

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №3, Том 10 / 2018, No 3, Vol 10 <https://esj.today/issue-3-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/37SAVN318.pdf>

Статья поступила в редакцию 30.03.2018; опубликована 24.05.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Козлов П.И. Методика формирования комплексного критерия оценки условий движения пассажиров в пространстве закрытых коммуникационных элементов интермодальных транспортно-пересадочных узлов // Вестник Евразийской науки, 2018 №3, <https://esj.today/PDF/37SAVN318.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Kozlov P.I. (2018). Methodology for generating a comprehensive assessment criterion for passenger traffic conditions in the space of roofed communication elements of intermodal transport hubs. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(10). Available at: <https://esj.today/PDF/37SAVN318.pdf> (in Russian)

УДК 711

ГРНТИ 67.25.19

**Козлов Павел Игоревич**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»  
Москва, Россия  
Аспирант  
E-mail: [Poil\\_off@mail.ru](mailto:Poil_off@mail.ru)  
РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=810024](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=810024)

## **Методика формирования комплексного критерия оценки условий движения пассажиров в пространстве закрытых коммуникационных элементов интермодальных транспортно-пересадочных узлов**

**Аннотация.** В статье рассматривается методика оценки пешеходной среды в пространстве закрытых коммуникационных элементов транспортно-пересадочных узлов, чье планировочное развитие осуществляется путем строительства пересадочного комплекса. Автором диссертационного исследования представлен способ оценки пешеходной среды при помощи интегрального критерия, включающего в себя количественные характеристики основных параметров пассажиропотока, по аналогии с методиками, применяемыми в зарубежной градостроительной практике. В рамках исследования автором была разработана модель пешеходного движения в коммуникационной зоне пересадочного комплекса, оценивающая комфортность передвижения пассажиров. В модели реализован вероятностный формат оценки показателей функциональной эффективности структурных элементов коммуникационной зоны. Проведены теоретические расчеты основных параметров пассажиропотока при идеальных условиях движения для всех видов исследуемых коммуникационных элементов с использованием разработанной модели. Ввиду отсутствия подобных сооружений в России на текущий момент, для апробации и уточнения параметров модели был проведен проектный эксперимент в межстанционных переходах Московского Метрополитена. При проведении эксперимента применялся метод видеофиксации с использованием стационарной системы видеонаблюдения Московского метрополитена и методы математической статистики. В результате исследования автором были сформированы четыре уровня обслуживания пассажиров для каждого типа обследуемых коммуникационных элементов и даны рекомендации по практическому применению при расчете необходимой

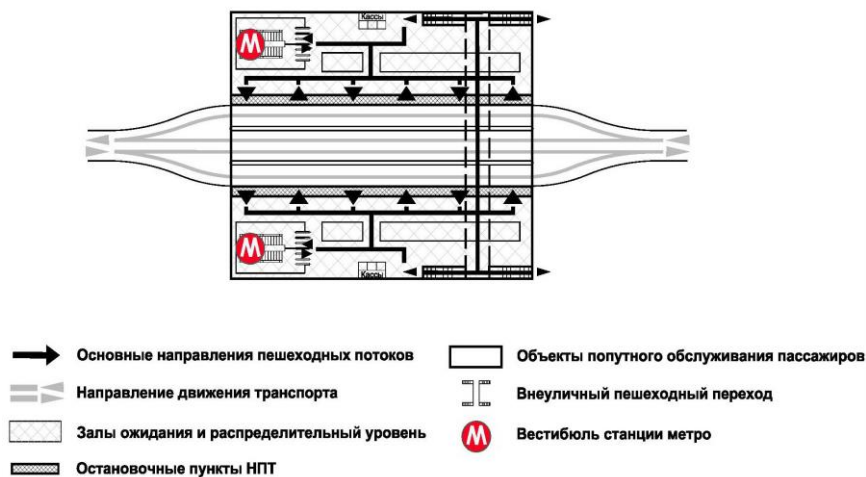
ширины коммуникационных элементов транспортно-пересадочных узлов. Результаты научного исследования могут быть использованы органами государственной власти, управленцами разного уровня в сфере градорегулирования, при разработке отечественной методической документации, для оценки качества функционирования закрытых пешеходных коммуникаций транспортно-пересадочных узлов.

**Ключевые слова:** параметры качества обслуживания пассажиров; транспортная инфраструктура; транспортно-пересадочный узел; коммуникационный элемент

### Введение

В условиях формирования пассажиропотоков высокой интенсивности в крупнейших городах и на фоне дефицита территории под застройку и жестких требований по дальности пешеходного подхода при пересадке между видами транспорта, отечественной градостроительной школой, по аналогии с общемировой практикой, рассматривается возможность планировочного развития транспортно-пересадочных узлов методом строительства пересадочного комплекса [2-4].

Основополагающими условиями, обеспечивающими эффективное функционирование транспортно-пересадочного узла, является возможность обеспечения пересадки пассажиров, пользующихся общественным и индивидуальным транспортом, с максимально возможным комфортом и за минимально возможное время. Максимально обеспечить комфорт пассажиров возможно путем обеспечения пространственно-функциональной взаимосвязи всех основных элементов ТПУ в составе одного единого комплекса, комфортность и время пересадки в таких сооружениях обеспечивается развитой системой пешеходных связей, ядром которой является распределительный пешеходный уровень, называемый также коммуникационной зоной транспортно-пересадочного узла. В коммуникационной зоне ТПУ реализуется основная задача при проектировании системы пешеходных связей узла – распределение пассажиропотоков по направлениям и уровням с минимизацией конфликтов при их пересечении (рис. 1).



*Рисунок 1. Принципиальная схема размещения распределительного уровня пересадочного комплекса [1]*

Основным коммуникационными элементами распределительного уровня ТПУ, обеспечивающим распределение пешеходных потоков и рассматриваемых авторами является система пешеходных галерей, лестничных сходов и внеуличных пешеходных переходов.

Основной проблемой такого пути развития ТПУ в нашей стране является полное отсутствие как самих пересадочных комплексов, так и механизмов, позволяющих оценивать их пешеходную среду с точки зрения качества обслуживания пассажиров.

### Описание исследования

Под качеством обслуживания пассажиров в пространстве коммуникационных элементов пересадочного комплекса в целом и распределительного уровня в частности автором диссертационного исследования понимаются состояние пешеходной среды, при котором для каждого отдельного его участника будут реализованы следующие условия движения:

- возможность движения на всем протяжении участка коммуникационного элемента со скоростью, соответствующей его психофизиологическому состоянию в данный момент времени;
- возможность беспрепятственного обгона пассажиров, движущихся с меньшей скоростью;
- практически исключено соприкосновение с другими пассажирами частями тела или элементами одежды при движении вперед и обгоне;
- возможность свободного выбора направления движения в любой момент времени [5, 7].

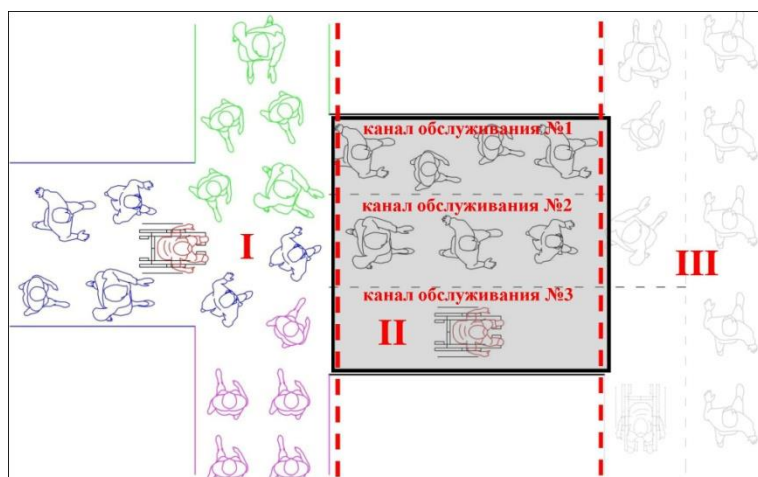
В работе авторами предлагается оценивать пешеходную среду пересадочных комплексов при помощи комплексного интегрального критерия (уровень обслуживания), включающего в себя количественные характеристики основных параметров пассажиропотока, по аналогии с Level off Service (LOS) – методикой, применяемой в США. В качестве основного элемента оценки качества функционирования объектов транспортной инфраструктуры, охватывающий все этапы их жизненного цикла [9, 10, 14].

LOS оценивает разные виды движения и доступа, опираясь при этом на четкую иерархию, приоритет в которой отдается комфорту и безопасности пешеходного движения. Основным достоинством такого подхода – при минимальном количестве оценочных критериев имеется возможность в кратчайшие сроки собирать и оценивать необходимые данные на всех этапах жизненного цикла пересадочного узла. В качестве оценочных критериев авторами работы рассматриваются основные параметры пешеходного потока с учетом их взаимозависимости [11].

Поскольку ранее пешеходное движение в отечественных сооружениях транспортного назначения оценивалось исключительно с точки зрения безопасности и эвакуации, общих условий комфортной посадки пассажиров в ТПУ, а также количественных значений параметров пешеходного потока, предложено не было [6]. В связи с этим авторами работы, на основе теории массового обслуживания, была разработана теоретическая модель движения пассажиропотоков в коммуникационной зоне транспортно-пересадочного узла, получившая выражение через многоканальную систему массового обслуживания, показатель эффективности которой характеризуется количественным значением расчетной вероятности отказа в перемещении пассажира через функциональное пространство структурного элемента коммуникационной зоны.

В модели реализован вероятностный формат оценки показателей функциональной эффективности структурных элементов коммуникационной зоны [5].

Схема математической модели пассажиропотока, как системы обработки заявок на обслуживание, включающая несколько каналов обслуживания (рис. 2).



Условные обозначения:

*I* – зона **формирования** входящего потока; *II* – зона **обслуживания** входящего потока *III* – зона **выходящего** потока.

**Рисунок 2.** Схема математической модели пассажиропотока (разработано автором)

Соответственно, в качестве основного критерия эффективности функционирования системы пересадочного комплекса целесообразно использовать показатель вероятности отказа в обслуживании, или вероятность такого события, когда при подходе пассажира к функциональному пространству рассматриваемого структурного элемента коммуникационной зоны все доступные каналы обслуживания заняты:

$$p(n) = \frac{(I_{\text{ч}} \cdot t_{\text{co}})^n \cdot \frac{1}{n!}}{\sum_{m=1}^n (I_{\text{ч}} \cdot t_{\text{co}})^m \cdot \frac{1}{m!}} \quad (1)$$

разработано автором

где:

$p(n)$  – расчетная вероятность отказа в перемещении пассажира через функциональное пространство структурного элемента коммуникационной зоны (зона **II**, рис. 1), при наличии в системе  $n$  доступных каналов обслуживания;

$t_{\text{co}}$  – среднее время перемещения пассажира.

$n$  – количество каналов обслуживания

$I_{\text{ч}}$  – часовой объем пассажирских перевозок в системе пересадочного комплекса.

На основе данных моделирования авторами были сформированы теоретические условия комфортного передвижения пассажиров в пространстве коммуникационной зоны транспортно-пересадочного узла. В проводившихся ранее исследованиях пассажиропотоков было доказана закономерность связи между скоростью пассажиропотока  $V$  (м/мин) и плотностью пассажиропотока  $D$  (м<sup>2</sup>/пасс) – ( $V = f(D)$ ), увеличение плотности пассажиропотока сокращает пространство для перемещения и как следствие ведет к снижению скорости [7].

Авторами работы для оценки комфортности движения в пассажиропотоке предлагается использовать параметр  $M$  (м<sup>2</sup>/пасс) – свободное место на пассажира в коммуникационном элементе, величину обратную плотности  $D$  (пасс/м<sup>2</sup>). По нашему мнению, параметр  $M$  более

точно отражает условия движения с точки зрения качества обслуживания пассажиров и лучше подходит для расчетов по аналогии с LOS.

Принимая во внимание, что при наиболее благоприятных условиях движения показатели **D** и **M** не влияют на среднюю скорость пассажиропотока, то ее предлагается считать скоростью свободного движения, протяженность отдельных участков коммуникационного элемента не окажет существенного влияния на параметры пассажиропотока при соблюдении условий, где  $t_{co} \leq 5$  мин, а общая максимальная протяженность коммуникационного элемента будет удовлетворять условию  $S \leq 150$  м ниже пороговое значение средней скорости пассажиропотока должно соответствовать  $V \geq 30$  м [8].

В мировой практике считается, что скорость свободного движения по горизонтальным путям, в проемах и при движении по лестнице вниз может колебаться в пределах от 48 м/мин – 155 м/мин. Базируясь на том расчёте, что скорость менее 48м/мин будет считаться ограниченной, шаркающим передвижением, а более 155 м/мин – это уже передвижение бегом. Под данным отечественных и зарубежных исследований скорость пешеходного потока по горизонтальным путям в диапазоне от 90-155 м/мин считается движением высокой степени активности и наблюдается при возникновении чрезвычайных ситуаций или в ситуациях, когда большинство пешеходов в потоке ограничены жесткими временными рамками, что соответствует условиям движения пассажиров при пересадке. Для подъема по лестнице вверх характерным диапазоном скоростей от 12 до 80 м/мин, где движению с высокой степенью активности соответствует интервал от 50 до 80 м/мин [14-16].

Авторами в качестве нижнего порога теоретических значений средней скорости пассажиропотока предлагается принять скорость для движения по горизонтальным путям –  $V \geq 80$  м/мин, скорость движения по лестнице вверх

$$V \geq 40 \text{ м/мин}$$

Для проведения теоретических расчетов **M** выбраны усредненные геометрические параметры участков коммуникационных элементов на базе существующих межстанционных переходов Московского метрополитена, как наиболее приближенным по уровню пассажирооборота и набору коммуникационных элементов к пешеходной среде пересадочных комплексов ТПУ.

Загрузка коммуникационного элемента пассажиропотоками принимается минимально возможной, что соответствует моменту первым 15-и минутам от начала работы станции метрополитена и по предоставленным этой организацией данным пассажирская скорость потока составит 110 пасс/15 мин.

С точки зрения практического применения полученных результатов расчетов, авторами работы также предлагается учитывать такой немаловажный параметр пассажиропотока как «**поток в сечении**» **P** (пасс\*мин/м) – пассажиропоток в сечении, проходящий через метр ширины коммуникационного элемента, рассчитываемый по формуле:

$$P = V/M \quad (2)$$

где:

**V** – средняя скорость пассажиропотока, м/мин;

**M** – пешеходное пространство м<sup>2</sup>/пасс.

Таблица 1

**Оптимальные условия функционирования структурных элементов коммуникационной зоны пересадочного комплекса**

Наименование элемента	Значения параметров потока	Расчетное значение $p(n)$
Лестница вверх	$M > 2,3 \text{ м}^2/\text{чел.}; P \leq 21,7 \text{ пасс}^*/\text{мин}/\text{м}; V \geq 40 \text{ м}/\text{мин}$	$0,022 \leq$
Горизонтальные пути с двухсторонним движением	$M > 2,7 \text{ м}^2/\text{чел.}; P \leq 33,0 \text{ пасс}^*/\text{мин}/\text{м}; V \geq 80,0 \text{ м}/\text{мин}$	$0,040 \leq$
Горизонтальные пути с односторонним движением	$M > 3,8 \text{ м}^2/\text{чел.}; P \leq 23,7 \text{ пасс}^*/\text{мин}/\text{м}; V \geq 80,0 \text{ м}/\text{мин}$	$0,034 \leq$

*Разработано автором*

Апробация и уточнение параметров теоретической модели проводились на базе 4-х межстанционных переходов Московского метрополитена, определенных по результатам репрезентативной выборки.

Результаты натурных обследований после проведения статистического и квартильного анализа были сведены в таблицы для каждого коммуникационного элемента.

Проведенный квартильный анализ распределений определил количественные значения показателей  $P$  в каждой из 4-х равновеликих частей групп коммуникационных элементов.

При сравнении результатов квартильного анализа с теоретическими значениями условий движения можно сделать вывод, что условия движения, полученные в результате теоретических расчетов, соответствуют диапазону значений между первым и вторым квартилями, которые, по результатам эксперимента, соответствуют условиям движения пассажиров во внепиковые промежутки времени с возможностью свободного обгона других пассажиров и свободного выбора скорости движения в потоке.



**Рисунок 3.** Уровни обслуживания пассажиров (разработано автором)

Наиболее благоприятный уровень обслуживания, соответствующий первому квартилю – характеризуется возможностью свободного выбора пассажиром скорости и направления движения в потоке, не учитывая перемещения других пассажиров (рис. 3а).

Благоприятный уровень обслуживания – соответствующий второму квартилю – характеризуется для пассажира свободным выбором скорости и возможностью обгона, с учетом перемещений других участников потока (рис. 3б).

Оптимальный уровень обслуживания – соответствующий третьему квартилю – характеризуется для пассажира свободным выбором скорости, но затруднениями при обгоне других участников потока (рис. 3в).

Стесненный уровень обслуживания – соответствующий четвертому квартилю – характеризуется для пассажира ограничением в выборе скорости и возможности обгона, вплоть до движения вперед только мелким шагом (рис. 3).

Таким образом, можно сказать, что границы применения сформированных уровней обслуживания включают в себя все этапы жизненного цикла ТПУ за исключением утилизации.

При разработке нормативной документации по планированию, проектированию и реконструкции транспортно-пересадочных узлов авторы предлагают использовать процедуру оценки необходимой ширины коммуникационного элемента – это позволит на этапе планирования создавать максимально комфортные условия движения пассажиров в пространстве пересадочного комплекса, с учетом перспективного развития прилегающей к ТПУ территории.

Для обеспечения комфортных условий перемещения пассажиров в пространстве закрытых коммуникационных элементов транспортно-пересадочного узла, авторами рекомендуется применять характеристики оптимального уровня обслуживания или выше.

**Таблица 2**

**Параметры уровней обслуживания пассажиров для основных внутренних коммуникационных элементов пересадочного комплекса ТПУ**

Уровень обслуживания	Лестничный сход			Горизонтальные пути с двухсторонним движением			Горизонтальные пути с односторонним движением		
	Пассажиропоток в сечении, пасс*мин/м	Свободное место, м <sup>2</sup> /пасс	Скорость пассажиропотока, м/с	Пассажиропоток в сечении, пасс*мин/м	Свободное место, м <sup>2</sup> /пасс	Скорость пассажиропотока, м/с	Пассажиропоток в сечении, пасс*мин/м	Свободное место, м <sup>2</sup> /пасс	Скорость пассажиропотока, м/с
Наиболее благоприятный	≤ 19,4	> 2,4	≥ 46,0	≤ 19,4	> 5,4	≥ 94,0	≤ 17,5	> 6,2	≥ 97,0
Благоприятный	≤ 31,5	> 1,1	≥ 35,0	≤ 36,1	> 2,3	≥ 74,0	≤ 25,8	> 3,5	≥ 70,0
Оптимальный	≤ 41,5	> 0,8	≥ 23,0	≤ 49,6	> 1,4	≥ 60,0	≤ 36,8	> 2,2	≥ 62,0
Стесненный	> 41,5	< 0,8	< 23,0	> 49,6	< 1,4	< 60,0	> 36,8	< 2,2	< 62,0

*Разработано автором*

**Вывод**

Таким образом, формирование системы уровней обслуживания в коммуникационных элементах транспортно-пересадочных узлов и полученные количественные значения параметров пассажиропотока можно использовать при определении достаточной ширины коммуникационных элементов на этапе планирования, проектирования или реконструкции, дальнейшие исследования пассажиропотоков в транспортно-пересадочных узлах создадут предпосылки для разработки отечественных нормативов, регламентирующих методы оценки качества обслуживания пассажиров на всех уровнях отечественной системы ТПУ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Власов Д.Н. Пересадка по-японски // «Архитектура и строительство Москвы», № 2 2010 г., с. 22-28.
2. Живоглядов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков. – Ростов Н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2005. – 1082 с.
3. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: диссертация доктора технических наук: 05.23.10 / Холщевников Валерий Васильевич – М.: 1983 – 486 с.
4. Власов Д.Н., Данилина Н.В. «Перехватывающая» стоянка как ключевой элемент транспортно-пересадочного узла», «Недвижимость: экономика, управление», № 2, 2011 год, с. 55-58.
5. Данилина Н., Власов Д., «Система транспортно-пересадочных узлов и «перехватывающие» стоянки» – монография – Германия, изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing» 2013 г. – 88 с.
6. Предтеченский В.М., Милинский А.И., Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. – М.: Стройиздат. 1979. – 324 с.
7. Щербина Е.В., Власов Д.Н. «Развитие системы транспортно-пересадочных узлов Российской Федерации», «Архитектура и строительство России», № 6, 2013 года, с. 2-7.
8. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Москва, 2011.
9. Harney D. Pedestrian modeling: current methods and future directions. Road & Transport Research, 2002, 11 (4), pp. 2-12.
10. Fruin J.J. Pedestrian planning and design. New York, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
11. Station Site and Access Planning Manual. Washington DC, 2008.
12. Bowman, Brian L., and Robert L. Vecellio. “Pedestrian Walking Speeds and Conflicts at Urban Median Locations”. Transportation Research Record. 1438 (1994).
13. Ewing R. Pedestrian and transit friendly design. Joint Center for Environment and Urban Problems. Florida Atlantic University / Florida International University. March, 1996. – 103 p.
14. Charles R. Rivasplata. 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.



**Kozlov Pavel Igorevich**

Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia  
E-mail: Poil\_off@mail.ru

## **Methodology for generating a comprehensive assessment criterion for passenger traffic conditions in the space of roofed communication elements of intermodal transport hubs**

**Abstract.** The paper considers an assessment methodology for pedestrian environment in the space of communication elements related to intermodal transport hubs, which planing is performed by construction of transfer unit. The author of the dissertation research pedestrian environment is proposed to be assessed using an integral criterion that comprises quantitative features of the main parameters for passenger traffic by analogy to the practice applied in foreign experience. As part of the study, the author developed a model of pedestrian traffic in the communication zone of the interchange complex, assessing the comfort of passenger movement. In the model implemented in the probabilistic design of the evaluation indicators of the functional efficiency of the structural elements of the communication zone. The theoretical calculations of the main parameters of passenger traffic under ideal conditions for all types of investigated communication elements using the developed model. Due to the lack of such facilities in Russia at the moment, for testing and refining the model parameters, a design experiment was conducted in the inter-station transitions of the Moscow Metro. During the experiment the method of video recording with the use of stationary video surveillance system of the Moscow metro and methods of mathematical statistics was used. As a result of the study, the author formed four levels of passenger service for each type of surveyed communication elements and made recommendations for practical application in the calculation of the required width of the communication elements of transport hubs. The results of the research can be used by public authorities, managers of different levels in the field of urban regulation, in the development of domestic methodological documentation to assess the quality of the functioning of pedestrian communications transport hubs.

**Keywords:** parameters of passenger service quality; transport infrastructure; transport interchange hub; communication element