

УДК 614.894:006.354

**Д-р техн. наук, профессор В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ**  
**Московский государственный строительный университет,**  
**адъюнкт кафедры «Пожарная безопасность в строительстве» А. П. ПАРФЕНЕНКО,**  
**Академия ГПС МЧС РФ**



# ЭВАКУАЦИЯ ДЕТЕЙ В ЗДАНИЯХ УЧЕБНО-ВОСПИТАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Рассматривается методология исследований эвакуации детей из зданий дошкольных образовательных учреждений, использованная для установления расчетных закономерностей связи между параметрами движения по эвакуационным путям. Последовательно излагаются этапы проведенных исследований.  
**Ключевые слова:** людской поток; эвакуация; дети; подростки; психология поведения; натурные наблюдения; закономерности; виды пути.

## Введение

**Эвакуация** — сложный процесс поведения людей в различных условиях их жизнедеятельности, вынуждающих их покинуть места в помещениях зданий, на которых они находятся, осуществляя свои жизненные, духовные и социальные потребности. При этом поведение понимается как «присущее живым существам взаимодействие с окружающей средой, включающее их двигательную активность и ориентацию по отношению к этой среде» [1].

Возможное состояние окружающей среды определяет и характер эвакуации людей. Эвакуация может осуществляться в нормальных условиях эксплуатации зданий или при чрезвычайных ситуациях, вызванных техногенными происшествиями, антисоциальными действиями (например, террористические акты) или экстремальными природными явлениями. Она может происходить во время наступления этих событий или предшествовать им (при заблаговременном оповещении о них). При проектировании, строительстве и оборудовании зданий и сооружений всегда предусматриваются инженерно-технические решения и мероприятия, направленные на обеспечение в той или иной мере защиты зданий и находящихся в них людей при чрезвычайных ситуациях. Но в любом случае только успешная эвакуация людей из здания является свидетельством обеспечения их безопасности в таких ситуациях.

© В. В. Холщевников, А. П. Парфененко, 2011

Итоговыми показателями организации эвакуации являются:

**своевременность**, определяемая временем эвакуации людей из зданий  $t_{эв}$ :

$$t_{эв} = (t_{н.э} + t_p) \leq t_{доп}, \quad (1)$$

где  $t_{н.э}$  — время начала эвакуации;  $t_p$  — расчетное время выхода последнего человека из здания;  $t_{доп}$  — допустимая продолжительность пребывания людей в местах их нахождения (в частности,  $t_{н.б}$  — время, необходимое для безопасной эвакуации);

**беспрепятственность**, определяемая плотностью  $D_i$  людских потоков на участках  $i$  эвакуационного пути, которая должна быть меньше ее допустимых значений  $D_{доп}$  или равна им:

$$D_i \leq D_{доп}. \quad (2)$$

Людские потоки образуются при эвакуации, когда масса людей двигается одновременно по общим коммуникационным путям в одном направлении. Они начинают формироваться на участках коммуникационных путей, обслуживающих места пребывания людей еще до начала их эвакуации или при выходе из помещений и в течение времени начала эвакуации  $t_{н.э}$  с того момента, когда люди начинают движение к эвакуационному выходу.

Движение людей в потоке определяется как кинематическими зависимостями, так и психофизическими закономерностями связи между параметрами людских потоков на различных видах пути и возрастными возможностями людей к передвижению пешком.

За прошедшие десятилетия были достаточно подробно изучены параметры движения взрослых здоровых людей в зданиях различного назначения в нормальных и аварийных условиях [2, 3], а также людей с физическими ограничениями [4, 5]. Это позволило использовать полученные научные результаты в нормировании процесса эвакуации [6, 7] непосредственно и при определении на их основе необходимых размеров эвакуационных путей и выходов при разработке строительных норм и правил (СНиПов) по проектированию общественных и промышленных зданий, пешеходных сооружений метрополитенов, в сводах правил (СП). Однако и у нас в стране, и за рубежом отсутствует необходимая статистическая база по параметрам движения для такого контингента людей, как дети и подростки.

С этой целью были проведены исследования эвакуации детей из зданий образовательных учреждений по следующим этапам:

- подготовка и организация натурных видеонаблюдений;
- получение исходных эмпирических данных и их статистическая обработка;
- теоретический анализ и методы установления закономерностей связи между скоростью и плотностью людских потоков, состоящих из детей различных возрастных групп, при их движении по лестницам вниз и вверх, через дверные проемы, по горизонтальным путям шагом и бегом;
- методика категорирования движения по уровню эмоционального состояния и психофизиологических возможностей участвующих детей;
- сопоставительный анализ полученных результатов для улучшения организации эвакуации при различных условиях эксплуатации и видах чрезвычайных ситуаций в зданиях различного функционального назначения.

## Организация натурных наблюдений

В 2008—2010 гг. Учебно-научным комплексом проблем пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России впервые были проведены натурные наблюдения людских потоков, состоящих из детей разных возрастных групп, с целью установления научно обоснованных зависимостей между скоростью движения потоков и их плотностью. Следует отметить, что местные органы противопожарного надзора и их инспектора, на подведомственной территории которых находились объекты натурных наблюдений, так же как и руководители и воспитатели детских садов, отнеслись с пониманием к необходимости проведения этих исследований и с большой заинтересованностью способствовали их организации.

Натурные наблюдения проводились в восьми детских садах Москвы и городов Московской области. Для получения исходной информации в целях установления пара-

метров движения людских потоков в дошкольных учреждениях натурные наблюдения выполнялись при помощи видеосъемки [8] дифференцированно по возрастным группам, деление на которые принято в детских садах (рис. 1).

Как показывают специальные исследования в области психофизиологии, дифференциальной биомеханики, теории и методики физического воспитания и развития ребенка [9—11], такая классификация соответствует формированию психофизиологических возможностей движения детей. Из этих исследований следует, что у детей с 2 до 5 лет формируется схема (психофизиологическая модель) собственного тела. «Схема тела» «ориентируется» на двигательную задачу в конкретных условиях и «позволяет» в чувственной форме ощутить скорость различными частями тела и темп движений. В этот период формируются основные двигательные умения и навыки, накапливается двигательный опыт. Формирование двигательной программы включает в себя несколько компонентов: шаги, ориентировку в пространстве, реакцию на сигнал (например, хлопшкой и др.) к началу или изменению движения.

Исследования особенностей движения детей дошкольного возраста показали, что у детей в возрасте 3—4 лет наблюдается еще неравномерный темп и недостаточная четкость движений, несоблюдение заданного направления движения. Для этого возраста характерны также боковые раскачивания, разведение рук для сохранения равновесия, шарканье ногами, полусогнутое положение ног при ходьбе.

Длина шага при ходьбе возрастает постепенно с возрастом и зависит от роста детей. Ребенок небольшого роста, как правило, идет более мелкими и частыми шагами, чем его высокий сверстник. С четырехлетнего возраста длина шага при ходьбе у детей увеличивается до 39,0—40,5 см, а темп, наоборот, снижается. С изменением темпа нередко качественно меняется и вся структура движения. Например, если темп становится выше некоторого предела, то ходьба переходит в бег (180—200 шагов в минуту). Изменение темпа движений приводит к увеличению или уменьшению физической нагрузки. Длина шага при беге также увеличивается. Так, например, у детей, достигших 5 лет, при беге на дистанции 30,0 м длина шага достигает 59—62 см. В возрасте 5—6 лет координация движений, в частности рук и ног, улучшается более чем у 70 % детей, становится более рав-

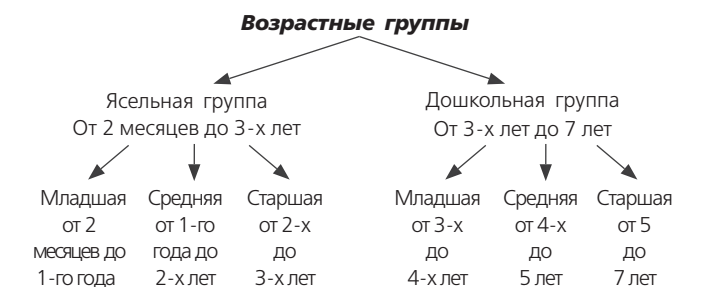


Рис. 1. Классификация контингента детей дошкольного возраста в соответствии с формированием психофизиологических возможностей движения

номерным и шаг. К 7 годам почти у 100 % детей более координированы движения рук и ног, увеличивается длина шага и замедляется темп ходьбы, возрастает скорость при ходьбе на расстояние.

Обобщение результатов имеющихся исследований двигательной активности детей дошкольного возраста приводит также (поскольку это дополнительно к сказанному) к следующим выводам. Развитие движений у детей 3–7 лет связано с созреванием мозга и всех его структур, участвующих в регуляции движений, с совершенствованием связей между двигательной зоной и другими зонами коры головного мозга, с изменением структуры и функциональных возможностей скелетных мышц. В этот период наблюдается специализация нейронов, их типизация в проекционных и ассоциативных областях коры головного мозга. Самым существенным моментом структурного созревания коры больших полушарий к 5–6 годам является усложнение системы связей по горизонтали как между нейронами близко расположенных ансамблей, так и между разными областями коры. Одновременно значительные изменения претерпевают и межполушарные связи: к 6–7 годам формируется мозолистое тело, соединяющее оба полушария. Таким образом, морфологические преобразования создают реальные предпосылки для формирования интегративных процессов в деятельности центральной нервной системы.

Однако, в какой степени и как возрастные индивидуальные физические и психофизиологические особенности формирования движения детей будут сказываться на их коллективном движении в потоке, массе, остается совершенно неизвестным. Здесь, как и при исследованиях потоков взрослых людей, следует иметь в виду следующее положение социальной психологии: «...отдельный человек, индивид, и массы — это как бы два

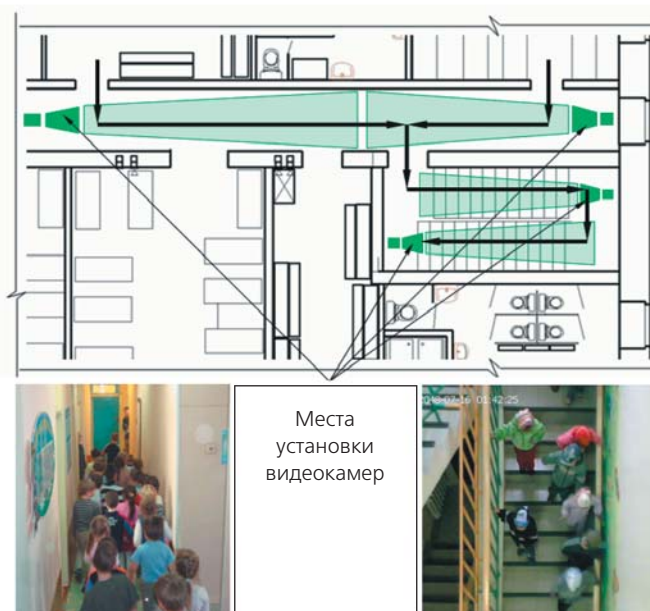


Рис. 2. Общая схема расстановка видеокамер на этаже и лестничной клетке

противоположных полюса на шкале социально-психологического знания. Соответственно, между ними существует множество различий, так как масса представляет собой некое новое целое, несводимое к сумме входящих в нее людей ... система не равна сумме своих составляющих» [12, с. 33].

С учетом изложенного представляется, что организация натурных наблюдений дифференцированно по возрастным группам является наиболее целесообразной, для того чтобы не упустить особенностей возрастной эволюции психофизиологии движения при выявлении общих закономерностей людских потоков.

Участки натурных наблюдений движения детей за пределами помещений (горизонтальный путь, лестница — спуск и подъем, проем) выбирались предварительно для каждого конкретного объекта. Схема участков натурных наблюдений в коридоре и лестничных клетках представлена на рис. 2.

Для фиксации параметров движения детей по участкам коммуникационных путей до начала киносъемки на исследуемом участке собиралась и устанавливалась объемная масштабная сетка с размером ячеек 1x1 м. Затем снимался контрольный кадр (рис. 3, а, б), фиксирующий геометрические размеры участка и масштабную сетку, после чего сетка убиралась.

При визуальных наблюдениях за движением детей при повседневной эксплуатации зданий детских садов нетрудно заметить, что при выходе (эвакуации) из здания на территорию для пребывания на свежем воздухе и во время подвижных игр характер их движения значительно меняется. При эвакуации — это организованное движение под присмотром воспитателя в задаваемом им темпе, тогда как в процессе игры дети получают свободу действий, их подвижность возрастает, скорость движения становится заметно выше той, с которой они двигались при эвакуации из здания.

Очевидно, что эвакуация детей в процессе их повседневного выхода на территорию для пребывания на свежем воздухе не раскрывает их возможностей движения в вероятных ситуациях, отличающихся от условий повседневной эксплуатации зданий. Поэтому видеонаблюдение за движением детей по коммуникационным путям велось как в ситуациях повседневной эксплуатации здания, так и в экспериментальных ситуациях, когда перед границей исследуемого участка пути собирали группу детей одного возраста и им ставились определенные задачи. Сначала от них требовалось пройти данный участок спокойно, как обычно. Затем их собирали вновь перед началом участка и просили пройти его с максимально возможной скоростью. При выполнении детьми второй задачи их мотивировали двигаться быстрее, используя привычные для них игровые ситуации: договаривались с ними об игре, в которой необходимо было пробежать исследуемый участок пути (только горизонтальный путь, так как во время бега по наклонным путям дети могли получить травмы). Победитель награждался конфетами.

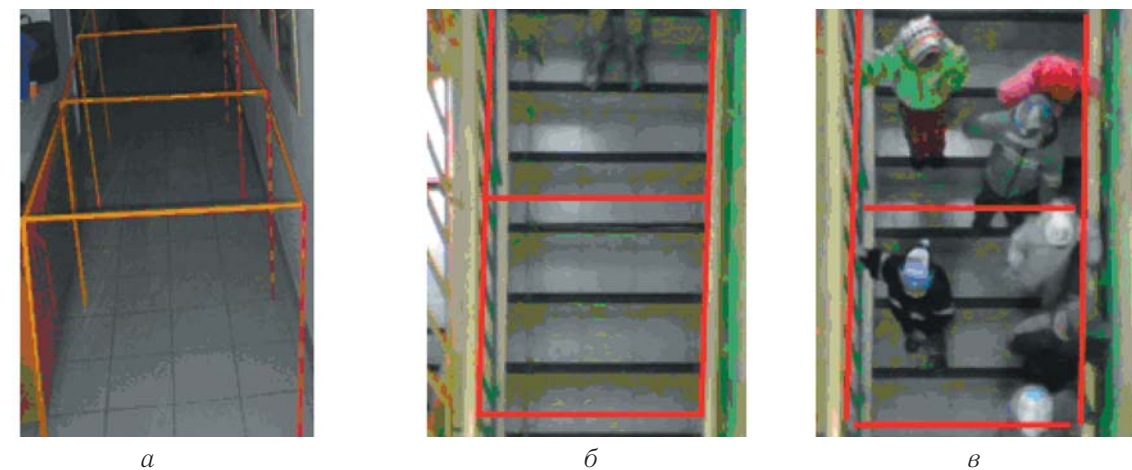


Рис. 3. Использование масштабной сетки: а — контрольный кадр — опорная сетка; б — контур опорной сетки на отснятом кадре; в — контур опорной сетки при обработке полученных данных

**Первичная статистическая обработка результатов видеонаблюдения за движением групп детей по участкам коммуникационных путей**

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 (см. рис. 3, а) попадала в обзор камеры, видео останавливали (пауза) и наносили на монитор компьютера силуэт масштабной сетки (см. рис. 3, б). Имея на мониторе построенную расчетную сетку, продолжали просмотр отснятого видео (см. рис. 3, в).

После того как человек попадал на границу первого квадрата масштабной сетки, подсчитывалось количество людей в ячейке перед ним и тем самым определялась плотность потока  $D_i$  (чел./м<sup>2</sup>), с которой наблюдаемый ( $i$ -й) человек проходил расстояние  $\Delta l = 1$  м за определенное количество кадров (тем самым определялся интервал времени  $\Delta t$ ). Скорость перемещений человека  $V_{пер}$  (м/мин) за  $n$  кадров наблюдения за ним определялась по формуле

$$V_{пер} = \sum_{i=1}^n \Delta l \cdot 60 / \sum_{i=1}^n \Delta t . \quad (3)$$

И так продолжали до выхода наблюдаемого человека из зоны наблюдения. Таким же образом прослеживалось передвижение следующего из выбранных для наблюдения людей.

Такова общая методика определения скорости движения людей и шагом, и бегом в потоке на линейных участках коммуникационного пути. Скорость движения через проем замерить таким же образом невозможно, поскольку длина участка пути в проеме равна нулю. Поэтому при движении через проем подсчитывалось количество детей  $N_{\Delta t}$ , проходящих через него за определенный интервал времени  $\Delta t$ . Величина  $\Delta t$  определялась продолжительностью существования перед границей проема потока детей определенной плотности  $D_i$  (рис. 4).

Имея значения  $N_{\Delta t}$ , определяем интенсивность движения  $q_D$  (чел./м·мин) через проем шириной  $\delta$  (м) при наблюдаемой в течение интервала времени  $\Delta t$  плотности потока  $D_i$  перед ним:

$$q_D = N_{\Delta t} / (\delta \Delta t) , \quad (4)$$

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

$$V_D = q_D / D_i . \quad (5)$$

Эксперименты по движению через дверные проемы шириной 0,6 и 1,2 м проводились со смешанным составом потока, состоящим из детей средней и старшей возрастных групп. Следует отметить, что при обработке результатов наблюдений интенсивности движения через проемы шириной 0,6 и 1,2 м значения совпадали (при этом максимальная плотность перед проемом шириной 1,2 м составляла не более 6 чел./м<sup>2</sup>), поэтому они были объединены в общую совокупность.

Структура полученной статистической совокупности эмпирических данных натурных наблюдений за движением

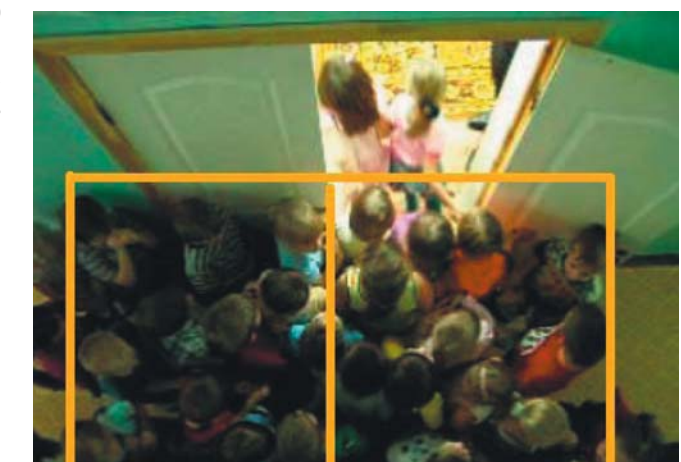


Рис. 4. Плотность потока детей перед проемом

Таблица 1. Результаты натурных наблюдений в повседневных условиях эксплуатации зданий

Возрастная группа	Количество наблюдений <i>n</i> и средняя скорость <i>V</i> , м/мин						Итого
	Горизонтальный путь		Лестница вниз		Лестница вверх		
	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	
Младшая	34	46,62	–*	–*	–*	–*	34
Средняя	31	50,82	40	39,71	31	38,02	102
Старшая	39	51,76	47	44,18	40	42,77	126
Всего	104		87		71		262

\* Данных нет, поскольку младшая и ясельная группы должны размещаться только на I этаже.

Таблица 2. Структура статистической совокупности данных для определения скорости движения детей по горизонтальным путям и по лестницам шагом (имитация нормальных условий)

Возрастная группа	Количество наблюдений <i>n</i> и средняя скорость <i>V</i> , м/мин, в интервале плотности потока, чел./м <sup>2</sup>												Итого
	0–1		1–2		2–3		3–4		4–5		5–6		
	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	
Горизонтальный путь													
Ясельная	85	24,83	78	24,65	72	24,55	–	–	–	–	–	–	235
Младшая	78	63,09	81	50,98	37	43,34	10	36,33	–	–	–	–	206
Средняя	32	67,38	46	54,70	26	46,08	5	38,89	–	–	–	–	109
Старшая	39	96,74	56	78,79	24	65,68	20	56,42	6	49,96	–	–	145
Лестница вниз													
Ясельная	73	20,11	71	19,92	43	20,41	24	19,56	–	–	–	–	211
Младшая	26	30,15	50	25,13	38	22,53	27	20,25	4	19,13	–	–	145
Средняя	8	40,20	26	33,46	37	30,15	36	27,13	12	25,11	–	–	119
Старшая	45	69,75	102	58,04	122	52,88	46	47,06	26	43,36	4	40,99	345
Лестница вверх													
Ясельная	58	20,49	42	20,31	35	20,14	12	20,64	–	–	–	–	147
Младшая	33	41,46	46	33,43	30	28,13	6	24,06	–	–	–	–	115
Средняя	5	53,18	14	43,02	45	36,09	37	30,81	11	27,06	3	24,29	115
Старшая	76	79,34	100	64,18	117	53,31	53	45,80	13	40,24	–	–	359
Всего наблюдений	558		712		626		276		72		7		2251

Таблица 3. Структура статистической совокупности данных для определения параметров движения через дверной проем группы детей смешанного возрастного состава

Интервал плотности потока <i>D</i> , чел./м <sup>2</sup>	<i>n</i>	Интенсивность движения потока <i>q</i> , чел./(м·мин)
1–2	32	119
2–3	42	150
3–4	11	163
4–5	51	182
5–6	80	186
7–8	65	199
8–9	83	221
9–10	61	209
10–11	44	228
11–12	41	196
12–13	40	181
13–14	52	199
16–17	6	99
Всего наблюдений	604	

Таблица 4. Структура статистической совокупности данных для определения параметров движения детей при беге по горизонтальному пути

Возрастная группа	Количество наблюдений <i>n</i> и средняя скорость <i>V</i> , м/мин, в интервале плотности потока, чел./м <sup>2</sup>												Итого
	0–1		1–2		2–3		3–4		4–5		5–6		
	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>V</i>	
Младшая	50	106,66	37	86,52	5	72,71	3	61,88	–	–	–	–	95
Средняя	45	112,27	83	90,80	7	76,74	6	66,35	2	57,86	–	–	143
Старшая	32	138,13	88	112,38	73	94,67	36	79,60	8	68,48	3	65,69	240
Всего наблюдений	127		208		85		45		10		3		478

детей приведена в табл. 1–4: во время выхода на прогулку – в табл. 1, по горизонтальным путям и по лестницам при выполнении первой задачи – в табл. 2, через проем – в табл. 3, при беге – в табл. 4.

Как видно из табл. 1–4, общая совокупность полученных эмпирических значений скорости движения людей в потоке определенной плотности, зависящих от комбинации воздействий комплекса факторов, распределена на группы по контролируемым признакам-факторам (вид пути, возрастные группы). Это сделано для упрощения оценки степени влияния каждого из них на связь скорости потока с его плотностью. Однако представленные в каждой из таблиц значения скорости в вариационных рядах для установленных интервалов плотности потока (1 чел./м<sup>2</sup>) являются результатом влияния не только выделенных классификационных признаков-факторов, но и уровня эмоционального состояния людей (в данном случае – детей), в котором они находились во время экспериментов, и различных возрастных психофизиологических возможностей движения детей. Однако при этом не удается количественно дифференцировать влияние этих факторов, поскольку они присутствуют постоянно во всех сериях проведенных наблюдений.

Представление о влиянии эмоционального состояния можно получить, сопоставляя значения скорости движения детей шагом и бегом по горизонтальным путям. Но и в этом случае прямое сопоставление значений скорости движения шагом и бегом не позволяет установить, в какой мере уровень (неизвестно какой, поскольку шкала уровней отсутствует) эмоционального состояния при тех или иных физических возможностях людей влияет на изменение его скорости.

**Теоретический анализ результатов натурных наблюдений движения**

Достаточно очевидно, что для выявления тенденции влияния плотности людского потока на его скорость по эмпирическим данным необходимо найти возможность нивелировать влияние на нее уровня эмоционального состояния наблюдаемых групп людей. И такая возможность, оказывается, имеется [13]: по изменению средних значений скорости  $\Delta V_D$  с увеличением плотности потока  $V_D$  относительно средней скорости  $V_0$  в

начальном интервале, когда человеком не ощущается влияние плотности. Очевидно, что эта тенденция отображает реакцию  $R_{Dj}$  рассматриваемой группы людей на увеличение плотности при движении по *j*-му виду пути:

$$R_{Dj} = \Delta V_D / V_0, \tag{6}$$

где  $\Delta V_D = V_0 - V_D$ .

Определим значения  $V$  для каждого интервала плотности во всех сериях проведенных натурных наблюдений. Это – эмпирические средние значения  $R_{Dj}$ , имеющие соответствующую дисперсию. Наличие этих двух числовых характеристик распределения вероятных значений  $V$  достаточно для того, чтобы построить доверительные интервалы для математического ожидания  $m(R_{Dj})$ , в границах которых должна проходить теоретическая линия регрессии  $R_{Dj}^t = \varphi(D)$ , описывающая корреляционную связь между скоростью и плотностью людского потока (рис. 5 и 6).

Выбор аппроксимирующей функции – ответственная и сложная задача, поскольку математическая формула только тогда имеет реальный смысл, когда она с достаточной степенью приближения отражает те внутренние отношения между элементами материальной системы, которые и определяют форму связи между ее наблюдаемыми параметрами. В данном случае такой «материальной системой» является человек с его «взаимосодействием» функциональных систем организма [14, 15]. Поэтому форма связи между плотностью потока как внешним воздействием и скоростью как реакцией на него сенсорной системы человека ищется в форме [13]:

$$\bar{V}_{Dj}^{\Delta} = \bar{V}_{0j}^{\Delta} \left( 1 - a_j \ln \frac{D_i}{D_{0j}} \right), \tag{7}$$

где – случайная величина скорости 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, по достижении которого плотность становится фактором, оказывающим влияние на скорость движения людей в потоке;  $a_j$  – коэффициент, отражающий влияние вида пути.

Таблица 5. Значения  $a_j$  и  $D_{0j}$  при движении возрастных групп детей по различным видам пути в зданиях дошкольных учреждений

Вид пути	Группа	Характер движения	$a_j$	$D_{0j}$ , чел./м <sup>2</sup>
Горизонтальный	Старшая	Бег	0,275	0,78
		Шаг	0,275	0,78
	Средняя	Бег	0,275	0,78
		Шаг	0,275	0,78
	Младшая	Бег	0,275	0,78
		Шаг	0,275	0,78
Проем	Старшая, средняя	Шаг	0,350	1,20
Лестница вниз	Старшая	Шаг	0,190	0,645
	Средняя	Шаг	0,190	0,645
	Младшая	Шаг	0,190	0,645
Лестница вверх	Старшая	Шаг	0,275	0,76
	Средняя	Шаг	0,275	0,76
	Младшая	Шаг	0,275	0,76

Конкретные значения входящих в (7) величин  $a_j$  и  $D_{0j}$  определяются в результате аппроксимации эмпирических значений  $R_{Dj}$  методом наименьших квадратов (табл. 5).

Как видно из данных табл. 5, значения  $a_j$  и  $D_{0j}$  при движении по каждому из видов пути не зависят, оказывается, от возрастных групп детей. Поэтому на рис. 5 и 6 для горизонтальных путей и проема построены общие

для возрастных групп теоретические ( $R_{Dj}$ ) линии регрессии. Следует обратить внимание на то, что значения  $a_j$  и  $D_{0j}$  при движении детей бегом по горизонтальным путям те же, что и при их движении шагом.

Значения теоретического корреляционного отношения  $\eta_r$  (табл. 6), вычисляемые для оценки тесноты установленной связи между  $R_j$  и  $D_j$ , характеризуют ее как практически функциональную ( $\eta_r = 1$ ).

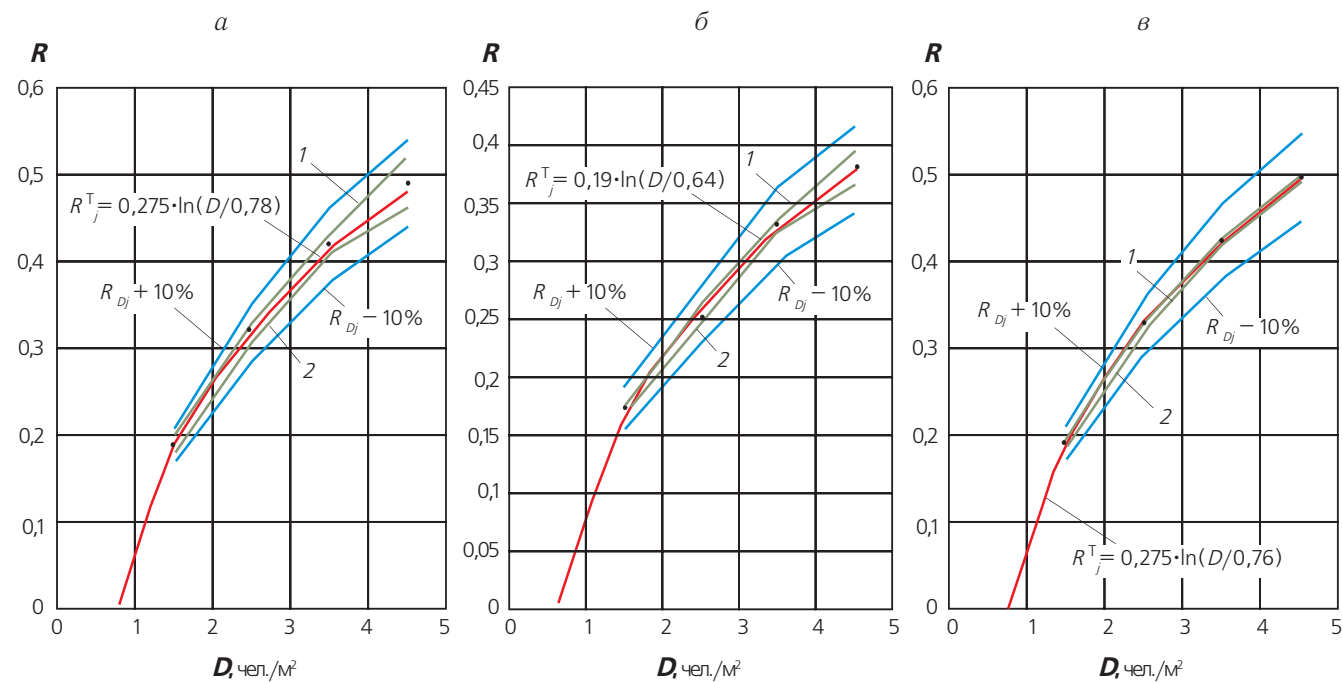


Рис. 5. Аппроксимирующие теоретические зависимости  $R_j^T = \varphi(D_{0j})$ : а – для горизонтального пути; б – для лестницы вниз; в – для лестницы вверх; 1 – верхняя доверительная граница; 2 – нижняя доверительная граница

Таблица 6. Значения теоретического корреляционного отношения  $\eta_r$  для различных видов пути

Вид пути	Горизонтальный	Лестница вниз	Лестница вверх	Проем
$\eta_r$	0,9987	0,9954	0,9993	0,9532

Столь высокие значения  $\eta_r$  свидетельствуют о корректности принятого описания искомой зависимости (7) в виде элементарной случайной функции, которая представляет собой произведение случайной величины (в данном случае  $V_{0j}^3$ ) на неслучайную функцию (стоящую в скобках).

Наблюдаемая в нормальных условиях эксплуатации зданий максимальная скорость свободного движения достаточно однородной по физическим возможностям группы людей относится к тем людям, которые находятся, очевидно, в более высоком эмоциональном состоянии, чем остальные люди. Это соображение дает возможность прогнозировать ожидаемые значения скоростей движения людей при нехарактерных для нормальных условий, но весьма вероятных в чрезвычайных ситуациях интервалах уровня эмоционального состояния. Такой подход опирается на статистическую теорию крайних членов выборки [16] и используется в теории людских потоков [13]. Он был применен и в данном случае. Максимальные (крайние) члены выборки отбирались из каждой серии натуральных наблюдений, когда дети ходили шагом, в интервале плотности людского потока 0–1 чел./м<sup>2</sup>. В каждой выборке к ним отнесены те, которые превосходят значения  $V_{cp} + 1,96\sigma(V_0)$ .

На рис. 7 приведены графики прогнозируемых средних значений скорости движения людских потоков, состоящих из детей различных возрастных групп, по горизонтальным путям и по лестницам в зависимости от

вероятного наблюдаемого уровня их эмоционального состояния при их движении шагом (в повседневных условиях и при выполнении первой задачи в экспериментах). В качестве средней скорости свободного движения потока принималась величина  $m(V_0^3) = 0,5 \max V_0^3$  (в силу невозможности превышения максимальным членом выборки удвоенного среднего [17]). Для определения границ категорий движения использовались характерные точки изменения угла наклона кривых, описывающих рост скорости свободного движения, что свидетельствует об увеличении интенсивности воздействия данного фактора (эмоционального состояния).

На рис. 7 отсутствуют данные для категории движения «повышенная активность». Необходимые для этой категории построения использовались для оценки корреляционной теории крайних значений выборки для прогнозирования скоростей движения детей в этом эмоциональном состоянии, поскольку впервые появилась возможность проследить в натуре влияние на скорость свободного движения явного изменения эмоционального состояния людей одного и того же состава (при выполнении детьми первой и второй задач).

Для оценки реальности установленных значений скорости свободного движения при ожидаемом уровне эмоционального состояния, определяющем категорию повышенной активности движения, использовались данные серий натуральных наблюдений за бегом детей по горизонтальным путям. Наблюдаемые при беге значения

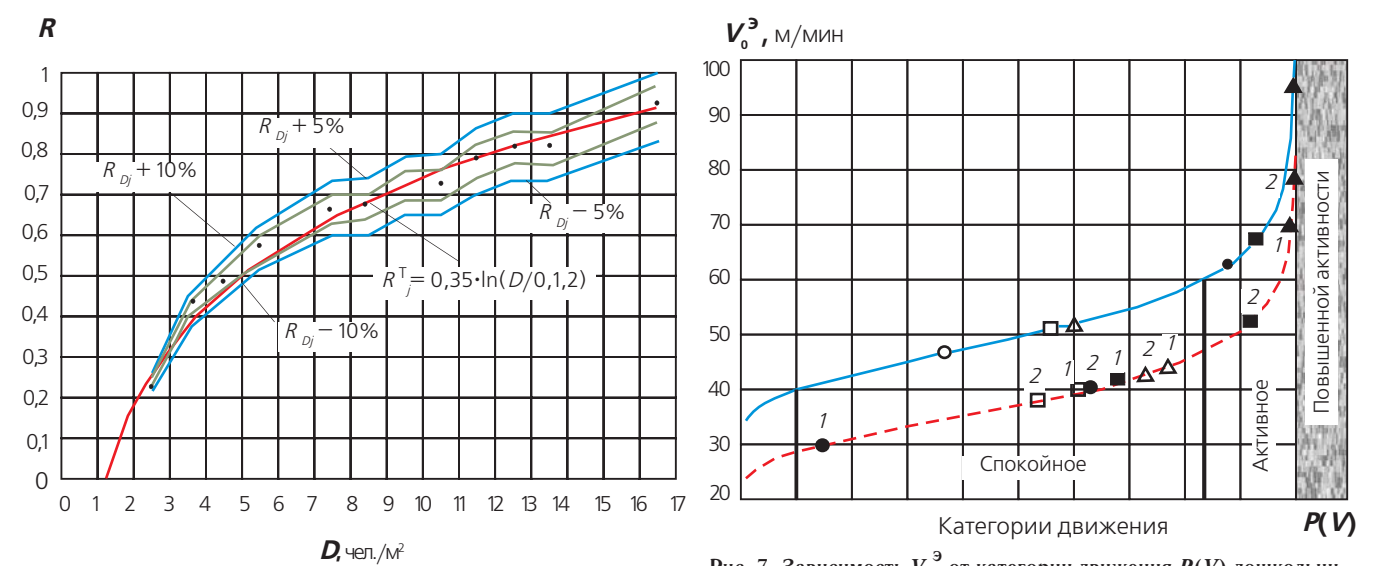


Рис. 6. Аппроксимация зависимости  $R_j$  для проемов в детских садах: 1 – верхняя доверительная граница; 2 – нижняя доверительная граница

Рис. 7. Зависимость  $V_0^3$  от категории движения  $P(V)$  дошкольников по: горизонтальному пути (—) и лестнице (---) (1 – лестница вниз, 2 – лестница вверх) для возрастных групп при эксперименте (● – младшей, ■ – средней, ▲ – старшей) и при повседневной эксплуатации (○ – младшей, □ – средней, △ – старшей)

были нанесены на построенные диаграммы зависимости  $V_n$ , —  $P(V_n)$  (рис. 8).

Как видно, эмпирические значения и их средние значения «ложатся» на кривую, отображающую рост максимальных значений скорости при различных значениях  $P(V_n)$  в интервале  $P(V_n)$  до 0,999.

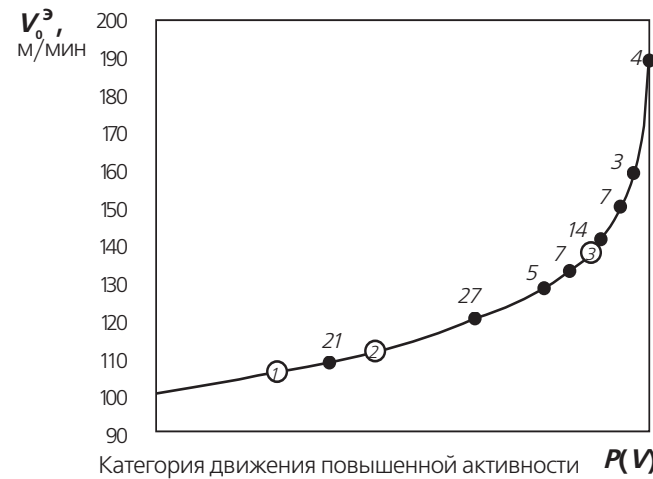


Рис. 8. Сопоставление теоретической зависимости (кривая) повышения скорости движения людей от уровня эмоционального состояния и скорости движения детей разных возрастных групп при беге (точки): ● — эмпирические значения, получаемые при эксперименте с количеством наблюдений, указанным сверху значка; ○ — средние эмпирические значения скорости при беге для групп: 1 — младшей, 2 — средней, 3 — старшей

По данным специалистов по физическому воспитанию детей у детей дошкольного возраста можно выделить три вида бега: быстрый бег, бег со средней скоростью и медленный бег. При медленном беге у детей отсутствует «полетная» составляющая бега, поэтому он воспринимается как движение шагом, можно сказать «быстрым скользящим шагом». Внимательный анализ видеозаписей движения групп детей при выполнении первой из поставленных перед ними задач подтверждает эту характерную особенность координации их движения. Скорость медленного бега у детей в возрасте 4–5 лет равна 1,0–1,4 м/с (60–84 м/мин), 5–7 лет — 1,3–1,6 м/с (78–96 м/мин). Бег со средней скоростью детей в возрасте 4–5 лет составляет от 2,0 до 2,2 м/с (120–132 м/мин), 5–7 лет — от 2,2 до 2,7 м/с (132–162 м/мин). Скорость такого бега составляет 50–60% от максимально возможной скорости бега у детей каждого возраста.

Эти данные показывают, что в исследованиях коллективного движения группами при выполнении первой задачи дети двигались в темпе медленного бега, а при вы-

Таблица 8. Площадь горизонтальной проекции  $f$  детей разных возрастных групп

Возрастная группа	Количество замеров	Среднее значение $f_{cp}$ , м <sup>2</sup> /чел.	Среднеквадратичное отклонение	Расчетное значение $f_p$ , м <sup>2</sup> /чел.
Младшая	27	0,0247	0,00114	0,03
Средняя	69	0,0282	0,00170	
Старшая	48	0,0325	0,00211	

полнении второй — в среднем темпе бега. Поэтому можно сделать вывод, что прогнозирование ожидаемых скоростей движения людей при повышенном уровне эмоционального состояния с использованием методологии крайних членов выборки не завышает их реальных значений.

Установленные значения скоростей свободного движения для выделяемых категорий движения по видам пути для всех возрастных групп детей приведены в табл. 7.

Таким образом, значения всех членов формулы (7) определены для всех возрастных групп детей дошкольного возраста при любой из возможных категорий их движения.

Таблица 7. Скорости свободного движения возрастных групп детей дошкольного возраста по видам пути при категориях движения

Категория движения	Скорость свободного движения $V_0$ , м/мин	
	по горизонтальному пути, через проем	по лестнице
Комфортное	<40	<29
Спокойное	40–60	29–47
Активное	60–100	47–84
Повышенной активности	100–190	–

Принятое в отечественном нормировании [6, 7] представление расчетных зависимостей между параметрами людских потоков при выражении плотности через площадь горизонтальной проекции составляющих поток людей  $f$  (м<sup>2</sup>/чел.) направлено на достижение таким образом сопоставимости ощущения свободы движения (свободного пространства) в интервалах плотности потоков различных возрастных групп. Для учета этого фактора вводится измерение плотности потока  $D$  через площадь горизонтальной проекции участников движения:

$$D = \frac{Nf}{l\delta}, \quad (8)$$

где  $N$  — количество людей в потоке;  $b$  и  $l$  — ширина и длина участка пути, занимаемого потоком.

Такое представление плотности людского потока требует определения этого показателя и для возрастных групп детей. Результаты соответствующих измерений представлены в табл. 8.

В принятых единицах измерения значения  $D_{0j}$  по видам пути (см. табл. 5) составят: по горизонтальному — 0,023; лестнице вниз — 0,019; лестнице вверх — 0,023; через проем — 0,036.

При установленных значениях этих величин и среднем значении  $V_0^3$ , соответствующем границе между катего-

риями движения «спокойное» и «активное» (см. рис. 7), графики этих зависимостей представлены на рис. 9.

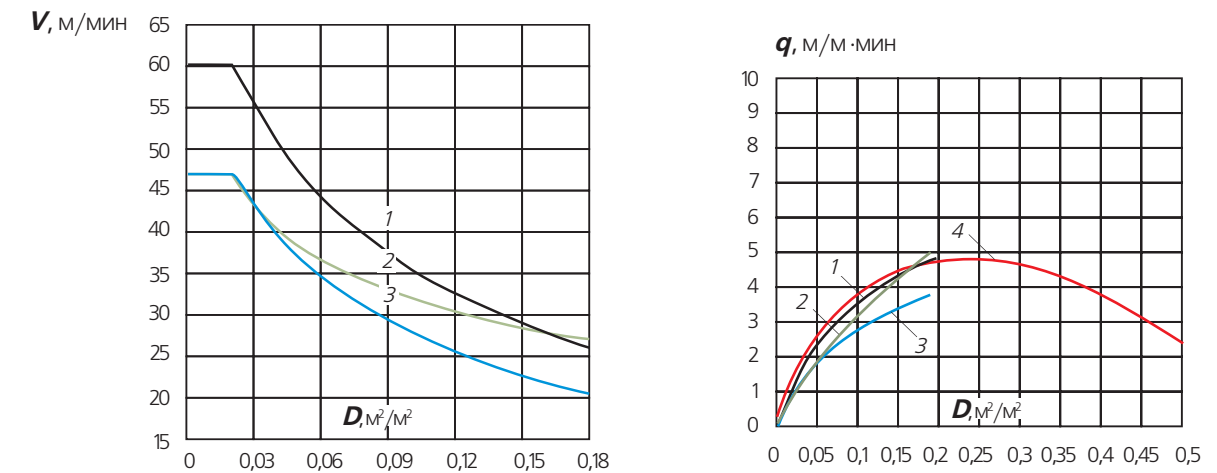


Рис. 9. Расчетные зависимости скорости  $V$  (а) и интенсивности движения  $q$  (б) дошкольников от плотности потока на различных видах пути: 1 — горизонтальный; 2 — лестница вниз; 3 — лестница вверх

**Выводы**

Проведенные исследования существенно пополнили статистическую базу эмпирических данных, на которой основывается теория людских потоков [18]. К настоящему времени общая совокупность эмпирических данных превосходит 50 тысяч. Но не только количественным вкладом в эмпирику исходных данных определяется особый интерес к результатам выполненных исследований; и не только тем, что впервые исследовано движение людских потоков, состоящих из детей разных возрастных групп. В первую очередь он определяется тем, что полученные результаты создают возможность сомкнуть цепь исследований, позволяющих впервые проследить возрастную эволюцию закономерности связи между скоростью и плотностью людских потоков.

Ближайшим к проведенным исследованиям звеном в этой цепи являются исследования закономерностей людских потоков в школьных зданиях [19, 20]. В результате этих исследований было получено 1458 данных натурных наблюдений за движением по горизонтальным

путям и по лестницам (вверх, вниз) потоков школьников младшей (7–9 лет), средней (10–14 лет) и старшей (15–16 лет) возрастных групп (съемка кинокамерой «Конвас — автомат»), а затем показать определяющие их закономерности [20].

В целях оценки идентичности исходных данных, получаемых при проведении натурных наблюдений разной фиксирующей кино- и видеозаписывающей аппаратурой, в 2010–2011 гг. в школьных зданиях были проведены контрольные съемки камерой «Шпион».

Обследованные возрастные группы учащихся в школах значительно отличались физическими данными, что нашло свое отражение в средних площадях их горизонтальных проекций: младшая — 0,04 м<sup>2</sup>/чел., средняя — 0,06 м<sup>2</sup>/чел., старшая — 0,08 м<sup>2</sup>/чел. Следовательно, при одном и том же количестве учащихся разных возрастных групп в потоке будет достигнута различная свобода индивидуальных передвижений.

Полученные эмпирические значения были включены (табл. 9) в общую статистическую базу исходных статис-

Таблица 9. Данные натурных наблюдений, выражающие закономерность связи между скоростью и плотностью потоков школьников

Вид пути	Возрастная группа	Количество наблюдений $n$ и средняя скорость $V$ , м/мин, в интервале плотности $D$ , м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>											
		0–0,08		0,08–0,16		0,16–0,24		0,24–0,32		0,32–0,40		0,40–0,48	
		$n$	$V$	$n$	$V$	$n$	$V$	$n$	$V$	$n$	$V$	$n$	$V$
Лестница вверх	Средняя	60	56,00	101	39,18	31	26,94						
	Младшая	92	53,11	70	36,77								
Горизонтальный	Старшая	38	59,74	41	44,29	30	33,00	27	27,96	20	23,00		
	Средняя	57	69,12	84	48,23	35	35,29	32	30,31	55	24,44	23	22
Лестница вниз	Младшая	144	65,39	181	45,66	106	34,49	70	28,67				
	Средняя	52	69,81	83	52,22	35	38,71						
Всего наблюдений	Младшая	79	63,16	73	49,22								
	Все	522		633		237		129		75		23	

Таблица 10. Структура статистической совокупности данных для определения скорости движения школьников после объединения выборочных совокупностей

Вид пути	Возрастная группа	Количество наблюдений $n$ и средняя скорость $V$ , м/мин, в интервале плотности $D$ , м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>											
		0–0,08		0,08–0,16		0,16–0,24		0,24–0,32		0,32–0,40		0,40–0,48	
		$n$	$V$	$n$	$V$	$n$	$V$	$n$	$V$	$n$	$V$	$n$	$V$
Горизонтальный + лестница вниз	Все	370	65,44	462	47,92	206	35,37	129	28,98	75	23,72	23	22,83
Лестница вверх	Все	152	54,56	171	37,98	31	26,94						

тических данных исследований по школьным зданиям, которая затем была использована для установления формы и количественного выражения закономерностей связи между параметрами людских потоков в школьных зданиях.

Из данных табл. 9 видно, темп (средняя скорость) движения по горизонтальным путям школьников старшей возрастной группы оказывается несколько ниже, чем школьников средней (и даже младшей) возрастной группы. Это наблюдение вполне соответствует данным специалистов по физическому развитию детей: с увеличением возраста детей происходит снижение темпа их движения. Если не знать этой психофизиологической особенности возрастного формирования движения, то достоверность полученных данных может вызвать даже сомнение.

Интересно сравнить средние скорости движения близких по возрасту групп детей в школьных зданиях (младшая группа, см. табл. 9) и в зданиях детских садов (старшая группа, см. табл. 1). Из сопоставления соответствующих значений видно, что в нормальных условиях школьники этого возраста идут и по горизонтальному пути, и по лестнице вниз гораздо быстрее, чем их сверстники в детских садах под присмотром воспитателей. В этом, несомненно, сказывается регулирующее

влияние воспитателей детских садов. При «самостоятельном» же движении дошкольников наблюдается обратная картина, что может свидетельствовать об отмеченном возрастном снижении темпа движения.

Возрастная эволюция координации движения приводит к тому, что школьники, как и взрослые люди при свободном движении, начинают движение по лестнице вниз с той же скоростью, с которой они шли по горизонтальному пути (см. табл. 2 в ГОСТ 12.1.004–91\* [6]). Дисперсионный анализ данных табл. 9 показывает, что выборочные совокупности, полученные для горизонтальных путей и лестниц вниз, различаются незначительно. Поэтому они могут считаться однородными, и их можно объединять в каждом интервале плотности для получения более надежной информации об описываемом явлении. В табл. 10 представлены общие эмпирические данные после объединения выборок.

Данные табл. 10 использовались для построения функции  $R$  (6). Результаты аппроксимации изменения функции  $R$  под влиянием плотности иллюстрируются теоретическими зависимостями  $V$  от  $D$ , представленными графически на рис. 10.

Полученные результаты свидетельствуют об общности установленного вида закономерностей связи между

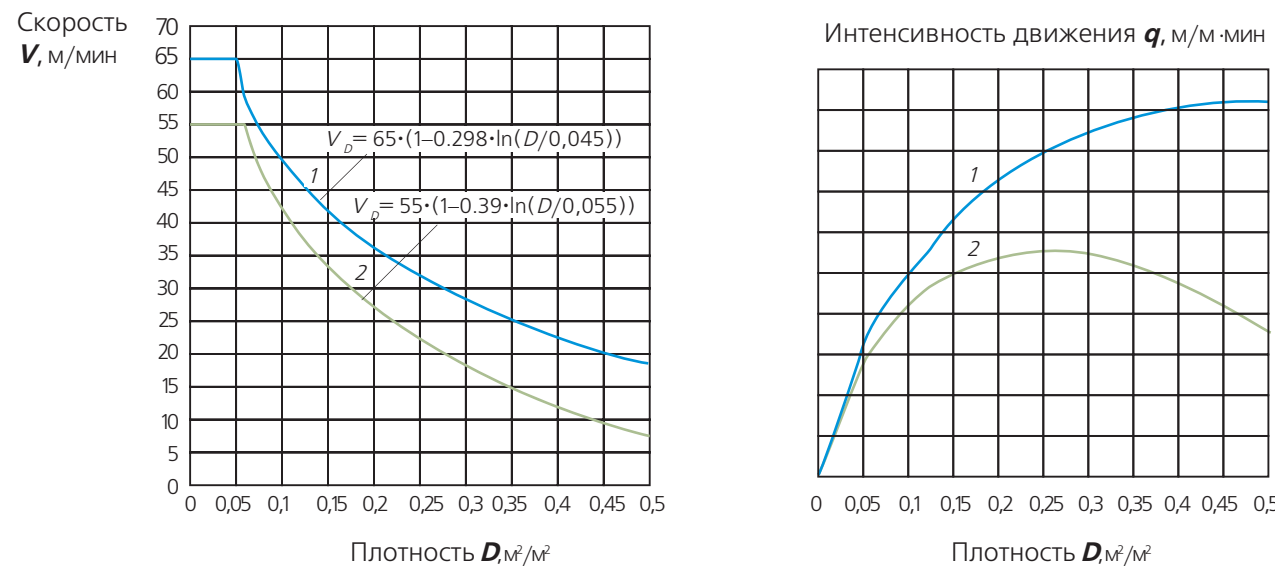


Рис. 10. Расчетные зависимости скорости и интенсивности движения школьников от плотности потока на различных видах пути: 1 – горизонтальный, лестница вниз; 2 – лестница вверх

параметрами людских потоков для исследуемых возрастных групп. Следует отметить, что и недавно выполненные за рубежом исследования [21] движения людских потоков с участием подростков школьного возраста в зданиях иного назначения подтверждают эту общую закономерность.

Исследования движения детей в зданиях дошкольных образовательных учреждений, как и проведенные ранее исследования основного функционального контингента людей различного возраста и физического состояния в зданиях различного функционального назначения, свидетельствуют о том, что закономерности взаимосвязи между параметрами движения людских потоков имеют общий вид, описываемый случайной функцией (7). Поэтому возрастную специфику реакции людей на плотность потока, изменения вида пути и уровня эмоционального состояния следует искать в изменениях значений величин, входящих в формулу, описывающую эту закономерность. Например, при движении по горизонтальным путям и по лестницам вниз потоков взрослых людей уже не наблюдается равенства между  $aj$  и  $D_{0j}$ . Свидетельствует ли этот факт о том, что координация движений человека достигает совершенства в его юном возрасте?

### Заключение

Установленные психофизические закономерности связи между скоростью движения и плотностью людских потоков в зданиях учебно-воспитательных учреждений должны использоваться при оценке планировочных решений зданий с точки зрения своевременной беспрепятственной эвакуации и комфорта пребывания в них людей при возможных условиях эксплуатации. Как известно, «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (№ 384-ФЗ) выдвигает (п. 6 ст. 3) требования по обеспечению:

- пожарной безопасности;
- безопасности при опасных природных процессах и явлениях и (или) техногенных воздействиях;



Рис. 11. Эвакуация детей по наружной лестнице

– безопасности для пользователей зданиями и сооружениями.

Во всех соответствующих ситуациях решающее значение при проектировании необходимых размеров коммуникационных путей, составляющих до 30 % общей площади общественных зданий, имеет организация движения людских потоков. Но в зависимости от ситуации ее критерии и требования изменяются. Так, безопасность для пользователей зданиями и сооружениями при нормальных условиях их эксплуатации определяется, прежде всего, требованиями эргономики и комфорта при спокойном движении людей. При угрозе же опасных природных процессов и техногенных воздействий имеется, как правило, возможность предупреждения о времени их наступления. В этих условиях необходима организация заблаговременной (превентивной) эвакуации из зданий, которая будет происходить при активном движении людей. В ситуациях возникшего пожара эвакуация будет происходить при повышенной активности движения.

Анализ этих положений применительно к зданиям детских дошкольных учреждений показывает следующее.

Обследования зданий детских садов свидетельствуют, что размеры ступеней лестниц в них (как в лестничных клетках, так и наружные открытые, рис. 11) не соответствуют эргономике движения детей.

Нарушается элементарное правило, установленное более 300 лет назад: сумма удвоенной высоты ступени  $2h$  и ширины ее проступи  $b$  не должна превышать длины шага  $l$  идущего по ней человека. При средней длине шага детей дошкольного возраста 40 см и оптимальном уклоне лестницы 1:2 размеры ступени лестниц для движения детей должны составлять:  $h = 10$  см,  $b = 20$  см.

Сплошь и рядом лестницы имеют перила только вдоль одной стороны марша, в результате чего поток детей вытягивается вдоль этой стороны (рис. 12), а дети,

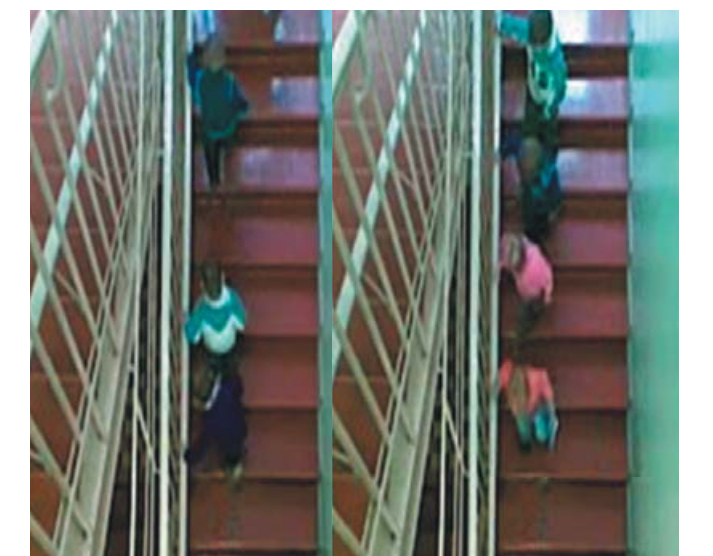


Рис. 12. Передвижение детей по лестнице вверх и вниз в нормальных условиях повседневной эксплуатации здания

Таблица 11. Характеристики уровней комфорта на путях движения и в зонах ожидания

Уровень комфорта	Характеристика уровней комфорта	Интервал плотности $D$ , м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> (в дошкольных и школьных учреждениях)
А	Свободное индивидуальное движение без ограничения выбора направления	До 0,05 (0,02)
Б	Свободное движение в потоке в общем направлении, обгон без контактных помех	0,06–0,15 (0,02–0,05)
В	Стесненное движение без контактных помех, обгон с маневрированием при контактных помехах от окружающих	0,15–0,40 (0,05–0,15)

идущие рядом, вынуждены опираться на руку ребенка, держащегося за перила.

Эти факты говорят о явном нарушении эргономических требований обеспечения безопасности для основных пользователей зданиями детских дошкольных учреждений как в нормальных условиях их эксплуатации, так и при возможном возникновении в них чрезвычайных ситуаций.






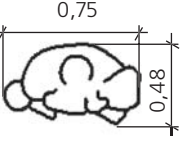
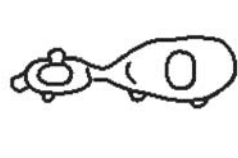
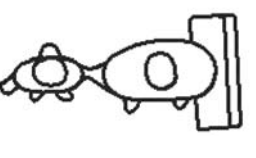
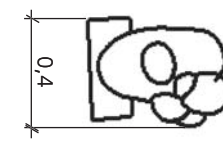
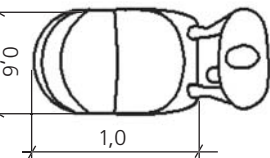
Проект актуализированной редакции СНиП 31–06 «Общественные здания и сооружения», разработанный творческим коллективом специалистов АГПС, МГСУ, ЦНИСК и МосОтис на основании международного и отечественного опыта, устанавливает три уровня комфорта на путях движения. На основании данных прове-

денных исследований здания дошкольных и школьных учреждений выделены в особую группу (табл. 11).

В помещениях зданий различного функционального назначения площадь коммуникационных путей (проходов, зон движения и ожидания) должна быть достаточной, чтобы обеспечить уровень комфорта А для находящихся в них людей основного функционального контингента.

Особенностью зданий дошкольных учреждений является то, что при нормальных условиях эксплуатации максимальная плотность людского потока  $P$  (чел./мин) образуется в утренние часы (около 30 % расчетной численности детей  $N$ ). Состав этого потока отличается от состава потока детей в случае необходимости их

Таблица 12. Средняя площадь горизонтальной проекции  $f_{cp}$ , м<sup>2</sup>/чел., родителей с детьми

Женщина с ребенком на руках	Женщина с ребенком за руку	Женщина с ребенком за руку и сумкой	Женщина с ребенком на руках и сумкой	Женщина с коляской
				
				
$f_{cp} = 0,29$	$f_{cp} = 0,20$	$f_{cp} = 0,32$	$f_{cp} = 0,26$	$f_{cp} = 0,90$

эвакуации, поскольку в детский сад-ясли детей приводят и приносят родители. Поэтому размеры помещений входных узлов детских садов следует проектировать с учетом необходимости обеспечить требуемый уровень комфорта, принимая площадь горизонтальной проекции входящих в них людей согласно табл. 12.

При превентивной эвакуации должен обеспечиваться уровень комфорта движения людей не ниже Б, а при эвакуации во время пожара – В. Расчетные значения скорости и интенсивности движения при превентивной эвакуации ниже, чем при эвакуации во время пожара, поэтому нельзя априори сказать, какая из этих ситуаций будет диктовать требуемые размеры эвакуационных путей и выходов. Для этого требуются сопоставительные расчеты, и проведенные исследования дают необходимые для таких расчетов данные.



Список литературы

1. Поведение / Большой энциклопедический словарь. – М. : Большая российская энциклопедия, 2002.
2. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. – М. : Изд-во лит. по стр-ву, 1969; Berlin, 1971; Koln, 1971; Praha, 1972; U.S., New Delhi, 1978. Изд. 2. – М. : Стройиздат, 1979.
3. Холщевников В. В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. – М. : МИПБ МВД России, 1999.
4. Кирюханцев Е. Е., Холщевников В. В., Шурин Е. Т. Проблемы обеспечения безопасности эвакуации инвалидов при пожаре // В сб.: Безопасность людей при пожаре. – М. : ВИПТШ МВД РФ, 1994.
5. Шурин Е. Т., Апаков А. В. Выделение групп населения по мобильным качествам и индивидуальное движение в людском потоке как основа моделирования движения "смешанных" людских потоков при эвакуации // В сб.: Проблемы пожарной безопасности в строительстве. – М. : АГПС МВД России, 2001. – С. 36–42.
6. ГОСТ 12.1.004–91\* ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования : введ. 01.07.92 г. – М. : Изд-во стандартов, 1991; ИПК «Издательство стандартов», 1996; 2002.
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382; зарег. в Минюсте РФ 06.08.2009 г., рег. № 14486; введ. 30.06.2009 г. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
8. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков. – М. : АГПС МЧС России, 2009.
9. Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М. : Медицина, 1966.
10. Правдов М. А. Особенности организации двигательной и познавательной деятельности детей до-

- школьного возраста: монография / РАН, Ин-т философии. – М. : КАНОН + РООИ «Реабилитация», 2006. – 184 с.
11. Гурфинкель В. С., Левик Ю. С. Мышечная рецепция и обобщенное описание положения тела // Физиология человека. – 1999. – Т. 25, № 1. – С. 87–97.
12. Ольшанский Д. В. Психология масс. – СПб : Питер, 2001. – 368 с.
13. Холщевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков. Диплом № 24–S // Научные открытия. – М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, 2004.
14. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. – М. : Наука, 1971. – 315 с.
15. Забродин Ю. М., Лебедев А. Н. Психофизиология и психофизика. – М. : Наука, 1977. – 288 с.
16. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М. : Мир, 1965. – 451 с.
17. Волгин Н. Л. Принцип согласованного оптимума. – М. : Советское радио, 1977. – 144 с.
18. Научная школа. Теория людских потоков / Российская архитектурно-строительная энциклопедия. 2001. – Т. VII.
19. Исследование и расчет закономерностей движения школьников: отчет / МИСИ; науч. рук. В. М. Предтеченский, отв. исп. В. В. Холщевников. – № ГР75006136; инв. № Б 378487. – М., 1975.
20. Холщевников В. В. Нормирование путей эвакуации в учебных заведениях // Пожарное дело. – 1980. – № 12.
21. Полоз Д. А. Методика определения расчетного времени эвакуации неоднородных людских потоков из зрительных залов: Дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. С. Л. Соболевский, А. С. Дмитриченко). – Минск : Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь, 2010.