможность в кратчайшие сроки собирать и оценивать необходимые данные на всех этапах жизненного цикла пересадочного узла. Недостатком же представляется проблематичность применения данного показателя в отечественных условиях без соответствующей апробации.

Для выработки отечественных оценочных критериев и методики получения исходных данных необходимо иметь представление о пешеходном потоке в ТПУ как о некой идеальной модели, базирующейся на фундаменте специализированной математизированной теории. Рассмотрим основные существующие современные модели пешеходного движения, подразделяющиеся на пять основных типов.

1. **Модели на основе физических сил**, где пешеходы представлены в виде простых частиц, подчиняющихся основным физическим законам, например газ-кинетическая модель, представляющая пешеходов в виде молекул газа. Скорость и положение пешеходов в данном случае заменяется статическим распределением частиц по уравнению Больцмана. Преимущества этих моделей в скорости расчетов и простоте среды перемещения. Основными же недостатками является отсутствие возможности выбора у пешехода и определения его параметров как обособленной единицы [6].

2. **Модели на основе теории клеточных автоматов**, где средой перемещения пешеходов является некое подобие сетки, ячейками которой являются некие пространства, вмещающие не более одного пешехода; движение между такими ячейками строго подчиняется заданному алгоритму перехода. Другими словами действия пешехода в составе потока доведены до автоматизма и исключают его адекватную реакцию на резкое изменение параметров среды передвижения [7].

3. Модель движения пешеходов на основе ньютоновской механики, известная как «**модель социальных сил**» Д. Хелбинга. В модели все силы, действующие на толпу, представляются автором в виде физических сил и описываются системой дифференциальных уравнений с множеством численных методов решения. В модель заложены такие особенности поведения пешехода, как выбор кратчайшего пути следования, различия в скорости передвижения в зависимости от индивидуальных параметров, а также соблюдение дистанции в зависимости от плотности потока. Пешеходы в данной модели могут изменять существенным образом параметры своего движения вне зависимости от бли-

жайшего окружения. Также предполагается, что в случае слишком сильного сближения пешеходов будет возникать сила трения, из этого следует, что в данной модели пешеходы в потоке не создают друг другу препятствий [8].

4. Модель на основе **теории массового обслуживания**, в которой пешеходный поток представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов с общим временем и направлением движения. Такое представление больше подходит для обобщенных моделей, позволяя объединить вместе все требуемые параметры. В таких моделях для отображения динамической системы используются фрагменты теории графов, где в виде ребер приняты пути движения, вершинами же заданы места принятия решений. В настоящее время широкого применения теория не получила [9].

5. **Многоагентные модели** — модели, состоящие как бы из двух частей: окружающей среды и множества отдельных элементов системы (агентов/пешеходов) имеющих возможность принятия решений, действия и получения информации из среды. Другими словами, пешеход предстает в таком подходе совершенно обособленной единицей, скорость изменения параметров которой может не совпадать с общим изменением потока в целом, но зависеть от параметров ближайшего окружения [10].

Пассажиропоток в пересадочном комплексе ТПУ представляет собой множество пешеходов, перемещение которых описывается скоростью, временем и направлением движения. Обладая относительно простым набором оценочных критериев и представляясь неким объектом, управляемым внешними условиями пешеходный поток попадает под условия модели движения на основе **теории массового обслуживания**.

Представим движение пешеходного потока внутри пересадочного комплекса ТПУ в виде некой одноканальной системы массового обслуживания (СМО с отказами). Входной поток этой системы будет иметь регулярный характер, так как его интенсивность является заданной функцией от времени. Также следует считать такую систему однофазной с обслуживанием состава входного потока в случайном порядке и за случайный промежуток времени. Граф состояний СМО будет частным случаем графа, описывающего процесс гибели и размножения (рис. 2). Пропускная способность такой СМО будет описываться законом Пуассона

$$A = \lambda Q = \frac{\lambda}{\mu + \lambda},$$

где A — абсолютная пропускная способность системы; λ — интенсивность потока, пасс./ч; Q — относительная пропускная способность, %; μ — пропускная способность конструктивного элемента, пасс./ч.

Движение пешеходного потока в составе ТПУ может быть представлено в виде блок-схемы (рис. 3).

Поскольку пока современные пересадочные комплексы в нашей стране еще только находятся на стадии проектирования, для апробирования и уточнения параметров модели пешеходного движения на сегодняшний день запланировано проведение натурных обследований в системе межстанционных переходов Московского метрополитена — наиболее подходящей по уровню пассажирооборота и набору конструктивных элементов (лестничные сходы, эскалаторы, пешеходные пространства и т.д.) среде¹ [11]. В целях подтверждения теоретических выводов была проведена работа по формированию переходов Московского метрополитена в объекты генеральной совокупности с критерием интенсивности движения пешеходов в «пиковые часы» [12]. В качестве объектов исследования выборкой были определены 11 межстанционных переходов на базе семи станций, охватывающие все доступные комбинации конструктивных элементов переходов, а также все планировочные зоны города (рис. 4). Наблюдение за пешеходными потоками в этих переходах будет проводиться в характерную неделю каждого времени года с 6:00 до 11:00 методом видеосъемки с использованием системы стационарных камер видеонаблюдения, дающих возможность

наблюдения за пассажиропотоками в любой точке станции [13]. Выбор такого временного промежутка позволяет охватить такие виды движения людей, как поточное, беспорядочное, стесненное, свободное, кратковременное, протекающее в нормальных условиях [14, 2].

Основной целью проведения исследований является разработка методики оценки качества планировочных решений по транспортному критерию на всех стадиях существования узла, будь то планирование, проектирование или эксплуатация.

Так как на сегодняшний день нормативной базы, позволяющей оценивать качество пешеходного движения в ТПУ, не существует, то анализ полученных в ходе обследований данных будет проводиться с использованием нормативной документации, используемой при планировании и размещении ТПУ в зарубежной практике с использованием показателя LOS. В ходе натурных обследований планируется провести анализ внешних и внутренних факторов, влияющих на образование и состав пешеходного потока, определить количественные значения основных параметров пешеходного потока (плотность, скорость, интенсивность) и закономерности их изменения в зависимости от конструктивных особенностей среды пешеходного движения. Анализ полученной информации позволит перейти к определению показателей качества обслуживания пассажиров, формированию теоретической и практической базы для исследования пешеходных потоков в пересадочных комплексах

¹ СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений

Рис. 2. Граф состояний СМО: S — пассажирооборот узла, пасс./сут; λ — интенсивность потока, пасс./ч; μ — пропускная способность конструктивного элемента, пасс./ч

Рис. 3. Блок-схема пешеходного потока в составе ТПУ

Рис. 4. Объем выборки в планировочной структуре города

ТПУ, что поспособствует разработке собственного интегрального критерия на основе LOS с учетом специфики функционирования ТПУ России. Появление методологии, позволяющей осуществлять, к примеру, обоснованный выбор комбинаций конструктивных элементов и планировочных параметров объектов пешеходного движения, позволит снизить затраты на строительство и эксплуатационные расходы при размещении пересадочных комплексов, создать механизм оценки эффективности принимаемых планировочных решений, влияющих на качество обслуживания пассажиров.

Разработка комплексного оценочного критерия по аналогии с зарубежным позволит разрабо-

тать отечественную методическую документацию для оценки качества функционирования ТПУ. Теоретической основой исследования будет являться модель пешеходного движения, основанная на теории массового обслуживания. Экспериментальной базой исследования послужат данные системы видеонаблюдения в существующих межстанционных переходах Московского метрополитена. Дальнейшие исследования особенностей пешеходного движения в ТПУ создадут предпосылки для разработки отечественных нормативов, регламентирующих методы оценки качества обслуживания пассажиров на всех уровнях отечественной системы ТПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ewing R. Pedestrian and transit friendly design. Florida International University, 1996.
2. Rivasplata C R. Intermodal transport centers: towards establishing criteria // 20th South African Transport Conference. Meeting the Transport Challenges in Southern Africa. Conference Papers. South Africa, 16–20 July 2001. 408 p.
3. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации людских потоков. М. : Стройиздат, 1979. 375 с.
4. Harney D. Pedestrian modeling: current methods and future directions // Road & Transport Research. 2002. 11 (4). Pp. 2–12.

5. Station site and access planning manual. Washington DC, 2008. Режим доступа: <https://www.wmata.com/initiatives/plans/upload/SSAPM.pdf>.
6. Якимов М.Р. Основные подходы к моделированию движения транспортных потоков // Мир транспорта. 2015. № 4. С. 166–173.
7. Якушкин И.М. Пассажиры на метрополитенах. М.: Транспорт, 1982. 175 с.
8. Fruin J.J. Pedestrian planning and design. New York, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
9. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // Journal de Physique I. 1992. 2 (12). Pp. 2221–2230.
10. Vlasov D., Danilina N. Scientific and methodological basis of development of the park-and-ride facilities in the intermodal transport hubs of Moscow agglomeration // Advanced Materials Research. 2014. Vols. 869–870. Pp. 201–204.
11. Helbin, D., Molnár P. Social force model for pedestrian dynamics // Physical Review E. 1995. Vol. 51. No. 5. Pp. 4282–4286.
12. Власов Д.Н. Структура системы транспортно-пересадочных узлов агломерации // Градостроительство. 2013. № 2 (24). С. 84–88.
13. Bowman B.L., Vecellio R.L. Pedestrian walking speeds and conflicts at urban median locations // Transportation Research Record. 1438 (1994)
14. Михайлов А.Ю., Копылова Т.А. Система критериев оценки транспортно-пересадочных узлов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 7 (102). С. 168–173.
15. Власов Д.Н. Региональные транспортно-пересадочные узлы и их планировочное решение (на примере г. Мацумото, Япония) // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 21–22.
16. Власов Д.Н. Приоритетные направления развития системы транспортно-пересадочных узлов агломерации // Academia. Архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 86–89.
17. Живоглядов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков. Ростов-н/Д: Изв. вузов. Сев.-Кавк. региона, 2005. 1082 с. (Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион)
18. Власов Д.Н., Горелова В.А., Широкая Н.В. Общие аспекты городских проектов развития транспортной инфраструктуры // Academia. Архитектура и строительство. 2014. № 3. С. 1.
19. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / пер. с англ. Е.Г. Коваленко; под ред. И.Н. Коваленко. М.: Мир, 1966. 286 с.

Поступила в редакцию в октябре 2016 г.

Принята в доработанном виде в марте 2017 г.

Одобрена для публикации в апреле 2017 г.

Об авторах: **Козлов Павел Игоревич** — доктор технических наук, профессор, Государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский и проектный институт Генерального плана города Москвы» (ГУП «НИ и ПИ Генплана Москвы»), 125047, г. Москва, ул. 2-я Брестская, д. 2/14, poil_off@mail.ru;

Власов Денис Николаевич — аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, vlasych@mail.ru.

REFERENCES

1. Ewing R. *Pedestrian and Transit Friendly Design*. Florida International University, 1996.
2. Rivasplata C.R. Intermodal Transport Centers: Towards Establishing Criteria. *20th South African Transport Conference. Meeting the Transport Challenges in Southern Africa. Conference Papers. South Africa, 16–20 July 2001*. 408 p.
3. Predtechenskiy V.M., Milinskiy A.I. *Proyektirovanie zdaniy s uchetom organizatsii lyudskikh potokov* [Buildings Design Taking into Account the Organization of Human Flows]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979, 375 p. (In Russian)
4. Harney D. Pedestrian Modeling: Current Methods and Future Directions. *Road & Transport Research*. 2002, 11 (4), pp. 2–12.
5. *Station Site and Access Planning Manual*. Washington DC, 2008. Available at: <https://www.wmata.com/initiatives/plans/upload/SSAPM.pdf>.
6. Yakimov M.R. Osnovnye podkhody k modelirovaniyu dvizheniya transportnykh potokov [Basic Approaches to the Traffic Flows Modeling]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2015, no. 4, pp. 166–173. (In Russian)
7. Yakushkin I.M. *Passazhirskie perevozki na metropolitenakh* [Passenger Transportation on Metro]. Moscow, Transport Publ., 1982, 175 p. (In Russian)
8. Fruin J.J. *Pedestrian Planning and Design*. NY, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
9. Nagel K., Schreckenberg M. A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic. *Journal de Physique I*. 1992, 2 (12), pp. 2221–2230.
10. Vlasov D., Danilina N. Scientific and Methodological Basis of the Development of the Park-and-ride Facilities in the Intermodal Transport Hubs of Moscow Agglomeration. *Advanced Materials Research*. 2014, vols. 869–870, pp. 201–204.
11. Helbin D., Molnár P. Social Force Model for Pedestrian Dynamics. *Physical Review E*. 1995, vol. 51, no. 5, pp. 4282–4286.
12. Vlasov D.N. Struktura sistemy transportno-peresadochnykh uzlov aglomeratsii [Structure of the System of the Agglomeration Transfer Hubs]. *Gradostroitel'stvo* [Urban Planning]. 2013, no. 2 (24), pp. 84–88. (In Russian)
13. Bowman B.L., Vecellio R.L. Pedestrian Walking Speeds and Conflicts at Urban Median Locations. *Transportation Research Record*. 1438 (1994).
14. Mikhaylov A.Yu., Kopylova T.A. Sistema kriteriev otsenki transportno-peresadochnykh uzlov [The System of Criteria for Assessing Transfer Hubs]. *Vestnik Irkutskogo*

gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. 2015, no. 7 (102), pp. 168–173. (In Russian)

15. Vlasov D.N. Regional'nye transportno-peresadochnye uzly i ikh planirovochnoe reshenie (na primere g. Matsumoto, Yaponiya) [Regional Transfer Hubs and Their Planning Concept (on the example of Matsumoto, Japan)]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 6, pp. 21–22. (In Russian)

16. Vlasov D.N. Prioritetnye napravleniya razvitiya sistemy transportno-peresadochnykh uzlov aglomeratsii [Priority Directions of Development of the System of Agglomeration Transfer Hubs]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction]. 2013, no. 3, pp. 86–89. (In Russian)

17. Zhivoglyadov V.G. *Teoriya dvizheniya transportnykh i peshekhodnykh potokov* [Theory of Transport Motion and Pedestrian Flows]. Rostov-na-Donu, Izvestiya vuzov Severo-Kavkazskogo reghiona Magazine Publ., 2005, 1082 p. (In Russian)

18. Vlasov D.N., Gorelova V.A., Shirokaya N.V. Obshchestvennye aspekty gorodskikh proektov razvitiya transportnoy infrastruktury [Public Aspects of Development Projects of the Urban Transport Infrastructure]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction]. 2014, no. 3, pp. 1. (In Russian)

19. Haight F.A. *Mathematical Theories of Traffic Flow*. New York/London, Academic Press, 1963. (Mathematics in Science and Engineering, vol. 7)

Received in October 2016.

Adopted in revised form in March 2017.

Approved for publication in April 2017.

About the authors: **Kozlov Pavel Igorevich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, **Research and Project Institute of Moscow City Master Plan of (NIIPI of the General Plan of Moscow)**, 2/14 2nd Brestskaya str., Moscow, 125047, Russian Federation, poil_off@mail.ru;

Vlasov Denis Nikolayevich — Post-Graduate Student, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, vlasych@mail.ru.