

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ДОСТУПНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ЛЕСТНИЦ ДЛЯ НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ

Кандидат техн. наук, доцент **Енин Д.В.**

(ООО «Институт прикладных транспортных исследований»,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет)

Кандидат физ.-мат. наук, доцент **Елисеев М.Е.**

(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева)

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE LEVEL OF ACCESSIBILITY OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FOR THE BLIND

Ph. D. (Tech.), Associate Professor **Enin D.V.**

(LLC «Institute of Applied Transportation Research»,
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University)

Ph. D. (Phys., Math.), Associate Professor **Eliseev M.E.**

(Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev)

Доступность, инвалид, лестница, маршрут, математическая модель, незрячий

Accessibility, disabled, stairs, route, mathematical model, blind

В транспортных системах городов и регионов передвижения людей включают этап немоторизованных передвижений по пешеходным коммуникациям. Одним из элементов таких коммуникаций, преодоление которого может вызывать затруднения у различных людей, в т.ч. незрячих, являются лестницы. В статье представлена формализованная модель, позволяющая рассчитывать уровень доступности для незрячих людей. На примерах показана непротиворечивость результатов расчетов, выполненных по предложенной модели для реальных объектов, с экспертными оценками незрячих людей о доступности для них исследованных лестниц.

Transport and non-motorized movements of people include walking. There are stairs on pedestrian paths (external, park, staircases, etc.). The article presents a formalized model that allows determining the level of accessibility of stairs for the blind. Examples are given that confirm the correctness of the calculations performed according to the proposed model.

Введение

Транспортные и немоторизованные передвижения людей всегда включают этап передвижения по пешеходным путям. Эта особенность в области транспорта была подчеркнута А.Х. Зильберталем еще в 30-е годы XX века [1], а в области доступной среды нашла некоторое развитие в работах современников: Сафронова К.Э., Наберушкиной Э.К., Гайдаева В.С. [2-4] и др. В составе таких путей, в т.ч. на входах и выходах из зданий, встречаются лестницы различных видов (внешние, парковые, лестничные сходы и др.). Передвижение по таким элементам пешеходных путей, особенно для инвалидов по зрению (незрячих людей), может быть сопряжено с определёнными трудностями, которые могут оказывать влияние на уровень доступности для этих людей лестниц и, как следствие, на уровень доступности всего маршрута их передвижения. Поэтому изучение влияния лестниц на их доступность для незрячих людей и математическое описание доступности представляет научных и практический интерес и является самостоятельным предметом для изучения в области транспорта, градостроительства и дорожного хозяйства.

Следует отметить, что за рубежом немного работ, посвященных доступности лестниц для слепых людей. К их числу можно отнести труды Вольфганга Ф., Фрай А., Доу П. [5-8] и ряда других авторов. Однако все они но-

сят неформализованный вид и рассматриваются исключительно с точки зрения субъективных оценок незрячих людей и других категорий инвалидов о доступности для них лестниц.

Настоящая работа опирается на результаты исследований, проведенных в г. Ростове-на-Дону и г. Новосибирске в 2020 году [9]. Методика исследования и основные результаты были опубликованы в [10]. Они заключались в следующем.

Центральным результатом работы [10] была обобщенная формула (1), позволяющая рассчитать значение коэффициента доступности маршрута передвижения инвалидов:

$$K_R = 1 - \sum_{f=1}^K \sum_{i=1}^k (1 - K_{A_{fi}}), \quad (1)$$

где:

K_{A_i} – коэффициент доступности i -го элемента маршрута, ед.;

k – общее число элементов, встречающихся на маршруте, ед.;

K – общее число частей маршрута (пешеходная, поездка одним видом транспорта, пересадка, поездка другим видом транспорта, пешеходная и др., определяемая сложностью маршрута), ед.

В исследованиях для оценки доступности маршрутов использовалась следующая классификация основных элементов пешеходных путей, которые могут представлять препятствия для инвалидов по зрению:

- 1) ступень (бордюрный камень);
- 2) пандус (наклонная поверхность);
- 3) лестница;
- 4) неровная дорога (выбоины, просадки, ямы на тротуарной части путей движения);
- 5) зелёные насаждения (кусты, деревья);
- 6) технологические препятствия (опоры освещения и дорожных знаков, бетонные клумбы, рекламные щиты и иные конструкции);
- 7) узкий проход;
- 8) выезд с прилегающей территории, нерегулируемый пешеходный переход;
- 9) регулируемый пешеходный переход;
- 10) информационное обеспечение на путях движения.

По результатам исследований было отмечено, что для инвалидов по зрению большое значение имеет информация о маршруте и об имеющихся на нём препятствиях. Наибольшую сложность представляют пешеходные переходы, участки тротуаров с неровной и частично разрушенной поверхностью, хаотично расположенными выбоинами, просадками или проломами неправильной формы.

В отдельную группу следует отнести лестницы. Они не представляют большой сложности для преодоления слепыми людьми, но, в отличие от большинства других элементов пешеходных путей, сами по себе являются сложными объектами. Не столько отдельные конструктивные части лестницы, сколько их совокупность определяет уровень её доступности для той или иной категории маломобильных групп населения, в том числе для инвалидов по зрению. По этой причине в настоящей публикации было решено остановиться на математической модели определения уровня доступности для незрячих людей именно лестниц, как одной из наиболее интересных, по мнению авторов, моделей.

Следует отметить, что поведение незрячих людей, в отличие от большинства других категорий маломобильных групп населения, сильно отличается на незнакомых, малознакомых и привычных для них маршрутах. В частности, многие слепые люди, пользующиеся белой тростью, испытывают большие сложности при передвижении по незнакомым им маршрутам и гораздо увереннее двигаются по изученным маршрутам. В настоящей работе использованы материалы исследования незнакомых для респондентов маршрутов.

Математическая модель определения уровня доступности лестниц для незрячих людей

Лестница представляет собой функциональный и конструктивный элемент пешеходных путей, обеспечивающий вертикальные пешеходные связи на участках со значительным перепадом уровня поверхностей этих пешеходных путей.

Как было отмечено выше, лестница, обладающая характеристиками, соответствующими СП 59.13330.2020 [11], и находящаяся в исправном состоянии, не вызывает у респондентов сложностей в её преодолении.

Уровень доступности лестниц предлагается определять на основе коэффициента доступности лестницы, вычисляемого по формуле:

$$K_l = k_{wr} (1 - k_{sw} - k_{rs} - k_{dr} - k_{fs} - k_b), \quad (2)$$

где:

- k_{wr} – коэффициент степени износа ступеней;
- k_{sw} – коэффициент ширины лестницы;
- k_{rs} – коэффициент размера ступеней;
- k_{dr} – коэффициент единообразия формы и размеров ступеней;
- k_{fs} – коэффициент длины марша лестницы;
- k_b – коэффициент влияния выступающих частей лестницы.

На основе проведённых исследований были разработаны следующие предварительные нормировочные шкалы коэффициентов, составляющих формулу (2).

Коэффициент степени износа ступеней k_{wr} вычисляется от 5-балльной шкалы:

- 1) 5 баллов – износ отсутствует, $k_{wr}=1$;
- 2) 4 балла – износ малозначителен, $k_{wr}=0,995$;
- 3) 3 балла – износ умеренный, $k_{wr}=0,974$;
- 4) 2 балла – износ сильный, $k_{wr}=0,922$ (рис. 1);
- 5) 1 балл – имеются травмоопасные элементы, $k_{wr}=0,922$ (рис. 2).



Рис. 1 – Пример лестницы с сильным износом



Рис. 2 – Пример лестницы с травмоопасными элементами

Коэффициент ширины лестницы (k_{sw}) принимается при ширине лестницы:

- 1) от 1,35 м и более – $k_{sw} = 0$;
- 2) от 1,00 до 1,35 м – $k_{sw} = 0,005$;
- 3) от 0,7 до 1,0 м – $k_{sw} = 0,01$;
- 4) менее 0,7 м – $k_{sw} = 0,1$.

Коэффициент размера ступеней (k_{rs}) принимает следующие значения:

- 1) размер ступени находится в пределах нормы – $k_{rs} = 0$;
- 2) размер ступени отличается от нормы менее чем на 10% – $k_{rs} = 0,005$;
- 3) размер ступени отличается от нормы на 10-20% – $k_{rs} = 0,01$;
- 4) размер ступени отличается от нормы более чем на 20% – $k_{rs} = 0,1$ (например, высота ступени 18 см и более ($15 \cdot 1,2 = 18$ см)).

Коэффициент единообразия формы и размеров ступеней (k_{dr}) принимается в двух возможных вариантах:

- 1) при обеспечении единообразия – $k_{dr} = 0$;
- 2) в случае отсутствия единообразия – $k_{dr} = 0,01$.

Коэффициент длины марша лестницы (k_{fs}) в значительной мере зависит от количества ступеней в нём, и принимается, соответственно, равным:

- 1) при количестве ступеней не более 12 – $k_{fs} = 0$;
- 2) от 13 до 15 (включительно) ступеней – $k_{fs} = 0,005$;
- 3) от 16 до 20 (включительно) ступеней: $k_{fs} = 0,01$;
- 4) более 20 ступеней – $k_{fs} = 0,1$.

Коэффициент влияния выступающих частей лестницы характеризуется наличием вертикальных выступающих частей лестницы, о которые можно споткнуться при движении (k_b) он принимается со следующими значениями для нижеперечисленных случаев:

- 1) выступающие части отсутствуют – $k_b = 0$;
- 2) выступающие части имеют высоту до 2 см – $k_b = 0,005$;
- 3) выступающие части имеют высоту более 2 см – $k_b = 0,01$.

Для незрячих людей, как показали результаты проведённых исследований, влияние поручней оказалось малозначимым, поэтому в формулу (2) соответствующий коэффициент не был включен. Если по результатам будущих исследований выявится более существенная значимость этого элемента лестницы, то коэффициент, характеризующий параметры поручней может быть нормирован вновь и добавлен в указанную формулу.

Примеры определения уровня доступности лестниц для незрячих людей и сходимости полученных результатов

В качестве примеров рассмотрим три лестницы, присутствовавшие на обследуемом пешеходном маршруте № 1 в г. Новосибирске. На маршруте они были элементами под номерами 6, 18 и 20. Для удобства, обозначим их лестницами № 1, 2, 3.

Выбор значений коэффициентов, составляющих формулу (2), в тексте не приводится ввиду его простоты. Эти значения определены на основе результатов инструментальных исследований параметров лестниц, выполненных в ходе общего обследования доступности соответствующего пешеходного маршрута.

1. Лестница № 1 показана на рис. 3.



Рис. 3 – Лестница № 1 на пешеходном маршруте в г. Новосибирске (геокоординаты 55.037991, 82.90302)

Общее состояние лестницы, показанной на рисунке 4, наглядно описано в комментарии одного из респондентов: «Непривычно низкие ступени, ступени с поребриком».

Коэффициент доступности лестницы № 1 по формуле (2) составляет:

$$K_{11} = 0,995(1 - 0,005) = 0,99 ,$$

где:

- $k_{wr} = 0,995$ - коэффициент степени износа ступеней;
- $k_{sw} = 0$ - коэффициент ширины лестницы;
- $k_{rs} = 0,005$ - коэффициент размера ступеней;
- $k_{dr} = 0$ - коэффициент единообразия формы и размеров ступеней;
- $k_{fs} = 0$ - коэффициент длины марша лестницы;
- $k_b = 0$ - коэффициент влияния выступающих частей лестницы.

2. Лестница № 2 представлена на рис. 4.



Рис. 4 – Лестница № 2 на пешеходном маршруте в г. Новосибирске (геокоординаты 55.038493, 82.901133)

Коэффициент доступности лестницы № 2 по формуле (2) составляет:

$$K_1 = 0,995 ,$$

где:

- $k_{wr} = 0,995$ - коэффициент степени износа ступеней;
- $k_{sw} = 0$ - коэффициент ширины лестницы;
- $k_{rs} = 0$ - коэффициент размера ступеней;
- $k_{dr} = 0$ - коэффициент единообразия формы и размеров ступеней;
- $k_{fs} = 0$ - коэффициент длины марша лестницы;
- $k_b = 0$ - коэффициент влияния выступающих частей лестницы.

3. Лестница № 3 представлена на рис. 5.



Рис. 5 – Лестница № 3 на пешеходном маршруте в г. Новосибирске (геокоординаты 55.040355, 82.90738)

Коэффициент доступности лестницы № 3 по формуле (2) составляет:

$$K_{13} = 0,995(1 - 0,005) = 0,99 ,$$

где:

$k_{wr}=0,995$ - коэффициент степени износа ступеней;
 $k_{sw}=0$ - коэффициент ширины лестницы;
 $k_{rs}=0$ - коэффициент размера ступеней;
 $k_{dr}=0$ - коэффициент единообразия формы и размеров ступеней;
 $k_{fs}=0$ - коэффициент длины марша лестницы;
 $k_b=0,995$ - коэффициент влияния выступающих частей лестницы.

Сравнение уровня доступности лестниц по результатам расчетов, выполненных по формуле (2) и экспертных оценок респондентов (незрячих людей) приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительный анализ коэффициентов доступности лестниц, полученных расчетом и на основе экспертных оценок респондентов

Элемент маршрута	Коэффициент доступности лестниц K_l	
	расчетное значение	экспертная оценка
Лестница № 1	0,990	0,986
Лестница № 2	0,995	0,994
Лестница № 3	0,990	0,989

Коэффициент корреляции полученных данных составил 0,917, что по таблице Чеддока означает линейную зависимость между массивами данных. Это свидетельствует о сходимости (близости) результатов расчетов, выполненных на основе разработанной математической модели и нормированных значений входящих в её состав коэффициентов, с экспертными оценками респондентов - незрячих людей.

Заключение

Разработанная и представленная математическая модель определения уровня доступности для незрячих людей лестниц позволяет без организации сложных натурных исследований рассчитывать искомое значение доступности для таких элементов пешеходных путей на маршрутах передвижения инвалидов как лестницы. Для выполнения расчета с использованием математической модели нужны лишь нормированные значения коэффициентов, входящих в её состав (предварительные значения коэффициентов приведены авторами) и результаты инструментальных измерений параметров лестниц непосредственно на объектах. Учитывая высокий уровень сходимости (близости) результатов расчетов по целому ряду объектов, часть из которых в качестве примера представлена в настоящей статье, можно говорить о корректности разработанной модели и её практической применимости для использования при определении уровня доступности маршрутов передвижения незрячих людей. Полученные результаты могут быть использованы при разработке моделей и оценке уровня доступности пешеходных и транспортно-пешеходных маршрутов таких людей.

Литература

1. Зильберталь, А.Х. Трамвайное хозяйство: Руководство для работников трамвая и учащихся. - Ч. 1. - М.-Л.: ОГИЗ - Гострансиздат, 1932. - 304 с.
2. Сафронов, К.Э. Методология организации перевозок маломобильных групп населения городским пассажирским транспортом: диссертация ... доктора Техни-

ческих наук: 05.22.10 / Сафронов Кирилл Эдуардович; [Место защиты: ФГБОУ ВО Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)], 2017.- 426 с.

3. Гайдаев, В.С. Оценка логистической системы транспортного обеспечения маломобильных групп населения: диссертация ... кандидата экономических наук: 08.00.05 / Гайдаев Владислав Сергеевич; [Место защиты: Рост. гос. строит. ун-т]. - Ростов-на-Дону, 2012.- 192 с.

4. Наберушкина, Э.К. Доступность городской среды для инвалидов. Социологические исследования [Текст], 2010. - № 9. - С. 58-65.

5. Wolfgang, F.E. Preiser, Korydon, H. Smith (2011) Universal Design Handbook. NY: McGraw-Hill Companies. 492 p.

6. Frye, A. (2013) Disabled and Older Persons and Sustainable Urban Mobility. - Available from: <http://www.unhabitat.org/grhs/2013>.

7. Dou, P., Jia, X., Suo, S., Wang, R., Zhang, M. (2006). Pressure distribution at the stump/socket interface in transtibial amputees during walking on stairs, slope and non-flat road. Clinical Biomechanics, 21, 1067-1073.

8. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2015. Practices for Establishing ADA Paratransit Eligibility Assessment Facilities. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22184>.

9. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка научно обоснованных предложений по обеспечению условий доступности транспортного обслуживания инвалидов и маломобильных групп населения на автомобильном и городском наземном электрическом транспорте»: отчет о НИР по этапу 2 (заключ.) / рук. Д.В. Енин. М., 2020. 452 с.

10. Enin, D.V. New scientific approaches to evaluating accessibility of routes for disabled persons. E3S Web Conf., 274 (2021) 13005. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127413005>.

11. СП 59.13330.2020. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573659328>, дата обращения 07.10.2021.

Сведения об авторах

Енин Дмитрий Владимирович, директор ООО «Институт прикладных транспортных исследований» 125080, г. Москва, Волоколамское ш., д.1, стр. 1, пом. IV, офис 33

доцент кафедры «Логистика» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета

125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64, тел. +7 (499) 390 73 95 (раб), + 7 926 459 36 22 (моб), e-mail: info@iptis.ru

Елисеев Михаил Евгеньевич, доцент кафедры «Высшая математика» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 603950, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24,

тел. моб.: + 7 904 040 05 83, e-mail: eliseevmic@mail.ru.