

**З. С.-А. АЙБУЕВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры “Архитектура”, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М. Д. Миллионщикова (Россия, 361051, Чеченская Республика, г. Грозный, пл. Орджоникидзе, 100; e-mail: zemais@mail.ru)

**И. И. ИСАЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент кафедры архитектурно-строительного проектирования, Ульяновский государственный технический университет (Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32; e-mail: isaevichnew@mail.ru)

**М. В. МЕДЯНИК**, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: mihalmed@yandex.ru)

УДК 614.842

## СВОБОДНОЕ ДВИЖЕНИЕ ЛЮДЕЙ В ПОТОКЕ И ПРОБЛЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНО-ПОТОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрены основные особенности использования индивидуально-поточного моделирования при эвакуации людей в зданиях и сооружениях. Рассмотрены также основные показатели людского потока, характерные для индивидуально-поточного моделирования. Проведен краткий обзор моделей, применяемых в существующих программно-вычислительных комплексах по эвакуации людей. Рассмотрены методологические основы моделирования движения людских потоков при эвакуации и при разработке индивидуально-поточных моделей. Выполнена оценка валидности результатов моделирования.

**Ключевые слова:** моделирование; эвакуация; людской поток; пожар; безопасность людей; индивидуальный пожарный риск.

На фоне всеобщей компьютеризации в области исследования людских потоков эпизодически появлялись программы индивидуально-поточного движения людей, разработчики которых, как показывают обзоры [1, 2], из-за незнания закономерностей движения людских потоков подменяли их моделями процессов иной физической природы: потоков жидкости или сыпучих тел, электронных вызовов, движения металлических частиц в магнитном поле [3–5]. Несмотря на показанную некорректность подобных аналогий [6, 7], они появляются и сегодня, в частности в виде аналогии с действием центробежных механических или неких “социальных” сил [8].

Однако известно, что аналогия является единственным видом умозаключений (индукция, дедукция), в котором выводы (результаты) относятся к объектам иного вида, чем те, которые послужили его прообразом, предпосылкой. Поэтому переход к моделированию стадии поточного движения при пожаре [9–13] всегда требует проверки его корректности на основе оценки соответствия используемых в предлагаемой индивидуально-поточной модели зависимостей между параметрами людских потоков установленным закономерностям связи между ними [14].

Стадия же индивидуального движения, когда воздействие факторов поточного движения еще не ощу-

щается человеком, остается, казалось бы, вне сферы валидации. На самом деле, результаты этой стадии моделирования индивидуально-поточного движения людей могут быть оценены на основе известных методов теории вероятностей, которые получили практическую апробацию при исследованиях свободного движения людских потоков. В свете изложенного представляется актуальным рассмотреть их в целях оценки корректности разрабатываемых компьютерных моделей индивидуально-поточного движения, которые претендуют на управление эвакуацией людей и на использование при оценке пожарного риска.

Актуальность индивидуально-поточных моделей мотивируется необходимостью пристального внимания к движению людей с ограниченными мобильными возможностями [15] в потоке смешанного состава в общественных зданиях достаточно обширной номенклатуры и разных классов функциональной пожарной опасности. Само название модели “индивидуально-поточная” говорит о том, что область ее действия включает две ситуации:

- ничто не препятствует реализации индивидуальных возможностей человека в его потребности в движении с целью достичь необходимого ему на данный момент результата;

- люди, передвигающиеся одновременно с человеком в потоке, мешают ему это делать в соответствии с его возможностями и желаемым комфортом передвижения.

Первая ситуация является исходной, поскольку она определяет те условия, в которых наиболее полно, неограниченно реализуются индивидуальные возможности и желание человека свободно двигаться с желаемой скоростью к достижению цели, имеющейся у него на данный момент. Следовательно, первоочередной задачей для индивидуально-поточной модели становится определение размеров коммуникационных путей, которые могут обеспечить человеку ощущение свободы передвижения. Это требует определения плотности потока  $D_{0j}$ , которая не оказывает влияния на изменение желаемой каждым ( $k$ -м) человеком скорости свободного движения по тому или иному ( $j$ -му) виду пути —  $V_{jD_j}^{zk}$ , т. е. определения размеров зоны свободного движения, которая устанавливается индивидуально каждым человеком.

#### Определение плотности, при которой возможно индивидуальное свободное движение людей в потоке

Как неоднократно отмечалось [16–19], значения  $D_{0j}$  зависят от вида пути, физических (связанных с возрастом) и психофизиологических возможностей людей. Например, при движении по горизонтальному пути в потоке детей дошкольного возраста  $D_0$  составляет 0,78 чел./м<sup>2</sup>, молодых людей — 0,72 чел./м<sup>2</sup>, престарелых — 0,96 чел./м<sup>2</sup>, смешанного состава в зданиях — от 0,51 до 0,57 чел./м<sup>2</sup>, вне зданий — 0,89 чел./м<sup>2</sup>.

Однако человек реагирует не на показатель плотности потока, а на то, что он может воспринять через дистанционные рецепторы своих органов чувств (зрения, слуха). В данном случае это — расстояние до ближайшего человека, поэтому от плотности потока нужно перейти к расстоянию. Такой переход можно осуществить в два этапа. Прежде всего заметим, что поскольку под плотностью потока понимается число человек, приходящееся на 1 м<sup>2</sup>, то по ширине пути размещается  $n$  “элементарных” потоков [20], каждый из которых имеет ширину  $C$  (м), равную ширине проекции тела человека:  $n = 1/C$ . В этом потоке линейная плотность размещения людей вдоль потока  $D_{0l}$  эквивалентна  $D_0$  и составляет:  $D_{0l} = nD_0 = D_0/C$ .

При ширине “элементарного” потока 0,5 м его линейная плотность  $D_{0l}$  соответствует  $D_0 = 0,5$  чел./м<sup>2</sup>. Для потока смешанного состава на горизонтальном пути в здании она составляет приблизительно 1 чел./м<sup>2</sup>. Перейдя от плотности к расстоянию между людьми в элементарном потоке  $l_0 = 1/D_{0l}$ , полу-

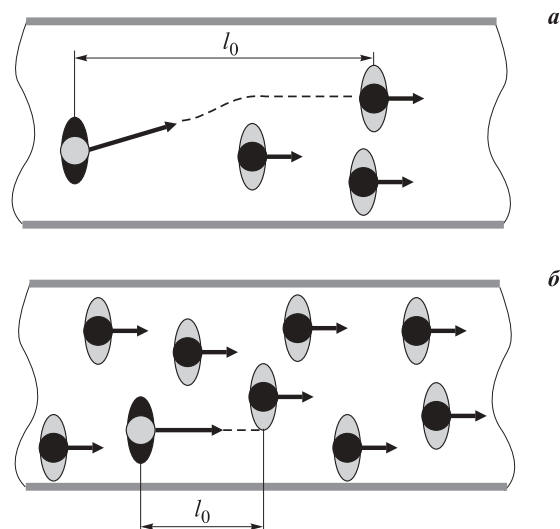


Рис. 1. Оценка расстояния между людьми  $l_0$  при возможности (а) и невозможности (б) совершения обгона

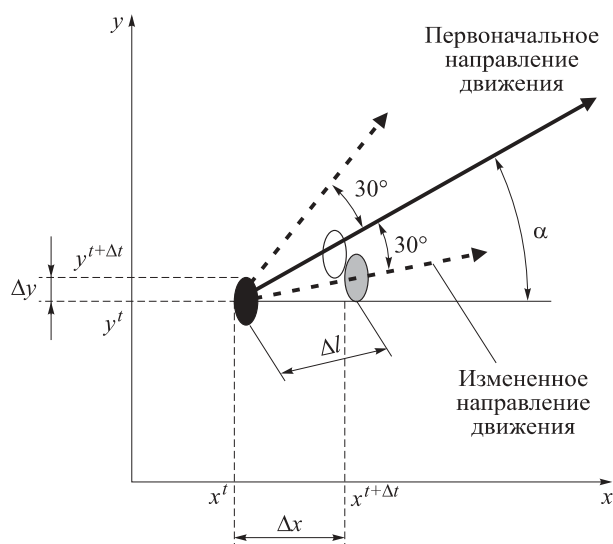


Рис. 2. Определение координат человека при изменении направления движения

чаем:  $l_0 = C/D_0$ . При этом следует иметь в виду, что человек из-за возможности пересечения траектории его движения другими маневрирующими людьми обеспечивает перед собой “буферную” зону [21]. Есть основания полагать [22], что, готовясь к маневру по изменению траектории движения, человек оценивает необходимый для этого участок пути, ориентируясь на человека, идущего впереди него (рис. 1).

Как показывают натурные наблюдения [23–26], угол отклонения траектории обгона человеком от прямого направления составляет около 30° (рис. 2). Тогда длина участка пути обгона составляет около 1,5 м, и человек проходит ее со скоростью  $V_{jD_0}^{zk}$ , превышающей характерную для него скорость при том уровне эмоционального состояния, в котором он находится.

### Индивидуальная скорость свободного движения

Следующий вопрос, который приходится решать разработчикам индивидуально-поточных моделей, состоит в том, какую индивидуальную скорость свободного движения человека  $V_{jD_0}^{jk}$  следует принимать в качестве расчетной. Здесь важно понимать, что значение этой скорости зависит от уровня эмоционального состояния и индивидуальных физических возможностей конкретного человека. Натурными наблюдениями было показано [16, 27, 28], что определяющее влияние на уровень эмоционального состояния человека при его свободном движении в потоке оказывает дефицит времени, например при движении в метрополитене в утренний час пик [16] и по предзаводской территории в начале рабочей смены [27]. Возможность же реализации желаемой скорости, определяемой эмоциональным состоянием, зависит от индивидуального физического состояния человека. Поэтому наиболее соответствует реальности рассмотрение скорости свободного движения каждого человека  $V_{jD_0}^{jk}$  как одного из значений совокупности значений случайной величины скорости свободного движения  $f(V)$ .

### Определение индивидуального местоположения человека на участке пути при свободном движении

При моделировании индивидуального движения человека в потоке время достижения им расчетного сечения пути, например контрольно-пропускного пункта на территорию предприятия или на остановочный пункт общественного транспорта в городском транспортно-коммуникационном узле [27, 29, 30], должно соответствовать его значению в распределении времени прихода всей рассматриваемой группы людей в это сечение  $f_i(t)$ . Его местоположение на пути движения к этому пункту в любой момент времени  $t$  также определяется распределением людей по длине пути в этот момент времени  $f_i(l)$ .

В этом случае распределение людей в потоке по длине пути и времени их прихода в любое его сечение определяется чисто вероятностными методами, поскольку они являются случайными функциями от аргумента  $f(V)$ , подчиненного нормальному распределению:

$$f(V) = \frac{1}{S_V \sqrt{2\pi}} e^{(V - \bar{V})^2 / (2S_V^2)}, \quad (1)$$

где  $S_V$  — среднее квадратичное отклонение скорости движения людей в потоке;  
 $\bar{V}$  — математическое ожидание скорости движения людей в потоке.

При движении поток людей растекается. Соответственно этому процессу распределение людей в момент  $t$  по длине пути описывается функцией

$$f_t(l) = \frac{1}{t S_V \sqrt{2\pi}} e^{(l/t - \bar{V})^2 / (2S_V^2)}, \quad (2)$$

а время пересечения людьми поперечного сечения пути, находящегося на расстоянии  $l$  от источника, — функцией

$$f_l(t) = \frac{1}{t^2 S_V \sqrt{2\pi}} e^{(l/t - \bar{V})^2 / (2S_V^2)}. \quad (3)$$

Графики распределений плотности вероятности, определяемых формулами (2) и (3), приведены на рис. 3.

Изменение распределения людей в последовательные моменты времени по длине пути (2) соответствует кинематике людского потока при плотностях возможного индивидуально-поточного движения, которая характеризуется растеканием, т. е. растеканию потока из-за разных индивидуальных скоростей движения людей в нем (рис. 4).

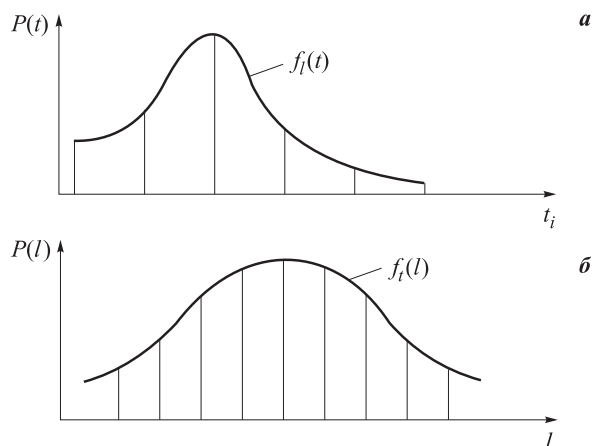


Рис. 3. Распределение плотности вероятностей значений времени прихода людей в сечение пути  $f_i(t)$  (а) и вероятности значений плотности потока  $f_i(l)$  (б) в сечении пути  $l$  в момент времени  $t$

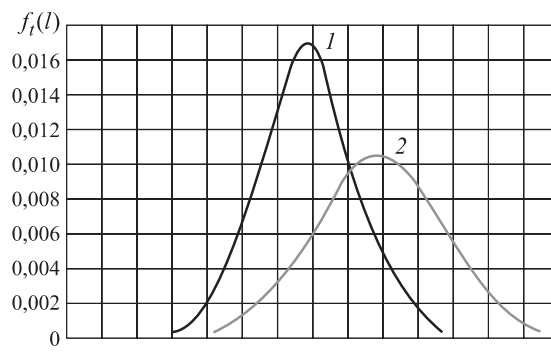


Рис. 4. Пример изменения плотности вероятности распределения людей по длине пути в последовательные моменты времени  $t$ : 1 — 1 мин; 2 — 2 мин [31]

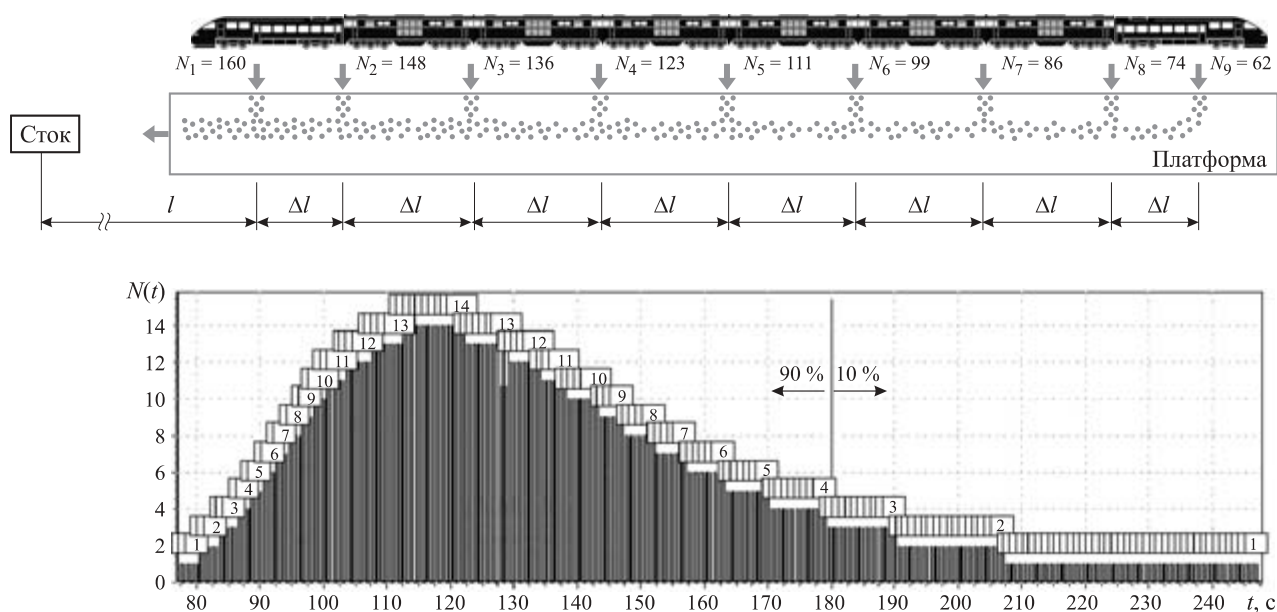


Рис. 5. Расчетная схема (а) и график (б) распределения времени прихода людей на остановку городского транспорта при  $l = 200$  м

Для простых ситуаций эти распределения могут быть построены даже ручным способом [29]. Стохастические закономерности формирования распределений значений параметров свободного движения людей при различных режимах функционирования их источников давно подробно описаны [32–35].

Для описания свободного движения людских потоков по участкам пути с многочисленными узлами пересечения и при большом количестве источ-

ников в свое время была создана модель SDLP (Свободное движение людских потоков) [28]. Сегодня она реализуется разработанной в 2011 г. программой FMT 1.0, получившей государственную регистрацию [32, 36, 37].

Пример использования программы FMT 1.0 для определения времени прихода людей из многочисленных источников на остановку городского транспорта приведен на рис. 5.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Галушка Н. Н. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 5. — С. 40–49.
2. Парфененко А. П. Методология моделирования людских потоков и практика программирования их движения при эвакуации // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 46–55.
3. Henderson L. F. On the fluid mechanics of human crowd motion // Transportation Research. — 1974. — Vol. 8, No. 6. — P. 509–515. doi: 10.1016/0041-1647(74)90027-6.
4. Okazaki S. A study of pedestrian movement in architectural space // Fire Research and Safety. 4<sup>th</sup> Joint Panel Meeting of the UJNR Panel. Tokyo, Japan, 5–9 February 1979.
5. Генуев Г. А. О некоторых закономерностях движения сплошных людских потоков // Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций : сб. науч. тр. — М. : ЦНИИСК, 1984. — С. 17–30.
6. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / Пер. с англ. — М. : Мир, 1966. — 288 с.
7. Холщевников В. В. Моделирование людских потоков // Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко. — М. : Пожнаука, 2000. — С. 139–169.
8. Шихалев Д. В., Хабибуллин Р. Ш. Математическая модель определения направлений безопасной эвакуации людей при пожаре // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 4. — С. 51–60.
9. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Физические параметры пены высокой кратности, используемой при тушении пожаров в закрытых помещениях // Вестник МГСУ. — 2015. — № 2. — С. 85–92.
10. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073–1076. — P. 2353–2357. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1070–1072. — P. 1794–1798. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.



12. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Использование генераторов пены высокой кратности для тушения пожаров в складских помещениях // Научное обозрение. — 2014. — № 9, ч. 2. — С. 461–466.
13. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // Applied Mechanics and Materials. — 2013. — Vol. 475–476. — P. 1344–1350. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
14. Холицевников В. В. Закономерность связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.
15. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 48–56.
16. Исаевич И. И. Разработка основ многовариантного анализа планировочных решений станций и пересадочных узлов метрополитена на основе моделирования движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1990. — 245 с.
17. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М. : АГПС МЧС РФ, 2012. — 153 с.
18. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М. : АГПС МЧС РФ, 2013. — 190 с.
19. 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. — М. : АГПС МЧС РФ, 2014. — 160 с.
20. Беляев С. В. Эвакуация зданий массового назначения. — М. : Изд. Всесоюзной академии архитектуры, 1938. — 72 с.
21. Fruin J. J. Pedestrian planning and design. — New-York : Elevator World, 1971.
22. Kholshchikov V. V., Shields T. J., Samoshyn D. A. Foot traffic flows: background for modeling // Proceedings of the Second International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics. University of Greenwich, 20–22 August 2003 / Galea E. R. (ed.). — London, U. K. : University of Greenwich, 2003. — P. 410.
23. Ромм А. П. Использование количественных методов при построении системы пешеходных путей в микрорайоне // В помощь проектировщику-градостроителю. Вып. 2. Математические методы в градостроительстве. — Киев : Будівельник, 1969. — С. 41–54.
24. Методические рекомендации по проектированию пешеходных сетей. — Введ. 16.04.1987. — М. : ЦНИИП градостроительства, 1988.
25. Холицевников В. В., Овсянников А. Н. Закономерности маршрутизации потоков в зрительных сооружениях // Исследования по функциональным, физико-техническим и эстетическим проблемам архитектуры : сб. науч. тр. — Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1988. — С. 131–140.
26. Issaevich I. The modeling of a person movement in free-planned locations of communal buildings // Neue Technologien in Bauwesen. Proceedings of Russian-German Scientific Conference devoted to 10-years Cooperation of Ulyanovsk State Technical University and Darmstadt University of Applied Sciences. — Ulyanovsk : Ulyanovsk State Technical University, 2008. — 426 p.
27. Айбуев З. С.-А. Формирование людских потоков на предзаводских территориях крупных промышленных узлов машиностроительного профиля : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1989. — 243 с.
28. Холицевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983. — 442 с.
29. Сопеловская А. А. Формирование транспортных и пешеходных потоков в пересадочных узлах пригородно-городского сообщения : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1980. — 272 с.
30. Холицевников В. В. Расчет оптимальных вариантов пешеходных путей в городских узлах // На стройках России. — 1983. — № 3. — С. 15–17.
31. Холицевников В. В., Левин Ю. П., Никонов С. А. Расчет и моделирование движения людских потоков // Исследования по основам архитектурного проектирования : сб. науч. тр. — Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1983. — С. 7–28.
32. Холицевников В. В., Айбуев З. С.-А. Стохастическая модель движения людского потока и ее проверка при функционировании одного источника людского потока // Депониров. № 10447 ВНИИНТПИ. — 1990. — Вып. 3.

33. Холщевников В. В., Айбуев З. С.-А. Проверка модели при длительно-функционирующих источниках // Депониров. № 10448 ВНИИТПИ. — 1990. — Вып. 3.
34. Холщевников В. В., Айбуев З. С.-А. Развитие подхода к моделированию свободного движения людских потоков // Депониров. № 10449 ВНИИТПИ. — 1990. — Вып. 3.
35. Холщевников В. В., Айбуев З. С.-А. Определение статистических характеристик распределения вероятности скорости свободного движения // Депониров. № 10450 ВНИИТПИ. — 1990. — Вып. 3.
36. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011614752 от 17.06.2011. Программа FMT 1.0 / Шишов И. А., Холщевников В. В. — М. : Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2011.
37. Холщевников В. В., Шишов И. А. Моделирование свободного движения людских потоков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2011. — № 2. — С. 89–103.

Материал поступил в редакцию 15 марта 2015 г.

English

## FREE MOVEMENT OF PEOPLE IN A STREAM AND PROBLEMS OF INDIVIDUAL AND LINE MODELING

**AYBUEV Z. S.-A.**, Candidate of Technical Sciences, Docent of "Architecture" Department, Grozny State Oil Technical University named after academician M. D. Millionshchikov (Ordzhonikidze square, 100, Grozny, Chechen Republic, 361051, Russian Federation; e-mail address: zemaism@mail.ru)

**ISAEVICH I. I.**, Candidate of Technical Sciences, Docent of Architecture and Construction Development Department, Ulyanovsk State Technical University (Severnny Venetz street, 32, Ulyanovsk, 432027, Russian Federation; e-mail address: isaevichnew@mail.ru)

**MEDYANIK M. V.**, Senior Tutor, Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: mihalmmed@yandex.ru)

### ABSTRACT

The free movement of people in a flow is a special case of the movement of human flows in buildings, constructions and in the territory of their complexes. Here the fullest manifestation of individual qualities of each person that defines probability of values of parameters of their movement is possible. They don't depend on influence of density of a human flow. The given provisions and probabilistic methods of modeling of the free movement of people give objective initial criteria of a correctness of individual and line models and the programs realizing them. As in the absence of influence of density of distribution of people on length of a way and time of their arrival to its concrete section are functions of casual argument — speeds of the movement of people, any individual and line model has to correspond at the free movement to well-known methods of probability theory. Check of individual and line model on compliance to these methods is paramount criterion of its correctness. Without performance of this criterion further consideration of any individual and line model, as if it didn't imitate influence of density of a stream on the movement of people, loses meaning.

**Keywords:** modeling; evacuation; flow of people; fire; safety of people; individual fire risk.

### REFERENCES

1. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Galushka N. N. Obzor kompyuternykh programm modelirovaniya evakuatsii zdaniy i sooruzheniy [Review of computer simulation models for computation build environment evacuation]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 5, pp. 40–49.
2. Parfenenko A. P. Metodologiya modelirovaniya lyudskikh potokov i praktika programmirovaniya ikh dvizheniya pri evakuatsii [Methodology for modeling human movements and practice of programming their movement during evacuation] *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 46–55.
3. Henderson L. F. On the fluid mechanics of human crowd motion. *Transportation Research*, 1974, vol. 8, no. 6, pp. 509–515. doi: 10.1016/0041-1647(74)90027-6.

4. Okazaki S. A study of pedestrian movement in architectural space. *Fire Research and Safety. 4<sup>th</sup> Joint Panel Meeting of the UJNR Panel*. Tokyo, Japan, 5–9 February 1979.
5. Geniev G. A. O nekotorykh zakonomernostyakh dvizheniya sploshnykh lyudskikh potokov [About some regularities of the movement of continuous human flows]. *Issledovaniya po teorii i metodam rascheta stroitelnykh konstruksiy* [Researches on the theory and methods of calculation of construction designs]. Moscow, Central Research Institute of Construction Designs Publ., 1984, pp. 17–30.
6. Haight F. A. *Mathematical theories of traffic flow*. New York, London, Academic Press, 1963. 255 p. (Russ. ed.: Kheif F. Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov. Moscow, Mir Publ., 1966. 288 p.).
7. Kholshchevnikov V. V. Modelirovaniye lyudskikh potokov [Modeling of human flows]. In: Brushlinskiy N. N., Korolchenko A. Ya. (eds). *Modelirovaniye pozharov i vzryvov* [Modeling of the fires and explosions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2000, pp. 139–169.
8. Shikhalev D. V., Khabibulin R. Sh. Matematicheskaya model opredeleniya napravleniy bezopasnoy evakuatsii lyudey pri pozhare [Mathematical model of definition of safe evacuation directions in case of fire]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 51–60.
9. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Fizicheskiye parametry peny vysokoy kratnosti, ispolzuyemoy pri tushenii pozharov v zakrytykh pomeshcheniyakh [Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in the enclosed space]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2015, no. 2, pp. 85–92.
10. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073–1076, pp. 2353–2357. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1070–1072, pp. 1794–1798. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.
12. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Ispolzovaniye generatorov peny vysokoy kratnosti dlya tusheniya pozharov v skladskikh pomeshcheniyakh [Usage of high-expansion foam generators for extinguishing fires in warehouses]. *Nauchnoye obozreniye — Science Review*, 2014, no. 9, part 2, pp. 461–466.
13. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 475–476, pp. 1344–1350. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
14. Kholshchevnikov V. V. *Zakonomernost svyazi mezhdu parametrami lyudskikh potokov. Diplom No. 24-S na otkrytiye v oblasti sotsialnoy psikhologii* [Relationship between parameters of human flow. Diploma No. 24-S on the discovery in the field of social psychology]. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, International Association of Authors of Scientific Discoveries Publ., 2005.
15. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. N. Issledovaniye problem obespecheniya pozharnoy bezopasnosti lyudey s narusheniyem zreniya, slukha i oporno-dvigatel'nogo apparata [The study of fire safety provision for people with seeing, hearing and moving disabilities]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 48–56.
16. Isaevich I. I. *Razrabotka osnov mnogovariantnogo analiza planirovochnykh resheniy stantsiy i peresadochnykh uzlov metropolitena na osnove modelirovaniya dvizheniya lyudskikh potokov. Dis. kand. tekhn. nauk* [Development of the principles of multivariate analysis volumetric-planning decisions stations and subway hubs based on modeling patterns of human traffic. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1990. 245 p.
17. Parfenenko A. P. *Normirovaniye trebovaniy pozharnoy bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v zdaniyakh detskikh doskolnykh obrazovatelnykh uchrezhdeniy. Dis. kand. tekhn. nauk* [Rationing of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of preschool educational institutions. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 153 p.
18. Kudrin I. S. *Vliyaniye parametrov dvizheniya lyudskikh potokov pri pozhare na obyemno-planirovochnyye resheniya vysoznykh zdaniy. Dis. kand. tekhn. nauk* [Rationing of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of preschool educational institutions. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2013. 190 p.
19. Istratov R. N. *Normirovaniye trebovaniy pozharnoy bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v statsionarakh sotsialnykh uchrezhdeniy po obsluzhivaniyu grazhdan pozhilogo vozrasta. Dis. kand. tekhn. nauk* [Rationing of requirements of fire safety to evacuation ways and exits in hospitals of social establishments on service of citizens of advanced age. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014. 160 p.
20. Belyaev S. V. *Evakuatsiya zdaniy massovogo naznacheniya* [Public evacuation from buildings]. Moscow, All-Russian Academy of the Architecture Publ., 1938. 72 p.

21. Fruin J. J. *Pedestrian planning and design*. New-York, Elevator World, 1971.
22. Kholshchevnikov V. V., Shields T. J., Samoshyn D. A. Foot traffic flows: background for modeling. In: Galea E. R. (ed.). *Proceedings of the Second International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics*. University of Greenwich, 20–22 August 2003. London, U. K., University of Greenwich, 2003, p. 410.
23. Romm A. P. Ispolzovaniye kolichestvennykh metodov pri postroyenii sistemy peshekhodnykh putey v mikrorayone [Use of quantitative methods at creation of system of foot ways in the residential district]. *V pomoshch proyektirovshchiku-gradostroitel'yu. Vyp. 2. Matematicheskiye metody v gradostroitel'stve* [For the aid to the designer-town-planner. Issue 2. Mathematical methods in town planning]. Kiev, Budivelnik Publ., 1969, pp. 41–54.
24. *Methodical recommendations about design of pedestrian networks*. Moscow, TsNIIP gradostroitel'stva Publ., 1988 (in Russian).
25. Kholshchevnikov V. V., Ovsyannikov A. N. Zakonomernosti marshrutizatsii potokov v zritelnykh sooruzheniyakh [Regularities of routing of streams in visual constructions]. *Issledovaniya po funktsional'nym, fiziko-tekhnicheskim i esteticheskim problemam arkhitektury: sb. nauch. tr.* [Researches on functional, physics and technology and esthetic problems of architecture]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 1988, pp. 131–140.
26. Issaevich I. The modeling of a person movement in free-planned locations of communal buildings. In: *Neue Technologien in Bauwesen. Proceedings of Russian-German Scientific Conference devoted to 10-years Cooperation of Ulyanovsk State Technical University and Darmstadt University of Applied Sciences*. Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University Publ., 2008. 426 p.
27. Aybuev Z. S.-A. *Formirovaniye lyudskikh potokov na predzavodskikh territoriyakh krupnykh promyshlennyykh uzlov mashinostroitel'nogo profilya. Dis. kand. tekhn. nauk* [Formation of human streams in pre-factory territories of large industrial hubs of a machine-building profile. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1989. 243 p.
28. Kholshchevnikov V. V. *Lyudskiye potoki v zdaniyakh, sooruzheniyakh i na territorii ikh kompleksov. Dis. d-ra tekhn. nauk* [Human flows in buildings, structures and their adjoining territory. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1983. 442 p.
29. Sopelovskaya A. A. *Formirovaniye transportnykh i peshekhodnykh potokov v peresadochnykh uzlakh prigorodno-gorodskogo soobshcheniya. Dis. kand. tekhn. nauk* [Formation of transport and foot streams in transfer knots of the suburban and city message. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1980. 272 p.
30. Kholshchevnikov V. V. Raschet optimalnykh variantov peshekhodnykh putey v gorodskikh uzlakh [Calculation of optimum options of foot ways in city hubs]. *Na stroykakh Rossii — On Buildings of Russia*, 1983, no. 3, pp. 15–17.
31. Kholshchevnikov V. V., Levin Yu. P., Nikonov S. A. Raschet i modelirovaniye dvizheniya lyudskikh potokov [Calculation and modeling of the movement of human streams]. *Issledovaniya po osnovam arkhitekturnogo proyektirovaniya: sb. nauch. tr.* [Researches on bases of architectural design. Collected scientific papers]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 1983, pp. 7–28.
32. Kholshchevnikov V. V., Aybuev Z. S.-A. *Stokhasticheskaya model dvizheniya lyudskogo potoka i yeye proverka pri funktsionirovaniy odnogo istochnika lyudskogo potoka* [Stochastic model of the movement of a human stream and its check when functioning one source of a human flow]. Moscow, VNIINTPI Publ., 1990, issue 3, deposit. no. 10447.
33. Kholshchevnikov V. V., Aybuev Z. S.-A. *Proverka modeli pri dlitelno-funktsioniruyushchikh istochnikakh* [Check of model at the long functioning sources]. Moscow, VNIINTPI Publ., 1990, issue 3, deposit. no. 10448.
34. Kholshchevnikov V. V., Aybuev Z. S.-A. *Razvitiye podkhoda k modelirovaniyu svobodnogo dvizheniya lyudskikh potokov* [Development of approach to modeling of the free movement of human flows]. Moscow, VNIINTPI Publ., 1990, issue 3, deposit. no. 10449.
35. Kholshchevnikov V. V., Aybuev Z. S.-A. *Opredeleniye statisticheskikh kharakteristik raspredeleniya veroyatnosti skorosti svobodnogo dvizheniya* [Definition of statistical characteristics of distribution of probability of speed of the free movement]. Moscow, VNIINTPI Publ., 1990, issue 3, deposit. no. 10450.
36. Shishov I. A., Kholshchevnikov V. V. *Program FMT 1.0. Certificate on the state registration of the computer program no. 2011614752 on 17.06.2011*. Moscow, Russian Federal Service for Intellectual Property Publ., 2011 (in Russian).
37. Kholshchevnikov V. V., Shishov I. A. Modelirovaniye svobodnogo dvizheniya lyudskikh potokov [Modeling of free movement of human flows]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta — Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*, 2011, no. 2, pp. 89–103.