

С.В. Слюсарев

(Академия ГПС МЧС России; e-mail: slyusarev91@inbox.ru)

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ДЕТЕЙ (часть 1)

Анализируются особенности процесса обработки эмпирических данных, характеризующих параметры движения маломобильных детей, в интересах оценки пожарного риска и установки нормативных требований к эвакуационным путям и выходам из зданий с их массовым пребыванием.

Ключевые слова: эвакуация, маломобильные дети, математическая статистика.

S.V. Slyusarev

PROCESSING OF RESULTS OF MEASUREMENTS OF PARAMETERS THE MOVEMENTS OF FLOWS OF CHILDREN WITH LIMITED MOBILITY (part 1)

It analyzed feature of processing of empirical data characterizing movement parameters of children with limited mobility, in the interest of assessment of fire risk and installation of standard requirements to evacuation ways and exits in buildings with their mass stay.

Key words: evacuation, children with limited mobility, mathematical statistics.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 14 ноября 2015 г.

Введение

В настоящее время применение методов математической статистики в исследованиях людских потоков при эвакуации определяется, прежде всего, тем, что пожарная наука достигла такого этапа развития, при котором изучение количественной стороны становится недостаточным. Для понимания сущности процесса эвакуации людей и закономерностей, которым он подчиняется, количественные измерения необходимо дополнять качественным анализом, позволяющим установить характеризующие его взаимосвязи. Очевидно, что развитие вычислительной техники, даёт возможность ускорить и упростить процесс обработки экспериментальных данных [1, 2]. Необходимыми условиями установления взаимосвязи между параметрами людского потока является правильное планирование эксперимента, корректная обработка результатов измерений и построение зависимостей на основе теории движения людских потоков.

Методика организации и проведения исследований движения маломобильных детей

Первым этапом исследований является выбор научной проблемы, вокруг которой формируется работа. Оцениваются её актуальность и практическое значение. Следует отметить, что на этом этапе надо уточнить, насколько выявленная проблема соответствует паспорту специальности и отраслевой направленности. После этого формулируются предмет, объект, цель и задачи исследования. Для решения поставленных задач, как правило, проводятся эксперименты, направленных на установление параметров движения людей тех или иных групп. В качестве примера, на рис. 1 представлена структура проведения исследований.



Рис. 1. Структура плана проведения исследований

В рамках проводимых автором исследований, основное внимание уделено экспериментальной работе и обработке полученных данных. Проводился анализ объектов, где могут находиться маломобильные дети. Оказалось, что их можно встретить в зданиях совершенно различного функционального назначения, так как они посещают в среднем 3-4 раза в месяц мероприятия в зрелищных, культурно-просветительских учреждениях, спортивных сооружениях, а также практически ежедневно больницы и поликлиники. Также, возрастает вероятность их пребывания в образовательных организациях, вследствие внедрения инклюзивного образования, основанного на организации совместного процесса обучения детей, независимо от их физических, интеллектуальных, психических или иных особенностей, что осложняет обеспечение пожарной безопасности. Данные представлены на (рис. 2).



а) класс функциональной пожарной опасности Ф2



б) класс функциональной пожарной опасности Ф3.4



в) класс функциональной пожарной опасности Ф4

Рис. 2. Здания с пребыванием маломобильных детей

Кроме того, в России функционирует целая система специализированных учреждений для постоянного и временного пребывания маломобильных детей:

- неонатальные и перинатальные центры (до 2 лет);
- дошкольные учреждения (от 2 до 7 лет);
- дома-интернаты (от 3 до 18 лет);
- школы-интернаты (от 7 до 18 лет);
- реабилитационные центры (от 3 до 18 лет).

Учреждения данного типа остаются самыми востребованными для маломобильных детей. В качестве исследуемых зданий были выбраны дома и школы-интернаты, так как в них возможно охватить максимальный возрастной диапазон детей (от 3 до 18 лет).

Исследования процесса эвакуации маломобильных детей проводились в период с ноября 2013 г. по март 2015 г. в различных городах России (Москва, Сергиев Посад, Нижний Ломов, Биробиджан).

Одной из важнейших характеристик людского потока, состоящего из маломобильных детей, является скорость движения V (м/мин), поэтому в ходе экспериментов нужно было определить численные характеристики этого параметра на разных участках пути в установленных интервалах плотности D (чел./м²).

Для этого необходимы следующие технические устройства:

1. Видеозаписывающая аппаратура (видеорегистраторы) для определения параметров движения детей с углом обзора не менее 120° ;
2. Масштабная сетка с размерами ячеек 1×1 м.
3. Персональный компьютер с программным обеспечением, позволяющим просматривать видеоматериал в покадровом режиме (в нашем случае использовался *Quick time 7*).
4. Программное обеспечение *Microsoft Office Excel* или *Statistical Package for the Social Sciences* для статистической обработки полученных эмпирических данных.

Структура методики проведения исследований представлена на рис. 3. Выбор метода проведения исследований, а также принцип расстановки видеорегистраторов подробнее рассмотрены в [3]. В проводимом исследовании использовался метод видеонаблюдения, который впервые был применен в 1988 г. в работе [4], с использованием стационарных систем телевизионного контроля и переносных телевизионных камер.



Рис. 3. Структура методики проведения натуральных наблюдений и экспериментов

Для определения скорости движения в установленных интервалах плотности на различных участках пути использовалась программа *Quick Time Player*, с использованием которой просматривались отснятые видеоматериалы. Просматривая видеозапись выбирался человек и отслеживался его вход на границу ячейки масштабной сетки. В этот момент подсчитывалось количество детей в той же самой ячейки перед ним и тем самым определялась плотность потока D (чел./м²), при которой наблюдаемый (i -й) человек проходил расстояние $l = 1$ м (равное длине ячейки) за определённое количество кадров (тем самым определялся интервал времени t). Данные представлены на рис. 4.

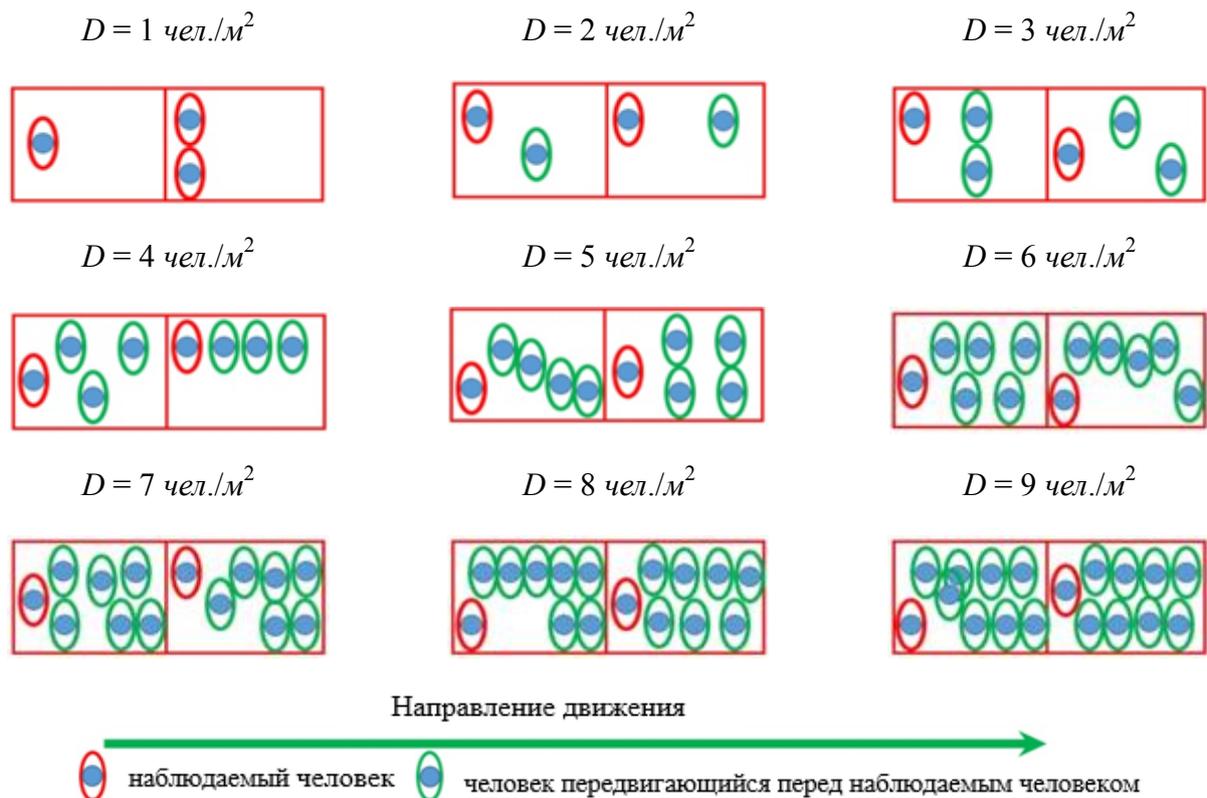


Рис. 4. Определение плотности людского потока

Далее определялась скорость движения человека в установленном интервале плотности за n кадров наблюдения за ним:

$$V_{\text{пер}} = \frac{\sum_1^n \Delta l \cdot 60}{\sum_1^n \Delta t} \text{ м/мин.}$$

Исключением является дверной проём, поскольку длина участка пути в нём практически равна нулю, поэтому для определения скорости движения через проём подсчитывалось количество людей N_t , проходящих через него за определенный интервал времени t . Величина t определялась продолжительностью существования перед границей проёма конкретного значения плотности D . Примеры представлены на рис. 5.



Рис. 5. Определение интенсивности движения маломобильных детей различных групп через дверные проёмы

После чего рассчитывалась интенсивность движения q_D (чел./м·мин.) через проём шириной δ (м) при наблюдаемой в течение интервала времени t (мин.) плотности потока D (чел./м²) перед ним:

$$q_{D_j} = N_{\Delta t} / \delta \Delta t, \text{ чел/ м}\cdot\text{мин.},$$

затем скорость V_{D_j} (м/мин.) перехода через границу проёма при плотности D :

$$V_D = q_D / D, \text{ м/мин.}$$

На этом этапе работы возникает вопрос о том, какое количество данных является достаточным. Дело в том, что "Большое число их приводит к ничем не оправданным затратам труда, времени и во многих случаях средств, а недостаточно малое количество – к ошибочным результатам" [5, с. 53]. Поэтому для определения необходимого числа измерений с определённой степенью точности, при заданной доверительной вероятности (P), использовалась формула [6]:

$$n = \frac{(x \cdot v)^2}{\varepsilon^2},$$

где x – коэффициент доверительной вероятности $P(x)$, для $P(0,95) = 1,96$;

v – значение меры изменчивости $v = (\sigma / \bar{X}) \cdot 100$, представляющее собой выраженное в % отношение среднеквадратичного отклонения (σ) выборки к среднему значению (\bar{X});

ε – показатель точности исследования, равный допустимой ошибке, не превышающей 3-5 %.

Определив для каждой выборочной совокупности показатели, которые описывают среднеарифметическое значение скорости движения детей (\bar{X}) [7]:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где n – число экспериментов;

x_i – рассматриваемый параметр скорости в выборочной совокупности,

а также ряд других данных, которые характеризуют степень отклонения значений скорости от центра распределения (среднеквадратическое отклонение σ , дисперсия S^2) [7]:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1},$$

$$\sigma = \sqrt{S^2}.$$

Стало возможным установить необходимую численность наблюдений для маломобильных детей по различным видам пути. Данные о необходимом и фактическом числе исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вид пути	Количество наблюдений							
	Умственно-отсталые дети		Дети с ПОДА		Дети с недостатками слуха		Дети с недостатками зрения	
	Необ.	Факт.	Необ.	Факт.	Необ.	Факт.	Необ.	Факт.
Гор. путь	313	420	171	174	130	292	255	309
Лестница вверх	219	230	161	205	186	227	296	296
Лестница вниз	136	149	291	336	255	255	227	255
Дверной проём	183	187	192	232	140	167	44	57

Эмпирический материал, полученный в ходе экспериментов, представляет собой отдельные данные, которые необходимо сгруппировать по классификационным признакам (тип инвалидности, вид пути). Одной из главных задач на этой стадии является определение обоснованных значений скорости движения маломобильных детей, полученных в различных сериях экспериментов, которые должны сформировать не только правильное представление об исследуемом явлении, но и выявить объективные закономерности. С этой целью необходимо проверить гипотезу об однородности эмпирических выборок (то есть значимость различий между ними), применяя параметрические и непараметрические критерии [7]. Для этого предварительно анализируются выборки на наличие грубых погрешностей с использованием правила 3σ , и определяются законы распределения случайных величин (скорости движения детей) применяя критерии Пирсона, Колмогорова-Смирнова (более 50 значений в выборке), а также Шапиро-Уилка (менее 50 значений в выборке). В нашем случае, все полученные выборочные совокупности при разном числе вариантов (более или менее 10) подчинялись нормальному закону распределения.

Выборки, однородность которых не подтверждалась, исключались из общей совокупности статистических данных и для построения зависимости между основными параметрами движения детей с ограниченными возможностями не использовались. Однородные выборки повторно группировались, в зависимости от категории инвалидности и вида пути. Пример сгруппированных данных по умственно-отсталым детям представлен в табл. 2, 3.

Таблица 2

Интервал плотности D , чел./м ²	Количество наблюдений, n	Математическое ожидание скорости $m(V)$, м/мин.	Среднеквадратическое отклонение $\sigma(V)$, м/мин.	95 %-й доверительный интервал	
				Нижняя граница	Верхняя граница
<i>Горизонтальный путь</i>					
0-1	97	52,26	24,85	47,31	57,21
1-2	129	40,38	14,12	37,94	42,82
2-3	102	33,49	11,97	31,17	35,81
3-4	63	27,53	9,85	25,10	29,96
4-5	17	22,77	9,44	18,28	27,26
5-6	8	20,17	2,10	18,71	21,63
6-7	4	16,40	1,89	14,55	18,25
<i>Лестница вверх</i>					
0-1	72	44,32	19,89	39,73	48,91
1-2	63	33,80	17,69	29,43	38,17
2-3	74	25,69	9,14	23,61	27,77
3-4	21	20,97	7,57	17,73	24,21
<i>Лестница вниз</i>					
0-1	18	33,31	11,60	27,95	38,67
1-2	38	25,70	9,71	22,61	28,79
2-3	59	20,72	7,52	18,80	22,64
3-4	31	17,60	4,81	15,91	19,29
4-5	3	14,82	1,18	13,48	16,16

Таблица 3

Интервал плотности D , чел./м ²	Количество наблюдений, n	Среднее значение интенсивности, q , чел./((м·мин.)
1-2	14	49
2-3	15	74
3-4	29	85
4-5	48	111
5-6	30	119
6-7	22	126
7-8	19	127
8-9	7	108
9-10	3	95

Полученные статистические данные, представленные в таблицах, легли в основу анализа по выявлению зависимости между результативным (скоростью) и факторным (плотность людского потока) признаками, определение которой осуществлялось по апробированной методологии [8].

Литература

1. *Наследов А.* SPSS 19: Профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2011. 400 с.
2. *Боровиков В.П.* STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере (+ CD). Для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
3. *Холицевников В.В., Самошин Д.А., Исаевич И.И.* Натурные наблюдения людских потоков: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 191 с.
4. *Исаевич И.И.* Разработка основ многовариантного анализа планировочных решений станций и пересадочных узлов метрополитена на основе моделирования закономерностей движения людских потоков: дис. ... канд. техн. наук. М., 1990.
5. *Овсянников А.Н.* Закономерности формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных сооружениях: дис. ... канд. техн. наук. М., 1983.
6. *Митропольский А.К.* Техника статистических вычислений. М., 1971. 576 с.
7. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. М.: Образование, 2007. 479 с.
8. *Холицевников В.В.* Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... д-ра техн. наук. М.: МИСИ, 1983.