

Д.А. Самошин, С.В. Слюсарев
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: inbox-d@mail.ru)

ОСОБЕННОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ РАЗЛИЧНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В ОБЩЕМ ПОТОКЕ ЭВАКУИРУЕМЫХ ИЗ ЗДАНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

На основе натурных наблюдений проведён анализ особенностей индивидуального движения людей различной мобильности в общем потоке эвакуируемых из здания при пожаре.

Ключевые слова: эвакуация, маломобильные группы населения.

D.A Samoshin, S.V. Slyusarev

PERSONALITY CHARACTERISTICS MOVEMENTS OF PEOPLE WITH DIFFERENT MOBILITY IN THE GENERAL FLOW OF EVACUEES OUT OF BUILDING DURING FIRE

The analysis of Personality characteristics movements of people with different mobility in the general flow of evacuees out of building during fire on the basis of field observations is carried out.

Key words: evacuation, people with limited mobility.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 29 марта 2015 г.

Введение

В связи с возросшим в последнее время интересом специалистов в области пожарной безопасности к исследованиям индивидуальных особенностей движения людей, эвакуируемых при пожаре, что обусловлено возможностями компьютерного моделирования движения каждого человека, авторы настоящей статьи считают целесообразным дополнить известные публикации по вопросам эвакуации людей из зданий при пожарах изложенными ниже материалами [1].

Особенности индивидуального движения людей без ограничений функций организма в общем потоке

Наблюдения с целью получения массива данных для анализа индивидуальных особенностей движения людей в потоке проводились в период с мая по октябрь 2012 г. и фиксировались видеозаписывающей аппаратурой. Всего было проанализировано движение 1329 пешеходов при движении по различным видам пути, что составляет около 55 % от общего числа пешеходов, попавших в зону наблюдения. Возраст подавляющего большинства пешеходов (свыше 95 %) находился в диапазоне 19-50 лет. Количество детей и подростков, а также пожилых людей весьма незначительно и составило около 5 % от общего числа. Демографические характеристики выборки позволяют говорить о том, что наблюдения проводились в основном за весьма мобильной частью населения (особенно принимая во внимание, что численность мужчин преобладала – 55,8 %), т.к. движение в "часы пик" подразумевает наличие именно активного населения трудоспособного возраста. В течение дня демографическая

структура людского потока меняется, однако и снижается эмоциональная напряженность ситуации, что делает фактический материал менее коррелирующимся с движением людей при эвакуации.

Анализ атрибутивных признаков пешехода позволил выявить несколько характерных черт, которые характеризуют движение человека в потоке. Было установлено, что в потоке выделяются 3 характерные группы пешеходов: "явно спешит" (идёт со скоростью, превышающей скорость потока) – 27,6 % от общего числа пешеходов, "идет в потоке" (идёт со скоростью потока) – 63,0 % и "явно не спешит" (идёт со скоростью, меньшей скорости потока) – 9,4 %. Маневрирование в потоке (обгон, ускорение, опережение) в основном совершают явно спешащие люди.

Данные подтвердили, что скорость движения людей в потоке различна, более того, проф. Предтеченский [2] указывал, что *"размещение людей в потоке ... имеет всегда неравномерный и часто случайный характер. Расстояние между идущими людьми постоянно меняется, возникают местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают снова. Эти изменения неустойчивы во времени..."*. Таким образом, пешеход, желая сохранить устойчивый ритм движения, вынужден маневрировать в потоке, в том числе совершая обгон впереди идущего человека.

Оценка демографических характеристик активных пешеходов показала, что около 85 % людей, совершающих обгон, – это люди в возрасте 19-50 лет, 70 % из которых составляют мужчины. Дети и пожилые люди не склонны к обгонам. Было также установлено, что независимо от пола и возраста пешеходы, идущие в составе социальной или семейной группы (таких в выборке было 21,3 %), не склонны к маневрированию.

Рассматривая влияние вида пути на особенности движения людей, было установлено, что наибольшее количество пешеходов (40,7 % от общего числа) совершают обгон при движении по горизонтальному участку пути, в меньшей мере – при движении по лестнице вверх (34,7 %). Наименьшее количество обгонов – 11,3 % – отмечалось при движении по лестнице вниз. Указанные особенности движения связаны с тем, что горизонтальная часть пути представляет собой достаточно комфортный и безопасный участок, на котором есть возможность оценить перспективу движения, спланировать и осуществить обгон без риска падения. Существенное различие между движением по лестнице вниз и вверх подтверждает ранее установленные факты [2] – при движении вверх опасность падения значительно меньше и пешеходы чувствуют себя более уверенно.

Для оценки угла отклонения от начального вектора движения для осуществления обгона медленно идущего впереди пешехода, сделаны замеры на различных участках пути. В результате анализа 320 замеров было установлено, что угол отклонения составляет около 30° и для этой серии наблюдений не удалось установить корреляционные отношения между видом пути, полом пешехода и углом отклонения.

Дальнейший анализ показал, что рост плотности потока пешеходов (в сериях описываемых наблюдений не отмечались значения плотности выше 5 чел./м^2) не ограничивает желание пешеходов к маневрированию. Результаты, косвенно подтверждающие установленную особенность, приводят авторы работы [3]. По их данным, с ростом плотности увеличивается количество конфликтов, то есть количество проникновений окружающими пешеходами в персональную зону человека, имеющую радиус 1,2 м вокруг человека. С ростом плотности потока, количество конфликтов увеличивается в несколько раз.

Таким образом, на осуществление маневра влияет внутренний настрой пешехода (желание двигаться быстро) и наличие пространства для его осуществления. Рост плотности потока, и как следствие, увеличение количества конфликтов не всегда оказывает влияния на мотивацию двигаться как можно быстрее.

С целью более точного воспроизведения движения людей в потоке необходимо оценить направление обгона. При прочих равных условиях (при расположении выхода по центру движения людского потока), обгон в подавляющем большинстве случаев осуществляется слева, табл. 1. По всей видимости, пешеходное движение в какой-то мере отражает правила, установившиеся в дорожном движении автомобилей – обгон справа запрещен. Обращает на себя внимание еще один факт – количество обгонов резко снижается при движении по лестнице.

Таблица 1

Выбор направления обгона при расположении центра тяготения прямо по центру движения

Тип пути	Процент пешеходов, выбравших направление обгона	
	Справа	Слева
Горизонтальный	39,6	60,4
Лестница вниз	27,3	72,7
Лестница вверх	17,7	82,3

Анализ планировочных решений коммуникационных (эвакуационных) путей движения людей показал, что размещение центра тяготения людского потока (выхода из помещения, входа в лестничную клетку и т.п.) может находиться как справа или слева по ходу движения, так и прямо по центру, что будет влиять на расположение человека в потоке. Наблюдениями установлено, что структура потока носит явно неоднородный характер. Например, при расположении центра тяготения справа по ходу движения, правая часть потока, как правило, состоит из более пассивных людей, причем плотность потока в этой части будет выше, а скорость движения ниже. Причем пассивные пешеходы правой части потока жертвуют не только временем, но и комфортом передвижения. Левая часть потока, наоборот, будет привлекать именно активных

пешеходов, двигающихся с высокой скоростью. За счёт их относительно небольшого числа движение в левой части потока происходит при меньшей плотности. Пешеходы, составляющие центральную часть потока, имеющую в своём составе приблизительно пропорциональное количество различно мотивированных пешеходов, не демонстрируют явно выделяющихся психоэмоциональных особенностей.

Расположение центра тяготения людского потока влияет и на выбор направления обгона (табл. 2).

Таблица 2

Размещение центра тяготения потока и выбор пешеходами направления обгона

Размещение центра тяготения людского потока	Направление обгона для % пешеходов	
	справа	слева
Прямо по ходу движения	27,7	72,3
Справа по ходу движения	25,7	74,3
Слева по ходу движения	41,7	58,3

Данные табл. 2 показывают явную тенденцию к обгону слева, несмотря на описанное выше выраженное влияние места размещения центра тяготения. Однако при расположении центра тяготения слева, количество обгонов справа возрастает почти в два раза.

Статистический анализ позволил описать в количественном отношении влияние центра тяготения на структуру потока. На рис. 1 представлено наиболее вероятное расположение пешеходов в зависимости от расположения центра тяготения.

Причём, похожую взаимосвязь установили английские исследователи. В ходе натуральных наблюдений за процессом заполнения стадиона болельщиками перед началом спортивного мероприятия [4] отмечалось влияние места размещения центра тяготения на структуру пешеходного потока.

Несколько иначе происходит движение людей перед проёмами. Построенные кинограммы движения пешеходов четко указывают на то, что тенденция идти по ближайшему пути к дверному проёму не соблюдается: 26,6 % пешеходов изменили траекторию с кратчайшей на более для них предпочтительную, но расположенную на большем удалении. Вероятность изменения траектории более вероятна для людей, идущих в центре потока, и наименее вероятна для людей, идущих в его левой части. При приближении к проёму, изменяется категория движения людей – возрастает количество "явно спешащих" и падает количество "явно неспешащих" пешеходов. Это подтверждает ранее установленные особенности, в количественном отношении выраженные через интенсивность движения людского потока – для дверных проёмов она максимальна из всех видов пути (19,6 м/мин.) и на 19 % выше, чем для горизонтального пути; на 23 % выше, чем для движения по лестнице вниз. Дверной проём является психологически некомфортным участком пути и при его преодолении происходит определенная мобилизация функциональных систем организма.

Вероятностная модель поведения человека в потоке

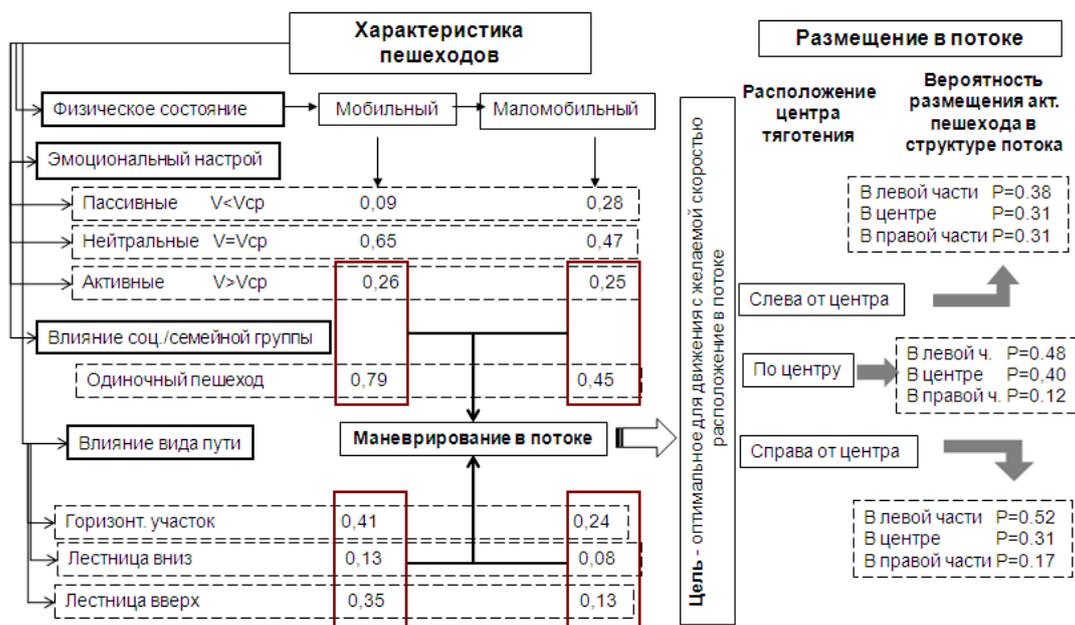


Рис. 1. Структура людского потока в зависимости от центра тяготения людского потока

Анализ неформализованных показателей движения взрослых людей с различными нарушениями функций организма

Натурные наблюдения за движением маломобильных людей проводились в 2010-2012 гг. в домах престарелых и инвалидов, хирургическом, травматологическом и неврологическом отделениях больниц, а также на производственных предприятиях Всероссийского общества слепых. Анализ фактического материала показал, что движение людей с ограничениями функций организма существенно отличается по ряду неформализованных и интегральных показателей от характеристик движения здоровых людей, хотя и имеет характерные общие черты. Было установлено, что маневрирование (обгон окружающих) для потоков, состоящих из маломобильных людей, наблюдается более чем в 2 раза реже и характерен лишь для 15,1 % людей. Однако количество активных пешеходов почти равно (табл. 3).

Таблица 3

Сопоставление характеристик движения мобильных и маломобильных пешеходов

Настрой пешехода	Мобильность	
	Без ограничений мобильности	Маломобильные
Активный (явно спешит)	24,6	24,8
Нейтральный (идет в потоке)	66,7	46,8
Пассивный (явно не спешит)	8,7	28,4

Данные табл. 3 позволяют заключить, что количество активных пешеходов практически одинаково, количество людей, идущих в потоке, ниже, а количество пассивных пешеходов в 3 раза больше. Причём наименьшая активность проявляется при движении по лестнице. Одним из факторов является нежелание рисковать, так как получение травмы при падении, в случае неудачного манёвра, на фоне общего ослабленного состояния организма может привести к тяжелым последствиям. Ещё одной особенностью движения маломобильных людей, по сравнению с мобильными, является отсутствие ярко выраженной тенденции к совершению обгона медленней идущего пешехода с левой стороны. По всей видимости, это связано с доминированием ухудшенного физического состояния над привычными особенностями движения.

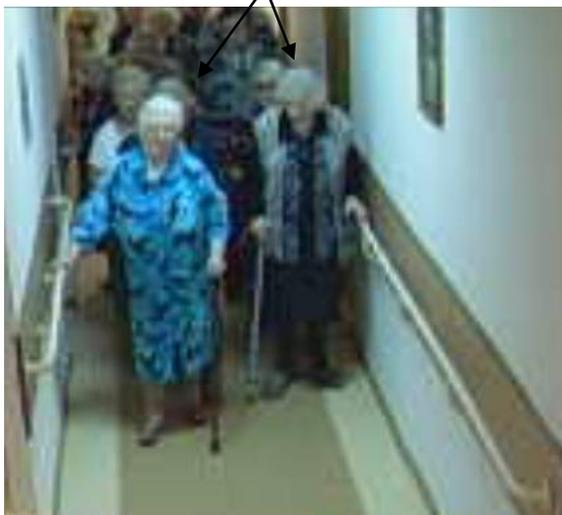
Следует также подчеркнуть, что в ряде случаев, снижение количества пешеходов, решающих обгонять людей, передвигающихся с более низкой скоростью, объяснялось большими динамическими габаритами людей, использующих при движении кресла-коляски и дополнительные опоры, и, как следствие, опасение как помешать движению, так и получить травму. Вторым важным фактором, обуславливающим общую низкую скорость потока, является эвакуация в составе групп, в которых двигались 55 % процентов пешеходов (рис. 2).



Рис. 2. Образование характерного кластера: пациент с поражением опорно-двигательного аппарата (передвигающийся без дополнительных опор) затрудняет движение трем женщинам, идущим в группе и взявшимися за руки. Сформировавшаяся группа лишает возможности пешехода (врача), идущего с более высокой скоростью их обогнать. Общая скорость движения группы составила 18 м/мин.

Дальнейший анализ показал, что 38,2 % эвакуируемых используют при движении поручни, причем для многих из них, наличие такой опоры является необходимым условием движения. Двигающийся таким образом пешеход существенно снижает ширину участка пути, доступного для других участников движения (рис. 3).

Медленно идущие женщины, использующие при движении поручни, блокируют движение окружающих



Осуществление контактного обгона по участку с шириной, обусловленной расстоянием между пожилыми женщинами



Рис. 3. Две женщины, передвигающиеся с помощью дополнительных опор и опирающиеся на перила, задерживают движение людей в потоке. Ширина условного пути движения между пожилыми пешеходами составляет 0,4 м, скорость их движения $V_{cp} = 16$ м/мин.

Более того, в ряде случаев немощность организма затрудняет преодоление проёма. В одной из ситуаций время преодоления дверного проёма пожилым человеком составило 12 с.

В домах ветеранов и престарелых при движении по лестнице отмечалось опирание пожилыми людьми обеими руками на перила, расположенные вдоль одной из сторон марша лестницы. В этом случае движение человека фактически происходило боком и с очень низкой скоростью передвижения. Более того, пожилой пешеход сам являлся существенной помехой окружающим.

Отличительной особенностью движения пожилых людей является их низкая выносливость и высокая утомляемость. Если для движения здоровых мужчин заметное снижение скорости наблюдается только через несколько сот метров [5], то для пожилых людей в ряде случаев остановка для отдыха требуется через несколько десятков метров пути. Причём особые трудности вызывает движение по лестнице. Для пожилых немощных людей сам процесс движения крайне трудоемок и энергозатратен, что вынуждает их опираться на перила и поручни обеими руками (рис. 4а). Более того, их движение с низкой скоростью уменьшает эффективную ширину пути: а) при ширине марша 1,2 м на 42 %; б) при ширине марша 1,05 м на 48 %, что снижает общую интенсивность движения потока.

а)



б)



Рис. 4. Движение пожилых (немошных) людей по лестнице с опиранием двумя руками на перила (со средней скоростью по лестнице вверх – 12 м/мин. и вниз 9 м/мин.) и уменьшение интенсивности движения людского потока с 39 до 20 чел./м·мин.

Кроме того, были отмечены следующие особенности движения пешеходов с поражением опорно-двигательного аппарата: это остановка движения, отмеченная в 9,5 % случаев, и пониженная устойчивость пешеходов.

Несмотря на выявленные особенности пешеходного движения пожилых и людей с поражением опорно-двигательного аппарата, движение людей с ограничениями функций зрительного анализатора имеет свои явные отличия. Для движения таким людям необходим тактильный контакт с ограждающими конструкциями: практически все участники движения шли вдоль стен, касаясь их руками либо опираясь на перила. Более того, в ряде случаев не только женщины, но и мужчины передвигались группой, держа друг друга за руки. Также было отмечено, что люди с недостатками зрения стремятся к более тесным контактам с окружающими и, в отличие от здоровых людей, наличие в интимной зоне другого пешехода воспринимается не как раздражитель, а как некий индикатор безопасного движения. Следует подчеркнуть общее стремление как слепых, так и слабовидящих людей "быть как все" и не выделяться из потока. Это является одной из причин относительно редкого использования общепринятого индикатора слабовидящего человека – наличие и использование им белой трости при движении.

Еще один, парадоксальный, на первый взгляд, вывод позволяет сделать анализ видеонаблюдений. Движение людей с ограничениями зрения происходит более быстро, если они двигаются в плотном потоке. В случае индивидуального движения такие люди сталкиваются с определенными трудностями. Крайне важным для движения слабовидящих и особенно полностью слепых людей является знание маршрута движения. Кроме того, полученные данные позволяют говорить о том, что известное в теории движения людских потоков "разуплотнение", наблюдаемое в тех случаях, когда головная часть потока

не встречает помех, происходит несколько иначе ввиду иной (по отношению к здоровым людям) мотивации идти быстрее. В количественном отношении оно описывается меньшим количеством пешеходов, использующих возможность идти более свободно, но и более быстро.

Для людей, передвигающихся на креслах-колясках, ключевое значение имеет ширина пути движения. Например, при ширине коридора 2,3 м возможно активное маневрирование, заключающееся в совершении обгонов и даже столкновениях. При ширине дверного проёма 1,2 м наблюдается характерная "очередность" движения, т.к. ширины достаточно только для прохождения одного человека в единицу времени. Поэтому при одновременном достижении дверного проёма движение через створ происходит последовательно, в порядке определенной очереди. Более того, движение таких людей через дверной проём напоминает структуру элементарного потока, предложенного проф. С.В. Беляевым.

К особенностям движения глухих и слабослышащих людей следует отнести использование во время движения языка жестов для обсуждения, например, маршрута эвакуации. Для поддержания разговора необходимо развернуться и наблюдать за руками и губами собеседника. Данные натурных наблюдений показали, что в разговорах такого типа приняло участие 32,6 % людей с нарушениями слуха, причем среднее время беседы составило 2-3 с. Из их числа 11 % полностью остановились для беседы, а 38 % снизили скорость своего движения.

Индивидуальные особенности движения детей с ограниченными возможностями

Проводимые в настоящее время исследования особенностей процесса эвакуации детей с ограниченными возможностями [6] позволили установить ряд особенностей их движения. Анализ видеозаписей движения 997 детей в возрасте от 4 до 17 лет показал, что головную часть потока составляют 10 % (как правило, это дети школьного возраста с низкой физической недостаточностью), около 15 % детей формируют замыкающую часть потока (дети дошкольного возраста с высокой физической недостаточностью, чаще всего – с нарушениями зрения). Основная часть потока включает в себя 75 % детей.

Наибольшая активность детей, то есть изменение места размещения в потоке, обгоны и ускорения, отмечалась при движении по горизонтальным путям. Активные дети по своему составу характеризуются следующим образом: дети с недостатками слуха (80 %), дети с поражением опорно-двигательного аппарата, передвигающиеся на креслах-колясках (10 %), умственно-отсталые дети (5 %), дети с поражением опорно-двигательного аппарата, передвигающиеся с дополнительными опорами (4 %), и дети с недостатками зрения (1 %). Однако, около 75 % детей оказались несклонными к изменению своего первоначального расположения в потоке, двигаясь в местах с большей плотностью, несмотря на наличие мест в потоке с большей степенью свободы. Отмечалось, что менее мобильные дети, как правило, занимали места по краям людского потока.

Отдельного внимания заслуживают горизонтальные участки условно "неограниченной" ширины (например, вестибюли), доставляющие большие неудобства при движении. Сложность заключается в том, что многим детям для движения нужны поручни, а на таком участке пути они расположены относительно далеко от выхода и часто для сокращения пути дети их игнорируют, увеличивая вероятность падения. В некоторых случаях дети останавливались и ожидали сопровождающего.

При движении по лестнице, детям с недостатками слуха, зрения и умственно-отсталым легче двигаться вверх, а детям с поражением опорно-двигательного аппарата – вниз. Наиболее благоприятным местом для всех детей, независимо от категории их инвалидности, являлось место возле поручней. При этом установлено, что при размещении поручней с двух сторон процесс эвакуации происходит благоприятнее. Для всех детей движение по лестнице затруднительно, поэтому до 75 % из их числа используют поручни при движении как вверх, так и вниз.

Необычную особенность движения удалось установить для детей с поражением опорно-двигательного аппарата. Было выявлено, что около 23 % детей, использующих для движения кресла-коляски, приближаясь к лестнице, оставляют кресло и дальше начинают двигаться ползком по ступеням лестницы. Средняя скорость в таком случае составляет 28 м/мин. (рис. 5).



Рис. 5. Дети, передвигающиеся ползком по лестнице вниз

Анализируя индивидуальные особенности детей при движении через проём, стоит отметить, что наиболее сложно это проходит у детей с недостатками зрения, в частности у слепых детей. Во многом это объясняется тем, что многие из них не используют трости, ориентируясь в пространстве посредством осязания, стараясь идти медленно, держа руки перед собой. До 5 секунд уходит, в таком случае, на преодоление проёма (рис. 6).



Рис. 6. Процесс движения детей с недостатками зрения через дверной проём

Для детей, передвигающихся на креслах-колясках, такой вид пути также является затруднительным. Это связано с тем, что ширина коляски (0,7-0,9 м) сопоставима с шириной проёма (0,8-0,9 м), а также с наличием порогов (даже нормативной величины – не более 0,014 м [7]), что вызывает снижение скорости и приостановку движения (отмечалось в 25 % случаев).

Заключение

Рост возможностей использования ЭВМ для моделирования индивидуального движения людей существенно обгоняет имеющиеся в руках исследователей данные об особенностях такого движения людей в общем потоке. Наименьшее количество информации отмечается в части особенностей движения людей с ограниченными возможностями.

Проведенные исследования позволят "наполнить" алгоритм моделей индивидуально-поточного движения присущими людям особенностями пешеходного движения в различных условиях и приблизиться к воспроизведению движения людского потока с максимальной точностью.

Авторы выражают признательность преподавателю кафедры ПБС УНК ПБС Академии ГПС МЧС России Истратову Р.Н., совместно с которым проводились наблюдения за движением маломобильных людей.

Литература

1. *Самошин Д.А.* Современные программные комплексы для моделирования процесса эвакуации людей // Пожарная безопасность в строительстве. № 1, 2011. С. 62-65.
2. *Предтеченский В.М., Милинский А.И.* Проектирование зданий с учётом организации движения людских потоков. М.: изд. лит. по строительству, 1969; Berlin, 1971; Koln, 1971; Praha, 1972; U.S., New Delhi, 1978. Изд. 2. М.: Стройиздат, 1979.
3. *Jaisung C., Sangyoup K., Sunggyu K., Minsu J., Yongseok K., Jinkug K.* Pedestrian Conflicts, Pedestrian Comfort Levels and Current Pedestrian Level of Service // Proceedings of the 6th International Conference on pedestrian and Evacuation Dynamics. Zurich, Switzerland, 2012.
4. *Still G.K.* Crowd Dynamics. PhD thesis. University of Warwick. UK 2000.
5. *Фёлькель Х.* Принципы нормирования эвакуационных путей в производственных зданиях: дис... канд. техн. наук. М., 1979.
6. *Самошин Д.А., Слюсарев С.В.* Исследования процесса эвакуации детей с ограниченными возможностями в зданиях стационарных учреждений социального обслуживания" // Матер. 4-й междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов "Проблемы техносферной безопасности". М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 50-53.
7. *Свод правил:* СП 59.13330.2011 (Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001). Доступность зданий для маломобильных групп населения. М., 2011. 89 с.