

**ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ СОСТАВА ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ В ЗДАНИЯХ  
РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ****ON STUDIES OF THE COMPOSITION OF HUMAN FLOWS IN BUILDINGS  
OF VARIOUS CLASSES OF FUNCTIONAL FIRE HAZARD**

*Рудченко Г. И., кандидат технических наук,  
Центр управления в кризисных ситуациях ГУ МЧС России  
по Волгоградской области,  
Волгоградский государственный технический университет,  
Власова О. С., кандидат технических наук,  
Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

*Rudchenko G.,  
the Crisis Management Center of the EMERCOM of Russia  
in the Volgograd Region,  
Volgograd State Technical University,  
Vlasova O., Volgograd State Technical University, Volgograd*

Статья раскрывает тему важности точного определения состава людского потока в зданиях различного класса функциональной пожарной опасности. Поднимается проблема отсутствия необходимых сведений в нормативных документах, вследствие чего результаты расчетов, проведенных в зданиях и на объектах с гетерогенным людским потоком, не всегда релевантны эмпирическим данным. Приведены объективные результаты проведенных в последние годы исследований состава людских потоков и сформулированы базирующиеся на них обоснованные выводы.

В статье отражены задачи и ход проведения исследования по определению функционального контингента зданий. Выявлены и приведены зависимости скорости движения слепых и слабовидящих людей, а также людей с заболеваниями опорно-двигательного аппарата от плотности людского потока. Данное обстоятельство позволило установить недостатки существующей классификации маломобильных групп населения. При помощи математической обработки результатов исследования были выделены характерные группы функционального контингента того или иного здания, что в свою очередь решило проблему разграничения зданий и сооружений, в зависимости от присущего им функционального контингента людей и позволило относить к ним одну из расчетных групп состава людского потока. Это разграничение, учитывающее формирующиеся в зданиях и сооружениях людские потоки и параметры движения маломобильных групп, способствует дальнейшему развитию теории людских потоков, совершенствованию моделирования процесса эвакуации, что в конечном итоге позволяет повысить уровень обеспечения безопасности людей при возникновении пожаров.

*Ключевые слова:* эвакуация, людской поток, параметры движения, маломобильные группы населения, функциональный контингент зданий.

The present article reveals the significance of the accurate determining of the composition of human flow inside buildings of various functional fire hazard classes. The authors raise the problem of the absence of the necessary information in regulatory documents, due to which the results of the calculations carried out in buildings and at facilities with a heterogeneous human flow are not always relevant to empirical data. The objective results of the

investigations of human flow composition carried out in recent years are presented and the justified conclusions based on them are formulated.

The article shows the tasks and the method of conducting the investigation aimed at determining the functional cohorts of people inside buildings. The dependences of the motion speed of blind and visually impaired people as well as of people with musculoskeletal system disorders on the human flow density were revealed and presented. This made it possible to determine the weak points of the existing classification of groups of people with limited mobility. Typical groups of the functional cohorts of people inside this or that building were identified by means of mathematical processing of the investigation results, which in its turn solved the problem of the differentiation of buildings and facilities according to the functional cohorts of people inherent in them and allowed attributing a certain design group of the human flow composition to one of them. The given distinction taking into account the human flows formed inside buildings and facilities and the parameters of the motion of limited-mobility groups contributes to further development of the theory of human flows and to the improvement of evacuation process modeling, which ultimately makes it possible to increase the level of human safety ensuring in the event of fires.

*Keywords:* evacuation, human flow, motion parameters, groups of people with limited mobility, functional cohorts of people inside buildings.

Для достоверного расчета возможности проведения своевременной и безопасной эвакуации людей из зданий различного функционального назначения необходимы сведения не только о количестве, но и составе людского потока. В существующих нормативных документах такие данные либо отсутствуют, либо в них имеются противоречия. В отдельных документах по строительству, к примеру СП 59.13130 и СП-35-103-2001, можно найти показатели численности только таких групп населения, как «инвалид на кресле коляске» и «инвалид». Подобное разделение людей на группы мобильности не учитывает особенности движения инвалидов других групп с различным перечнем заболеваний. То есть нормативные документы, направленные на обеспечение доступности различных объектов инфраструктуры для маломобильных групп населения, не содержат в себе инструментов, при помощи которых можно было бы достоверно оценить опасность этих объектов при пожаре для указанных групп, а все многообразие понятия «маломобильные группы населения» с разделением на разные группы мобильности в них сведены к двум группам инвалидов. Следует учитывать и то обстоятельство, что понятия «инвалид» и «маломобильные группы» не тождественны.

Любой человек в течение жизни, получив травму, может стать на время «маломобильным», не являясь при этом инвалидом.

На сегодняшний день научно обоснованы как фундаментальные основы движения людских потоков, так и особенности их формирования в зданиях и сооружениях различного назначения [1–4]. Однако, несмотря на несомненную научную проработанность темы, остаются вопросы, которые обуславливают необходимость дальнейших исследований и доработки действующих нормативных документов. Например, описанные в научной литературе исследования по установлению параметров движения детей, маломобильных групп и пожилых людей проводились с гомогенными (однородными) потоками, состоящими из представителей одной и той же группы [5, 6]. Однако такой состав присущ лишь специализированным зданиям (дома престарелых, детские сады и т. п.). В зданиях иного функционального назначения такие группы людей будут являться лишь частью общего людского потока. Причем, например, в зданиях торговых-развлекательных комплексов состав людского потока может меняться в зависимости от дня недели, репертуара кинотеатров или скидочных акций в магазинах (премьера мультфильма для детей, художественного

фильма по мотивам произведения, изучаемого школьниками различного возраста, или ретроспективного показа фильма, который может привлечь внимание пожилых людей). Указанная разнородность потока окажет значительное влияние на общее время эвакуации вследствие различных скоростей движения, характерных для разных возрастных групп и групп людей различной мобильности.

Требования нормативных документов делят существующие здания по функциональной пожарной опасности на 5 классов и 21 подкласс в зависимости от состава основного контингента [7]. Следовательно, при выполнении расчетов в любом из зданий необходимо исходить из предпосылок, что состав людского потока в каждом из указанных классов зданий фактически однороден. Однако проведенные наблюдения показывают, что даже в зданиях одного и того же класса функциональной опасности людской поток значительно различается по возрасту, что оказывает значительное влияние на время эвакуации, которое может варьироваться в диапазоне до 20 % [8].

Не совсем логичным выглядит и то, что мобильное население, разница в скоростях движения которого достигает почти 54 % представлена в нормативных документах одной группой, а маломобильные группы с разницей в 57,1 % – четыремя.

Несмотря на указанные недостатки и противоречия нормирования, до последнего

времени отсутствовали результаты научных исследований, на основании которых можно было бы внести изменения в нормативно-правовые акты. Лишь в середине 2010-х годов коллективом российских ученых были проведены эксперименты по определению индивидуальных особенностей движения представителей различных групп мобильности в разнородном людском потоке [9]. На основании анализа полученных результатов были выявлены закономерности их движения. Обобщенные результаты позволили разработать алгоритм индивидуального движения людей в общем потоке, учитывающий количество людей разных групп мобильности. Натурные наблюдения проводились в различных зданиях. Целью наблюдений являлась классификация по возрасту людей, их посещавших. Сбор данных жилых зданий и на предприятиях в основном осуществлялся путем анализа и обработки списков проживающих и работающих, в зданиях общественного назначения – путем обработки видеозаписей. Состав контингента почти в любом из зданий может варьироваться в течение не только сезона, но и суток, поэтому рассматривался лишь целевой контингент людей, посещающих здания, установленный по результатам наблюдений за людьми в нескольких однотипных зданиях [10]. Вес каждого из зданий, в которых проводились наблюдения, определялся по формуле:

$$k_j = \frac{S_j}{\sum_{m=1}^N S_{jm}}, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где  $S_j$  – общее количество людей в  $j$ -м здании;

$$S_j = \sum_{m=1}^M S_{jm}, \quad (2)$$

где  $M$  – количество возрастных групп;

$N$  – количество зданий;

$S_{jm}$  – количество людей  $m$ -й возрастной группы в  $j$ -м здании.

Пример расчета состава посетителей зданий класса Ф 3.5 с учетом доли  $j$ -го здания в общем фактическом объеме приведен в табл. 1.

Наблюдения проводились в зданиях и сооружениях всех классов функциональной пожарной опасности и охватывали 28930 человек. После проверки независимых случайных выборок на однородность, при помощи критерия Пирсона, из всей совокупности данных были выделены показатели характерные для тех или иных групп.

Расчеты, при помощи разделяющих алгоритмов свободной программной среды, позволили выделить характерные группы функционального контингента того или иного здания («дети и родители», «служащие и пенсионеры», «все возрастные группы» и т. д.).

Таблица 1  
Пример расчета состава посетителей зданий и сооружений

Возраст людей	Количество людей различных возрастных групп $S_m$			Отношение количества людей $m$ -й группы к общему количеству людей в здании $j$ $S_{jm}/S_j$			Состав посетителей
	Здание 1	Здание 2	Здание 3	Здание 1	Здание 2	Здание 3	
До 2 лет	0	0	0	0	0	0	0
2–6 лет	9	24	6	0,0204	0,0324	0,0136	0,0240
7–11 лет	8	16	6	0,0181	0,0216	0,0136	0,0185
12–14 лет	4	6	2	0,0090	0,0081	0,0045	0,0074
15–17 лет	8	1	3	0,0181	0,0014	0,0068	0,0074
18–25 лет	118	164	114	0,2670	0,2216	0,2585	0,2440
26–45 лет	115	292	133	0,2602	0,3946	0,3016	0,3327
46–59 лет	136	177	149	0,3077	0,2392	0,3379	0,2847
60–74 года	44	60	28	0,0995	0,0811	0,0635	0,0813
75–89 лет	0	0	0	0	0	0	0
От 90 лет	0	0	0	0	0	0	0
$S_j$	442	740	441	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
$k_j = S_j/S$	0,2723	0,4559	0,2717				

Для первой группы характерным признаком является наличие в составе людей всех возрастов, за исключением немощных, пожилых и грудных детей. Охарактеризована термином «Активная семья».

Во второй группе преобладающим контингентом (более 30 %) являются дети и их родители. Охарактеризована термином «Дети и родители».

Третья группа в своем составе в основном имеет людей трудоспособного возраста и пенсионеров и характеризуется по-

чти полным отсутствием детей. Охарактеризована термином «Служащие и пенсионеры».

Четвертая группа характеризуется присутствием в своем составе представителей всех возрастов. Примером может являться многоквартирный жилой дом. Охарактеризована термином «Все возрастные группы».

Расчетный состав каждой из групп людского потока гетерогенного состава приведен в табл. 2.

Таблица 2

Состав групп гетерогенного состава людского потока

Наименование группы	Процент в общем потоке, %					
	Дети и подростки		Люди трудоспособного возраста		Пенсионеры	
	До 6 лет	7–17 лет	18–25 лет	26–59 лет	60–74 года	Свыше 75 лет
«Дети и родители»	7,61	26,76	11,55	54,08	0	0
«Активная семья»	3,89	4,48	7,30	71,65	9,74	2,95
«Служащие и пенсионеры»	0	0	1,08	44,09	52,31	2,53
Все возрастные группы	9,25	11,66	12,35	48,37	10,20	8,17

Исследования, проведенные с представителями маломобильных групп населе-

ния, помимо прочего позволили выявить недостатки классификации, которая используется в настоящее время (табл. 3) [11].

Таблица 3

Разделение людей по мобильным качествам согласно действующих НПА

Группы мобильности	Общие характеристики людей групп мобильности
M1	Люди, не имеющие ограничений по мобильности, в том числе с дефектами слуха
M2	Немощные люди, мобильность которых снижена из-за старения организма (инвалиды по старости); инвалиды на протезах; инвалиды с недостатками зрения, пользующиеся белой тростью; люди с психическими отклонениями
M3	Инвалиды, использующие при движении дополнительные опоры (костыли, палки)
M4	Инвалиды, передвигающиеся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную

Эксперименты с людьми группы мобильности M1 показали, что люди с дефектами слуха функционально обладают такой же скоростью движения, что и здоровые люди, но имея недостаток получения информации извне, которую здоровые и условно здоровые люди получают посредством слуха, вынуждены чаще оглядываться по сторонам, чтобы исключить столкновение с другими людьми. В процессе эвакуации 67,78 % из них замедляли движение, чтобы время от времени оборачиваться и обмениваться информацией с позади идущими при помощи языка жестов, что уменьшало общую скорость движения.

В группе M2 практически у всех указанных категорий людей имеются свои скорости и особенности движения [12]. Например, скорость и интенсивность движения людей, использующих одну опору, отличается от скорости людей, опирающихся на две (рис. 2–4). Существенные различия в скорости наблюдаются у людей, передвигающихся на протезах. Наименьшую скорость имеют люди, у которых проведено протезирование коленного и тазобедренного суставов, существенное значение имеет в этом случае возраст пациента и время, прошедшее после проведения операции (рис.1). Кроме того, во всех случаях в группе имеет место задержка времени начала эвакуации из-за необходимости надевания протеза.

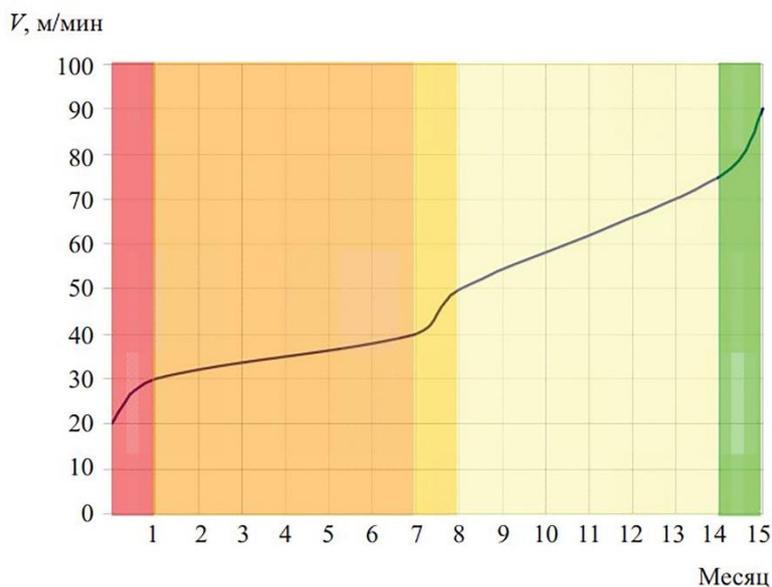


Рисунок 1. Зависимость скорости движения инвалидов на протезах от времени реабилитации

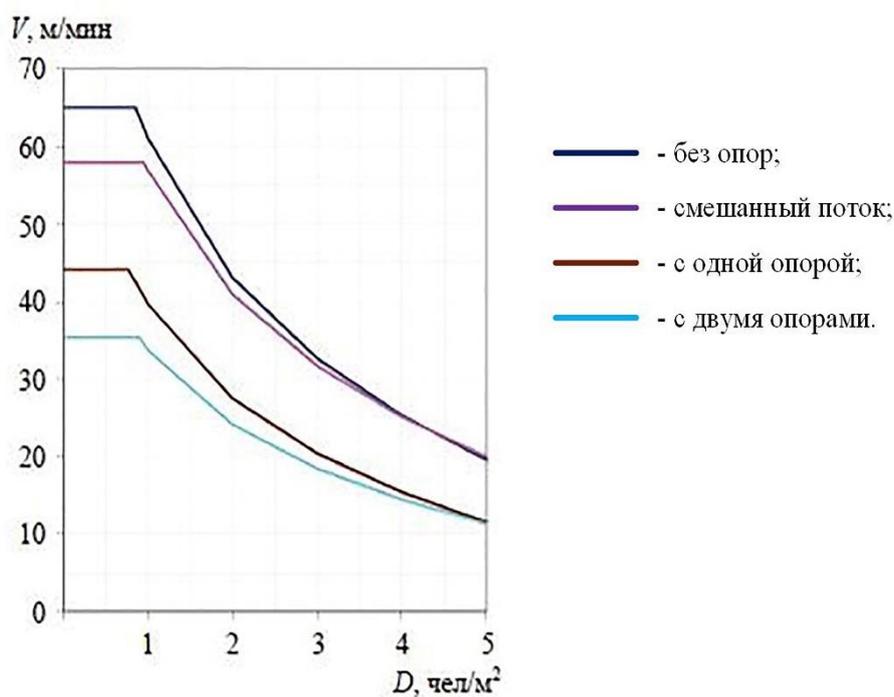


Рисунок 2. Зависимость скорости движения от плотности потока для людей с заболеванием опорно-двигательного аппарата при движении по горизонтальному пути

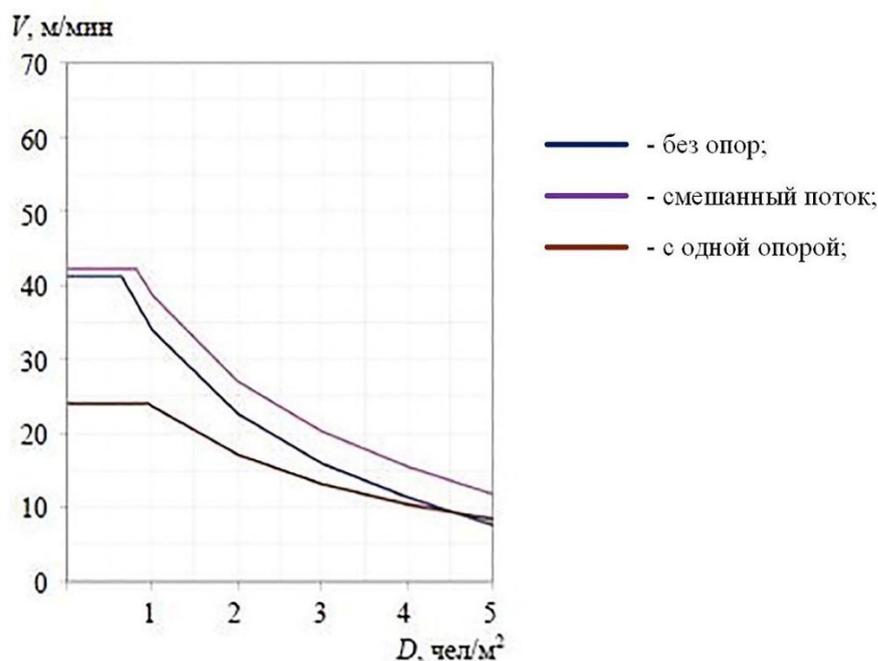


Рисунок 3. Зависимость скорости движения от плотности потока людей с заболеванием опорно-двигательного аппарата при движении по лестнице вниз

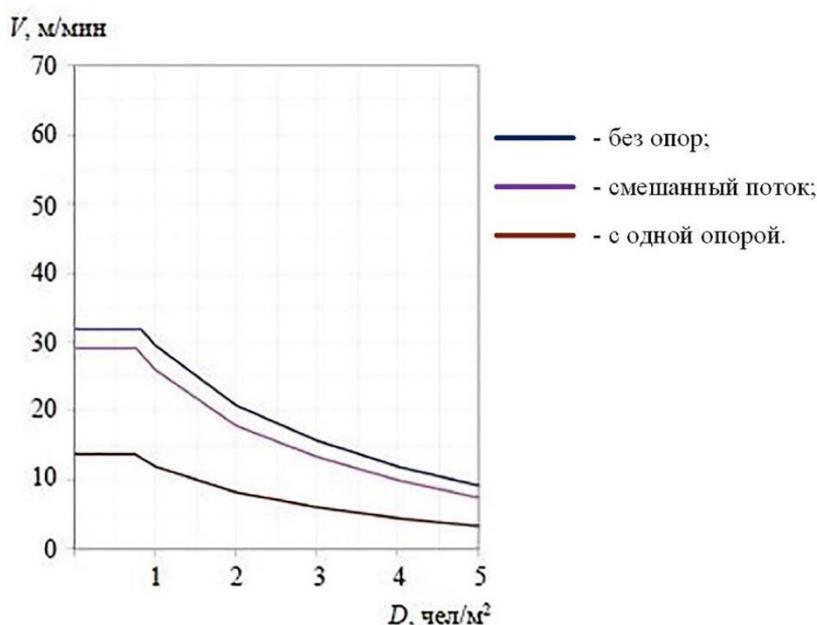


Рисунок 4. Зависимость скорости движения от плотности потока для людей с заболеванием опорно-двигательного аппарата при движении по лестнице вверх

Анализ параметров движения слепых и слабовидящих людей показал, что ключевым фактором, непосредственно влияющим на скорость их движения, является опыт исследования этого пути в прошлом (насколько часто они ранее проходили этим

маршрутом) (рис. 5–6). Указанный фактор имеет настолько большое влияние на скорость передвижения этой группы мобильности, что исследователями был введен особый классификационный признак – признак изученности маршрута.

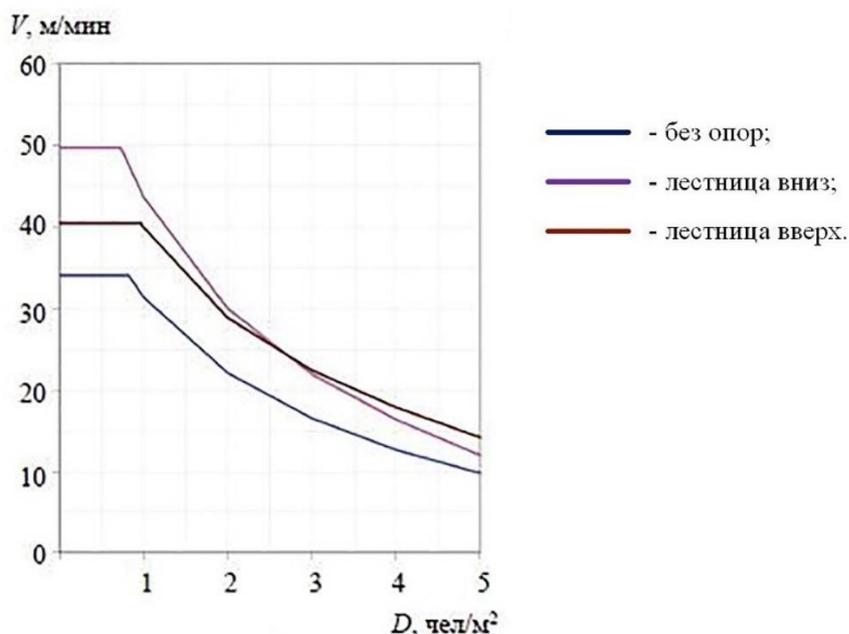


Рисунок 5. Зависимость скорости движения от плотности потока для слепых и слабовидящих людей при движении по знакомому пути

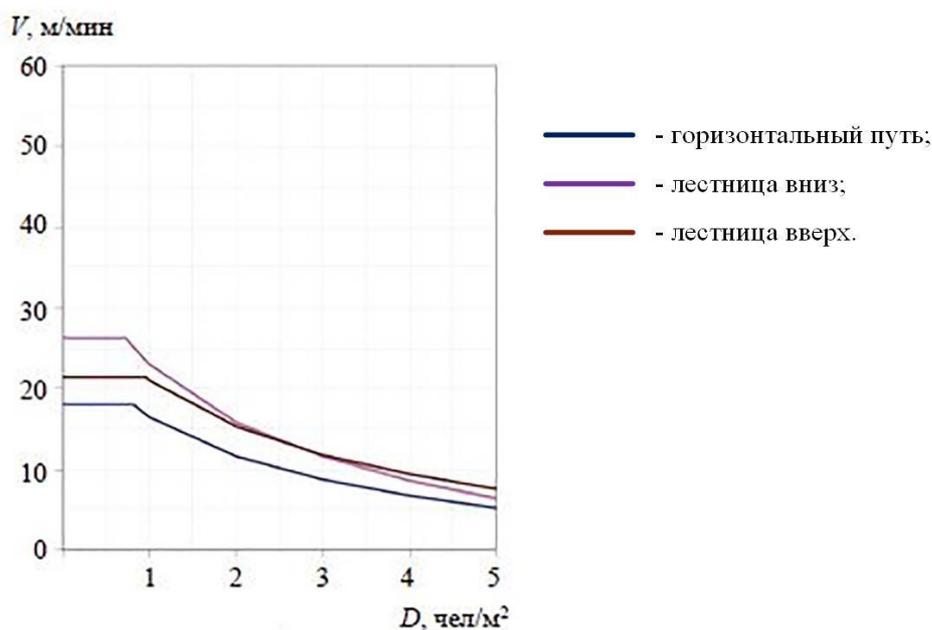


Рисунок 6. Зависимость скорости движения от плотности потока для слепых и слабовидящих людей при движении по незнакомому пути

При экспериментах по эвакуации пациентов с психическими отклонениями выявлено, что 95 % (не находящихся в состоянии медикаментозного сна или седативных препаратов) не имеют пониженной мобильности и только 5 % могут отказаться от эвакуации.

В ходе проведения натурных наблюдений был выявлен неожиданный факт. У людей с поражением опорно-двигательного аппарата и нарушением зрения не удалось зафиксировать достоверной закономерности влияния эмоционального состояния на скорость движения.

Результаты, полученные в ходе исследований, позволили сделать следующие выводы.

1. Существующая на сегодняшний день классификация маломобильных групп людей несовершенна и требует переработки.

1.1. Пониженная мобильность людей с нарушениями слуха требует выделения их в отдельную группу.

1.2. Группу М2 составляют люди, скорости и особенности движения которых отличаются кардинально, и поэтому необходимо полное ее переформирование на основании эмпирических критериев.

1.3. При отнесении людей к группам М3 и М4 в обязательном порядке необходимо учитывать их возраст как фактор, имеющий значительное влияние на скорость движения.

2. При движении слепых и слабовидящих людей основным фактором, влияющим на скорость передвижения, является исследованность маршрута.

Проведенные исследования, анализ и расчеты позволили решить проблему разграничения зданий и сооружения в зависимости от присущего им функционального контингента людей и позволяют относить к ним одну из расчетных групп состава людского потока. Это разграничение, учитывающее формирующиеся в зданиях и сооружениях людские потоки и параметры движения маломобильных групп, способствует дальнейшему развитию теории людских потоков, совершенствованию моделирования процесса эвакуации, что в конечном итоге позволяет повысить уровень обеспечения безопасности людей при возникновении пожаров.

#### Литература

1. Беляев С. В. Эвакуация из зданий массового назначения. М., 1938. 70 с.
2. Милинский А. И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения: дис. канд. техн. наук: 05.23.10. М., 1951. 178 с.
3. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. М., 1979. 375 с.
4. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. д-ра техн. наук: 05.23.10. М., 1983. 484 с.
5. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений: дис. канд. техн. наук: 05.26.03. М., 2012. 153 с.
6. Рудченко Г. И. Совершенствование способов и методов обеспечения пожарной безопасности при проектировании и эксплуатации дошкольных образовательных учреждений: дис. канд. техн. наук: 05.26.03. Волгоград, 2013. 184 с.
7. Закон Российской Федерации «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2008 г. № 30 (часть I). Ст. 3579. с изм. и допол. в ред. от 28 июля 2008 г.
8. Самошин Д. А., Матвеева Н. П. Проблемы безопасной эвакуации людей из культовых зданий православной церкви // Технологии техносферной безопасности. 2013. № 6 (52). URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2013-6/2013-6.html>.
9. Самошин Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации: монография. М., 2016. 210 с.
10. Канцедал С. А. Основы статистики. М., 2011. 192 с.
11. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата // Пожаровзрывобезопасност. 2013. № 3. С. 48–56.
12. Истратов Р. Н. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста: дис. канд. техн. наук: 05.26.03. М., 2014. 160 с.

#### References

1. Belyayev S. V. Evakuatsiya iz zdaniy massovogo naznacheniya. M., 1938. 70 p.
2. Milinskiy A. I. Issledovaniye protsessa evakuatsii zdaniy massovogo naznacheniya: dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.10. M., 1951. 178 p.

3. Predtechenskiy V. M., Milinskiy A. I. *Proyektirovaniye zdaniy s uchetom organizatsii dvizheniya lyudskikh potokov*. M., 1979. 375 p.
4. Kholshchevnikov V. V. *Lyudskiye potoki v zdaniyakh, sooruzheniyakh i na territorii ikh kompleksov*: dis. d-r. tekhn. nauk: 05.23.10. M., 1983. 484 p.
5. Parfenenko A. P. *Normirovaniye trebovaniy pozharnoy bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v zdaniyakh detskikh doshkol'nykh obrazovatel'nykh uchrezhdeniy*: dis. kand. tekhn. nauk: 05.26.03. M., 2012. 153 p.
6. Rudchenko G. I. *Sovershenstvovaniye sposobov i metodov obespecheniya pozharnoy bezopasnosti pri proyektirovanii i ekspluatatsii doshkolnykh obrazovatelnykh uchrezhdeniy*: dis. kand. tekhn. nauk: 05.26.03. Volgograd, 2013. 184 p.
7. *Zakon Rossiyskoy Federatsii «Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti» ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ // Sobraniye zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii. 2008 g. № 30 (chast' I). St. 3579. s izm. i dopol. v red. ot 28 iyulya 2008 g.*
8. Samoshin D. A., Matveyeva N. P. *Problemy bezopasnoy evakuatsii lyudey iz kul'tovyykh zdaniy pravoslavnoy tserkvi // Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*. 2013. № 6 (52). URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2013-6/2013-6.html>.
9. Samoshin D. A. *Sostav lyudskikh potokov i parametry ikh dvizheniya pri evakuatsii: monografiya*. M., 2016. 210 p.
10. Kantsedal S. A. *Osnovy statistiki*. M., 2011. 192 p.
11. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. N. *Issledovaniye problem obespecheniya pozharnoy bezopasnosti lyudey s narusheniyem zreniya, slukha i oporno-dviga- tel'nogo apparata // Pozharovzryvobezopasnost*. 2013. № 3. P. 48–56.
12. Istratov R. N. *Normirovaniye trebovaniy pozharnoy bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v statsionarakh sotsial'nykh uchrezhdeniy po obsluzhivaniyu grazhdan pozhilogo vozrasta*: dis. kand. tekhn. nauk: 05.26.03. M., 2014. 160 p.