

## **ЭВАКУАЦИЯ ЛЮДЕЙ С ФИЗИЧЕСКИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ**

*Изложены результаты проведённых автором натурных экспериментов по эвакуации людей с физическими ограничениями из стационаров больниц и домов-интернатов для престарелых.*

*Ключевые слова: эвакуация, люди с физическими ограничениями, виды пути.*

**V.V. Kholchevnikov, D.A. Samoshin, R.N. Istratov**

## **EVACUATION OF PEOPLE WITH PHYSICAL DISABILITIES**

*Results of conducted by the author natural experiments at evacuation of people with physical disabilities from hospitals and elderly care homes are presented.*

*Key words: evacuation, people with physical disabilities, route types.*

Построение гуманного и демократического общества должно предусматривать повышение внимания ко всем группам населения, в особенности к слабым и больным. Слабыми и больными в нашем обществе можно считать маломобильные группы людей, испытывающих затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуг, необходимой информации или ориентировании в пространстве.

Согласно СНиП 35-01, к ним относятся инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди старших возрастов и т.п.

Кроме маломобильных групп населения, которые хоть как-то способны передвигаться, существует немалое количество людей, неспособных к самостоятельному передвижению. Как правило, такие люди находятся в больницах и в домах-интернатах для престарелых.

Под защитой людей с физическими ограничениями следует понимать не только улучшение их социального положения, повышения доходов и качества жизни, но и обеспечение их безопасности.

Первоочередным элементом обеспечения безопасности в случае пожара является своевременная и беспрепятственная эвакуация.

На сегодняшний день эвакуация людей с физическими ограничениями является одним из самых сложных вопросов обеспечения безопасности при пожаре. Это обусловлено не только особенностями организма данных людей, но и недостаточной изученностью процесса их эвакуации по сравнению с эвакуацией здоровых людей.

Дело в том, что по сравнению с исследованиями эвакуации при пожаре здоровых людей, начатых в начале прошлого столетия, вопросы эвакуации людей с физическими ограничениями впервые были рассмотрены только в начале 80-х годов [3, 4], что и определяет неполную изученность данного вопроса.

В России же первые исследования по эвакуации людей с физическими ограничениями были организованы в 1993-1994 гг. [5], затем продолжены уже в новом тысячелетии [6, 7], однако для полного решения проблемы наработанных материалов недостаточно.

С целью дополнения этих материалов и более глубокого изучения особенностей эвакуации людей с физическими ограничениями, специалистами Учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России была проведена серия натуральных экспериментов по эвакуации людей в зданиях домов-интернатов для престарелых и больницах.

Целью проведения экспериментов в домах-интернатах для престарелых было определение зависимостей между скоростью движения потоков престарелых людей и их плотностью на разных участках пути (горизонтальный путь, лестница и пандус – спуск и подъем, проём).

Проводилось видеонаблюдение, впервые применённое ещё в 1988 г. при исследованиях людских потоков на станциях метрополитена [8]. Одним из последних примеров успешного применения видеонаблюдения было его использование при проведении экспериментов по эвакуации детей из дошкольных образовательных учреждений [9].

На исследуемых участках пути видеокамеры устанавливались таким образом, чтобы оптическая ось была вертикальна к плоскости снимаемого участка. Для фиксирования параметров движения престарелых людей по исследуемым участкам пути, перед началом видеосъёмки устанавливалась объёмная масштабная сетка с размером ячеек  $1 \times 1$  м. Снимался контрольный видеокادر, фиксирующий размеры участка и масштабную сетку, после чего масштабная сетка убиралась. После проведения всех подготовительных этапов группу престарелых людей просили пройти с максимально возможной скоростью по исследуемым участкам пути.

По окончании эксперимента проводился *анализ видеозаписей* и формирование статистической совокупности полученных данных. Данные обрабатывались на компьютере в следующем порядке:

1. Включалась отснятая видеозапись.

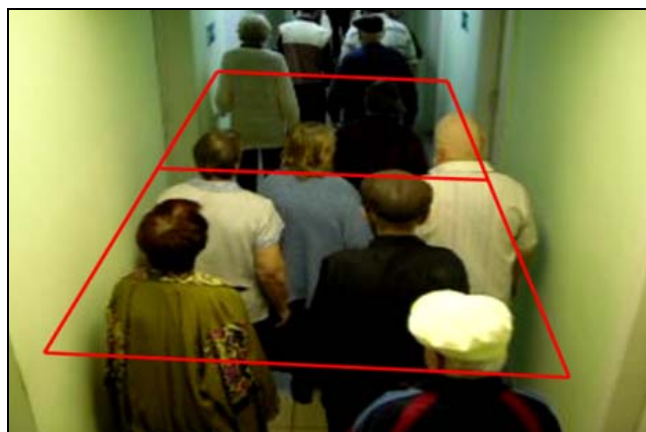
2. После того, как масштабная сетка, размерами  $1 \times 1$  м, снятая заранее на уровне голов людей, попадала в обзор камеры, видео останавливали и наносили на монитор компьютера её контур;

3. Имея на мониторе построенную масштабную сетку, продолжали просмотр отснятого видео. После того, как человек попадал на границу первого квадрата масштабной сетки, подсчитывалось количество людей в ячейке перед этим человеком (рис. 1) и определялась плотность потока  $D$  (чел/м<sup>2</sup>), с которой наблюдаемый человек проходит расстояние  $\Delta l = 1$  м за определённое количество кадров.

Скорость перемещений человека  $V_{ПЕР}$  (м/мин) за  $n$  кадров наблюдения за ним определялась по формуле:

$$V_{ПЕР} = \sum_1^n \Delta l \cdot 60 / \sum_1^n \Delta t. \quad (1)$$

Так продолжают до выхода наблюдаемого человека из зоны наблюдения. Таким же образом прослеживаются передвижения следующего из выбранных для наблюдения людей.



*а*



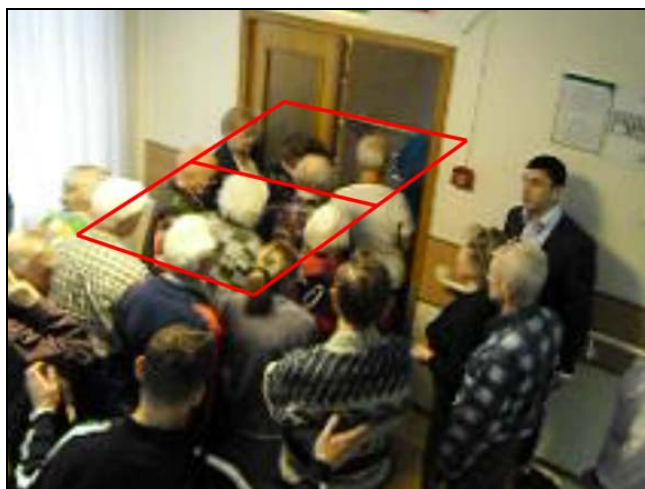
*б*



*в*

**Рис. 1.** Фрагменты анализа видеозаписей натуральных экспериментов при передвижении престарелых людей по разным участкам пути:  
*а* – горизонтальный путь; *б* – лестница; *в* – пандус

4. При движении через проём подсчитывалось количество людей  $N_{\Delta t}$ , проходящих через него за определённый интервал времени  $\Delta t$ . Величина  $\Delta t$  определялась продолжительностью существования перед границей проёма конкретного значения плотности  $D_i$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Плотность потока престарелых людей перед проёмом

5. Определялась интенсивность движения  $q_D$  (чел/(м·мин)) через проём шириной  $\delta$  (м) при наблюдаемой в течение интервала времени  $\Delta t$  плотности потока  $D_i$  перед ним

$$q_D = N_{\Delta t} / (\delta \cdot \Delta t), \quad (2)$$

а затем скорость  $V_D$  (м/мин) перехода через границу проёма при плотности  $D_i$ :

$$V_D = q_D / D_i. \quad (3)$$

В результате анализа видеозаписей проводимого эксперимента, из престарелых людей, способных к самостоятельному передвижению, можно выделить **3 группы мобильности**:

- престарелые люди, передвигающиеся без дополнительных опор;
- престарелые люди, передвигающиеся с одной дополнительной опорой (палкой, тростью, костылем с опорой под локоть);
- престарелые люди, передвигающиеся с двумя дополнительными опорами (палками, костылями или ходунками).

Количество проведённых наблюдений за передвижением людей разных групп мобильности на различных участках пути приведены в табл. 1.

В связи с большими трудностями передвижения престарелых людей, использующих две опоры, и их тяжёлым состоянием, удалось провести только 7 наблюдений по горизонтальным видам пути. Данные, полученные по дверным проёмам, были определены для смешанного потока, состоящего из престарелых людей, передвигающихся без опор и с одной опорой.

**Количество проведенных наблюдений за передвижение людей  
разных групп мобильности на различных участках пути**

Группа мобильности	Количество наблюдений по разным видам пути					
	горизонтальный	лестница вниз	лестница вверх	пандус вниз	пандус вверх	дверной проём
Престарелые люди без опор	196	156	162	74	72	35
Престарелые люди с одной опорой	73	54	73	9	7	
Престарелые люди с двумя опорами	7	-	-	-	-	-

Для теоретического анализа натуральных наблюдений использована формула, отражающая связи между плотностью потока, как внешним воздействием, и скоростью, как реакцией на него сенсорной системы человека [10]:

$$\bar{V}_{Dj}^{\text{Э}} = \bar{V}_{0j}^{\text{Э}} \left( 1 - a_j \ln \frac{D_i}{D_{0j}} \right), \quad (4)$$

где  $V_{0j}$  – скорость свободного движения (при отсутствии влияния окружающих людей:  $D_{ij} < D_{0j}$ ), зависящая от вида пути  $j$  и уровня эмоционального состояния (индекс "Э") людей;

$D_{0j}$  – пороговое значение плотности потока, по достижении которого плотность начинает оказывать влияние на скорость движения людей в потоке;

$a_j$  – коэффициент, отражающий влияние вида пути на скорость движения людей.

Конкретные значения входящих в (4) величин  $a_j$  и  $D_{0j}$ , определённых в результате аппроксимации эмпирических значений методом наименьших квадратов, а также значения  $V_{0j}$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения  $V_{0,j}$ ,  $a_j$  и  $D_{0j}$  при движении престарелых людей  
разных групп мобильности по различным видам пути**

Группа мобильности	Параметры	Значения параметров по видам пути ( $j$ )				
		горизонтальный	лестница вниз	лестница вверх	пандус вниз	пандус вверх
Престарелые люди без опор	$V_{0,j}$ , м/мин	41,84	28,13	27,7	43,54	37,22
	$D_{0,j}$ , чел/м <sup>2</sup>	0,18	1,12	0,594	0,98	0,66
	$a_j$	0,118	0,509	0,313	0,626	0,352
Престарелые люди с одной опорой	$V_{0,j}$ , м/мин	25,96	12,12	17,11	26,12	15,10
	$D_{0,j}$ , чел/м <sup>2</sup>	1,028	1,36	1,21	0,08	0,66
	$a_j$	0,622	0,196	0,47	0,137	0,352
Престарелые люди с двумя опорами	$V_{0,j}$ , м/мин	5,56	-	-	-	-
	$D_{0,j}$ , чел/м <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
	$a_j$	-	-	-	-	-

При рассмотрении общего смешанного потока, включающего всех престарелых людей разных групп мобильности, также были определены значения  $a_j$ ,  $D_{0j}$  и  $V_{0,j}$  (табл. 3).

Таблица 3

**Значения  $V_{0,j}$ ,  $a_j$  и  $D_{0,j}$  при движении смешанного потока престарелых людей разных групп мобильности по различным видам пути**

Группа мобильности	Параметры	Значения параметров по видам пути ( $j$ )					
		горизонтальный	лестница вниз	лестница вверх	пандус вниз	пандус вверх	дверной проём
Смешанный поток из престарелых людей	$V_{0,j}$ , м/мин	36,34	23,00	25,45	41,86	34,46	21,11
	$D_{0,j}$ , чел/м <sup>2</sup>	1,22	1,35	0,63	0,95	0,77	1,46
	$a_j$	0,733	0,548	0,333	0,607	0,391	0,431

Значения теоретического корреляционного отношения  $\eta_T$  (табл. 4 и 5), вычисляемые для оценки степени связи между скоростью и плотностью потока, характеризуют её как практически функциональную ( $\eta_T = 1$ ).

Таблица 4

**Значения теоретического корреляционного отношения  $\eta_T$  при движении престарелых людей разных групп мобильности по различным видам пути**

Группа мобильности	Горизонтальный	Лестница вниз	Лестница вверх	Пандус вниз	Пандус вверх
Престарелые люди без опор	1	1	1	1	1
Престарелые люди с одной опорой	0,9913	1	1	1	0,9999
Престарелые люди с двумя опорами	-	-	-	-	-

Таблица 5

**Значения теоретического корреляционного отношения  $\eta_T$  при движении смешанного потока престарелых людей разных групп мобильности по различным видам пути**

Группа мобильности	Горизонтальный	Лестница вниз	Лестница вверх	Пандус вниз	Пандус вверх	Дверной проём
Смешанный поток из престарелых людей	0,9627	1	1	1	1	1

Высокие значения  $\eta_T$  свидетельствуют о корректности принятого описания искомой зависимости (4), что говорит о достоверности полученных величин  $a_j$ ,  $D_{0,j}$  и  $V_{0,j}$ , позволяющих определить зависимости между скоростью движения потоков престарелых людей и их плотностью на разных участках пути.

Следующим этапом исследований было изучение особенностей эвакуации людей, неспособных к самостоятельному передвижению.

Для этого в больницах было проведено некоторое количество замеров скорости переноски людей на носилках по разным видам пути (горизонтальный путь, лестница – спуск и подъём), а также по разному времени перекладывания пациентов с кровати на носилки.

В эксперименте приняли участие врачи и медсестры разного пола. Всем была поставлена задача совершать перекладывание и переноску пациентов разного веса на время по команде организаторов эксперимента.

В качестве пациентов, неспособных к самостоятельному передвижению, в эксперименте участвовали практически здоровые пациенты-добровольцы, которым была поставлена задача строго имитировать неподвижность.

Для переноски пациентов применялись стандартные санитарные брезентовые носилки массой 8,5 кг.

На рис. 3 представлены некоторые фрагменты проведения экспериментов.



*а*



*б*



*в*

**Рис. 3.** Фрагменты экспериментов по эвакуации пациентов, неспособных к самостоятельному передвижению:  
*а* – перекладывание пациента с кровати на носилки;  
*б* – переноска пациента по горизонтали;  
*в* – переноска пациента по лестнице

Полученные при эксперименте данные приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Данные по перекладыванию и переноске пациентов с помощью носилок**

Пол медработников	Масса пациента, кг	Среднее время перекладывания пациента с кровати на носилки, с	Средняя скорость переноски по горизонтальному пути, м/мин	Средняя скорость переноски по лестнице вниз, м/мин
Женщины	20	2,4	115,88	54,97
	30	2,4	110,37	44,87
	65	5,8	93,44	31,77
	90	10,0	-	-
Мужчины	60	2,77	171,84	45,76
	90	8,15	94,41	34,96

После обработки экспериментальных данных была выведена формула по определению расчётного времени эвакуации людей, неспособных к самостоятельному передвижению с разных этажей здания при помощи носилок. В формуле были приняты некоторые допущения, и поэтому она не учитывает влияние усталости переносящих и образование скоплений людей на путях эвакуации при пожаре.

Расчётное время эвакуации  $t_p$  времени складывается из перекладывания каждого человека, неспособного к самостоятельному передвижению, на носилки, времени транспортировки до безопасного места, времени перекладывания с носилок и возвращения за следующим человеком. После эвакуации последнего человека, неспособного к самостоятельному передвижению, возвращение в здание людей производящих эвакуацию не предусматривается.

$$t_p = \left( 0,34 + \frac{L_1}{V_1^{\text{п}}} + \frac{L_2}{V_2^{\text{п}}} + \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right) \cdot \frac{N_{\text{НМ}}}{0,5 \cdot N_{\text{ПЕРС}}} - \left( \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right), \quad (5)$$

где  $N_{\text{НМ}}$  – количество людей, неспособных к самостоятельному передвижению, находящихся на этаже;

$N_{\text{ПЕРС}}$  – количество персонала находящееся на этаже;

$L_1$  – длина пути эвакуации по горизонтали, м;

$L_2$  – длина пути эвакуации по лестнице, м;

$V_1 = 100$  м/мин – скорость передвижения медперсонала по горизонтали с носилками без пациента;

$V_1^{\text{п}} = 70$  м/мин – скорость передвижения медперсонала по горизонтали с носилками с пациентом;

$V_2 = 60$  м/мин – скорость передвижения медперсонала по лестнице вверх с носилками без пациента;

$V_2^{\text{п}} = 30$  м/мин – скорость передвижения медперсонала по лестнице вниз с носилками с пациентом;



число 0,34, приведённое в начале формулы, обозначает среднее время перекладывания человека неспособного к самостоятельному передвижению, на носилки и с носилок в безопасном месте.

Данные, полученные в результате экспериментов в домах-интернатах для престарелых и больницах, являются дополнением к имеющейся базе материалов по изучению особенностей эвакуации людей с физическими ограничениями. Выявленные при передвижении престарелых людей величины  $a_j$ ,  $D_{0j}$  и  $V_{0j}$  для различных видов пути, позволяющие установить психофизические закономерности связи между скоростью движения и плотностью людских потоков в домах-интернатах для престарелых, а также полученные результаты по перекладыванию и переноске людей, неспособных к самостоятельному передвижению, должны использоваться при оценке планировочных решений зданий с учётом своевременной и беспрепятственной эвакуации.

### Литература

1. **Конвенция** о правах инвалидов (Принята в г. Нью-Йорке 13.12.2006 Резолюцией 61/106 на 76-м пленарном заседании 61-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН).
2. **Постановление** Правительства РФ от 17.03.2011 № 175 (ред. от 26.12.2011) "О государственной программе Российской Федерации "Доступная среда" на 2011-2015 годы".
3. **Hall J.** Patient Evacuation in Hospitals. In: Fires and Human Behaviour. Canter, D., (Ed), David Fulton Publisher, London, 1980.
4. **Bryan J.L., Milke J.A.** The Determination of Behavioral Response Patterns in Fire Situations. Project People II. Final Report – Health Care Report. Washington, DC, Centre for Fire Research, National Bureau of Standards, 1981.
5. **Кирюханцев Е.Е., Холщевников В.В., Шурин Е.Т.** Первые экспериментальные исследования движения инвалидов в общем потоке // Безопасность людей при пожаре. М.: ВИПТШ МВД России, 1994.
6. **Шурин Е.Т., Анаков А.В.** Выделение групп населения по мобильным качествам и индивидуальное движение в людском потоке как основа моделирования "смешанных" людских потоков при эвакуации // Проблемы пожарной безопасности в строительстве. М.: Академия ГПС МВД России, 2001.
7. **Шурин Е.Т., Самошин Д.А.** Исследования эвакуации немобильных людей // Проблемы пожарной безопасности в строительстве. М.: Академия ГПС МВД России, 2001.
8. **Холщевников В.В., Самошин Д.А., Исаевич И.И.** Натурные наблюдения людских потоков: Учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009.
9. **Холщевников В.В., Парфёненко А.П.** Эвакуация детей из зданий учебно-воспитательных учреждений // Пожарная безопасность в строительстве, 2011, №4. С. 49-61.
10. **Закономерности** связи между параметрами людских потоков. Диплом № 24-S (автор Холщевников В.В.) // Научные открытия. М.: Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, 2006. С. 63-69.