https://doi.org/10.22227/PVB.2020.29.03.66-94
УДК 614.842.65-056.24

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

Корректность компьютерной модели и наша жизнь

© **В.В. Холщевников[1,2,3] ✉, А.П. Парфененко[2]**

1 Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

2 Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

3 НИИ «Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (123317, г. Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13, стр. 1)

АННОТАЦИЯ

Введение. В последнее десятилетие в России создаются различные программные продукты, претендующие на роль компьютерного эквивалента нормативному документу «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (далее — Методика). В некоторых из них приводится комплекс программ, полностью подменяющий все разделы этого документа; другие касаются только моделирования времени эвакуации людей и определения на этом основании величины вероятности эвакуации $P_{эв}$, значение которой при нефункционирующих системах активной противопожарной защиты (K = 0,8...0,9) должно быть равно 0,999.

Анализ результатов определения расчетного времени эвакуации в программно-вычислительных комплексах. Эталонные данные, по которым можно проверить точность вычислений расчетного времени эвакуации $t_р$, не приводятся, а большинство покупателей этих комплексов не обладают для этого необходимыми навыками. Авторы и продавцы программно-вычислительных комплексов предоставляют покупателям демонстрационные версии программ, но отказываются раскрывать исходные данные, на которых они базируются. Такую скрытность они объясняют тем, что продаваемые программы содержат некие ноу-хау, являющиеся их авторской собственностью. Поэтому купля-продажа основывается фактически только на доверии покупателя к продавцу. Однако здравый смысл заставляет искать те элементы программы, которые нужно проверить в первую очередь, а также способы осуществления подобной проверки. Элементы, требующие первоочередной проверки, перечислены в техническом регламенте «О требованиях пожарной безопасности»: безопасность эвакуации, ее своевременность и беспрепятственность. В статье мотивированы эти критерии — приведены примеры трагических последствий их невыполнения.

На простейших примерах авторы демонстрируют, как провести такую проверку. Для этого проведен расчет времени эвакуации людского потока при последовательном изменении его плотности по программам «Фогард Рв», Fenix+, «Сигма ПБ», «Урбан». Вручную сделан расчет таких же ситуаций по упрощенной аналитической модели. В процентах вычислены отклонения значений $\Delta t_р$, полученных в результате работы компьютерных программ, от значений при ручном счете. Оценка этих отклонений, приведенная в таблицах и продемонстрированная на графиках, показывает, что авторы программно-вычислительных комплексов изменяют в своих расчетах предметную область (модель), использованную в Методике, т.е. искажают установленные в результате научного открытия закономерности связи между параметрами людских потоков.

Выводы и предложения. В итоге показано, что рассмотренные коммерческие программно-вычислительные комплексы значительно занижают расчетное время эвакуации людей, определяя его ниже времени достижения критических уровней воздействия опасными факторами пожара $t_{нб}$, т.е. создают иллюзию выполнения условия $t_{эj} \leq t_{нб}$. Данное обстоятельство позволяет заказчику этого программного продукта *не выполнять дорогостоящие требования обеспечения пожарной безопасности* объекта. Тем самым владельцы этих программно-вычислительных комплексов вводят в заблуждение граждан, находящихся в зданиях и сооружениях, относительно обеспечения безопасности их здоровья и жизни.

Ключевые слова: безопасность; пожар; эвакуация; людской поток; модель; компьютеризация; опасные факторы; программное обеспечение; предметная область; закономерность; сертификация; экспертиза

Для цитирования: *Холщевников В.В., Парфененко А.П.* Корректность компьютерной модели и наша жизнь // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 3. С. 66–94. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.03.66-94

✉ *Холщевников Валерий Васильевич,* e-mail: reglament2004@mail.ru

Correctness of the computer model and our life

© **Valeriy V. Kholshchevnikov[1,2,3] ✉, Aleksander P. Parfenenko[2]**

1 State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

2 National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

3 Scientific Research Institute “Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services” (Antonova-Ovseenko St., 13, Bldg. 1, Moscow, 123317, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. In the last decade, various software products have been created in Russia that claim to be a computer equivalent to the statutory document "Method of determining design values of fire risk in buildings, structures and constructions of different functional fire hazard classes". In some of them, the complex of the programs completely substituting all sections of this document is given; others concern only modelling of time of evacuation of people and determining, on this basis, the probability of evacuation P_{ev} which value, at not functioning systems of active fire protection (K = 0.8–0.9), shall be equal 0.999.

Analysis of Results of Determining Estimated Time of Evacuation in Software and Computing Systems. However, the reference data on which it is possible to check the accuracy of calculations of estimated time of evacuation t_e is not given, and the majority of buyers of these systems do not have enough skills for this purpose. Software and computing system salesmen provide demo versions of software to customers, but refuse to disclose the source data on which they are based. They explain this "secrecy" by the fact that the software sold contains a certain KNOW-HOW which is their copyright. Therefore, the purchase and sale is, in fact, based only on the trust of the buyer to the seller. But the universal thing "Try before you trust" makes you look for what to check first and how to do it. What to check first is listed in the technical regulations "On fire safety requirements": safety of evacuation, its promptness and unhindered access. The article is motivated by these criteria, examples of tragic consequences of their non-fulfillment are given.

The authors then show how to perform such a test through the simplest examples. For this purpose, calculation of time of evacuation of a human flow at consecutive change of its density under Fogard Rv programs is made, Sigma PB, Urban; the calculation of the same situations using a simplified analytical model is made "Manually". The deviations of tp values, obtained by computer programs from the values in the manual computation are calculated in percents. The evaluation of these deviations, given in the tables and on the graphs, shows that the developers of software and computing systems change in their calculations the domain area (model) used in the Methodology, i.e. distort the patterns of connection between the parameters of human flows established as a result of scientific discovery.

Conclusions and Proposals. As a result it is shown that results of the considered commercial software and computing systems considerably underestimate estimated time of evacuation of people, defining it below time of achievement of critical levels of influence by hazards of fire t_{bs}, i.e. create the illusion of fulfilment of the condition: $t_{e,i} \leq t_{bs}$. This allows the customer of this software product *not to fulfill expensive requirements of fire safety* of the facility. Thus, the owners of these software and computing systems mislead the citizens who are in buildings and structures regarding the safety of their health and life.

Keywords: safety; fire; evacuation; human flow; model; computerization; hazards; software; domain area; pattern; certification; expertise

For citation: Kholshchevnikov V.V., Parfenenko A.P. Correctness of the computer model and our life. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(3):66-94. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.03.66-94

✉ *Valeriy Vasilyevich Kholshchevnikov*, e-mail: reglament2004@mail.ru

Введение

Противопожарное нормирование в России, определив условия соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности (ст. 6 Федерального закона № 123-ФЗ[1]) и введя в качестве нормативного документа Методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности[2] (далее — Методика), резко активизировало использование математического моделирования движения людских потоков при помощи программно-вычислительных комплексов. Это объясняется тем, что расчетная величина индивидуального пожарного риска в решающей мере зависит от вероятности безопасной эвакуации людей $P_{эв}$.

И если 15–20 лет назад описание программ моделирования людских потоков на ЭВМ можно было обнаружить в основном в зарубежных публикациях [1–5], то в последнее десятилетие, наряду с развитием программ компьютерного моделирования людских потоков за рубежом [6, 7], стал активно формироваться отечественный рынок программно-вычислительных комплексов, предлагающих компьютерные программы для определения t_p: «Фогард Рв»[3], Fenix+[4], «Сигма ПБ»[5], «Урбан»[6]. Программируя вычисление этой величины, разработчики указанных комплексов могли изначально избежать ошибок начального этапа становления зарубежного моделирования, которые состояли в подмене людского потока движением потоков другой природы: металлических частиц в электромагнитном поле, гидравлических аналогий [1, 2], потоков вызовов в теории массового обслуживания, потока сыпучих сред и т.п. [8–10]. Но сегодня неизвестно, расчеты

[1] Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 27.12.2018). URL: http://docs.cntd.ru/document/902111644

[2] Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : утверждена приказом МЧС России от 30.06.2009 № 382.

[3] Фогард. Пожарные программы On-Line. URL: www.fogard.ru

[4] MST. В сфере пожарной безопасности. URL: www.mst.su

[5] Sigma. Програмное обеспечение. URL: www.3ksigma.ru

[6] URBAN. URL: www.urbanpo.ru

каких предметных моделей реализуют предлагаемые коммерческие вычислительные комплексы, хотя они и используют названия моделей, приведенных в Методике.

Ответ на этот вопрос не удается получить и от авторов коммерческих программно-вычислительных комплексов — они мотивируют это коммерческой тайной (поскольку продаваемый ими программный продукт является их интеллектуальной собственностью и объектом авторского права). Но каждый приобретатель такого комплекса имеет право знать, что он покупает под видом программно-вычислительного комплекса, и не только из-за его значительной стоимости (табл. 1).

Это право приобретателя определяется и тем, что от корректности нормирования характеристик людского потока, определяющих расчетное время эвакуации $t_р$, зависит и его собственная безопасность в соответствии с условием:

$$t_{нэ} + t_р \leq t_{нб}, \quad (1)$$

где $t_{нб}$ — момент образования критического для жизни человека уровня воздействия опасного фактора пожара (ОФП), до достижения которого ему необходимо покинуть рассматриваемый участок пути.

Если расчетное значение $t_р$ окажется ниже вероятного для потока основного функционального состава, то реального человека ждет смерть, поскольку он не успеет эвакуироваться до момента $t_{нб}$, т.е. в реальности $t_{нэ} + t_р \geq t_{нб}$. Поэтому получается, что компьютерная программа определяет вашу жизнь!

В связи с этим необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- представить, как обеспечивалась безопасность людского потока при отсутствии вычислительных возможностей компьютера;
- выяснить, как осуществляется валидация математических моделей, используемых в нормировании, на соответствие социальному явлению — реальному потоку людей;
- оценить влияние пропускной способности эвакуационного пути, моделируемого в программно-вычислительных комплексах, на безопасность эвакуации людей и величину $t_р$;
- верифицировать зависимости между параметрами людского потока, используемые в коммерческих программно-вычислительных комплексах;
- определить, что является интеллектуальной собственностью разработчика в программно-вычислительном комплексе;
- предложить программу действий.

Как обеспечивалась безопасность людей, когда не было компьютера

Всплеску компьютерных расчетов движения людских потоков предшествовал достаточно продолжительный этап освоения представителями научной школы Теория людских потоков [11], возможностей применения ЭВМ для выполнения таких расчетов. До появления ЭВМ расчет велся графоаналитическим методом [12, 13]. «Однако расчет графоаналитическим методом, хотя и достаточно элементарен по своему существу, но трудоемок» [14, с. 167]. Поэтому при появлении ЭВМ первого поколения («Урал-2») сразу же была сделана попытка **их использования для автоматизации расчетов** людских потоков [15].

В чем же заключаются элементарность и трудоемкость графоаналитического метода расчета?

Элементарность метода состоит в простоте вычислительных операций, последовательно выполняемых в ходе его осуществления, и в простоте графической фиксации их результатов:

- количество людей N_i, занимающих i-й участок пути длиной l_i (расстояние между первым и последним человеком в потоке) и шириной потока $\delta_i = b_i$ (ширина участка пути), определяет значение плотности потока на i-м участке, чел./м^2:

$$D_i = N_i / l_i b_i; \quad (2)$$

Таблица 1. Пример стоимости, руб., коммерческого программно-вычислительного комплекса в зависимости от оплаченной продолжительности его использования

Table 1. An example of the cost in rubles of a commercial software and computing system, depending on the paid duration of its use

«Сигма ПБ» “Sigma PB”	1 день 1 day	1 месяц 1 month	3 месяца 3 months	6 месяцев 6 months	12 месяцев 12 months
для стандартных объектов for standard facilities	533	7330	18 630	30 030	53 000
для больших и очень больших объектов for big and very big facilities	533	9300	27 300	49 300	83 000

- по прилагаемой таблице (например, Приложение I в [13]) определяется соответствующее этому значению плотности людского потока значение скорости его движения V_i, м/мин, по данному участку;
- время движения, мин, по i-му участку пути рассчитывается просто:

$$t_i = l_i/V_i. \quad (3)$$

Результат такой расчетной операции может быть отображен графически прямой линией в координатах «длина пути — время» (рис. 1).

Интенсивность движения людского потока на рассматриваемом участке пути определяется перемножением найденных величин, чел./м · мин:

$$q_i = V_i D_i. \quad (4)$$

При переходе на последующий участок пути $i + 1$ через сечение, в котором изменяется его ширина (с b_i на b_{i+1}) или вид j (горизонтальный, лестница, проем), значение интенсивности движения людского потока q_{i+1} определяется по формуле [12, 13]:

$$q_{i+1} = V_i D_i b_i/b_{i+1} = q_i b_i/b_{i+1}. \quad (5)$$

По таблице (например, в Приложении I в [13]) находятся значения плотности D_{i+1} и скорости V_{i+1}, соответствующие этому значению интенсивности движения. Затем, аналогично (2), рассчитывается время движения по участку $i + 1$, мин:

$$t_{i+1} = l_{i+1}/V_{i+1}. \quad (6)$$

Выполнение этой расчетной операции опять графически фиксируется (см. рис. 1).

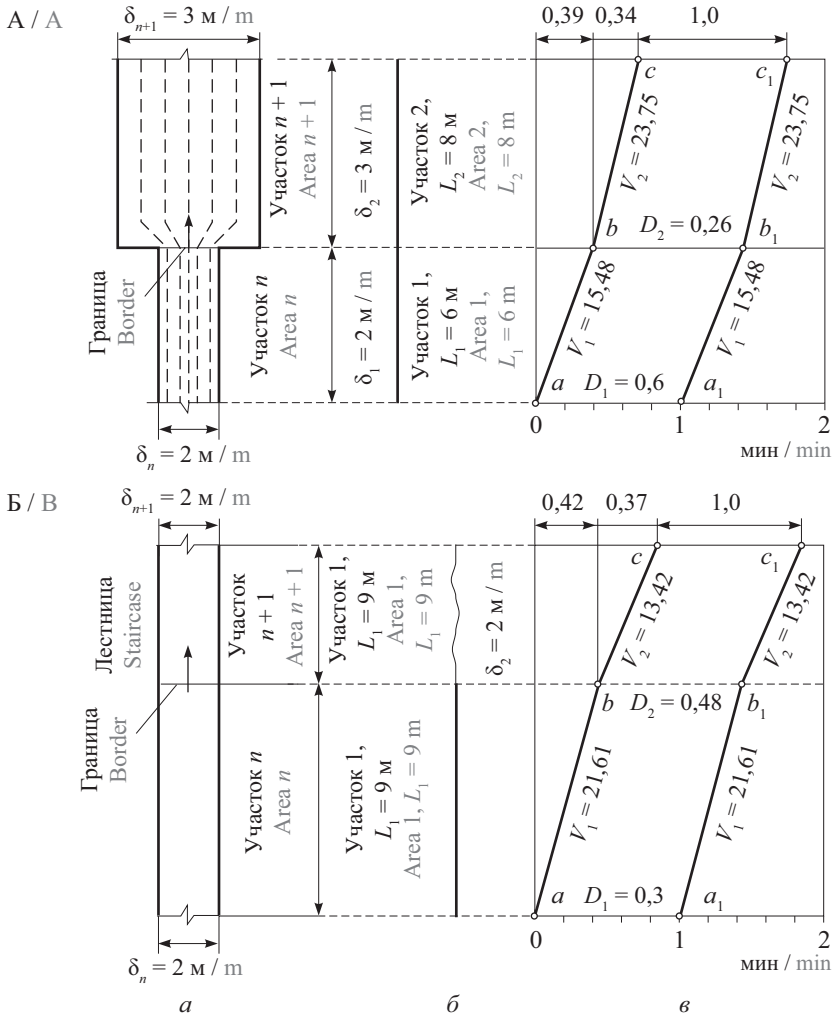

Рис. 1. Примеры графоаналитического метода расчета движения людского потока по смежным участкам эвакуационного пути: А — через границу смежных участков горизонтального пути, имеющих различную ширину; Б — по горизонтальному пути и лестнице; *а* — вид пути; *б* — схема пути; *в* — расчетный график [13, рис. 27, 28]

Fig. 1. Examples [13, Fig. 27, 28] of the graphical analytic method for calculating the human flow along the adjacent sections of the escape route: A — through the border of adjacent sections of horizontal track with different widths; B — horizontally and through staircase; *a* — type of route, *b* — evacuation map, *c* — design chart

Приведенные два примера наглядно демонстрируют простоту вычислительных операций и графического построения траектории кинематики, замыкающей границы потока, известные широкому кругу специалистов с техническим образованием из курса теоретической механики.

Однако даже эта простота не компенсирует утомительности множества действий, возникающих при расчетах одновременного движения людей в многочисленных секторах зрительских мест на трибунах крупных спортивно-зрелищных залов [15] или при эвакуации из высотных зданий [16]. Примером может служить графоаналитический расчет движения людского потока в продольном проходе зрелищного зала: на участках ограниченной длины (между выходами из проходов между рядами мест для зрителей), с характерным для него одновременным слиянием и переформированием потоков, образованием максимальных плотностей и задержек движения людей между рядами зрительских мест (рис. 2).

Необходимо подчеркнуть, что первые обращения исследователей людских потоков к ЭВМ были вызваны их стремлением именно **упростить вычислительные операции, не трогая предметной модели,** хотя они и вводили некоторые новые термины и определения в ее описание. Например, находим: «… введем понятие **масса**, понимая под ним площадь, занимаемую людьми …» [15, с. 101].

Наиболее полное словесное описание образной модели «Людской поток» состоит в следующем. «Размещение людей в потоке (как по длине, так и по ширине) имеет всегда неравномерный и часто случайный характер. Расстояние между идущими людьми постоянно меняется, возникают местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают снова» [13, с. 29]. «Наблюдения показывают, что людской поток обычно имеет вытянутую сигарообразную форму. При этом головная и замыкающая части состоят из небольшого количества людей, двигающихся с большей или меньшей скоростью, чем основная масса людей в потоке» [13, с. 28]. «Ширина потока δ, как правило, обусловливается свободной для движения шириной участка *b*, ограниченного ограждающими конструкциями. … **Между ограждающими конструкциями и массой людей при движении всегда образуются зазоры Δδ**, соблюдаемые людьми из-за неизбежного **раска-**

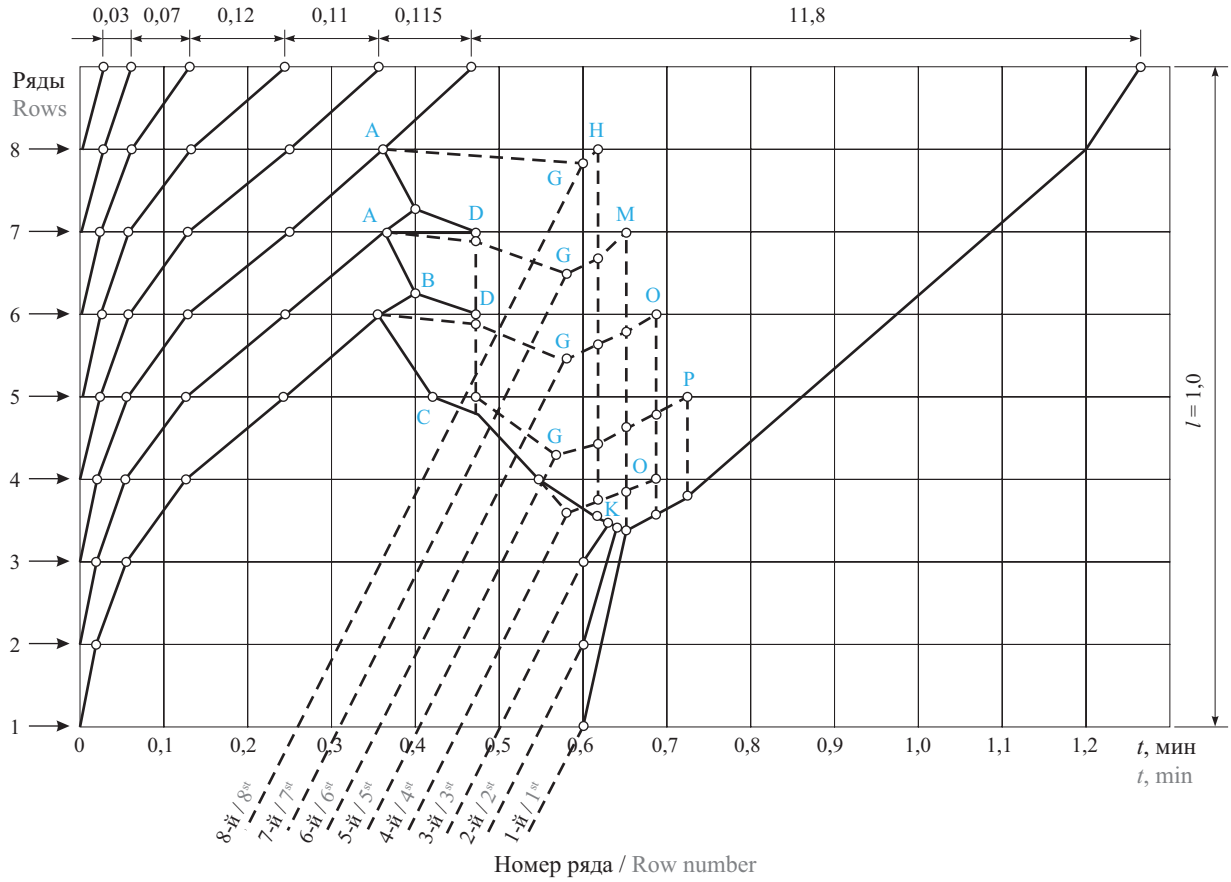

Рис. 2. Расчетный график движения людского потока в проходе зрелищного зала [13, рис. 51]

Fig. 2. Design chart of human flow in the passage of the audience hall [13, Fig. 51].

чивания при ходьбе и опасения задеть конструкцию или какую-нибудь выступающую ее деталь» [13, с. 29] (рис. 3).

Рис. 3. Структура людского потока: *1* — головная часть; *2* — основная часть; *3* — замыкающая часть

Fig. 3. Human flow structure: 1 — head end; 2 — main end; 3 — closing end

В зависимости от полноты учета кинематических закономерностей возможно несколько моделей движения людского потока. Наиболее простой среди них является **упрощенная модель движения людского потока однородного состава.** При разработке этой модели считается, что, «поскольку количество людей, составляющих головную и замыкающую части, относительно невелико по сравнению с основной массой, … зазоры Δδ могут не учитываться», то «вполне **возможно показать поток в виде прямоугольника**» [13, с. 29] шириной b_i и длиной l_i, равной длине основной части потока. Графики на рис. 1 описывают кинематику этой модели людского потока, по ним видно, что это — **прямолинейное равномерное движение.** Очевидно, что такая модель — результат следования парадигме механического движения, которая господствовала среди специалистов того времени и в преподавании технических вузов, выпускниками которых были все исследователи людских потоков.

Графики на рис. 2 характеризуют движение людского потока по участкам сборного прохода, в который выходят люди из рядов зрительских мест в последовательные периоды времени. Сначала наблюдается равномерное движение, затем — равномерно ускоренное (переформирование потока на участке), равномерно замедленное (из-за роста плотности потока на участке и образования скоплений людей в проходах рядов зрительных мест) и под конец процесса, на участках выходов из рядов с третьего по восьмой, — стабилизировавшееся равномерное движение, сопровождающееся растеканием потока.

Для реализации расчетов движения людских потоков на ЭВМ разрабатывались аналитические выражения, результаты расчетов по которым сравнивались с результатами, полученными графоаналитическим методом. Поэтому эти выражения получили название «приближенные формулы». В истории исследований людских потоков выделяются два вида таких формул [14, с. 184–190], по которым **«результаты расчета … близки к результатам, полученным графоаналитическим методом» — с точностью до 3 %,** т.е. в пределах точности осуществления самих расчетов и графических построений.

Первый из них был разработан в диссертационной работе Р.М. Дувидзона, защищенной в 1968 г. Резюме автора: «…разработанная методика (и созданная на ее основе программа) очень трудоемка, но это обстоятельство не является существенным при применении современной вычислительной техники» [15, с. 99]. Это — корректное резюме, однако, не затрагивало другой выявившейся проблемы применения ЭВМ — **сложности ввода в ЭВМ исходных данных**. (Напомним, что ввод исходных данных в «Урал-2» производился с магнитных носителей). По мере появления ЭВМ второго и третьего поколений программы для автоматизации расчетов движения людских потоков продолжали совершенствоваться [17, 18], но спустя и еще 20 лет исходные данные новой программы расчета людских потоков [19] приходилось вводить с перфокарт.

Второй вид формулы был разработан в диссертационной работе [16] при поиске способов модификации алгоритма построения кривой минимальной стоимости, используемого математической теорией потоков в сетях [20]. В процессе этого поиска выяснилось, что схемы эвакуационных путей и выходов, составляемые на основании топологии объемно-планировочных решений зданий, не содержат достаточной информации для проведения необходимых вариантов расчетов, а методология теории потоков в сетях не может учитывать влияния величины людского потока на увеличение ширины пути его движения. Поэтому в [16] **впервые была разработана методика составления расчетных схем эвакуации**. В расчетных схемах указывается число людей в каждом из источников людских потоков, расчетные размеры участков пути, направления эвакуации по ним и параметры людских потоков, образующихся на них. (Составление расчетных схем позже стало составной частью Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности).

Полученная же упрощенная формула, обсуждаемая во втором издании учебного пособия «Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков» [14, (7.15)], дает возможность, прежде всего, установить вариант кинематики процесса в рассматриваемой планировочной ситуации и затем определить $t_р$ с учетом

количества слияний на рассматриваемом участке расчетной схемы. Использование этой формулы позволило разработать методику построения кривой минимальной площади эвакуационных путей при заданной величине $t_р$, пример которой приведен на рис. 4 (нижняя кривая).

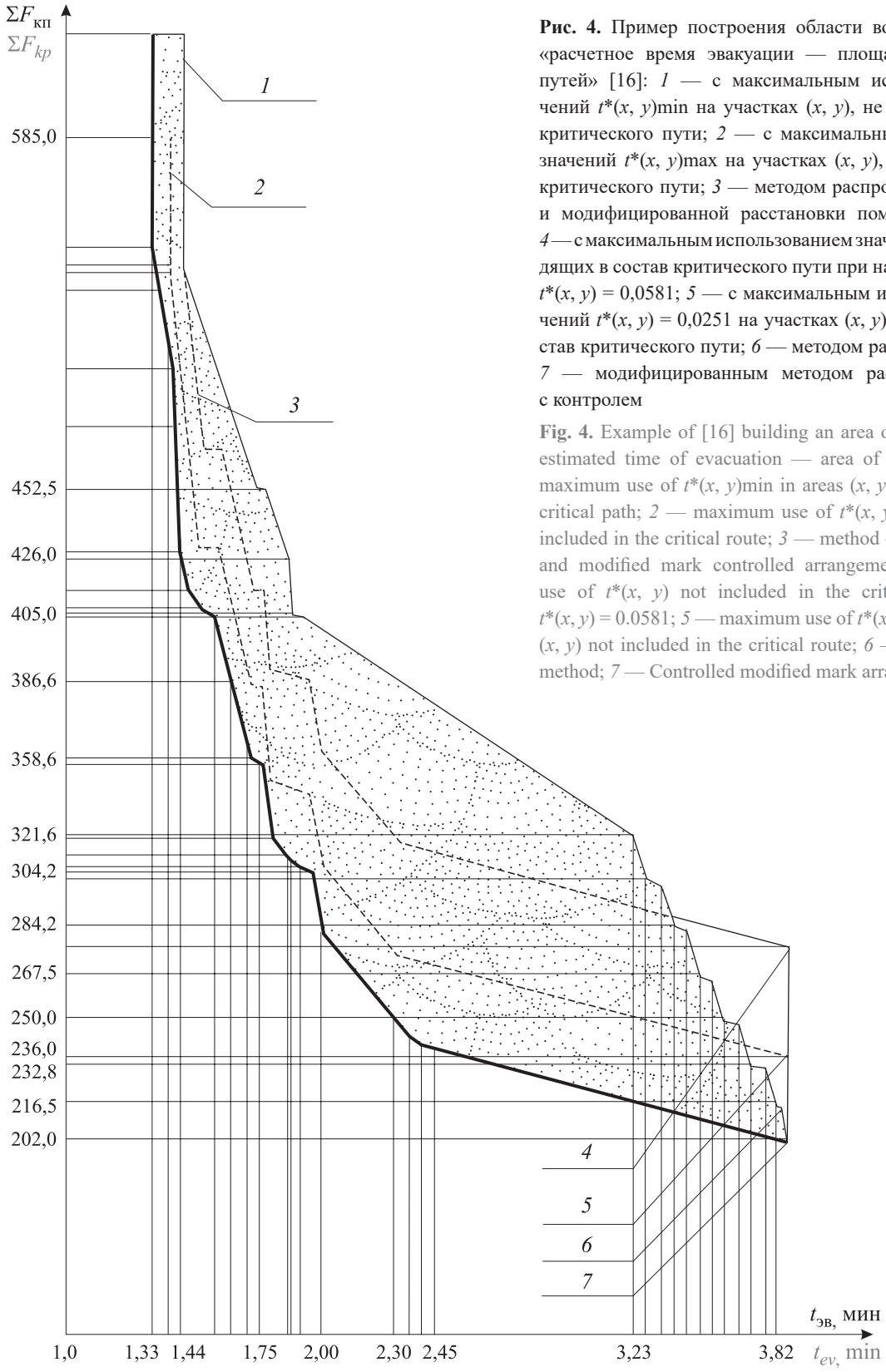

Рис. 4. Пример построения области возможных решений «расчетное время эвакуации — площадь эвакуационных путей» [16]: *1* — с максимальным использованием значений $t^*(x, y)$min на участках (x, y), не входящих в состав критического пути; *2* — с максимальным использованием значений $t^*(x, y)$max на участках (x, y), входящих в состав критического пути; *3* — методом распространения пометок и модифицированной расстановки пометок с контролем; *4* — с максимальным использованием значений $t^*(x, y)$, не входящих в состав критического пути при начальных значениях $t^*(x, y) = 0{,}0581$; *5* — с максимальным использованием значений $t^*(x, y) = 0{,}0251$ на участках (x, y), не входящих в состав критического пути; *6* — методом расстановки пометок; *7* — модифицированным методом расстановки пометок с контролем

Fig. 4. Example of [16] building an area of possible solutions: estimated time of evacuation — area of escape routes: *1* — maximum use of $t^*(x, y)$min in areas (x, y) not included in the critical path; *2* — maximum use of $t^*(x, y)$max in areas (x, y) included in the critical route; *3* — method of marks distribution and modified mark controlled arrangement; *4* — maximum use of $t^*(x, y)$ not included in the critical route at initial $t^*(x, y) = 0.0581$; *5* — maximum use of $t^*(x, y) = 0.0251$ in areas (x, y) not included in the critical route; *6* — mark arrangement method; *7* — Controlled modified mark arrangement method

Работа над методологией оптимизации структуры эвакуационных путей еще раз показала, что **для гносеологии людских потоков определяющее значение имеет установление закономерностей связи между их параметрами.** Используя аналогию с механическим движением в физике, можно сказать, что эти закономерности для людских потоков идентичны динамике механического движения, которая базируется на законах Ньютона. Общеизвестно, что на установление этих закономерностей потребовались сотни лет и преследование тех ученых, кто выступал против общепринятой парадигмы. Гносеологии людских потоков [21] на достижение теоретического уровня знаний потребовалось несколько меньше времени — всего лишь 50 лет. Столько лет прошло между публикацией первых результатов научных исследований процесса эвакуации людей, начатых институтом архитектуры Всероссийской академии художеств [22], и первой публикацией по современной методологии установления закономерностей связи между параметрами людских потоков [19].

Парадигма теоретического уровня знаний в области людских потоков опирается на две концепции: **людской поток — живая система, людской поток — стохастический процесс.** Это, казалось бы, очевидные истины. Но первая словесная формулировка модели: «**Людской поток представляет собой систему, элементами которой являются составляющие его люди**» [24, с. 98] и математическое описание связи между параметрами этой системы в виде случайной функции, использующее положения психофизики, впервые появились на страницах этой диссертационной работы в следующем виде:

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

где $\bar{V}^{Э}_{Dj}$ — вероятная величина скорости людей в эмоциональном состоянии (Э) при плотности потока D_i на участке j-го вида пути;

$\bar{V}^{Э}_{0j}$ — случайная величина индивидуальной скорости свободного движения (при отсутствии влияния окружающих людей), зависящая от вида пути j и уровня эмоционального состояния (Э) людей;

a_j — коэффициент, определяющий степень влияния плотности потока при движении по j-му виду пути;

D_i — текущее значение плотности потока;

D_{0j} — пороговое значение плотности, по достижении которого плотность становится фактором, влияющим на скорость движения людей в потоке. (При значениях $D_i < D_{0j}$ плотность потока не оказывает влияния на скорость движения людей — наблюдается свободное движение людей в потоке).

Следует отметить, что при вероятностном моделировании изменений скорости движения людей в потоке [25] для обеспечения точности расчетов становится важным установление такого соотношения между шагом моделирования и длиной элементарного участка его перемещения, которое не допускает неучтенного проскакивания людей за устанавливаемый шаг моделирования. Недостаточное внимание к этому аспекту моделирования движения людей при помощи ЭВМ может сказаться на его точности.

Важнейшим достижением теоретического уровня гносеологии людских потоков является **установление функциональной закономерности** (значение теоретического корреляционного отношения $\eta \geq 0{,}95$) **реакции системы на плотность размещения элементов (людей) на различных видах пути и категорирование скорости их движения в зависимости от эмоционального и физического состояния.** Столь высокие значения η свидетельствуют о том, что предложенная модель в высокой степени отображает сущность социального явления, которое образно воспринимается как людской поток. Поэтому она и была признана международным сообществом научным открытием, т.е. диплом на открытие 24-S [25], выражаясь современными терминами, это — свидетельство **валидации** модели. (Валидация — процесс, позволяющий оценить, насколько близко модель представляет сущность реального мира).

Текст программ для расчетов по этой модели, написанный на языке Фортран, был опубликован в учебном пособии [19], поэтому мог свободно использоваться широким кругом заинтересованных лиц. Этот факт можно рассматривать как **верификацию предложенной модели людского потока** (подтверждение соответствия характеристик произведенной единицы продукции заданным эталонным требованиям).

Группа специалистов сформировавшейся научной школы теории людских потоков внесла нормирование соотношений (1)–(6) и закономерности изменений математических ожиданий случайных функций $\bar{V}^{Э}_{Dj} = \varphi(D_i)$ и $q_i = \phi(D_i)$ при движении повышенной активности в главу СНиП II-2-80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» (приложение, в котором зависимости $\bar{V}^{Э}_{Dj} = \varphi(D_i)$ и $q_i = \phi(D_i)$ приведены в табличной форме). Затем, используя эти закономерности, совместно с представителями ведущих научно-исследовательских институтов, были нормированы размеры эвакуационных путей и выходов в главах СНиП по проек-

тированию общественных и промышленных зданий, переиздаваемых каждые пять лет. Тем самым было положено начало созданию **новой методологии нормирования**, названной **гибким нормированием**, поскольку вместо единой нормы пропускной способности единицы ширины коммуникационного пути в нее вводится дифференцированная расчетная норма для различных видов пути и зданий различного назначения. Это следует из сопоставления СНиП II-2-80 с предшествующей редакцией главы СНиП II-А.5-70 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений»: «Суммарная ширина маршей лестничных клеток в зависимости от количества людей, находящихся на наиболее населенном этаже, кроме первого, а также ширина дверей, коридоров или проходов на путях эвакуации во всех этажах должна приниматься из расчета не менее 0,6 м на 100 человек» (п. 4.2).

Гибкость нормирования требовала и гибкости способов его применения в практике проектирования. Казалось бы, ЭВМ и создает такие возможности. Однако введение исходных данных в ЭВМ с перфокарт не только неудобно, но и сопровождается часто непреднамеренными ошибками, которые заставляют делать перерасчеты итоговых результатов. Поэтому при расчетах эвакуации из зданий крупнейших объектов Олимпиады 1980 г. в Москве, выполненных по поручению Госстроя СССР для предварительной оценки эффективности применения в нормировании установленных связей между параметрами людских потоков, расчеты выполнялись графоаналитическим методом. Эти сложности использования ЭВМ в проектной практике определили и многоэтапную методику гибкого нормирования, состоящую из документов трех уровней.

Документы первого (высшего) уровня, представленные главой СНиП II-2-80, содержали критерии безопасности людей при эвакуации, значения параметров движения людских потоков в аварийной ситуации на участках маршрута эвакуации, значения необходимого времени эвакуации для ее последовательных этапов (из помещения, с этажа, по вертикальным коммуникациям).

Документы второго уровня, представленные главами СНиП на проектирование отдельных видов зданий, содержали нормативные значения длины и ширины путей эвакуации для зданий различного назначения, установленные на основании нормативных требований документов первого уровня.

Документы третьего уровня, в качестве которых рассматривались методические пособия к существующим главам СНиП, должны были содержать изложение метода определения расчетного времени эвакуации и объяснять сферу корректного применения значений нормируемых величин.

В соответствие с этой структурой гибкого нормирования были быстро разработаны документы первых двух уровней. Постепенно разрабатывались и документы третьего уровня, например [26–31]. Однако обобщение результатов методики многоуровневого гибкого нормирования приводит к заключению, что она не в полной мере реализует исходную идею гибкого нормирования: «Система нормирования должна стимулировать своих потребителей к глубокому пониманию ее основ и требовать их ответственности за корректное использование этих основ на практике, поскольку при всей ширине нормированием возможных ситуаций оно не может охватить все. … она не в полной мере реализует эти положения. Так, оперевшись, наконец, в явном виде на теорию в главе СНиП II-2-80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений, она вывела ее из активного использования, введя нормативы размеров эвакуационных путей и выходов в главах СНиП на проектирование отдельных видов зданий. Для большинства проектировщиков эти нормативы остаются, как и прежде, немотивированными требованиями. Вместо требований ответственности авторов проектов за решения по обеспечению безопасности людей в конкретных ситуациях ответственность фактически переложена на специалистов, обобщающих возможные проектные ситуации при разработке этих нормативов» [32, с. 85].

Основной причиной, определившей такое положение в нормировании, было отсутствие возможностей оперативного применения ЭВМ в проектной практике. Следует отметить, что подобное положение сложилось и при гибком нормировании величины $t_{нб}$, требовавшем оперативного решения системы дифференциальных уравнений моделей пожара. Их численное «решение можно выполнить только с помощью современных компьютеров (ЭВМ)» [33, с. 13].

Расчеты на ЭВМ свободного движения людей в потоке (SDLP — при $D_i \leq D_{0,j}$) и поточного движения (ADLP — при $D_i > D_{0,j}$) широко использовались при проведении специальных исследований [34–37], что требовало неординарной подготовки их исполнителей. Такой подготовки нельзя было ожидать от проектировщиков-архитекторов. Более того, неуверенность кураторов разработки СНиП II-2-80 в математической подготовке архитекторов и привела, как было сказано, к табличной форме нормирования закономерностей, выраженных логарифмической зависимостью (6).

Приведенные в главах СНиП нормы в последующем были заимствованы в ГОСТ 12.1.004–91[7] и в многочисленных сводах правил, которые появи-

[7] ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.

лись в связи с принятием 27 декабря 2002 г. Федерального закона «О техническом регулировании» № 184-ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности следует рассматривать как развитие системы гибкого нормирования размеров эвакуационных путей и выходов, поскольку он, заставляя оценивать пожарный риск для каждого здания, персонализирует ответственность разработчиков каждого из них. При этом он сохранил новаторское требование предшествующего ему этапа противопожарного нормирования в СНиП 21-01-97*[8] (п. 5. 28): дифференцировать значения параметров движения людей «с учетом их возраста, физического состояния, возможности пребывания в состоянии сна или бодрствования» в зданиях разных классов функциональной пожарной опасности.

Но эти прогрессивные принципы противопожарного нормирования остались бы благим пожеланием, если бы к тому времени не произошло коренного изменения возможностей ЭВМ — появились ЭВМ нового поколения, названные в СССР компьютерами. (В данном случае имеется ввиду классификация поколений ЭВМ, использующая изменения элементной базы, на основании которой они построены: первое поколение — электронные лампы, второе — транзисторы, третье — микросхемы, четвертое — микропроцессоры. Первый массовый персональный компьютер был изготовлен фирмой IBM 12 августа 1981 г.).

Создание персонального компьютера привело, можно сказать, к компьютеризации всей страны. Как и электрификация, это был не мгновенный процесс. Но компьютер «добрался» и до архитектурно-строительного проектирования. Для моделирования людских потоков появление компьютера решило проблему предшествующих поколений — ввода информации в ЭВМ (с магнитной ленты [15], с перфокарт [19]) и расширило возможности операционной системы для автоматизации выполнения многочисленных расчетных операций. Поэтому с учетом новых возможностей компьютерных технологий представителями научной школы теории людских потоков была модернизирована программа поточного движения. В соответствии с системой сертификации, введенной Техническим регламентом в Федеральном законе № 184-ФЗ, корректность произведенных компьютерных новаций была подтверждена Госстандартом России в виде сертификата на соответствие [38].

Программа свободного движения людей в потоке, использованная при решении ряда градостроительных задач, была переработана в программу FMT1.0 [39] несколько позже. Такая задержка разработки компьютерной программы свободного движения объясняется тем, что распределение людей по маршруту эвакуации при свободном движении могло быть получено аналитическим путем как функция случайной величины скорости людей в их источниках, имеющей нормальное распределение, а методы аналитического расчета этих распределений содержатся в вузовских учебниках по теории вероятностей.

Таким образом, участники школы теории людских потоков решили для себя многолетнюю проблему использования ЭВМ для моделирования людских потоков. Поэтому, когда представители Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (ВНИИПО МЧС России) обратились к ним с предложением дать имеющиеся у них наработки для включения в разрабатываемый нормативный документ «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», они положительно откликнулись на него. Руководствуясь чувством долга, они продолжали коллективную работу по повышению безопасности людей при пожаре [40]. В Методику были переданы в том числе две модели людских потоков, уже имевшие сертификацию компьютерной реализации: упрощенная аналитическая и имитационно-стохастическая модели (Методика, Приложение 2 и 4).

Компьютеризация и коммерциализация моделирования

Однако использование машинных языков более высоких уровней и возросший объем требований к программным средствам (software) определили необходимость углубления специальных знаний по программированию, что вызвало даже появление новой дисциплины «Информатика». Эти требования создали условия для определенного разделения труда:

- представители теории людских потоков сосредоточились на развитии предметной области знаний (исследований движения потоков разного состава людей);
- программисты специализировались на создании программных средств;
- пользователи-специалисты внедряли компьютерную систему в свою практическую деятельность: в многочисленные службы пожарного надзора, прежде всего, Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России.

Архитектурно-строительное и противопожарное нормирование коммуникационных путей оказалось перекрестком интересов указанных групп специалистов.

[8] СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

Такое разделение труда вполне соответствует принципам основоположников моделирования сложных систем, которые считали, что задача специалиста, разрабатывающего модель реального явления, заканчивается на создании его формализованной схемы, а ее математическое описание — прерогатива математиков и системотехников [41, 42]. Однако в данном случае эти принципы реализовались не совсем так, как предполагалось.

Среди серий натурных наблюдений, проведенных представителями школы теории людских потоков после установления закономерностей связи между параметрами людских потоков, особое значение имеют серии наблюдений потоков, состоящих из крайних возрастных групп населения: детей дошкольного возраста [43] и пожилых людей [44]. Это — возраст начала формирования психофизиологической системы человека и ее деградации. Результаты этих исследований опубликованы не только в России, но и за рубежом [45–47]. В результате проведенных новых исследований эмпирическая база данных $\overline{V}^{Э}_{Dj} = \varphi(D_i)$ расширилась до 59 575 значений, полученных в 145 сериях натурных наблюдений [48]. Среди них — серии исследований закономерностей связи между скоростью и плотностью потока, состоящего из людей, имеющих физические отклонения [49–52].

Таким образом, многолетние и многочисленные исследования закономерностей движения потоков людей, состоящих из людей различных демографических групп населения с учетом их возраста и физического состояния, показали **инвариантность** (от лат. *invarians*, *invariantis* — неизменяющийся, неизменность, независимость от условий) установленной закономерности (6), поскольку эта закономерность согласуется (валидируется) с психофизиологической схемой тела — с моделью координации движений [53–56], формирующейся при взаимосодействии [57] функциональных систем организма.

Что касается интереса к этой теме со стороны программистов-профессионалов, то впервые он был проявлен ООО «СИТИС», начавшим одним из первых в России заниматься разработкой информационных систем архитектурно-строительного проектирования. Потребовалось 1,5 года консультаций со специалистами в теории людских потоков и многократное тестирование разрабатываемых ими вариантов программ для того, чтобы в программе «Флоутек» добиться приемлемых для практики результатов [58]. Итоги сравнения результатов моделирования движения людских потоков, полученных при разных способах их реализации, были публично рассмотрены в печати [59].

Интересную реакцию вызвало появление Методики у ведущих специалистов экспертных органов. В статье одного из них читаем: «… людей, способных качественно, с пониманием дела, выполнить данные расчеты, можно сосчитать по пальцам, и ни для кого не секрет, что их выполнение по утвержденным методикам требует весьма глубоких познаний в самых разнообразных отраслях науки» [60, с. 56].

Познание закономерностей людских потоков действительно потребовало привлечения комплекса знаний из различных отраслей науки [24, 25]. Но для пользователя не обязательно знать о научных умозаключениях, на основании которых построены нормативы. Ему важно, чтобы нормативы им соответствовали. К тому же, программы для ЭВМ скрывают от пользователя операции расчета, а дают готовый итоговый результат; поэтому пользователи этих программно-вычислительных комплексов не только теряют навык разработки поэтапного расчета, но и не могут его проконтролировать. А специалисты-программисты, как показывает опыт общения с ними на примере ООО «СИТИС», не имеют, как правило, понятия о сути моделируемого явления. Исходя из такого положения, принципы и примеры аналитического расчета и графического изображения его результатов продолжают излагаться в учебном процессе и после появления компьютерных программ. Например, сопоставительному анализу результатов расчетов по различным моделям и сегодня посвящена отдельная глава в учебном пособии. Поэтому проверка корректности компьютерных расчетов не требует «весьма глубоких познаний в самых разнообразных отраслях науки». Нужно просто сравнить результаты аналитического расчета времени движения людского потока по отдельным участкам пути (2), используя табличные значения зависимости $\overline{V}^{Э}_{Dj} = \varphi(D_i)$ из Методики или СНиП II-2-80, с результатами, получаемыми по демонстрационным программам коммерческих программно-вычислительных комплексов.

Для примера достаточно рассмотреть две ситуации.

Первая ситуация — по горизонтальному участку пути движется однородный людской поток смешанного состава, имеющий то или иное значение плотности D (от 0,1 до 0,9) (рис. 5). Требуется определить время движения людского потока (его замыкающей части) по этому участку пути.

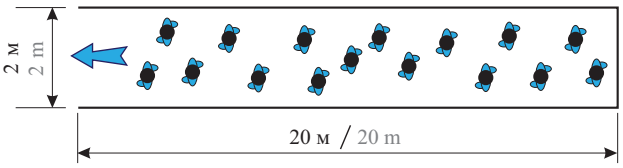

Рис. 5. Схема горизонтального участка пути длиной l, занятого людским потоком плотностью D_i

Fig. 5. Diagram of horizontal area of the route with l length, occupied by human flow with D_i density

В качестве второй ситуации рассмотрим такой же горизонтальный участок пути, но заканчивающийся дверным проемом (рис. 6). Здесь требуется определить время выхода замыкающей части потока за пределы проема.

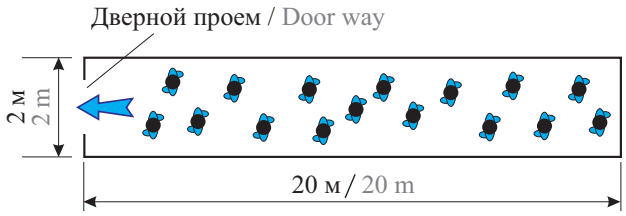

Рис. 6. Схема горизонтального участка пути, заканчивающегося дверным проемом

Fig. 6. Diagram of the horizontal area of the route ending with the door way

Такие проверки, а именно аналитический расчет для вышеизложенных ситуаций, — рядовое мероприятие в учебном процессе, приучающее выпускников Академии ГПС МЧС России к обоснованному, а не компилятивному мышлению. (Компиляция от лат. *compilatio*, букв. — **ограбление**, составление сочинений на основе чужих исследований или чужих произведений без самостоятельной обработки источников). Однако публичные обсуждения результатов одного из таких мероприятий вызвали возражения владельцев новых коммерческих программно-вычислительных комплексов. При этом для доказательства состоятельности своего мнения они используют прямо противоположные доводы и средства.

Одни из них, например руководитель Института технического регулирования и независимой экспертизы (Интернэкс), в письме (исх. № 02/04 от 10 апреля 2019 г.) начальнику Академии ГПС МЧС России пишет следующее:

«3. Компьютерные программы, программы для ЭВМ для расчетов пожарного риска обязательному подтверждению соответствия в форме декларирования соответствия или в форме обязательной сертификации не подлежат.

4. Компьютерные программы, программы для ЭВМ для расчетов пожарного риска не проходят добровольную сертификацию в системе добровольной сертификации ГОСТ Р, в связи с отсутствием документов по стандартизации, на соответствие которым проходило бы такое подтверждение.

5. Методика определения расчетной величины пожарного риска каких-либо **требований к программной реализации не содержит и не предъявляет, показателей качества программного обеспечения не устанавливает**».

Другие (владельцы «Сигма ПБ») собирают и сертификаты, и обилие отзывов от авторитетов, среди которых и Академия ГПС МЧС, и ВНИИПО МЧС РФ, и депутат Государственной Думы, и т.п.

Однако, кто бы ни требовал сертифицировать или не сертифицировать что-либо, логика здравого смысла [61] заставляет человека самому **проверять обеспечение первостепенного условия его безопасности — своевременность эвакуации:** $t_р \le t_{нб}$.

Поэтому сделаем это, прежде всего, для ситуации беспрепятственного движения людского потока, представленной на рис. 5.

Для этого сначала рассчитаем время движения его замыкающей части $t_р$ по формуле (3) с использованием данных $\bar{V}^{Э}_{Dj} = \varphi(D_i)$, приведенных в табл. П 2.1 Методики. Затем определим эту величину $t_р$, пользуясь программами демонстрационных вариантов коммерческих программно-вычислительных комплексов. Вычислим отклонения Δt_i полученных результатов при последовательном изменении плотности на участке: $\Delta t_i = t_р - t_{рп}$ и выразим их в процентах по отношению к $t_р$. Полученные результаты представлены на рис. 7 и в табл. 2.

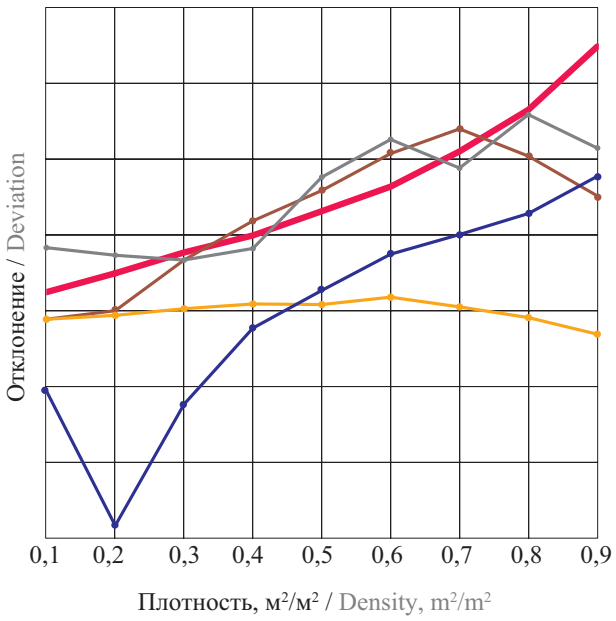

Рис. 7. Графики отклонений значений $\Delta t_р$ при беспрепятственном движении людского потока по участку, полученные по программам вычислительных комплексов «Сигма ПБ» —, «Урбан» —, Fenix+ —, «Фогард Рв» —, от значений $t_р$, полученных при расчете, соответствующем упрощенной аналитической модели, —

Fig. 7. Value deviations graphs Δt_e at unobstructed movement of a human flow through the area, received under programs of computing systems: Sigma PB —, Urban —, Fenix+ —, Fogard Rv — from values t_e received from a simplified analytical model calculation, —

Таблица 2. Отклонения, %, значений $t_р$, полученных по программам коммерческих вычислительных комплексов, от значений $t_р$, полученных в соответствии с Методикой

Table 2. Deviations (in %) of the te values obtained by the programs of commercial computing systems from the te values obtained by Method 2

Программа Program	Отклонение при плотности людского потока Deviation at the density of human flow								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
«Сигма ПБ» / Sigma PB	–7,1	–9,9	–2	3,8	5,5	8,7	5,9	–12,3	–39,4
«Урбан» / Urban	11,8	4,8	–2	–3,4	9	12,4	–4,4	–1,3	–26,8
Fenix+	–7,1	–11,1	–14,9	–18,1	–24,7	–29,2	–41,1	–54,9	–76
«Фогард Рв» / Fogard Rv	–26,1	–66,7	–40,1	–24,5	–20,9	–17,9	–22	–27,4	–34,3

Графики на рис. 7 и данные табл. 2 заставляют обратить внимание на то, что наибольшие значения отклонений приходятся на максимальные значения плотности людского потока. Поскольку такие значения плотности потока наиболее характерны для ситуаций с образованием скоплений людей, вызванных недостаточной пропускной способностью проемов, то целесообразно проанализировать ситуацию, представленную на рис. 6.

В теории людских потоков дверной проем рассматривается как отдельный вид пути, хотя плоскость пола, по которой идет поток людей, остается горизонтальной. Причина этого состоит в следующем: «Движение эвакуационных потоков через двери представляет в условиях вынужденной эвакуации один из наиболее ответственных этапов, так как именно в этих местах обыкновенно образовываются так называемые «пробки», возникновение которых, как показывает практика, часто оказывалось причиной несчастных случаев с людьми. … В.А. Эллисон [62] приводит описание целого ряда случаев катастроф, имевших место в зданиях массового назначения, когда, **благодаря заклиниванию человеческими телами выходов, многие люди оказывались задавленными на смерть или получившими серьезные увечья.** Во время одной из катастроф (1879 г. Нью-Йорк, театр Броклона), вызвавшей панику среди зрителей, погибло 283 человека из-за того, что сразу после начала эвакуации двери из зрительного зала оказались забитыми телами. При вытаскивании обезумевших людей с наружной стороны дверей многие оставались совершенно без платья, которое разрывалось по всем направлениям. … Поэтому **знание количественных характеристик этого процесса имеет важное практическое значение**» [63].

J.J. Fruin также рассказывает, как он попал в подобную ситуацию на железнодорожном вокзале одного из городов США, когда метель нарушила железнодорожное сообщение: «Тысячи застрявших пассажиров собрались в большой, но ограниченной области перед общей дверью выхода на платформу. Среднее занятие пешеходной зоны было, вероятно, 1,5 квадратных фута на человека. **Волны «сотрясений» пробегали по толпе, как будто это была единая объединенная масса, буквально сметая людей с ног.** Полиция, пытающаяся управлять толпой, была отброшена назад толчками, которые они не могли остановить, даже притом, что они сцепили руки. Хотя некоторые поезда прибыли, в этот период они были недоступны, потому что для пассажиров было невозможно двинуться через плотную толпу к входам на платформу, которые были всего на расстоянии в двадцать футов» [64].

Наглядную иллюстрацию состояния людей, попавших в скопление, дает фотография, приведенная на рис. 8.

Рис. 8. Фрагмент образования скопления людей, чреватого возникновением компрессионной асфиксии[9]

Fig. 8. A fragment of a crowd that could lead to compressive asphyxia[9]

[9] Er hat überlebt! URL: https://deinweckruf.wordpress.com/category/duisburg/

А.И. Милинский обращает особое внимание на возможное «проявление крайней грубости во всей ее ужасающей наготе, когда возникает борьба за выход, за право быстрее уйти от источника опасности». Как пример, он приводит случай, произошедший в 1923 г. на новогодней елке для детей в одном из зданий Мичигана. Он пишет: «В момент раздачи подарков кто-то крикнул «Пожар!», в результате чего началась паника. Один из присутствовавших, **человек высокого роста, громадной физической силы** и обладатель внушительного голоса, пытался остановить детей, преграждая путь к лестнице, но **был смят и растоптан**. Его искалеченный труп обнаружен на том же месте. При панике погибло 83 человека, из коих 60 человек детей» [63, с. 124–125]. А.И. Милинский считает: «Перенесение результатов наблюдений за движением потоков через двери в спокойных условиях непосредственно на условия аварийной эвакуации, невозможно, так как неизбежно привело бы к крупной ошибке, вытекающей из значительной разницы между режимами движения в спокойных и аварийных условиях.

Искусственное создание в общественном месте, ради наблюдения, обстановки аварийной эвакуации, также недопустимо, ибо сопряжено с большим риском.

Вместе с тем оставление этого важного вопроса вообще без внимания представляется невозможным» [63, с. 87].

Ввиду сказанного, он решил провести моделирование движения людских потоков через дверной проем на специально созданной установке (рис. 9), представляющей из себя бесконечную брезентовую ленту, натянутую на вращающиеся валики. «Общее количество опытов на модели составило … 2700» [63, с. 92].

Эти опыты позволили А.И. Милинскому впервые зафиксировать эффект образования арки перед дверным проемом (рис. 10, *а*) и определить систему и величину сил, действующих на человека, зажатого в арке (рис. 10, *б*).

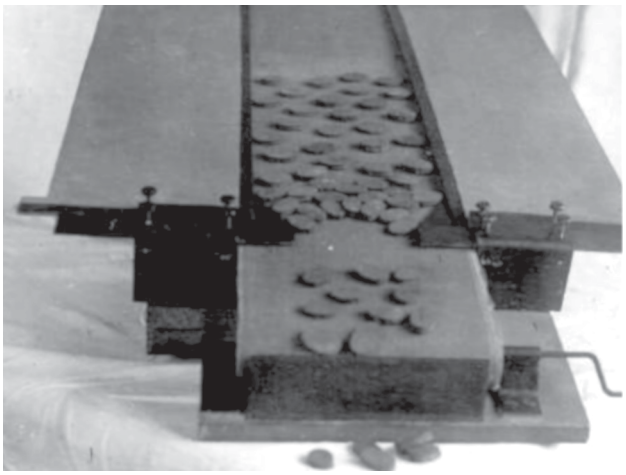

Рис. 9. Установка А.И. Милинского для моделирования движения людских потоков через двери

Fig. 9. A.I. Milinsky plant for modeling the movement of human flows through doors

Позже выяснилось, что эффект образования арки является характерным явлением и при движении сыпучих тел овальной формы (рис. 10, *в*). Этот факт свидетельствует об объективности картины процесса, моделируемого на установке Милинского (на рис. 9 хорошо просматривается образование арки).

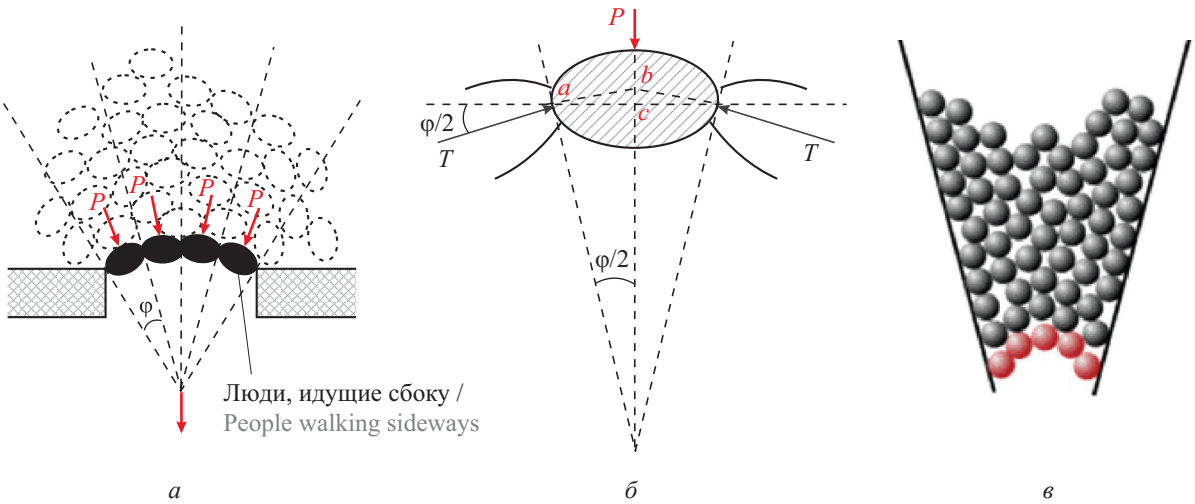

Рис. 10. Скопление людей перед проемом: *а* — образование арки; *б* — силы, действующие на тело человека, заклиненного в арке; *в* — образование арки в сыпучей среде (красные шарики)

Fig. 10. A crowd of people in front of the door way: *a* — formation of an “arch”, *b* — forces acting on the human body stuck in an arch, *c* — formation of an arch in a loose medium (red balls)

А.И. Милинский отмечает: «Существенное отличие модели от действительных условий состоит в том, что в то время, как натуральные люди обладают известной индивидуальной волей и некоторой свободой действий (хотя и ограниченной при остро протекающей эвакуации), модели «людей» являются неодушевленными телами, полностью лишенными этой воли и индивидуальной свободы действий» [63, с. 91]. Поэтому В.А. Копыловым были проведены экспериментальные исследования на «натуральных людях» в условиях, приближающихся к аварийным [64].

Обобщение результатов исследований А.И. Милинского и В.А. Копылова позволило установить **зависимость пропускной способности дверного проема *Q* от его ширины δ при плотности потока перед ним 0,9 и более:**

$$Q = \delta(2{,}5 + 3{,}75\delta). \quad (8)$$

При этом учитывались установленные к тому времени закономерности связи между параметрами людских потоков.

С 1980 г. требование учета влияния ширины дверного проема на его пропускную способность при плотности потока 0,9 и более входит во все отечественные нормативные документы по обеспечению безопасности людей при эвакуации в виде нормирования величины интенсивности движения через проем при его ширине менее 1,6 м:

$$q = 2{,}5 + 3{,}75\delta. \quad (9)$$

Следовательно, в ситуации, представленной на рис. 6, при плотности потока на участке $D = 0{,}9$ и ширине проема δ = 0,8 м, интенсивность движения через него составит: $q_{0,8} = 2{,}5 + 3{,}75 \cdot 0{,}8 = 5{,}5$ м/мин. Количество людей N на участке при выражении через площадь горизонтальной проекции тела человека f, м^2 / чел., составит: $N = 0{,}9 \cdot 20 \cdot 2 = 36$ м^2 или, при $f = 0{,}1$ м^2 / чел., $N = 360$ чел.

Время выхода людей на участок, расположенный после дверного проема, определяется по формуле:

$$t = Nf/Q. \quad (10)$$

Дверной проем не имеет длины, поэтому скорость не является параметром движения в проеме. При δ = 0,8 м это время составит $t_{0,8} = 36/(5{,}5 \cdot 0{,}8) = 8{,}18$ мин = 490,9 с. При ширине проема δ = 1,2 м аналогичные арифметические расчеты дают следующие результаты: $q_{1,2} = 7{,}0$ м/мин; $Q = 8{,}4$ м^2/мин; $t_{1,2} = 4{,}29$ мин = 257,1 с.

Что же дают для этой ситуации рассматриваемые коммерческие продукты?

Для сопоставительного анализа их результатов составлена табл. 3, данные которой затем использованы при построении графиков на рис. 11.

Таблица 3. Результаты сопоставительного анализа программно-вычислительных комплексов эвакуации людей

Table 3. Results of comparative analysis of software and computing systems of evacuation of people

Программа Program	Отклонение от аналитического расчета при плотности людского потока Deviation from analytic calculation at human flow density:								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Ширина проема 0,8 м / Door way width 0.8 m									
«Сигма ПБ» / Sigma PB	–210,3	–209,9	–206,4	–257,1	–231,8	–215,3	–245,2	–285,9	–329,5
«Урбан» / Urban	–184,2	–374,3	–554,4	–652,4	–599,2	–568,0	–558,3	–599,4	–545,9
Fenix+	–229,3	–141,4	–38,2	–23,1	–13,2	–9,8	–7,1	–6,3	–5,1
«Фогард Рв» / Fogard Rv	–257,6	–258,9	–258,0	–257,1	–256,9	–255,4	–252,9	–248,8	–226,8
Ширина проема 1,2 м / Door way width 1.2 m									
«Сигма ПБ» / Sigma PB	–13,6	–146,1	–163,7	–158,6	–124,0	–163,3	–201,7	–239,2	–275,3
«Урбан» / Urban	11,8	–185,5	–242,8	–308,2	–266,4	–257,1	–223,6	–262,9	–247,4
Fenix+	–2,7	–159,5	–161,3	–61,0	–29,0	–14,1	–10,9	–7,9	–5,8
«Фогард Рв» / Fogard Rv	–26,1	–184,1	–181,9	–180,1	–179,6	–178,7	–177,0	–173,8	–157,4
Ширина проема 1,6 м / Door way width 1.6 m									
«Сигма ПБ» / Sigma PB	–7,1	–9,9	–2,0	–124,1	–127,3	–121,5	–119,8	–8,8	–170,1
«Урбан» / Urban	11,8	4,8	1,9	–135,3	–126,2	–120,6	–120,5	–1,3	–108,9
Fenix+	–15,4	–7,5	–7,1	–113,9	–65,8	–23,1	–15,2	50,4	–6,9
«Фогард Рв» / Fogard Rv	–26,1	–32,5	–12,8	–132,2	–131,5	–131,7	–128,7	–1,6	–113,7

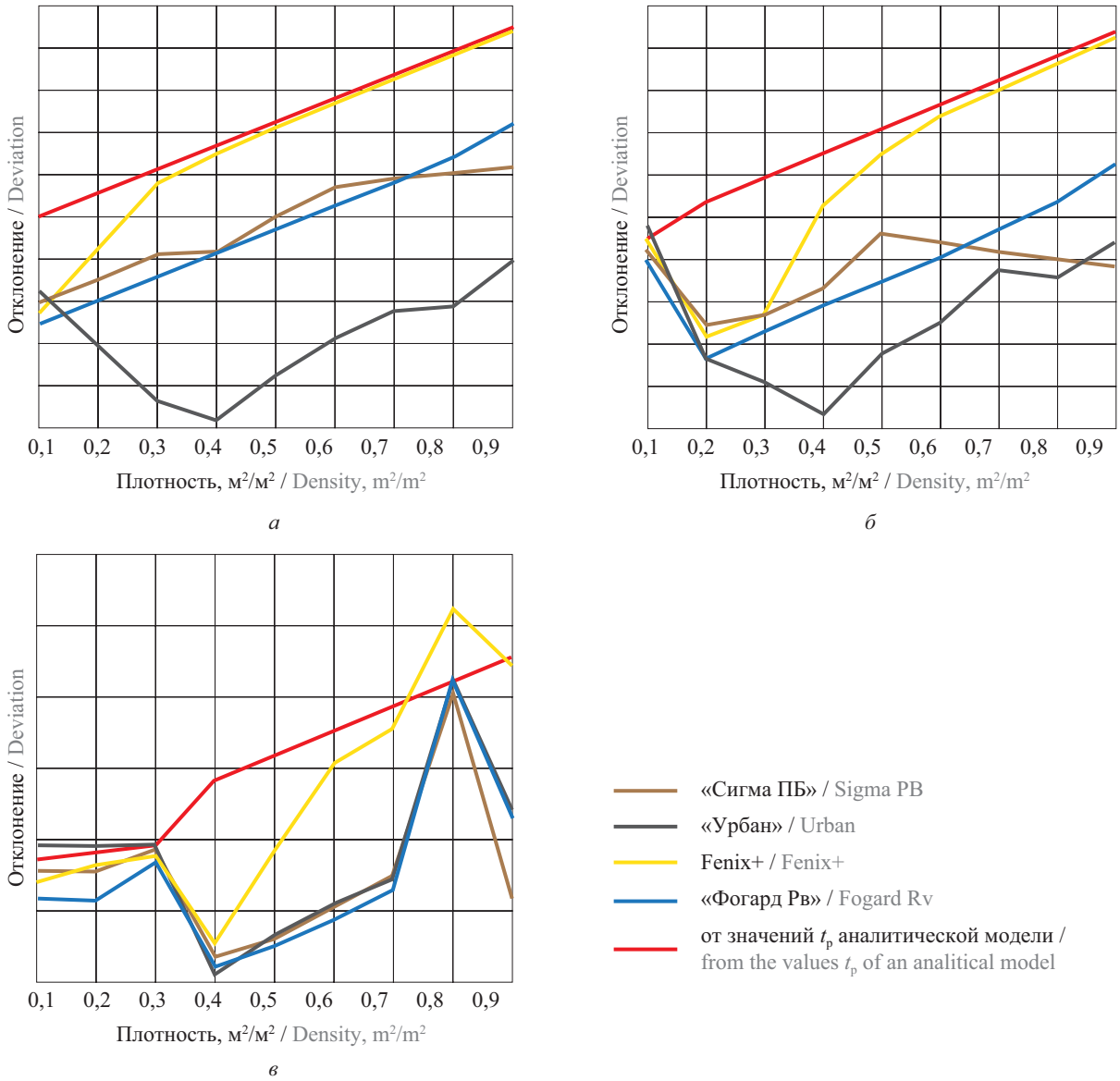

Рис. 11. Графики отклонений значений Δt_p при движении людского потока по участку, заканчивающемуся дверным проемом шириной: *а* — 0,8 м; *б* — 1,2 м; *в* — 1,6 м, полученные по программам вычислительных комплексов.

Fig. 11. Value deviations graphs Δt_p during the movement of the human flow in the area ending with a doorway wide: *a* — 0.8 m; *b* — 1.2 m; *c* — 1.6 m, obtained by the programs of computer systems.

Итак, что же мы имеем в результате проведения элементарных арифметических вычислений?

Прежде всего, отметим, что ни в одной из программ вычислительных комплексов **отклонение Δt_i не соответствует технически приемлемой точности (3…5 %)**, установленной на заре применения ЭВМ в расчетах движения людских потоков [15].

Затем обратим внимание на графики отклонений расчетного времени Δt_i, которые демонстрируют рис. 7 и 11. Они наглядно показывают парадоксальные величины этих отклонений в программах рассматриваемых комплексов от расчетных, полученных на основании данных Методики. Как можно видеть, наибольшей быстротой движения отличаются «люди» из программ «Фогард Рв» и «Сигма ПБ». Отрицательные значения отклонений показывают, что скорость движения агентов, заложенная в коммерческие программно-вычислительные комплексы, намного выше данных, представленных в Методике, а ограничения пропускной способности проемов приведут при эвакуации к гибели реальных людей.

Формула (3) позволяет вычислить скорости движения потока: $V_i = l_i/t_i$ и построить графики ее зависимостей от плотности. Если это сделать, то обнаружится, что в программно-вычислительных ком-

плексах применены зависимости $\bar{V}^{Э}_{Dj} = \varphi(D_i)$, не соответствующие приведенным в таблице П2.1 Методики, т.е. **принцип верификации при их применении не соблюдается.**

Например, при $D_i = 0{,}2$ по табл. П2.1 Методики скорость движения по горизонтальному пути: $V = 60$ м/мин; по табл. 2 видим, что отклонение от этого значения в «Форвард Рв» составляет 66,7 %, т.е. 40,02 м/мин. Следовательно, скорость движения, рассчитанная в программе «Форвард Рв», при этой плотности потока равна 100,02 м/мин! (Можно отметить, что этот факт косвенно отмечается и в заключении Академии ГПС МЧС России на обращение «Сигма ПБ»: «… все пользователи различных программных продуктов, просчитывая пожарные риски для одного и того же здания, получают различные значения»).

Поскольку безопасность эвакуации людей при пожаре определяется, прежде всего, ее своевременностью, требующей выполнения условия: $t_{э,i} \leq t_{нб}$, то естественно возникает вопрос: «Каким же временем располагает человек для того, чтобы безопасно эвакуироваться?». Для этого необходимо определить возможное значение величины $t_{нб}$.

Для установления значений $t_{нб}$ при возможных режимах функционирования активных систем противопожарной защиты было проведено более 80 серий численного моделирования процесса газодинамики ОФП [66], выполненных по программе FDS (fire dynamic simulator) [67] (рис. 12).

При этом расчетное время эвакуации $t_р$ по этажу должно быть уменьшено на величину времени начала эвакуации из помещений, которое может быть принято не ниже времени блокирования выхода из помещения, указанного на графике на рис. 13. Эти графики наглядно демонстрируют, что **для своевременной эвакуации у людей имеются считанные десятки секунд**. Поэтому корректное определение расчетного времени эвакуации $t_р$ эквивалентно сохранению здоровья и жизни людей.

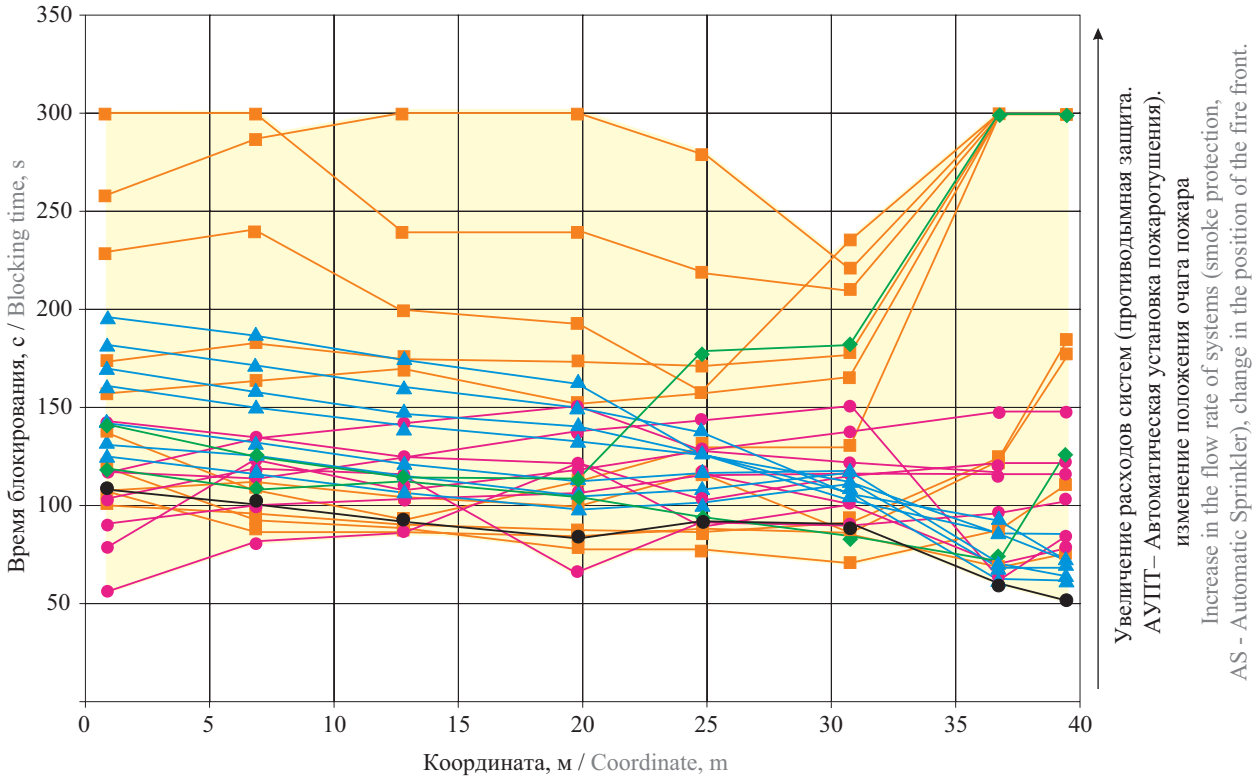

Рис. 12. Область решений по выбору систем обеспечения пожарной безопасности: ● — без систем противопожарной защиты; ● — изменение расположения помещения очага пожара и клапана дымоудаления; ■ — изменение расхода воздуха через клапан дымоудаления; ▲ — изменение расхода воды системы пожаротушения (дренчерная завеса); ♦ — изменение расхода воздуха через клапан дымоудаления и расхода дренчерной системы пожаротушения (дренчерная завеса)

Fig. 12. The field of solutions for the selection of fire safety systems: ● — without fire protection systems; ● — change in the location of the fire bed and smoke exhaust vent spot; ■ — change in the air flow rate through the smoke exhaust vent; ▲ — change in the water flow rate of the fire-fighting system (water curtain); ♦ — change in the air flow rate through the smoke exhaust vent and the flow rate of the deluge system (water curtain)

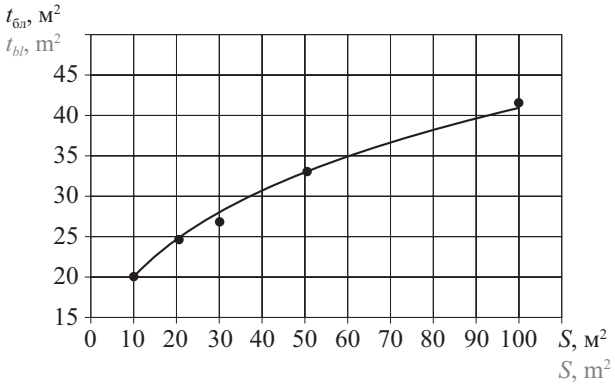

Рис. 13. График зависимости времени блокирования от площади помещения $t = f(S)$ без учета применяемых в нем средств пожаротушения и противодымной защиты

Fig. 13. Dependence graph of blocking time on the area of a premise $t = f(S)$ without taking into account fire-fighting and smoke protection equipment used in it

Но, как написано в экспертной оценке кафедры надзорной деятельности Академии ГПС МЧС России в ответ на запрос депутата Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации относительно сертификации программных продуктов для расчета пожарных рисков, есть «**проблема: все пользователи различных программных продуктов, просчитывая пожарные риски на одно и то же здание, получают различные значения.** Такая ситуация приводит к разночтению выводов, т.е. в одном расчетном обосновании — соответствие нормативному значению пожарного риска, а в другом расчетном обосновании на тот же объект — несоответствие, для исключения которого **необходимо выполнить дополнительные более дорогостоящие требования пожарной безопасности**, например, автоматическое пожаротушение и противодымную защиту. … Таким образом, отсутствие эталонного программного продукта в РФ влечет за собой неоднозначные выводы, что приводит к диаметрально противоположным правовым последствиям».

В этой цитате очень деликатно охарактеризован **объект стяжательства** (стремление к наживе, корыстолюбие, накопительство, алчность) — **«дорогостоящие требования пожарной безопасности»** объекта**.**

Кто является его заказчиком? Очевидно, что **заказчик строительства** объекта (а не его конечные потребители: жильцы, посетители). Здесь уместно будет вспомнить слова Т.Д. Данинга, процитированные К. Марксом в «Капитале» [68]: «Обеспечьте капиталу 10 % прибыли, и капитал согласен на всякое применение, при 20 % он становится оживленным, при 50 % положительно готов сломать себе голову, при 100 % он попирает все человеческие законы, при 300 % нет такого преступления, на которое он не рискнул бы пойти, хотя бы под страхом виселицы» [69].

Такой заказчик начинает искать подельников. И находит их в лице людей, способных повлиять тем или иным способом на требования к пожарной безопасности объекта. Среди них оказываются и владельцы новых коммерческих программно-вычислительных комплексов, которые **под предлогом необходимости некоего программного продукта** делают попытки подмены системно обоснованного нормативного документа — Методики. На самом деле, как мы показали, это связано не с необходимостью, а с удобством пользования. Удобство же пользования обеспечено еще до создания этого документа. Поэтому спрашивается: «Что можно в данном случае сертифицировать?»

Структуру любого программно-вычислительно комплекса можно подразделить укрупненно на три части: прикладное программное обеспечение (ПО), инструментальное программное обеспечение и предметная модель. Прикладное ПО предназначено для выполнения конкретных заданий различного характера. Инструментальные ПО разрабатываются для создания новых программ (в настоящее время получают широкое распространение также программы с использованием графического интерфейса). Предметная модель — обобщенное название представления того явления (предмета, процесса), ради воспроизводства которого и создается тот или иной программно-вычислительный комплекс. Важнейшим требованием к предметной модели является ее адекватность, соответствие основным свойствам реального явления. В рассматриваемом нами случае это явление — совместное движение группы людей. Его характерное, специфическое свойство — **психофизиологическое взаимное влияние людей на движение друг друга**, моделью которого и является открытая закономерность связи между параметрами их движения [25]. **Эта закономерность сама по себе и является сертификатом соответствия.**

Следует обратить внимание на то, что все три модели, приведенные в Методике, используют общие закономерности зависимостей между параметрами движения людей в них. Сами модели — лишь **описание способа** функциональной реализации живой системой установленной закономерности в виде **поточного движения**. Даже имитационно-стохастическая модель в Методике реализована как совокупность отдельных реализаций этой закономерности. Она лишь имитирует, а не воспроизводит, изменение возможных состояний людей в отдельные моменты времени. При намерении добросовестно отнестись к компьютеризации этих моделей возможно воспользоваться программным

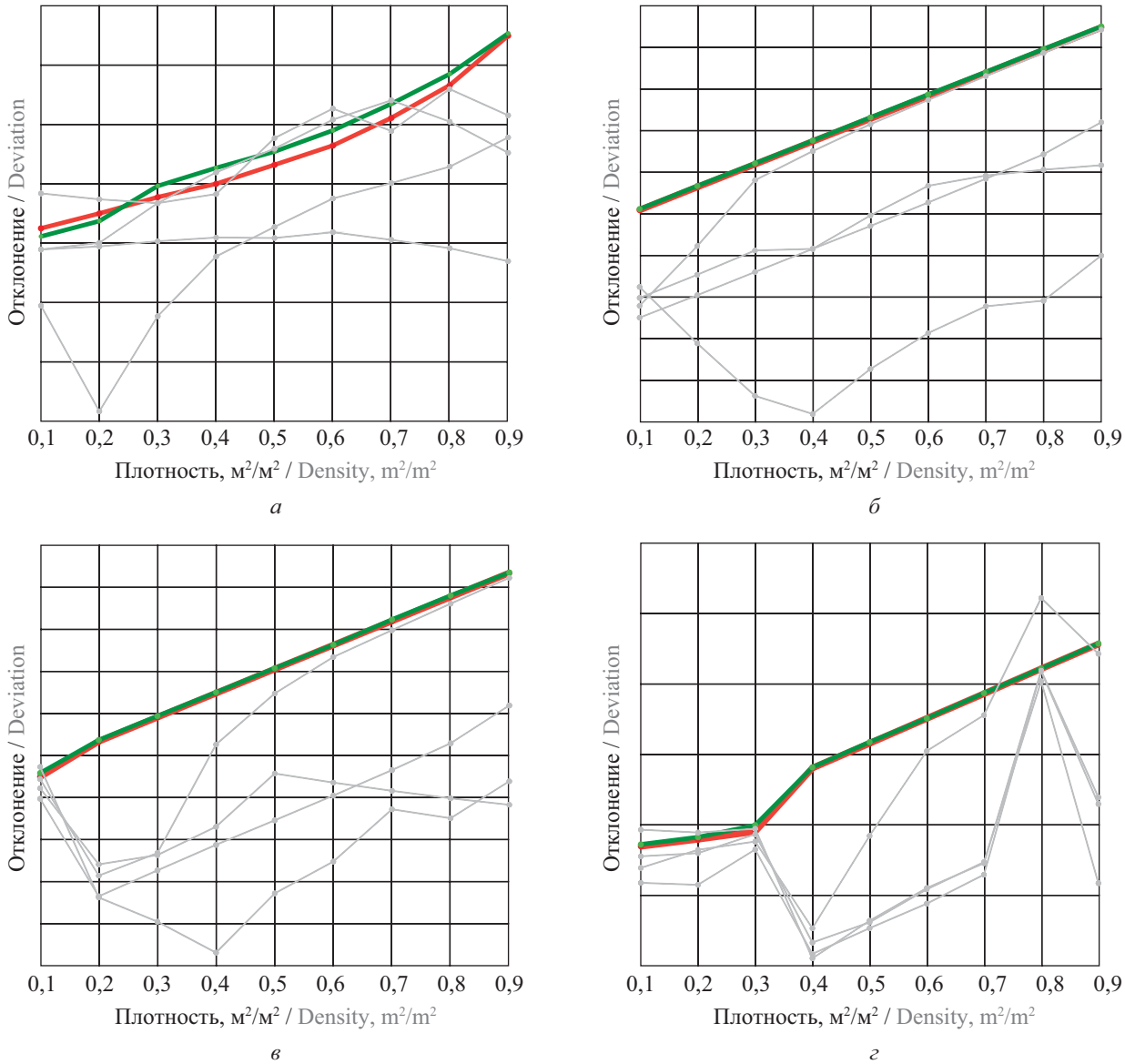

Рис. 14. Графики отклонений значений Δt_p при беспрепятственном движении людского потока (*а*) и при движении людского потока по участку, заканчивающемуся дверным проемом шириной 0,8 м (*б*), 1,2 м (*в*) и 1,6 м (*г*), полученные в результате использования в программе Pathfinder (▬), от значений t_p аналитической модели (▬).

Fig. 14. Value deviation graphs Δt_e in case of unobstructed movement of human flow (*a*) and in case of movement of human flow through the area ending with a door way of width: (*b*) 0.8 m, (*c*) 1.2 m, (*d*) 1.6 m, obtained using Pathfinder program ▬ from t_e analytical model values, ▬.

комплексом Pathfinder, допускающим вариации закономерностей предметной модели. Результаты его применения с использованием установленных зависимостей между параметрами людских потоков (6) для ситуаций, представленных на рис. 5 и 6, иллюстрируются графиками на рис. 14.

Как видно, они практически совпадают с графиками, полученными аналитическим способом, т.е. находятся в пределах 5 % отклонений, которые были установлены 40 лет назад [15]! Но они не освобождают от необходимости «выполнить дополнительные, более дорогостоящие требования пожарной безопасности».

Выводы и предложения

Устанавливая заниженные значения t_p и игнорируя влияние пропускной способности проемов, авторы рассматриваемых коммерческих программно-вычислительных комплексов **сознательно вводят в заблуждение их приобретателей относительно пожарной безопасности людей в здании.**

В экспертной оценке Академии ГПС МЧС России, подготовленной в ответ на запрос депутата Государственной Думы России[10], затрагивается вопрос «О судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» (проект Федерального закона № 306504-6). Представляется, что для повышения ответственности разработчиков программно-вычислительных комплексов за обеспечение безопасности людей при пожаре было бы правильным включить и их в сферу ответственности перед этим законом.

В этой оценке Академии ГПС МЧС России содержится и предложение по разработке **эталонного программного продукта** совместными усилиями специалистов различного профиля под руководством признанных авторитетов. Разработка такого эталонного продукта предусматривает создание **нового органа по сертификации программного лицензионного обеспечения для оценки пожарных рисков**.

Мы думаем, что это должна быть международная координация усилий ведущих специалистов различного профиля, результаты работ которых смогут быть задействованы в создании такого продукта. Пока же мы наблюдаем их разрозненные попытки [6, 7, 70] моделирования возможных изменений структуры потока при различных способах его описания:

- **поточное движение** — «течение» людей через элементы коммуникационных путей [7, с. 40]. К таким моделям [6, 71, 72] за рубежом относят модели, описанные в публикациях Stahl [73], Kisko è Francis [74], Fahy [75];
- **сетевое движение** — движение по ячейкам площади коммуникационных путей, последовательно переступая в которые люди осуществляют свое перемещение к выходам (Ketchell è Cole [76], Galea [77], Mott McDonald [78]);
- **движение с непрерывной возможностью изменений значений параметров перемещения людей** — оно первоначально освещалось за рубежом в публикациях [79–84]. Этот подход наиболее близок к методике имитационно-стохастического моделирования, разработанной в России в начале 1980-х гг. [24].

К сожалению, составители технического отчета ISO [85] не сумели обобщить накопившийся опыт моделирования движения людей в потоках. Жизненная необходимость учета изменений демографической структуры населения во всех странах мира [86–88] заставляет авторов этих моделей возвращаться вновь к их рассмотрению и после публикации этого отчета [89–94], что объясняется их стремлением более полно учесть особенности поведения людей, обладающих разной подвижностью. Их усилия направлены на построение моделей поведения каждого из них в общем движении. Эти модели не имеют еще общего названия. Но ясно, что они должны будут затронуть и предметную модель, расширив ее до вероятности индивидуального и группового маневрирования в зависимости от возраста людей и ограничений возможности их передвижения. Следует отметить актуальность построения такой модели и для России, где количество людей с ограничением подвижности определено Государственной программой[11] как 40 % населения страны.

Мы считаем, что пришло время создать «общечеловеческий» программный продукт, моделирующий эвакуацию людей любой подвижности в различных условиях эксплуатации зданий и сооружений. Этот программный продукт должен быть доступен безвозмездному использованию заинтересованными лицами, поэтому он подлежит свободному распространению в сети Интернет. Такой подход соответствует тенденциям устойчивого развития, к которому призывает ООН [95] для обеспечения условий существования человечества на земле.

Поскольку цель этого программного продукта — повышение безопасности людей, то его ядром будет модель реального процесса, выраженная через установленные закономерности связи между параметрами движения людей [25]. Непрерывное отображение вероятной кинематики движения людей с учетом их возрастного, физического и эмоционального состояния целесообразно будет производить при помощи модели изменения состояния людей в моменты времени, названные «физиологическим моментом» [97, 98]. При этом следует быть готовыми к столкновению с нюансами результатов исследований людских потоков, известными уже сегодня.

Первый из таких нюансов связан с тем, что «отцы эмпирики» [13, 22, 64, 99–102] при установлении зависимости $V_{Dj} = \varphi(D_i)$ используют разные размерности для измерения D_i. Как показывает гносеология людских потоков [21], все они могут быть выражены зависимостью (7). Однако при моделировании кинематики отдельных людей более целесообразно пользоваться той размерностью плотности,

[10] Письмо Академии ГПС МЧС России № 2791-1-14 от 19 июля 2017 г. депутату Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации И.М. Тетерину.

[11] Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Доступная среда” : Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 297.
О продлении до 2020 года срока реализации государственной программы “Доступная среда” : Распоряжение Правительства РФ от 27.10.2014 № 2136-р

которую ощущает каждый из них, т.е. расстоянием до окружающих людей.

Второй нюанс, который скорее следует рассматривать как парадокс, обнаруживается, когда пишут о «**наиболее часто используемой норме ширины выхода на человека** (5 мм/чел.), которая применяется для расчета пропускной способности выхода в соответствии с руководством по проектированию» [6, 7]. В решении этого парадокса правильнее ориентироваться на французские и немецкие нормы проектирования, назначающие ширину двери кратной размерам тела человека.

Следует иметь в виду, что, если такой программный продукт будет охватывать не только условия аварийной эвакуации, но и условия превентивной эвакуации при приближающейся природной чрезвычайной ситуации или условия эвакуации при повседневной эксплуатации зданий, то необходимо будет вводить категорирование движения для демографических групп населения в различных условиях эксплуатации зданий и сооружений. В международной практике нормирования подобный опыт отсутствует.

Впрочем, не будем торопиться и посмотрим, хватит ли благих намерений органов, ответственных за безопасность людей[12], на разработку такого программного продукта.

[12] Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (утв. указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kholshchevnikov V.V., Predtechenskiy V.M.* Analysis and modeling the relationships between pedestrian flow parameters // International Council for Building. Report No. 14/86/37. 1986. 14 p.
2. *Kholshchevnikov V.V.* Foot traffic flows: actual observations, experiments and theory // Fire Bridge: Proceedings of International Conference. Northern Ireland, University of Ulster, 2–6 September 2000. 20 p.
3. *Холщевников В.В., Самошин Д.А., Галушка Н.Н.* Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2002. Т. 11. № 5. С. 40−49.
4. *Kholshevnikov V.V., Samoshyn D.A., Shields T.J., Galushka M.M.* Retrospective review of research on pedestrian flows modelling in Russia and perspectives of its development // Proceedings of the Fourth International Seminar on Fire and Explosion Hazards. Londonderry, UK : University of Ulster, 2003. Pp. 907−916.
5. *Холщевников В.В.* Что моделируем с использованием теории массового обслуживания // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2003. Т. 12. № 2. С. 39−40.
6. *Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D.* Evacuation models are running out of time // Fire Safety Journal. 2015. Vol. 78. Pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004
7. *Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McCrath D.* Модели для расчета эвакуации людей устаревают / науч. ред. В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 7. С. 39–55.
8. *Kholshevnikov V.V., Samoshin D.A.* Parameters of pedestrian flow for modeling purposes // Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008. Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. Pp. 157–170. DOI: 10.1007/978-3-642-04504-2_12
9. *Kholshchevnikov V., Serkov B., Kosatchev A., Samoshin D.* Psychophysical relation laws for pedestrian flows parameters // Proceedings of 5th International Symposium “Human Behaviour in Fire”. Cambridge, UK, 2012. Pp. 49–62.
10. *Kholshchevnikov V., Samoshin D.* Modeling and reality of evacuation process // Proceedings of 13th International Conference «Interflam 2013». London, UK : Royal Holloway College, University of London, 2013. Pp. 509–514. URL: http://www.fireevacuation.ru/files/Interflam2013/InterFlam_2013_Samoshin_paper.pdf
11. Научная школа. Теория людских потоков // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Т. VII. М. : ВНИИНТПИ Госстроя России, 2001. С. 96.
12. *Предтеченский В.М.* О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия высших учебных заведений. Серия: Строительство и архитектура. 1958. № 7.
13. *Предтеченский В.М., Милинский А.И.* Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : учеб. пособие для архит. и строит. специальностей вузов. М. : Стройиздат, 1969. 247 с.
14. *Предтеченский В.М., Милинский А.И.* Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : учеб. пособие для строит. спец. вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1979. 375 с.
15. *Дувидзон Р.М.* Проектирование спортивных сооружений с учетом движения людских потоков : дис. … канд. техн. наук. М., 1968. 194 с.
16. *Холщевников В.В.* Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания : дис. … канд. техн. наук. М., 1969. 324 с.
17. *Холщевников В.В., Гвоздяков В.С.* Автоматизация проектирования коммуникационных помещений метрополитена // Функциональные и технические проблемы архитектуры. М. : МИСИ, 1977. С. 32–36.

18. *Гвоздяков В.С.* Закономерности движения людских потоков в транспортно-коммуникационных сооружениях : дис. ... канд. техн. наук. М., 1978. 211 с.
19. *Холщевников В.В., Никонов С.А., Шамгунов Р.Н.* Моделирование и анализ движения людских потоков в зданиях различного назначения : учеб. пособие. М. : МИСИ, 1986.
20. *Ford L.R., Fulkerson D.R.* Flows in Networks. Princeton : Princeton University Press, 1962. 212 p. DOI: 10.1515/9781400875184
21. *Холщевников В.В.* Гносеология людских потоков: монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. 592 с.
22. *Беляев С.В.* Принципы планировки зал собраний. М.–Л. : Госстройиздат, 1934. 132 с.
23. *Холщевников В.В.* Моделирование зависимостей между параметрами людских потоков // Исследование по основам архитектурного проектирования. Томск : Томский государственный университет, 1983. С. 36–53.
24. *Холщевников В.В.* Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. … д-ра техн. наук. М., 1983. 486 с.
25. *Холщевников В.В.* Закономерности 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.
26. *Холщевников В.В., Варшавер А.Б.* Проектирование коммуникационных путей в магазинах: руководство по проектированию магазинов (к главе СНиП II–77–80). М. : ЦНТИ, 1983.
27. *Холщевников В.В., Ройтман М.Я., Башкирцев М.П.* Проектирование эвакуационных путей и выходов: пособие к СНиП 2.09.02–85. М. : Стройиздат, 1986.
28. *Холщевников В.В.* Коммуникационные пути общественных зданий: пособие по проектированию общественных зданий и сооружений (к СНиП 2.08.02–85). М. : Стройиздат, 1986.
29. *Соков А.В., Аносов В.Г., Староверов Н.В., Холщевников В.В.* Проектирование коммуникационных путей общественных зданий. М. : Минобороны, 1989.
30. *Холщевников В.В., Овсянников А.Н., Голубинский А.П., Швейцер И.С.* Проектирование эвакуационных путей в зрелищных зданиях. М. : МИСИ, 1990.
31. *Холщевников В.В., Овсянников А.Н.* Рекомендации по расчету путей эвакуации из зальных помещений и из зданий спортивных корпусов // Проектирование спортивных залов, помещений для физкультурно-оздоровительных занятий и крытых катков с искусственным льдом. М. : Стройиздат, 1991.
32. *Холщевников В.В.* Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре: монография. М. : МИПБ МВД России, 1999. 93 с.
33. *Кошмаров Ю.А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М. : Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
34. *Овсянников А.С.* Закономерности формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных сооружениях : дис. ... канд. техн. наук. М., 1983. 324 с.
35. *Никонов С.А.* Разработка мероприятий по организации эвакуации при пожаре в зданиях с массовым пребыванием людей на основе моделирования движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. М., 1985.
36. *Айбуев З.С.-А.* Формирование людских потоков на предзаводских территориях крупных промышленных узлов машиностроительного профиля : дис. … канд. техн. наук. М., 1989. 292 с.
37. *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. 398 с.
38. Программный продукт: Анализ движения людских потоков, вероятность. Версия V 2.0 (ADLPV–2.0). Госстандарт России, № РОСС RU.СП05.Н00220.
39. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011614752 от 17.06.2011 г. Программа FMT 1.0 / Шишов И.А., Холщевников В.В. М. : Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2011.
40. *Kholshchevnikov V.V.* Forecast of human behavior during fire evacuation // Emergency evacuation of people from buildings: Proceedings of International Scientific and Technical Conference. Poland, Warsaw, 2011. P. 139–153.
41. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем. 2-е изд. М. : Наука, 1978. 399 с.
42. *Бусленко В.Н.* Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. М. : Наука, 1977. 239 с.
43. *Парфененко А.П.* Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. … канд. техн. наук. М., 2012. 153 с.
44. *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., 2014. 160 с.
45. *Kholshevnikov V.V., Samoshin D.A., Parfenenko A.P.* Pre-school and school children building evacuation // Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire. Cambridge, UK, 2009. Pp. 243–254.

46. *Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A., Parfyonenko A.P., Belosokhov I.P.* Study of children evacuation from preschool education institutions // Fire and Materials. 2012. Vol. 36. Issue 5–6. Pp. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152
47. *Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A., Istratov R.N.* The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire // Proceedings of 5th International Symposium "Human Behaviour in Fire". Cambridge, UK, 2012. Pp. 587–593.
48. *Самошин Д.А.* Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации: монография. М. : Академия ГПС МЧС России. 2016. 209 с.
49. *Слюсарев С.В.* Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам для детей с ограниченными возможностями здоровья в зданиях с их массовым пребыванием : дис. … канд. техн. наук. М., 2016. 189 с.
50. *Зосимова О.С., Семин А.А., Корольченко Д.А.* Концепции и реалии нормирования коммуникационных путей в зданиях лечебных учреждений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 11. С. 64–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.64-80
51. *Шахуов Т.Ж.* Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам из зданий мечетей : дис. … канд. техн. наук. М., 2019. 125 с.
52. *Хасуева З.С.* Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам учреждений родовспоможения : дис. … канд. техн. наук. М., 2019. 148 с.
53. *Гурфинкель В.С., Левик Ю.С.* Концепция схемы тела и моторный контроль // Интеллектуальные процессы и их моделирование. Организация движений. М. : Наука, 1991. С. 59–105.
54. *Berlucchi G., Aglioti S.* The body in the brain: neural bases of corporeal awareness // Trends in Neurosciences. 1997. Vol. 20. Issue 12. Pp. 560–564. DOI: 10.1016/s0166-2236(97)01136-3
55. *Pouget A., Driver J.* Relating unilateral neglect to the neural coding of space // Current Opinion in Neurobiology. 2000. Vol. 10. Issue 2. Pp. 242–249. DOI: 10.1016/s0959-4388(00)00077-5
56. *Правдов М.А.* Особенности организации двигательной и познавательной деятельности детей дошкольного возраста. М. : Канон + : Реабилитация, 2006. 184 с.
57. *Анохин П.К.* Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. М. : Наука, 1973. С. 5–61.
58. *Karkin I.N. Parfenenko A.P.* Flowtech VD – computer-simulation method from evacuation calculation // Emergency evacuation of people from buildings: Proceedings of International Scientific and Technical Conference. Poland, Warsaw, 2011. Pp. 111–118.
59. *Холщевников В.В., Парфененко А.П.* Сопоставление различных моделей движения людских потоков и результатов программно-вычислительных комплексов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Exploson Safety. 2015. Т. 24. № 5. С. 68–75.
60. *Красавин А.В.* Анализ технического регламента о требованиях пожарной безопасности на предмет наличия в законе коррупциогенных факторов // Пожарное и спасательное дело. 2009. № 5. С. 50–57.
61. *Александров Ю.И.* Психофизиология: учебник для вузов. 4-е изд. СПб. : Питер, 2014. 464 с.
62. *Милинский А.И.* Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : дис. … канд. техн. наук. М., 1951. 178 с.
63. *Эллисон В.А.* Пожары и катастрофы в театрах : (опыт анализа). Л. : Издание автора, 1925–1926.
64. *Fruin J.J.* Pedestrian planning and design. New York : Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971. 206 p.
65. *Копылов В.А.* Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации : дис. … канд. техн. наук. М., 1974. 160 с.
66. *Кудрин И.С.* Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. … канд. техн. наук. М., 2013. 190 с.
67. *McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., Baum H., Rehm R.* Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5. Washington : U.S. Government Printing Office, 2007. 86 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018-5
68. *Маркс К.* Капитал. Критика политической экономии. Том 1. Книга I: Процесс производства капитала. 2-е изд. М. : Государственное издательство политической литературы, 1960. С. 770.
69. *Dunning T.J.* Trades' unions and strikes: their philosophy and intention. London : Published by the author, 1860. 52 p.
70. *Самошин Д.А.* Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2017. 357 с.
71. *Kuligowski E.D., Peacock R.D.* A Review of Building Evacuation Models. Technical Note 1471. Washington : U. S. Government Printing Office, 2005. 156 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1471
72. *Gwynne S., Galea E.R.* A review of methodologies and critical appraisal of computer models used in the simulation of evacuation from the built environment. Bethesda, Maryland, USA : Society of Fire Protection Engineers, 2004.

73. *Stahl F.I.* Final Report on the “BFIRES/Version 1” computer simulation of emergency egress behavior during fires: calibration and analysis. NBSIR 79-1713. Washington : U.S. Department of Commerce, 1979. 184 p. DOI: 10.6028/nbs.ir.79-1713
74. *Kisko T.M., Francis R.L.* EVACNET+: A computer program to determine optimal building evacuation plans // Fire Safety Journal. 1985. Vol. 9. Issue 2. Pp. 211–220. DOI:10.1016/0379-7112(85)90009-8
75. *Fahy R.F.* EXIT 89 – An Evacuation Model for High-Rise Buildings – Model Description and Example Applications // Fire Safety Science. 1994. Vol. 4. Pp. 657–668. DOI: 10.3801/iafss.fss.4-657
76. *Ketchell N., Cole S.* The EGRESS code for human movement and behaviour in emergency evacuations // Engineering for Crowd Safety. Amsterdam : Elsevier, 1993. Pp. 361–370.
77. *Galea E.R., Galparsoro J.M.P., Pearce J.* A brief description of the EXODUS evacuation model // Proceedings of the 18th International Conference on Fire Safety. San Francisco, USA : 1993. Vol. 18. Pp. 149–162.
78. *Pelechano N., Malkawi A.* Comparison of crowd simulation for building evacuation and an alternative approach // Proceedings: Building Simulation 2007. Pp. 1514–1521. URL: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p170_final.pdf
79. *Klupfel H., Meyer-Konig T.* Characteristics of the PedGo software for crowd movement and egress simulation // Proceedings of the 2nd International Conference in Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED). London, UK : University of Greenwich, 2003. Pp. 331–340.
80. *Thompson P.A., Marchant E.W.* A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. 1995. Vol. 24. Issue 2. Pp. 131–148. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00019-p
81. *Thompson P.A.* Developing new techniques for modelling crowd movement : Ph. D. Scotland, University of Edinburgh, Department of Building and Environmental Engineering, 1995.
82. *Cappuccio J.* Pathfinder: a computer-based timed egress simulation // Fire Protection Engineering. 2000. Vol. 8. Pp. 11–12.
83. Oasys MassMotion // AEC Magazine. 25 July 2011. URL: http://aecmag.com/software-mainmenu-32/445-oasys-massmotion
84. *Korhonen T., Hostikka S.* Fire dynamics simulator with evacuation: FDS+Evac: Technical Reference and User’s Guide. Finland : VTT, 2009. 91 p. URL: http://pdfs.semanticscholar.org/f25c/089e83048beefc756bf17a210f0efff0b8b3.pdf
85. ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. URL: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:16738:ed-1:v1:en
86. *Ye J., Chen X., Jian N.* Impact analysis of human factors on pedestrian traffic characteristics // Fire Safety Journal. 2012. Vol. 52. Pp. 46–54. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.05.003
87. *Soria S.A., Josens R., Parisi D.R.* Experimental evidence of the «Faster is Slower» effect in the evacuation of ants // Safety Science. 2012. Vol.50. Issue 7. Pp. 1584–1588. DOI: 10.1016/j.ssci.2012.03.010
88. *Choi J., Kim S., Kim S., Jin M., Kim Y., Kim J.* Pedestrian conflicts, pedestrian comfort levels, and current pedestrian levels of service // Pedestrian and Evacuation Dynamics. Cham : Springer, 2014. Pp. 1353–1363. DOI: 10.1007/978-3-319-02447-9_112
89. World Population Ageing 2013. Department of economic and social affairs. Population division. ST/ESA/SER.A/348. New York : United Nations, 2013. URL: http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf
90. The 2015 Ageing Report: Economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013–2060). Brussels : European Commission, 2015. 424 p. DOI: 10.2765/877631
91. *Levy J., Segal L.M., Thomas K., Laurent R., Lang A., Rayburn J.* F as in Fat: how obesity threatens America’s future 2012. USA : Trust for America’s Health, Robert Wood Johnson Foundation, 2013.
92. World health statistics (NLM classification: WA 900.1). Geneva : World Health Organization Press, 2014. 178 p.
93. Obesity and overweight // World Health Organization. Fact Sheet. 2015. № 311. URL: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/
94. *Kuligowski E.D., Peacock R.D., Reneke P.A., Wiess E., Hagwood C.R., Overholt K.J. et al.* Movement on stairs during building evacuations. NIST Technical Note 1839. Washington : U.S. Department of Commerce, 2015. 213 p. DOI: 10.6028/NIST.TN.1839
95. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. URL: http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm
96. OECD. Obesity Update 2012. URL: http://www.oecd.org/health/49716427.pdf
97. *Бэр К.Е.* Зависимость нашего представления о мире от длины нашего момента // Доклады на научных собраниях. СПб., 1864.
98. *Кейдель В.Д.* Физиология органов чувств. Часть I. Общая физиология органов чувств и зрительная система. М. : Медицина. 1975.

99. *Pauls J.L.* Building evacuation: research findings and recommendations // Fires and Human Behaviour. New York : John Wiley & Sons, 1980. Pp. 251–275.
100. *Kimura K., Ihara S.* A survey for the state of crowds streaming in building // Transaction of the Institute of Japanese Architects (Annual Meeting). 1937. № 5. Pp. 307–316. (jap.).
101. *Navin F.P.D., Wheeler R.J.* Pedestrian flow characteristics // Traffic Engineering. 1969. Vol. 39. Issue 9. Pp. 30–36.
102. *Togawa K.* Study on fire escapes basing on the observations of multitude corrent // Japanese Building Research Institute Report No. 14. 1955. Pp. 1–40. (jap.).

REFERENCES

1. Kholshchevnikov V.V., Predtechenskiy V.M. Analysis and modeling the relationships between pedestrian flow parameters. *International Council for Building. Report No. 14/86/37*. 1986; 14.
2. Kholshchevnikov V.V. Foot traffic flows: actual observations, experiments and theory. *Fire Bridge: Proceedings of International Conference. Northern Ireland, University of Ulster, 2–6 September 2000.* 20.
3. Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A., Galushka N.N. Review of computer programs of modeling the evacuation of buildings and constructions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety.* 2002; 11(5):40-49. (rus.).
4. Kholshevnikov V.V., Samoshyn D.A., Shields T.J., Galushka M.M. Retrospective review of research on pedestrian flows modelling in Russia and perspectives of its development. *Proceedings of the Fourth International Seminar on Fire and Explosion Hazards.* Londonderry, UK, University of Ulster, 2003; 907-916.
5. Kholshchevnikov V.V. What is modelled with the use of the theory of mass service. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety.* 2003; 12(2):39-40. (rus.).
6. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal.* 2015; 78:251-261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004
7. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. Under scientific ed. V.V. Kholshchevnikov. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety.* 2017; 26(7):39-55. (rus.).
8. Kholshevnikov V.V., Samoshin D.A. Parameters of pedestrian flow for modeling purposes. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008.* Berlin, Heidelberg, Springer, 2010; 157-170. DOI: 10.1007/978-3-642-04504-2_12
9. Kholshchevnikov V., Serkov B., Kosatchev A., Samoshin D. Psychophysical relation laws for pedestrian flows parameters. *Proceedings of 5th International Symposium "Human Behaviour in Fire".* Cambridge, UK, 2012; 49-62.
10. Kholshchevnikov V., Samoshin D. Modeling and reality of evacuation process. *Proceedings of 13th International Conference "Interflam 2013".* London, UK, Royal Holloway College, University of London, 2013; 509-514. URL: http://www.fireevacuation.ru/files/Interflam2013/InterFlam_2013_Samoshin_paper.pdf
11. Scientific school. The theory of human flows. *Russian Architectural and Construction Encyclopedia. Vol. VII.* Moscow, VNIINTPI Gosstroy of Russia, 2001; 96. (rus.).
12. Predtechenskiy V.M. About the calculation of human flows traffic in general public buildings. *News of Higher Educational Institutions. Series: Construction and Architecture.* 1958, 7. (rus.).
13. Predtechenskiy V.M., Milinskiy A.I. *Building design consider the organization of human flows traffic: manual for architectural and construction specialties.* Moscow, Stroyizdat Publ., 1969; 247. (rus.).
14. Predtechenskiy V.M., Milinskiy A.I. *Building design consider the organization of human flows traffic: manual for construction specialties.* 2nd ed. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979; 375. (rus.).
15. Duvidzon R.M. *Design of sports facilities consider human flows traffic : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 1968; 194. (rus).
16. Kholshchevnikov V.V. *Optimization of the traffic ways of human flows. High-rise buildings : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 1969; 324. (rus.).
17. Kholshchevnikov V.V., Gvozdyakov V.S. Automation of the design of metro communication rooms. *Functional and Technical Problems of Architecture.* Moscow, MISI Publ., 1977; 32-36. (rus.).
18. Gvozdyakov V.S. *Patterns of human flows traffic in transport and communication facilities : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 1978; 211. (rus.).
19. Kholshchevnikov V.V., Nikonov S.A., Shamgunov R.N. *Modeling and analysis of human flows traffic in buildings for various purposes.* Moscow, MISI Publ., 1986. (rus.).
20. Ford L.R., Fulkerson D.R. *Flows in networks.* Princeton, Princeton University Press, 1962; 212. DOI: 10.1515/9781400875184
21. Kholshchevnikov V.V. *Epistemology of human flows: monograph.* Moscow, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia Publ., 2019; 592. (rus.).
22. Belyaev S.V. *Principles of planning a meeting room.* Moscow, Leningrad, Gosstroyizdat, 1934; 132. (rus.).
23. Kholshchevnikov V.V. Modeling the dependencies between the parameters of human flows. *Research on the Basics of Architectural Design.* Tomsk, Tomsk State University Publ., 1983; 36-53. (rus.).

24. Kholshchevnikov V.V. *Human flows in buildings, structures and on the territory of their complexes : dis. ... dr. tech. sciences.* Moscow, 1983; 486. (rus.).
25. Kholshchevnikov V.V. *Regularities of the connection between the parameters of human flows: diploma No. 24-S for 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. (rus.).
26. Kholshchevnikov V.V., Varshaver A.B. *Designing communication paths in stores: a guide for designing stores (to the chapter of SNiP II-77-80).* Moscow, TsNTI Publ., 1983. (rus.).
27. Kholshchevnikov V.V., Roytman M.Ya., Bashkirtsev M.P. *Design of evacuation paths and exits: a guide for SNiP 2.09.02-85.* Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. (rus.).
28. Kholshchevnikov V.V. *Communication ways of public buildings: a guide for the design of public buildings and structures (to SNiP 2.08.02-85).* Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. (rus.).
29. Sokov A.V., Anosov V.G., Staroverov N.V., Kholshchevnikov V.V. *Design of communication paths of public buildings.* Moscow, Ministry of Defense Publ., 1989. (rus.).
30. Kholshchevnikov V.V., Ovsyannikov A.N., Golubinskiy A.P., Shveytser I.S. *Design of emergency paths in entertainment buildings.* Moscow, MISI Publ., 1990. (rus.).
31. Kholshchevnikov V.V., Ovsyannikov A.N. Recommendations on the calculation of evacuation paths from halls and sport buildings. *Designing gyms, rooms for fitness classes and indoor ice rinks with artificial ice.* Moscow, Stroyizdat Publ., 1991. (rus.).
32. Kholshchevnikov V.V. *Research of human flows and valuation methodology evacuation of people from buildings in case of fire: monograph.* Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of the Ministry of Internal Affairs Publ., 1999; 93. (rus.).
33. Koshmarov Yu.A. *Prediction of the hazards of fire in the room.* Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Internal Affairs Publ., 2000; 118. (rus.).
34. Ovsyannikov A.S. *Patterns of formation of the structure of communication paths in indoor entertainment facilities : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 1983; 324. (rus.).
35. Nikonov S.A. *Development of measures for the organization of evacuation in case of fire in buildings with a massive stay of people based on human flows traffic simulation : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 1985. (rus.).
36. Aybuev Z.S.-A. The f*ormation of human flows on pre-factory territories of large industrial units of engineering profile : dis. ... cand. tech. sciences*. Moscow, 1989; 292. (rus.).
37. Isaevich I.I. *Development of the foundations of multivariate analysis of planning station decisions and subway interchange units based on modeling patterns of human flows traffic : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 1990; 398. (rus.).
38. Software product: analysis of foot traffic, the probability. Version V2.0 (ADLPV-2.0). State Standard of Russia, No. ROSS RU.SP05.N00220. (rus.).
39. Certificate of state registration of the computer program No. 2011614752. Program FMT 1.0 / Shishov I.A., Kholshchevnikov V.V. Moscow, Federal Service for Intellectual Property (Rospatent), 2011. (rus.).
40. Kholshchevnikov V.V. Forecast of human behavior during fire evacuation. *Emergency evacuation of people from buildings: Proceedings of International Scientific and Technical Conference.* Poland, Warsaw, 2011; 139-153.
41. Buslenko N.P. *Modeling complex systems.* 2nd ed. Moscow, Nauka Publ., 1978; 399. (rus.).
42. Buslenko V.N. *Automation of simulation of complex systems.* Moscow, Nauka Publ., 1977; 239. (rus.).
43. Parfenenko A.P. *Rationing of fire safety requirements for evacuation paths and exits in buildings of preschool educational institutions : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 2012; 153. (rus.).
44. Istratov R.N. *Rationing of fire safety requirements for evacuation paths and exits in hospitals of social institutions for servicing elderly citizens : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 2014; 160. (rus.).
45. Kholshevnikov V.V., Samoshin D.A., Parfenenko A.P. Pre-school and school children building evacuation. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire.* Cambridge, UK, 2009; 243-254.
46. Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A., Parfyonenko A.P., Belosokhov I.P. Study of children evacuation from preschool education institutions. *Fire and Materials.* 2012; 36(5-6):349-366. DOI: 10.1002/fam.2152
47. Kholshevnikov V.V., Samoshin D.A., Istratov R.N. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire. *Proceedings of 5th International Symposium "Human Behaviour in Fire".* Cambridge, UK, 2012; 587-593.
48. Samoshin D.A. *Composition of human flows and parameters of their movement during evacuation: monograph.* Moscow, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia Publ., 2016; 209. (rus.).
49. Slyusarev S.V. *Standardization of fire safety requirements for evacuation paths and exits for children with disabilities in buildings with massive stay : dis. ... cand. tech. sciences*. Moscow, 2016; 189. (rus.).

50. Zosimova O.S., Semin A.A., Korolchenko D.A. Concepts and realities of rationing of communication paths in the buildings of medical institutions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(11):64-80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.64-80 (rus.).
51. Shakhuov T.Zh. *Standardization of fire safety requirements for evacuation paths and exits from mosque buildings : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 2019; 125. (rus.).
52. Khasueva Z.S. *Standardization of fire safety requirements for evacuation paths and exits of obstetric institutions : dis. ... cand. tech. sciences*. Moscow, 2019; 148. (rus.).
53. Gurfinkel V.S., Levik Yu.S. The concept of body patterns and motor control. *Intellectual processes and their modeling. Organization of movements.* Moscow, Nauka Publ., 1991; 59-105. (rus.).
54. Berlucchi G., Aglioti S. The body in the brain: neural bases of corporeal awareness. *Trends in Neurosciences.* 1997; 20(12):560-564. DOI: 10.1016/s0166-2236(97)01136-3
55. Pouget A., Driver J. Relating unilateral neglect to the neural coding of space. *Current Opinion in Neurobiology.* 2000; 10(2):242-249. DOI: 10.1016/s0959-4388(00)00077-5
56. Pravdov M.A. *Features of the organization of motor and cognitive activity of preschool children.* Moscow, Kanon +, Rehabilitation Publ., 2006; 184. (rus.).
57. Anokhin P.K. Principled questions of the general theory of functional systems. *Principles of system organization of functions.* Moscow, Nauka Publ., 1973; 5-61. (rus.).
58. Karkin I.N. Parfenenko A.P. Flowtech VD – computer-simulation method from evacuation calculation. *Emergency evacuation of people from buildings: Proceedings of International Scientific and Technical Conference.* Poland, Warsaw, 2011; 111-118.
59. Kholshchevnikov V.V., Parfenenko A.P. Comparison of different models of the movement of human flows and results of program computer systems. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety.* 2015; 24(5):68-75. (rus.).
60. Krasavin A.V. Analysis of technical regulation on fire safety requirements for corruption-related factors in the law. *Fire and Rescue*. 2009; 5:50-57. (rus.).
61. Aleksandrov Yu.I. *Psychophysiology: a textbook for universities.* 4th ed. Saint Petersburg, Piter Publ., 2014; 464. (rus.).
62. Milinskiy A.I. *Research of the evacuation of buildings for public use : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 1951; 178. (rus.).
63. Ellison V.A. *Fires and disasters in theaters : (experience of analysis).* Leningrad, Published by the author, 1925-1926. (rus.).
64. Fruin J.J. *Pedestrian planning and design.* New York, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971; 206.
65. Kopylov V.A. *The study of motion parameters of people during emergency evacuation : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 1974; 160. (rus.).
66. Kudrin I.S. *Influence of parameters of people flows traffic during a fire on the space-planning decisions of high-rise buildings : dis. ... cand. tech. sciences.* Moscow, 2013; 190. (rus.).
67. McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., Baum H., Rehm R. *Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5.* Washington, U.S. Government Printing Office, 2007; 86. DOI: 10.6028/nist.sp.1018-5
68. Marks K. *Capital. A Critique of Political Economy. Volume I. Book One: The Process of Production of Capital. 2nd ed. Moscow, State Publishing House of Political Literature, 1960; 770.*
69. Dunning T.J. *Trades'unions and strikes: their philosophy and intention.* London, Published by the author, 1860; 52.
70. Samoshin D.A. *Methodological basics of regulation of safe people evacuation from buildings in case of fire : dis. ... dr. tech. sciences.* Moscow, 2017; 357. (rus.).
71. Kuligowski E.D., Peacock R.D. *A Review of Building Evacuation Models. Technical Note 1471.* Washington, U. S. Government Printing Office, 2005; 156. DOI: 10.6028/nist.tn.1471
72. Gwynne S., Galea E.R. *A review of methodologies and critical appraisal of computer models used in the simulation of evacuation from the built environment.* Bethesda, Maryland, USA , Society of Fire Protection Engineers, 2004.
73. Stahl F.I. *Final Report on the "BFIRES/Version 1" computer simulation of emergency egress behavior during fires: calibration and analysis. NBSIR 79-1713.* Washington, U.S. Department of Commerce, 1979; 184. DOI: 10.6028/nbs.ir.79-1713
74. Kisko T.M., Francis R.L. EVACNET+: A computer program to determine optimal building evacuation plans. *Fire Safety Journal.* 1985; 9(2):211-220. DOI:10.1016/0379-7112(85)90009-8
75. Fahy R.F. EXIT 89 – An Evacuation Model for High-Rise Buildings – Model Description and Example Applications. *Fire Safety Science.* 1994; 4:657-668. DOI: 10.3801/iafss.fss.4-657
76. Ketchell N., Cole S. The EGRESS code for human movement and behaviour in emergency evacuations. *Engineering for Crowd Safety.* Amsterdam, Elsevier, 1993; 361-370.

77. Galea E.R., Galparsoro J.M.P., Pearce J. A brief description of the EXODUS evacuation model. *Proceedings of the 18th International Conference on Fire Safety.* San Francisco, USA, 1993; 18:149-162.
78. Pelechano N., Malkawi A. Comparison of crowd simulation for building evacuation and an alternative approach. *Proceedings: Building Simulation 2007.* 1514-1521. URL: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p170_final.pdf
79. Klupfel H., Meyer-Konig T. Characteristics of the PedGo software for crowd movement and egress simulation. *Proceedings of the 2nd International Conference in Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED).* London, UK, University of Greenwich, 2003; 331-340.
80. Thompson P.A., Marchant E.W. A computer model for the evacuation of large building populations. *Fire Safety Journal.* 1995; 24(2):131-148. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00019-p
81. Thompson P.A. *Developing new techniques for modelling crowd movement : Ph. D.* Scotland, University of Edinburgh, Department of Building and Environmental Engineering, 1995.
82. Cappuccio J. Pathfinder: a computer-based timed egress simulation. *Fire Protection Engineering.* 2000; 8:11-12.
83. Oasys MassMotion. *AEC Magazine.* 25 July 2011. URL: http://aecmag.com/software-mainmenu-32/445-oasys-massmotion
84. Korhonen T., Hostikka S. *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac: Technical Reference and User's Guide.* Finland, VTT, 2009; 91. URL: http://pdfs.semanticscholar.org/f25c/089e83048beefc756bf17a210f0efff0b8b3.pdf
85. ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. URL: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:16738:ed-1:v1:en
86. Ye J., Chen X., Jian N. Impact analysis of human factors on pedestrian traffic characteristics. *Fire Safety Journal.* 2012; 52:46-54. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.05.003
87. Soria S.A., Josens R., Parisi D.R. Experimental evidence of the "Faster is Slower" effect in the evacuation of ants. *Safety Science.* 2012; 50(7):1584-1588. DOI: 10.1016/j.ssci.2012.03.010
88. Choi J., Kim S., Kim S., Jin M., Kim Y., Kim J. Pedestrian Conflicts, Pedestrian Comfort Levels, and Current Pedestrian Levels of Service. *Pedestrian and Evacuation Dynamics.* Cham, Springer, 2014; 1353-1363. DOI: 10.1007/978-3-319-02447-9_112
89. *World Population Ageing 2013. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. ST/ESA/SER.A/348.* New York, United Nations, 2013. URL: http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf
90. *The 2015 Ageing Report: Economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013–2060).* Brussels, European Commission, 2015; 424. DOI: 10.2765/877631
91. Levy J., Segal L.M., Thomas K., Laurent R., Lang A., Rayburn J. *F as in Fat: How Obesity Threatens America's Future 2012.* USA, Trust for America's Health, Robert Wood Johnson Foundation, 2013.
92. *World health statistics (NLM classification: WA 900.1).* Geneva, World Health Organization Press, 2014; 178.
93. Obesity and overweight. *World Health Organization. Fact Sheet.* 2015; 311. URL: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/
94. Kuligowski E.D., Peacock R.D., Reneke P.A., Wiess E., Hagwood C.R., Overholt K.J. et al. *Movement on Stairs During Building Evacuations. NIST Technical Note 1839.* Washington, U.S. Department of Commerce, 2015; 213. DOI: 10.6028/NIST.TN.1839
95. *Report of the world commission on environment and development: our common future.* URL: http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm
96. *OECD. Obesity Update 2012.* URL: http://www.oecd.org/health/49716427.pdf
97. Ber K.E. Dependence of our view of the world on the length of our moment. *Reports at Scientific Meetings*. Saint Petersburg, 1864. (rus.).
98. Keidel W.D. *The physiology of the senses. Part I. General physiology of the sense organs and visual system.* Moscow, Medicine Publ., 1975.
99. Pauls J.L. Building evacuation: research findings and recommendations. *Fires and Human Behaviour.* New York, John Wiley & Sons, 1980; 251-275.
100. Kimura K., Ihara S. A survey for the state of crowds streaming in building. *Transaction of the Institute of Japanese Architects (Annual Meeting)*. 1937; 5:307-316. (jap.).
101. Navin F.P.D., Wheeler R.J. Pedestrian flow characteristics. *Traffic Engineering.* 1969; 39(9):30-36.
102. Togawa K. Study on fire escapes basing on the observations of multitude corrent. *Japanese Building Research Institute Report No. 14.* 1955; 1-40. (jap.).

Поступила 27.04.2020, после доработки 18.05.2020; принята к публикации 25.05.2020
Received April 27, 2020; Received in revised form May 18, 2020; Accepted May 25, 2020

Информация об авторах

ХОЛЩЕВНИКОВ Валерий Васильевич, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; главный научный сотрудник, Институт комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; эксперт, Научно-исследовательский институт «Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы», Москва, Российская Федерация; Scopus Author ID: 57194448578; ResearcherID: AAP-2971-2020; ORCID: 0000-0001-8472-7749; e-mail: reglament2004@mail.ru

ПАРФЕНЕНКО Александр Павлович, канд. техн. наук, заместитель директора, Институт комплексной безопасности в строительстве; доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация; Scopus Author ID: 57214086032; ResearcherID: AAP-2933-2020; ORCID: 0000-0001-7490-8773; e-mail: parf01@inbox.ru

Information about the authors

Valeriy V. KHOLSHCHEVNIKOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Fire Safety in Construction Department, Academy of the State Fire Service of Emercom of Russia; Chief Researcher of Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering; Expert of Scientific Research Institute “Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services”; Moscow, Russian Federation; Scopus Author ID: 57194448578; ResearcherID: AAP-2971-2020; ORCID: 0000-0001-8472-7749; e-mail: reglament2004@mail.ru

Aleksander P. PARFENENKO, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Institute of Integrated Safety in Construction, Associate Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering; Moscow, Russian Federation; Scopus Author ID: 57214086032; ResearcherID: AAP-2933-2020; ORCID: 0000-0001-7490-8773; e-mail: parf01@inbox.ru