

ПЕРЕВОД. ОРИГИНАЛЬНАЯ ВЕРСИЯ:

© Peter Thompson, Daniel Nilsson, Karen Boyce, Denise McGrath. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.

PETER THOMPSON (Autodesk Ltd., Farnborough, UK)

DANIEL NILSSON (Lund University, Lund, Sweden)

KAREN BOYCE (Ulster University, UK)

DENISE McGRATH (University College Dublin, Dublin, Ireland)

Научное редактирование:

В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: reglament2004@mail.ru)

МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ УСТАРЕВАЮТ

В существующих моделях эвакуации представление о движении людей, как правило, основано на данных, собранных в 1950–1980-х годах, т. е. на данных, которым более 40 лет. С 1970-х годов характеристики населения во всем мире резко изменились. Отчеты показывают, что процент пожилых людей и показатели ожирения значительно увеличились, и эта тенденция, как прогнозируется, будет продолжаться и в будущем. В недавних исследованиях [1–3] указана величина, до которой различные возрастные группы населения могут снизить общую скорость людского потока. Кроме того, хорошо зарекомендовавшие себя исследования позволили количественно оценить влияние размеров тела на скорость потока [4]. Однако многие существующие модели эвакуации не учитывают меняющихся характеристик населения. Цель настоящей работы – проанализировать существующие демографические данные и динамику потоков населения, вывести ориентировочный коэффициент изменения потока для будущих групп населения и рассмотреть последствия для компьютерных моделей и проектирования зданий в будущем.

The representation of crowd movement in existing evacuation models is typically based on data collected in the 1950s to 1980s, i. e., data that are more than 40 years old. Since the 1970s, population characteristics have changed dramatically around the world. Reports show that the percentage of elderly and obesity rates have increased significantly and this trend is predicted to continue into the future. Recent research [1–3] illustrates the magnitude by which different age cohorts of a population group can reduce the general speed and flow rates. In addition, well established studies have quantified the impact of body dimensions on speed and flow [4]. However, many existing evacuation models fail to take the changing characteristics of populations into account. This paper aims to review existing knowledge of population demographics and crowd dynamics, derive an indicative flow reduction factor for future populations, and consider the implications for computer models and building design in the future.

Ключевые слова: эвакуация; модель; население; толпа; передвижение; поток; безопасность; моделирование; демография; нормы в области чрезвычайных ситуаций.

Keywords: evacuation; model; population; crowd; walking; flow; safety; simulation; demographics; emergency standards.

1. Введение

Стандартные анализы безопасности жизнедеятельности в зданиях и транспортных системах используют простейший вид потока с некоторой скоростью ходьбы для расчета времени эвакуации. Действующие документы по объемно-планировочным решениям обычно применяют общую скорость потока для единой однородной массы людей, которая не изменилась с тех пор, как размеры дверей и проходов были первоначально регламентированы в се-

редине 20-го столетия. Справочные наборы данных, используемые в текущих руководящих документах, были опубликованы более 50 лет назад [4–6] и поэтому потенциально представляют собой неопределенный риск для жизни групп с различными характеристиками мобильности. В последние годы эти давно опубликованные данные и соотношения между скоростью, потоком и плотностью были поставлены под сомнение. Действительно, создатели наиболее значимой базы данных в Северной Аме-

рике (Fruin [6] и Pauls [7]) заявили, что их наборы данных больше не применимы и попросили удалить их из будущих руководств по проектированию [8].

Потеря уверенности в использовании прежних “однородных” данных объясняется признанием в нашем обществе все возрастающей доли пожилых людей, людей, страдающих ожирением, и инвалидов (United Nations [9, 10], OECD [11]). Эти пропорции значительно возросли с тех пор, как в 50–70-х годах были впервые проведены наблюдения за выходом и передвижением потоков, состоящих из офисных работников и пассажиров. Перемешивание состава потока до однородного может иметь драматический эффект для оптимального движения потока толпы и, в конечном счете, безопасного выхода. Некоторые недавние исследования содержат обзор данных и формул о потоках людей разного возраста на лестницах [12] и горизонтальных поверхностях [1–3] и указывают, что основные значения параметров потока для однородных групп “здоровые взрослые” еще не изменились существенно, но наблюдается очень значительное снижение скорости потока, состоящего преимущественно из “пожилых” людей. Недавнее исследование Национального института стандартов и технологий (NIST) показывает, что средняя скорость ходьбы пожилых людей по лестницам составляла 0,28 м/с, в то время как несколько источников [6, 13, 14] приводят значения между 0,48 и 1,7 м/с для групп “здоровых взрослых людей”, спускающихся по лестницам. Снижение скоростей и мобильности отдельных людей будет оказывать косвенное влияние на скорость потока. Мы знаем, что следующие параметры влияют на индивидуальную скорость ходьбы, но не учитываются при анализе потока толпы:

- изменения в зависимости от возраста (Организация Объединенных Наций (ООН) [9], Ando с соавт. [15]);
- физические габариты населения — избыточный вес и возрастание ожирения (OECD [11]);
- наличие инвалидности (Воусе с соавт. [16]).

Предписывающие указания и руководства по проектированию [17–23] используют один общий стандарт удельной пропускной способности потока (обычно 80 чел./метр ширины·мин), а иногда больше для стадионов), и даже современные имитационные компьютерные модели применяют эти унифицированные параметры для всего населения. Гомогенные обобщения населения теряют достоверность с увеличением количества различий в возможностях людей. Утверждения некоторых авторов, что существующие подходы моделирования “работают вне времени”, приводят к тому, что основные математические описания остаются прежними, тогда как демография населения продолжает меняться. Новые

подходы, учитывающие соответствующие новые данные, необходимы для того, чтобы рассмотреть последствия для безопасности жизни сейчас и в будущем.

Учитывая изменения характеристик посетителей зданий, т. е. увеличение возраста (приводящее к возрастанию инвалидности [24], снижению скорости ходьбы и расширению использования вспомогательных средств передвижения) и растущие темпы ожирения (вызывающего снижение скорости ходьбы и уменьшение количества людей, размещающихся на единице площади), необходимо пересмотреть представление движения многолюдных потоков в моделях эвакуации.

Цель представленной статьи — сделать важный шаг в этом направлении путем:

- 1) обсуждения тенденций изменения демографии населения за 80-летний период;
- 2) обсуждения возрастающей изощренности аналитических описаний эвакуационных моделей, использующих, тем не менее, простейшие математические закономерности;
- 3) введения некоторых первичных математических упрощений для отображения демографических изменений;
- 4) обсуждения возможного пути дальнейшего изучения многолюдных потоков, учитывающего биометрию и взаимодействие людей.

2. Расчет эвакуации: начальным исследованиям потока толпы более 40 лет

Большинство расчетов при анализе эвакуации еще базируется на удельной пропускной способности потока, т. е. величине, с которой население будет “течь” через элементы путей эвакуации (коридор, дверной проем или лестница), выраженной в количестве человек на единицу ширины в единицу времени. Наше нынешнее понимание движения пешеходов в населенных местах основано на относительно старых данных о движении в основном трудоспособных людей. Наиболее существенные данные, использованные при анализе движения и эвакуации людей [4–7, 15, 25], получены из исследований, проведенных в период между 1950-ми и 1980-ми годами (табл. 1). Эти совокупности данных получены на основе наблюдений за движением здоровых пассажиров (Hankin и Wright [5], Fruin [6], Ando с соавт. [15]), пешеходов при обычном (спокойном) движении в различных типах зданий (Предтеченский и Милинский [4]) или в зданиях во время тренировок по эвакуации (Pauls [7], Предтеченский и Милинский [4]). Эти ранние исследования сформировали основы нашего понимания явления “поток людей” и составили основу документов по проектированию

Таблица 1. Итоги истории исследований удельной пропускной способности людского потока

Год	Авторы	Максимальная расчетная удельная пропускная способность, чел./м·с	Предельная удельная пропускная способность, чел./м·с	Область данных/исследований
1958	Hankin и Wright [5]	1,48	1,92	При обычных условиях
1969	Предтеченский и Милинский [4]	1,70	2,06	Максимальные потоки при высокой плотности для взрослых в летней одежде
1972	Отчет SCICON [20]	1,37		Данные по потокам футбольных болельщиков
1973	Guide to Safety at Sports Grounds [17]	1,82 (метод ширины выхода)		Исходя из японских данных, полученных из расчета ширины выхода 1,0 чел./0,55 м·с
1971	Fruin [6]	1,37	4,37	Поток окончательно регламентирован, “привязан” к потокам солдат, находящихся в давке
1983	Polus с соавт. [26]	1,25–1,58	1,56	Данные, собранные в Израиле, по потокам на тротуарах
1988	Ando с соавт. [15]		1,7–1,8	Пассажиры в нормальных условиях

во всем мире, например Green Guide (Home Office [17]), SFPE Handbook of Fire Engineering (Nelson и MacLennan [18]), PD 7974-6 (BSI [19]).

Некоторые выборки данных по удельной пропускной способности, полученные во второй половине 20-го столетия, указаны в табл. 1. Общепринятое значение, которое лежит в основе существующих руководящих документов Великобритании (утвержденный документ B [21]), США (NFPA 101: Life Safety Code [22]), а также Международной морской организации (ИМО [23]), составляет 80 чел./м·мин, или 1,33 чел./м·с. Величина удельной пропускной способности мало изменилась с 70-х годов. Например, в более ранних версиях стандартов США и Великобритании с 70-х годов использовалась единица измерения ширины 40 чел./21 дюйм·мин, что эквивалентно 74,99 чел./м·мин). Фактически стандартизированные нормы удельной пропускной способности, как основы расчета, немного увеличились в последних документах, но не по очевидной научной причине, а скорее по целесообразности применения единых значений.

Сомнения, возникающие в отношении некоторых исходных данных [6, 27], привели к сбору более свежих данных и к новым исследованиям. Например, исследование NIST [12] рассматривает совокупности данных о перемещении по лестницам пожилых людей, людей с ограниченными возможностями и офисных служащих с анализом их движения при выходе на лестничные марши. В нем освещаются значительные различия в скоростях ходьбы пожилых людей. Однако в настоящее время не планируется пересмотр или изменение “стандартных” скоростей движения потоков, принятых в текущих руководствах, в то время как демографические характеристики населения продолжают меняться. Такие термины, как “эпидемия ожирения” и “старе-

ющее общество”, становятся все более распространенными. Известно, что такие факторы, как возраст и физические характеристики (например, габариты тела и т. д.), влияют на индивидуальную скорость движения. Однако из-за отсутствия специального научного анализа эффектов их влияния на групповое движение (т. е. “людской поток”) не следует ожидать каких-либо изменений в основных компьютерных “поточных” моделях, определяющих стандартные способы описания эвакуации, сейчас или в следующие 40 лет.

3. Фундаментальная природа “потока”

Основное уравнение “потока” толпы выражается формулой (1), приведенной ниже:

$$q = vd, \quad (1)$$

где q — поток на единицу ширины, чел./м·с;

v — скорость, м/с;

d — плотность, чел./м².

Мы не должны забывать, что модель “многолюдного потока” как физическая модель есть выражение количества человек, проходящих через пространственную единицу (в эвакуационной системе) в единицу времени. Если параметры изменяются, влияя на скорость людского потока (скорость ходьбы) или плотность (концентрация и размер), то неизбежны физические взаимодействия между людьми в потоке. Важно рассмотреть основную физику этого явления, поскольку мы рассматриваем значимость сложных демографических изменений и физических взаимодействий.

4. Анализ эвакуации: использование понятий “поток” и “время”

Главная цель расчетов при обеспечении безопасности жизни (включая анализ эвакуации) со-

стоит в том, чтобы обеспечить для посетителей возможность покинуть здание до того, как условия их пребывания станут невыносимыми и появится явный риск для их жизни. Основная идея заключается в том, что время, имеющееся у эвакуирующихся для достижения безопасной зоны (требуемое безопасное время выхода — RSET (Required Safe Escape Time)), должно быть меньше ожидаемого времени образования небезопасных для них условий (доступное безопасное время — ASET (Available Safe Escape Time)). Расчет ASET против RSET (BSI [19]) хорошо обоснован и широко используется среди сообществ пожарной безопасности.

Самой ранней оценкой времени (ASET) было значение 2,5 мин, полученное при реальной эвакуации театра “Эмпайр” в Эдинбурге в 1911 году. В этом инциденте предупреждение о пожаре поступило перед началом исполнения государственного гимна. Театр был эвакуирован примерно за время исполнения гимна (пока оркестр продолжал играть), хотя не обошлось без жертв. Важно отметить, что до сих пор этот показатель (150 с) используется в нормативных документах Великобритании [21] в качестве контрольного времени эвакуации людского потока. Такая длительность в сочетании с предполагаемой пропускной способностью потока 1,33 чел./м·с (80 чел./м·мин)) приводит к наиболее часто используемой норме ширины выхода на человека (5 мм/чел.), которая применяется для расчета пропускной способности выхода в соответствии с руководством по проектированию (уравнение (2)):

$$q = \frac{N_p \text{ (people)}}{w \text{ (metres)}} \cdot \frac{N_p}{w} = qt = 80/60 \cdot 150 = 200$$

$$\therefore \frac{w}{N_p} = \frac{1}{200} = 0,005, \quad (2)$$

где q — поток на единицу ширины, чел./м·с;

N_p — количество человек;

w — ширина выхода, м;

t — общее время, с.

Таким образом, ширина для “безопасного” выхода в расчете на одного человека = 0,005 м (5 мм).

Это “стандартное” число ширины выхода 5 мм на человека, позволяющее “безопасно” эвакуироваться, используется в строительных нормах Великобритании [21] и США [22], однако оно подходит лишь для однородного, стандартного потока (понятие из середины 20-го столетия), способного уложиться во время исполнения национального гимна Великобритании. Очевидно, что оба нормируемых значения: 2,5 мин и 80 чел./м·мин — могут быть оспорены относительно применимости для любого вида использования здания.

В наше время возможности изменения этих значений состоят в том, что большинство современных правил теперь позволяет применять более совершенные подходы, основанные на характеристиках, при которых достаточная научная строгость может быть продемонстрирована органу, обладающему юрисдикцией для утверждения проектного решения здания. Исполнительная база проектирования может включать в себя использование простых ручных вычислений или более сложное компьютерное моделирование. Простые ручные вычисления зависят от надежных предположений о скорости и потоке (часто необходимо принимать во внимание плотность), которые должны быть такими же надежными, как и исходные данные. Компьютерное моделирование, стремительно развивающееся в последние десятилетия, также зависит от исходных данных. Если исходные данные или параметры движения для модели являются несовершенными или устаревшими, то это оказывает реальное влияние на достоверность результатов, а отсюда и уверенность, с которой результаты могут быть использованы для оценки безопасности жизнедеятельности.

5. Демографические тенденции народонаселения

Стандартные описания потока и зависимости, которые используются сегодня при проектировании, были получены достаточно давно, исходя из данных, относящихся в основном к физически здоровым офисным или пригородным группам населения, в период между 1950-ми и 1970-ми годами (некоторые из них представлены в табл. 1). С тех пор доступность зданий для людей с инвалидностью значительно изменилась, как и демография населения во всем мире. В большинстве регионов доля пожилых людей стала намного выше, и прогнозируется, что она станет еще более значимой к 2050 году (ООН). Кроме того, предполагается, что доля людей с избыточным весом и ожирением среди взрослого населения продолжит значительно увеличиваться (OECD [11]).

5.1. “Стареющее общество”

Прогнозируемые различия в доле пожилых людей в обществе в разных регионах мира как сейчас, так и в будущем, проиллюстрированные на рис. 1, отмечены в многочисленных источниках [9, 28]. Существует несколько причин столь значительного изменения демографических показателей населения:

1. Поколение “бэби-бум” стареет: более высокий уровень рождаемости в 1960-е годы определил в определенной степени “всплеск” численности населения [29]. Например, современный уровень рождаемости в США (в расчете на одну мать) снизился почти вдвое по сравнению с 1960 годом.

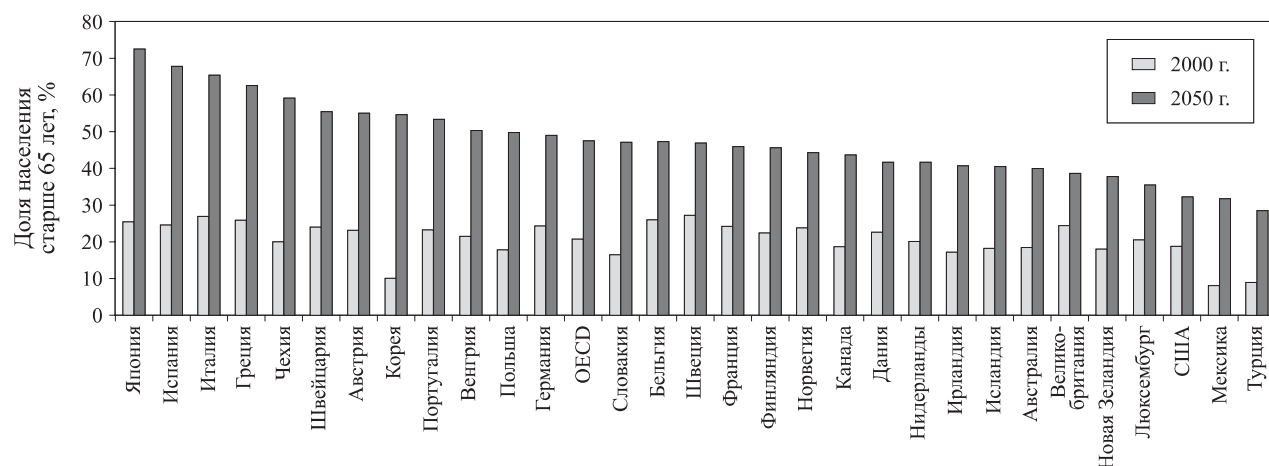


Рис. 1. Доля населения старше 65 лет (%) среди всего населения сейчас и в будущем [28]

2. Люди стали жить дольше (медицинская наука, диета); продолжительность жизни в США за последние 40 лет выросла с 70 почти до 80 лет [30].

3. У матерей появляются дети в более зрелом возрасте [31], что влияет на временное увеличение пропорций “старения” общества.

Тенденции в области народонаселения создают значительные статистические изменения в странах OECD (см. рис. 1). Предполагается, что средняя доля “пожилых людей” среди взрослого населения увеличится с 20 почти до 50 % к 2050 году; некоторыми странами (Япония, Испания, Италия) прогнозируется, что среди взрослого населения значительное большинство будут составлять люди старше 65 лет. Следует отметить, что эти люди старше 65 лет могут оказаться более здоровыми, чем в предыдущих поколениях, что может повлиять на параметры многолюдных потоков, однако степень этого влияния неясна.

Уровень прогнозируемых демографических изменений будет оказывать значительное влияние на общество каждой отдельной страны, как и мира в целом. Правительства тщательно рассматривают финансовые последствия, а также последствия для служб экстренной помощи [32] и разрабатывают меры, направленные на их преодоление. Важно, чтобы проектирование зданий, данные и методы, которые мы используем для инженерных анализов, были также адаптированы к происходящим изменениям в нашем обществе.

5.2. Увеличение размеров тела и “эпидемия ожирения”

В большинстве стран мира темпы роста ожирения и “избыточной массы тела” населения неуклонно увеличивались в течение нескольких поколений, и, в итоге, за последние 25 лет эти изменения стали более быстрыми и очевидными (OECD [11]) (рис. 2). Системы здравоохранения планируют для приема более крупных и тучных людей изменить размеры

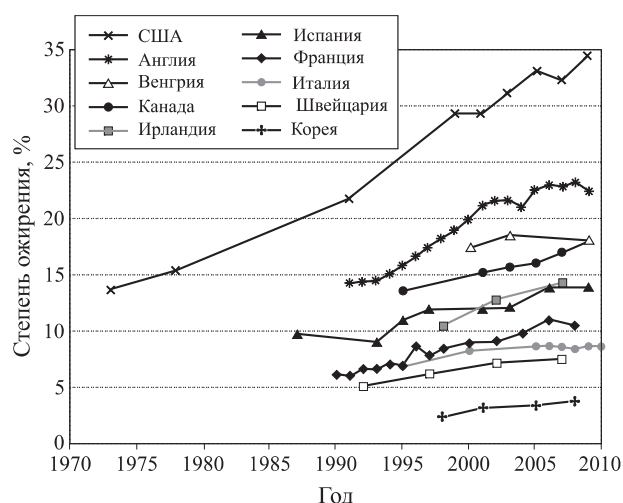


Рис. 2. Показатели степени ожирения взрослых людей во многих странах через 40 лет [28]

кроватей, а также оборудование для подъема пациента в машинах скорой помощи [36]. Эти тенденции отчетливо фиксируются документально и обусловлены сочетанием доступности потребления большего количества калорий на душу населения с сопутствующей статистической тенденцией уменьшения физических нагрузок в повседневной жизни людей [37].

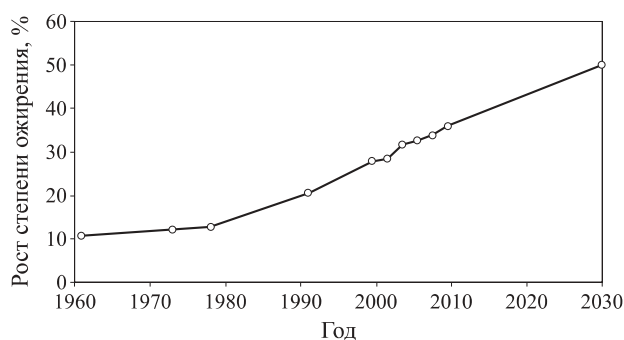


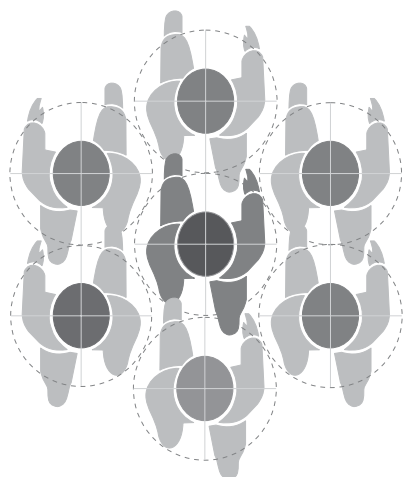
Рис. 3. Рост числа людей, страдающих ожирением, среди населения от 20 до 74 лет в США в 1960–2030 гг. [39]

Кроме того, растет детское ожирение [38], что указывает на неизбежное продолжение наблюдаемых тенденций в будущем. Если мы посмотрим на прогнозируемую тенденцию для США (рис. 3), то к 2030 году ожирение у взрослых должно возрасти до 50 % (Levy с соавт. [39]).

6. Влияние демографии на скорость и поток

Толпы состоят из людей в умеренно заполненном или переполненном пространстве, и это важно для понимания последствий того, что менее подвижные, маломобильные или тучные люди могут участвовать в движении общего потока: ограничен-

Радиус “зоны с касанием” 12”
(площадь передвижения 3 ft²)



Радиус “зоны без касания” 18”
(площадь передвижения 7 ft²)

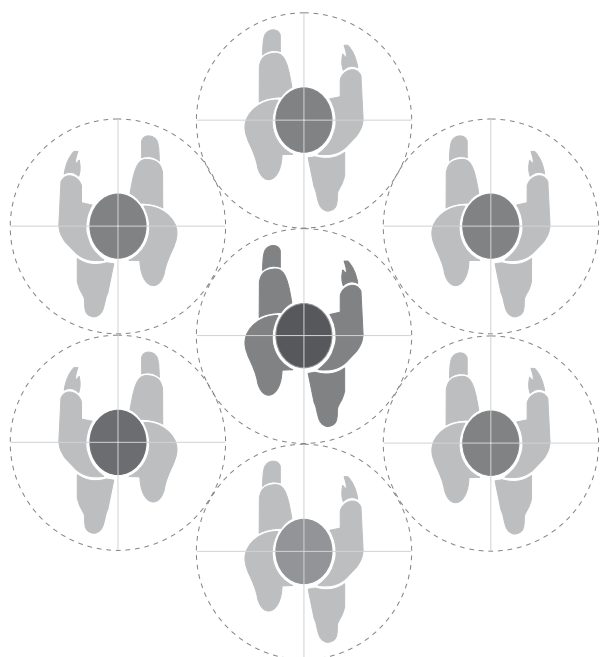


Рис. 4. Зона “с касанием” и “зона без касания” по Fruin [6]

ное пространство лимитирует для его участников возможность обгона, поэтому менее мобильные люди начинают диктовать скорость и характеристики потока. Предполагается, что даже незначительное количество медленно идущих индивидуумов может оказать определяющее влияние на характеристики всего потока. Так, при предполагаемой плотности потока от 3 до 4 чел./м² (показанной в серии иллюстраций на рис. 4, согласно Fruin [6], между зонами с “касанием” и “зонами без касания”) обгон невозможен, так как медленно идущие участники людского потока будут определять скорость движения этой группы людей и, следовательно, скорость всего потока. Кроме того, для таких участков эвакуационного пути, как дверные проемы и лестницы, маломобильные и, возможно, более тучные люди начнут диктовать скорость движения и всего потока, потому что они так проходят через участки ограниченной ширины.

Возрастающее количество пожилых людей и людей, страдающих ожирением, достигает такой величины, что они будут иметь определяющее влияние на мобильность и антропометрические характеристики населения, а затем и на параметры движения людского потока.

6.1. Влияние возраста на скорость движения потока

Возраст напрямую связан с ухудшением физических, умственных и неврологических функций (Reeves с соавт. [33], Kang и Dingwell [34]), которые отрицательно влияют на индивидуальное движение, например на скорость и длину шага. Иллюстрационная диаграмма Ando с соавт. [15], приведенная на рис. 5, показывает, что “пожилые люди” (старше 65 лет) передвигаются примерно на 20–25 % медленнее, чем взрослые в возрасте 18–40 лет. Другим исследованием Fujiyama и Tyler [35] фиксируется, что люди в возрасте 60–84 лет спускаются по лестнице при свободном движении со скоростью от 0,60 до 1,11 м/с в зависимости от геометрии и уклона лест-

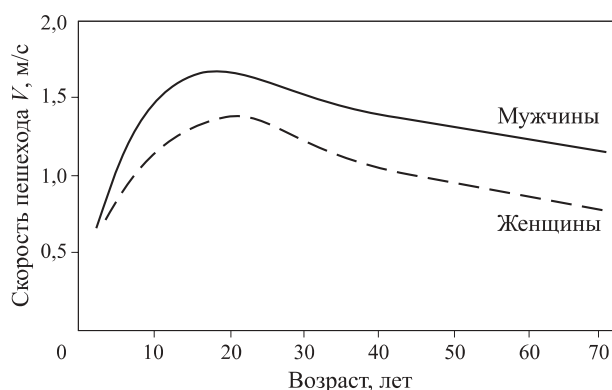


Рис. 5. Связь между скоростью и возрастом при движении по горизонтальному участку пути (Ando [15])

ницы, что намного ниже, чем типичные скорости беспрепятственного спуска, достигаемые более молодыми людьми. Последующее исследование NIST [12] показывает, что скорость, с которой пожилые люди спускаются по лестнице (с чужой помощью или без нее), может быть намного ниже (на 50 %) по сравнению со здоровыми взрослыми людьми.

Если прогнозы отчетов OECD [11] верны, то в будущем доля “пожилых людей” в некоторых странах превзойдет остальную часть взрослого населения. Из этого следует, что средняя скорость ходьбы населения будет уменьшаться, поэтому важно понять, какое влияние это может оказать на параметры потока в разных ситуациях.

Если мы рассмотрим статистические данные, приведенные на рис. 1–5, то возможно снижение скорости и характеристик потока для групп со значительным меньшинством пожилых или ослабленных людей на 20–25 %, поскольку более молодые участники потока теперь, при таких высоких плотностях, естественно, уже не могут их обгонять. Этот эффект станет, вероятно, больше, когда в потоке будут “доминировать” менее подвижные люди, а также в том случае, когда рассматривается скорость передвижения пожилых людей (с чужой помощью и без нее), как в исследовании NIST [12], на 50 % ниже, чем скорость здоровых взрослых людей.

Недавние исследования Холщевников и др. [1–3] имеют явную количественную оценку эффекта влияния демографии населения на скорость и интенсивность движения людского потока (рис. 6 и 7). Эти исследования при сопоставлении данных предыдущих им исследований с более новыми данными дают очень полезный анализ выявленных тенденций и влияния их последствий на движение всего людского потока по горизонтальным путям.

Три типа популяции, включенные в исследование (а именно взрослые, дети и пожилые люди), разумно полагать, имеют разные возрастные и габаритные характеристики, но мы оперируем средними значениями, указанными в результатах этих исследований. При построении графиков на рис. 6 и 7 нами были использованы значения скорости свободного движения в интервале между “спокойным” и “активным” движением взрослых и детей дошкольного возраста. Порог спокойный/активный был применен потому, что эти значения соответствуют нижним значениям неторопливой ходьбы, указанным в других источниках [6, 15] для нормальных условий движения, и оказались бы непропорционально более низкими, если бы мы использовали средние значения из интервала “спокойного” движения. Для пожилых людей доступны только скорости “спокойного” движения. Таким образом, скорости беспрепятственной ходьбы, используемые в

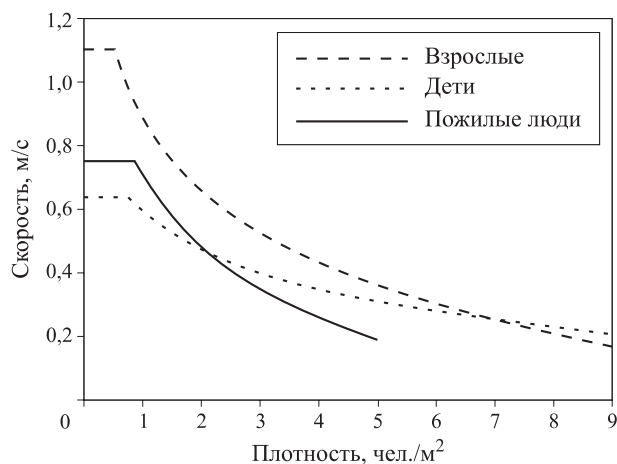


Рис. 6. Зависимость скорости движения людского потока от плотности для различных возрастных групп по данным Холщевникова [1–3]

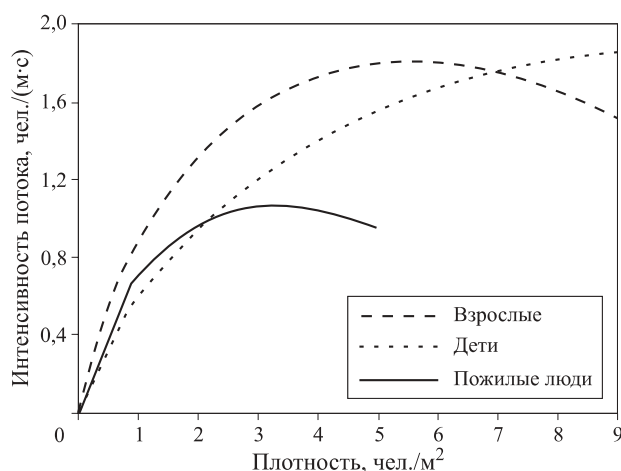


Рис. 7. Зависимость интенсивности движения людского потока от плотности для различных возрастных групп по данным Холщевникова [1–3]

этих формулах, составляли: 1,1 м/с для взрослых, 0,63 м/с для пожилых людей и 0,75 м/с для детей дошкольного возраста.

Наибольшая пропускная способность потока, состоящего из пожилых людей (1,06 чел./м·с) (см. рис. 7), на 41 % меньше, чем пропускная способность потока здоровых взрослых людей (1,80 чел./м·с). Кроме того, этот пик “пожилого” потока на 20 % меньше, чем типичное расчетное значение 1,33 чел./м·с (80 чел./м·мин), обсуждаемое в разделе “Введение”. Интересно, что, несмотря на то что дети дошкольного возраста имеют более низкую скорость свободного движения, они обеспечивают более высокую пропускную способность потока, поскольку имеют гораздо меньшие размеры тела и, как правило, находятся в хорошей физической форме и здоровы. Таким образом, потоки населения со значительной долей пожилых людей будут иметь пропускную способность на 20 % ниже, чем это предполагается.

6.2. Влияние размеров тела на скорость и величину людского потока

Влияние значительно более тучных людей, страдающих ожирением, пока еще не учитывается должным образом применительно к движению людского потока, однако результаты одного исследования, проведенного Spearpoint и Maclellan [40], показали, что «...общее время эвакуации будет увеличиваться по мере старения населения и роста тучности жителей. Эти увеличения могут быть от 5–8 % при сравнении сценариев 2006 и 2031 гг. в Новой Зеландии до 20 % при сравнении канадского сценария 1971 г. и новозеландского сценария 2031 года...». Предполагаемое увеличение времени эвакуации до 20 % в течение 60 лет указывает на высокую степень потенциального влияния ожирения на людской поток.

Если мы обратимся к основному уравнению потока (1), где поток рассматривается как складывающийся из скорости и плотности, то мы могли бы начать понимать значение увеличения пространства, занимаемого каждым человеком, и его влияние на измеряемую плотность людского потока. Если мы рассмотрим результаты исследований Паулса, наблюдавшего движение потока людей в пальто и без него [7], то они могут считаться схожими (с точки зрения пространственного анализа) с сопоставлением движения людей с избыточным весом и стройных людей (однако вполне понятны связанные с этим дополнительные вопросы идентичности эффекта, определяемой физическим состоянием, свободой передвижения, вторичными болезнями, колебаниями тела и т. д.).

Это сравнение показало, что имеется 10–20 %-ное сокращение пропускной способности потока людей в пальто по сравнению с потоком людей без пальто. Рис. 8 содержит ограниченное число точек, тем не менее он позволяет определить разницу между средним потоком эвакуирующихся (количество человек в секунду на метр эффективной ширины лестницы) и потоком эвакуирующихся в пальто. В интервале 200–450 чел., эвакуирующихся через 1 м эффективной ширины, эвакуационный поток, состоящий из людей в пальто, был меньше, чем соответствующий поток людей без пальто.

Следует добавить, что ожирение может изменить не только размеры тела, но потенциально и другие характеристики движения, например колебания тела, скорость движения и т. д. Однако в настоящее время сложно оценить влияние этих взаимосвязанных параметров движения.

Предтеченский и Милинский [4] также рассматривали эффект этого влияния на поток, связанный с устанавливаемыми размерами тела (включая зимнюю одежду), базируясь на 5000 измерениях. Они также рассматривали противоположный эффект

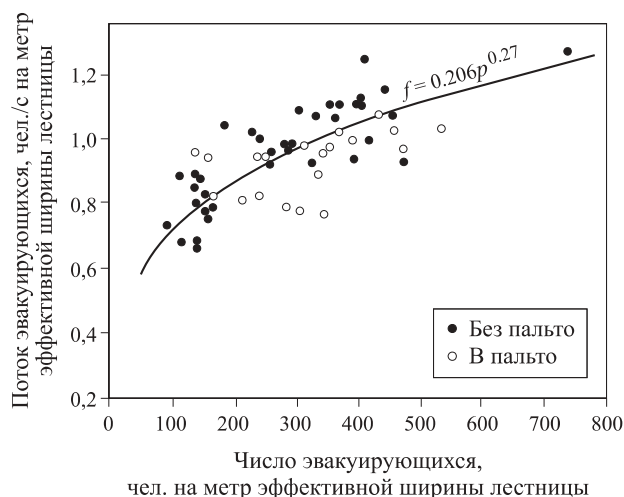


Рис. 8. Показатель Паулса потока людей в пальто и без него по данным [7] (Эффективная ширина — ширина потока, определенная по габаритам тела человека без учета его раскачивания при ходьбе. Эта величина идентична ширине эллипса горизонтальной проекции тела человека f , используемой в России после выхода диссертационной работы Милинского А. И. (1953). За рубежом использование этой величины настоятельно рекомендует Pauls J. L. — Прим. науч. редактора)

из-за меньших размеров тела (детей). Для того чтобы учесть в расчетах размер людей, эти российские исследователи выражали плотность в м^2 занимаемой человеком площади, отнесенной к площади (м^2) свободного пространства, как показано на рис. 9, поэтому интенсивность движения также выражалась в соответствующих единицах, т. е. в $\text{м}/\text{мин}$. Предтеченский и Милинский определяли «площадь горизонтальной проекции» человека как $0,1 \text{ м}^2$ для взрослых людей в летней одежде и $0,125 \text{ м}^2$ — в зимней одежде. Следовательно, если мы хотим оценивать поток в $\text{чел.}/(\text{м} \cdot \text{с})$, то можно прийти к заключению, что увеличение размера тела за счет пе-

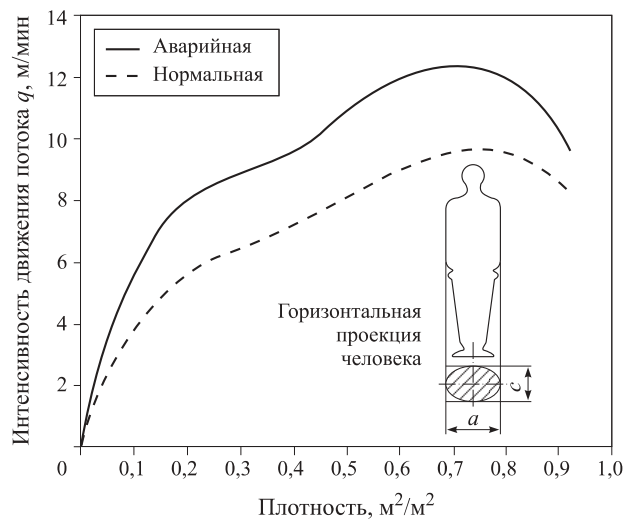


Рис. 9. Зависимость интенсивности движения людского потока для аварийных/нормальных условий от его плотности и площадь, занимаемая одним человеком [4]

перехода от летней одежды к зимней может привести к 25 %-ному снижению пропускной способности из-за больших габаритных размеров людей в зимней одежде. Следует, однако, отметить, что основным ограничением этого подхода является то, что, хотя размер тела в какой-то мере и учитывается, но не принимается в расчет длина шага и другие особенности пешеходного движения.

Показатели Паулса [7], Предтеченского и Милинского [4], рассматривавших различия между летней и зимней одеждой, являются единственными показателями, которые у нас есть и которые иллюстрируют потенциальное влияние увеличения размеров тела на поток. Фактически, Паулс поставил под сомнение обоснованность и применимость некоторых своих собственных данных (Pauls с соавт. [8]) из-за изменения численности населения и возрастающего увеличения степени ожирения. При попытке количественно оценить влияние ожирения населения прежде, чем ограниченное влияние перехода от летней к зимней одежде, в первом приближении мы должны использовать показатель 25 %-ного снижения пропускной способности потока из российских исследований. Ясно, что этот вопрос подлежит дальнейшему изучению, но сейчас важнее выбрать эмпирически определенное значение, чем совсем ничего не иметь.

Абсолютное влияние различных размеров тела на поток трудно оценить количественно, поскольку динамика движения достаточно сложна. Было показано, что ожирение коррелирует со снижением скорости движения (Hulens с соавт. [41]) и увеличением раскачивания тела при ходьбе (He и Baker [42]) и оба эти параметра, несомненно, являются важными, связанными с индивидуальным движением в населенных местах. Поэтому трудно полностью понять влияние размера тела как такового на динамику потока, поскольку невозможно раздельно определить влияние большего размера тела и снижения скорости на динамику потока без дальнейшего исследования. Другие исследования с участием детей, т. е. с малыми размерами тел по сравнению со взрослыми, привели к отношениям скорости потока/плотности, которые показывают более высокие скорости при одинаковых плотностях потоков по сравнению со стандартной кривой для взрослого населения (например, как предложено в справочнике “Руководство инженеров пожарной охраны” [43] и показано Холщевниковым с соавторами [1]). Тем не менее демографические характеристики детей включают в себя не только различные размеры тела, но и более высокую скорость ходьбы (иногда бега), что увеличивает скорость потока при более высоких плотностях. Демографические описания являются хорошим примером совместного воздействия изменений размеров тела и скорости и обеспечи-

вают успешное сравнение динамики смешанных групп населения.

7. Анализ эвакуации: “эволюция” компьютерных моделей

С течением времени сложность имитационных моделей, используемых для анализа эвакуации, прогрессировала. В литературе имеется ряд подробных обзоров имитационных моделей и их характеристик (Kuligowski и Peacock [43], Gwynne и Galea [44]). Подходы к моделированию приняли три хронологические формы:

1. *Поток в сети (или сети “узлов”)*, где каждое помещение или пространственный “узел” в здании имеет определенную численность людей и каждый узел соединен с проходом или дверным проемом максимальной пропускной способности. Эти модели впервые появились в 1980-х годах и были усовершенствованы в целях комплексности и возможностей их применения в период с 1980-х по 1990-е годы (BFIRES (Stahl [45]), EVACNET+ (Kisko и Francis [46]), EXIT89 (Fahy, [47]) и т. д.).

2. *Сетчатые модели*, где пространство здания подразделяется на модульные ячейки — “сито”, состоящее из элементов, соответствующих приблизительно площади тела человека (около $0,5 \times 0,5$ м²). Движение происходит по основе, разделенной на “шаговые камни” (ячейки), каждый из которых имитирует перемещение человека из одной ячейки в другую. Эти модели впервые появились в 1990-е годы и продолжают развиваться и использоваться сегодня в более изощренных формах, например Egress (Ketchell и Cole [48]), building EXODUS (Galea и др. [49]), STEPS (Mott McDonald [50]) и т. д.

3. *Непрерывные модели*, где перемещение посетителей по пространству здания не ограничивается сеткой простой формы, а заменяется “непрерывным” движением через геометрические элементы здания; при этом “векторы движения” изображают перемещения посетителей через декартовы координаты модели. Эти модели возникли в конце 1990-х годов; при этом большинство новых моделей использует разные математические подходы для представления “непрерывности” моделируемого движения (Pedgo [51], Legion [54], Simulex [55], PathFinder [56], MassMotion [58] и FDS+Evac [59]). Следует отметить, что, хотя в этих “непрерывных моделях” существует широкий диапазон подходов к вычислению, большинство алгоритмов движения основано на локализованных оценках скорости или величины потока в зависимости от плотности, полученных в результате исследований, опубликованных в 1960–1970-е годы.

Пакеты моделирования эвакуации имеют тенденцию использовать соотношения скорость/плотность

или соотношения между плотностями потока, полученные в работах, опубликованных такими исследователями, как Hankin и Wright [5] и Togawa [60] в 1950-е годы, Предтеченский и Милинский [4] — в 1960-е, Pauls [61] и Fruin [6] — в 1970-е и Ando [15] — в 1980-е годы. По сути, концепция “постоянного потока на участке” по-прежнему составляет основу подходов к моделированию (сетка и непрерывность), хотя в ряде случаев скорость потока меняется с изменением плотности стандартного “людского потока” на более мелких единицах площади.

Почти все алгоритмы движения в этих трех “поколениях” компьютерных моделей предполагают одинаковые параметры людей в потоке, за исключением моделей пространственной близости (например, Simulex [52] и Legion [54]) и моделей “социальных сил” (например, PedGo [57] и FDS Evac [59]), которые имеют постоянную возможность вносить изменения в соответствии с поступающим потоком данных. Следует также отметить, что современные пакеты компьютерного моделирования могут демонстрировать очень впечатляющие 3D-визуальные репрезентации выхода или быстрого движения. Таким образом, пользователь может приобрести более совершенные алгоритмы движения и способы вычисления данных, чем применяются сейчас на практике.

8. Детальный анализ движения

Важно отметить основные отличия этих имитационных моделей, кроме фиксированных скоростей потока. В “сетчатых моделях” и во многих “непрерывных моделях” используется соотношение между скоростью и плотностью людского потока (рис. 10) или между удельной пропускной способностью людского потока и его плотностью (рис. 11).

Модели же пространственной близости в отличие от перечисленных моделей используют взаимосвязь расстояния между людьми и скорости. На рис. 12 показано, как аппроксимирующее “циркульное” пространство (рассматриваемое Fruin [6] в уплотненных группах потока) может быть использовано для математического (и геометрического) получения средних линейных расстояний между людьми при заданных плотностях. Эти расстояния применяются затем для получения кривых скорости/расстояния, показанных на рис. 13.

Непрерывные модели могут использовать эти типы отношений между скоростью и межличностным расстоянием, и одним из примеров такой модели является Simulex [22]. В Simulex каждому человеку при моделировании назначается определенная скорость свободного движения (с учетом возраста, пола и других его особенностей). Связь между скоростью ходьбы и расстоянием между людьми масштабируется таким образом, чтобы скорость свобод-

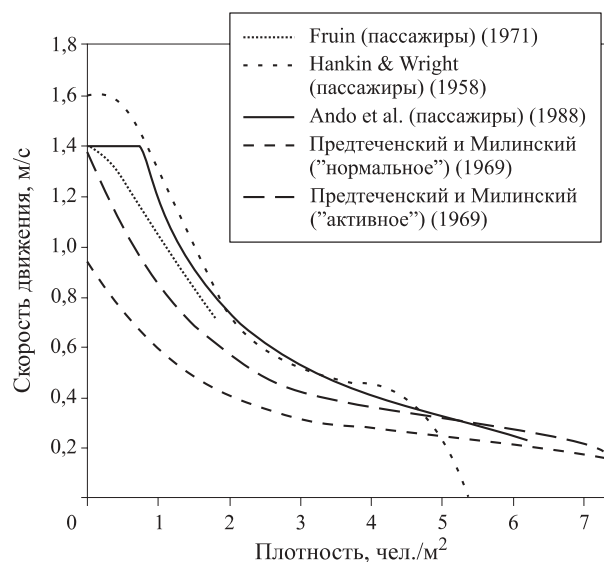


Рис. 10. Зависимость скорости людского потока от плотности (Thompson [55])

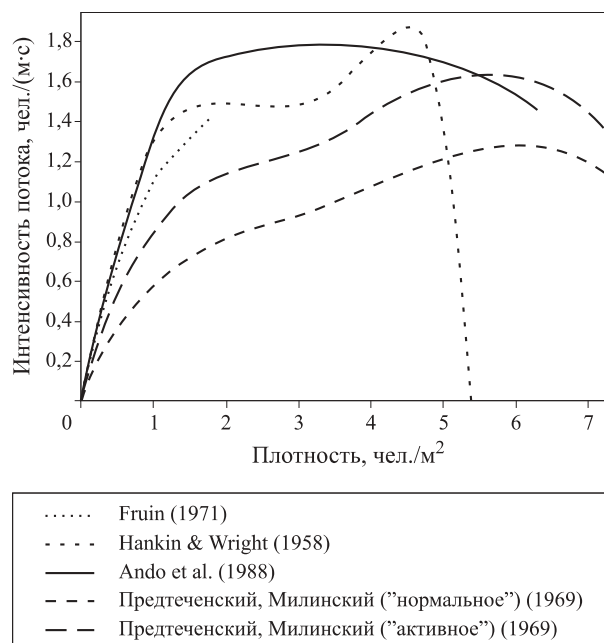
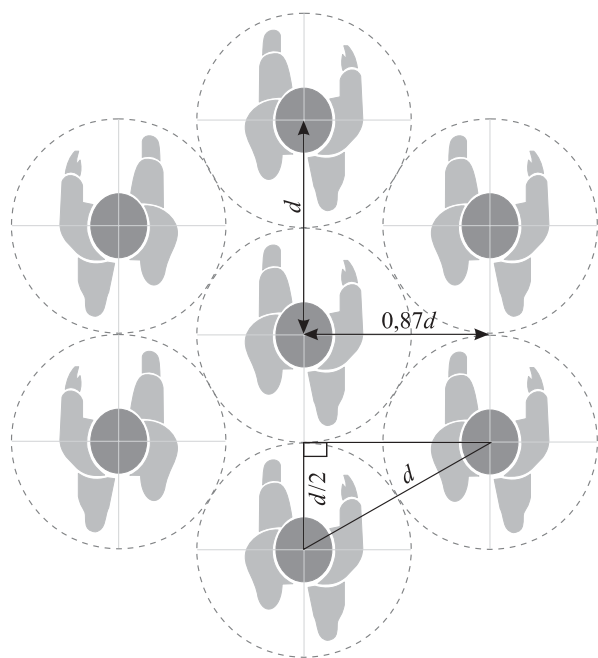


Рис. 11. Зависимость интенсивности людского потока от плотности (Thompson [55])

ного движения достигалась на таком пороговом расстоянии, при котором положение каждого человека не оказывает количественного влияния на идущих за ним людей. Реализация такого подхода Simulex проиллюстрирована на рис. 14. Когда это соотношение рассматривается как плотность, описывающие уравнения, приведенные на рис. 12, дают зависимости скорости/плотности, очень близкие описанным Ando с соавт. [15] и показанные на рис. 10. Этот подход был проверен при сопоставлении с данными, полученными из видео на четырех разных сайтах в Эдинбурге в 1994 году [55].



$$\text{Боковой интервал} = \sqrt{d^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = d\sqrt{\frac{3}{4}} = 0,866d$$

$$\text{Площадь на одного человека } A = d^2\sqrt{\frac{3}{4}} = 0,866d^2$$

$$\text{Плотность } \rho = \frac{1}{A} = \frac{1}{0,866d^2} = \frac{1,155}{d^2}$$

$$\text{Дистанция между людьми } d = \sqrt{1,155/\rho}$$

Рис. 12. Приближительное определение радиуса межличностного пространства (Thompson [55])

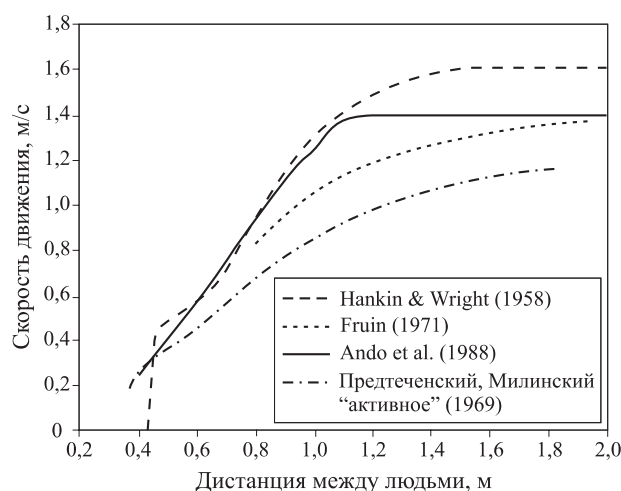


Рис. 13. Снижение средней скорости людского потока в зависимости от дистанции между людьми (Thompson [55])

Установление соотношения между скоростью пешеходного движения и дистанцией между людьми (см. рис. 14) позволяет с помощью Simulex делать некоторые попытки моделирования эффектов от вариаций скорости движения среди существующего населения. Рис. 15 иллюстрирует представленные в плане физические размеры людей, используемые в модели Simulex (другие непрерывные модели мо-

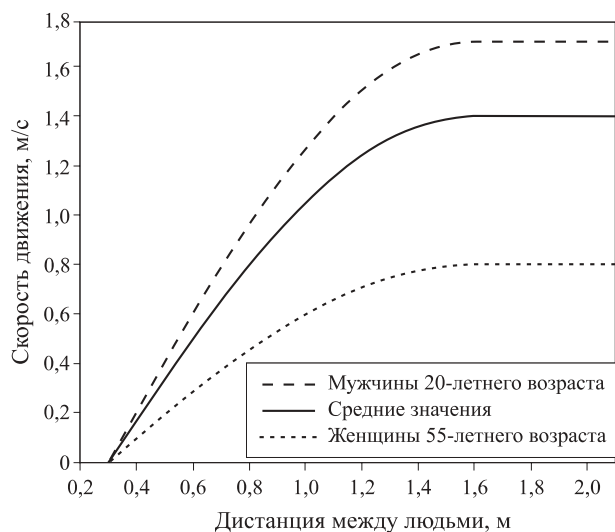


Рис. 14. Зависимость скорости движения от дистанции между людьми в Simulex [55]

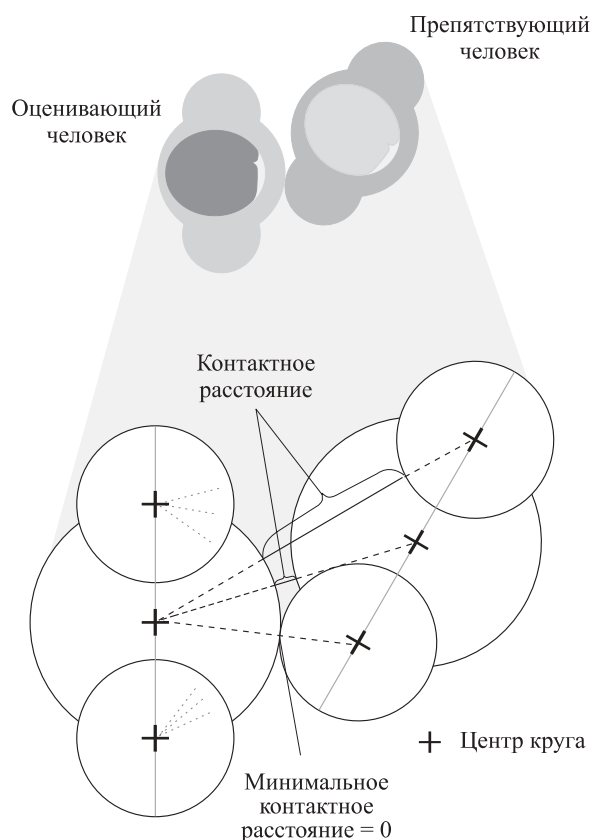


Рис. 15. Изображение габаритов тела (на плане) и “контактного расстояния” в Simulex [55]

гут использовать аналогичное представление тела). Это означает, что в Simulex можно варьировать окружности тела, чтобы попытаться воспроизвести некоторые эффекты влияния разных размеров тела, т. е. тучности взрослых или детей. Только “непрерывные” модели, такие как Simulex, в их нынешнем виде могут использоваться для легкого учета влияния демографических характеристик населения, таких

как размер тела, на движение и состояние потока. Результаты замены некоторыми из этих прототипов смешанных групп населения представлены в следующем разделе.

9. Моделирование демографических характеристик населения в Simulex

Simulex может, подобно многим другим непрерывным моделям, учитывать индивидуальные размеры людей и скоростные различия, если известны в каждый момент времени их перемещения среди толпы. Thompson с соавт. [62] ранее использовали компьютерный симулятор Simulex для количественной оценки влияния пожилых людей в отчетливо наблюдаемых изменениях демографических характеристик населения (как указано в правилах IMO [23]) и размеров тела, запрошенных в то время Шведским морским управлением (Sjöfartsverket или “SFV”) для испытаний спасательных жилетов. В табл. 2 показаны потоки, созданные в имитациях Simulex для предварительно заданных составов, т. е. комбинаций групп людей с определенными размерами тела и соответствующими им скоростями движения. Каждая группа является “ненастоящей”, так как содержит только характеристики определенных геометрических параметров. Как можно видеть из таблицы, поток изменяется как функция составляющих его групп.

Должно быть отмечено, что такой тип моделирования может быть реализован многими другими непрерывными моделями; Simulex здесь используется лишь для иллюстрации.

Мы должны осознавать условность этих имитаций, которые не наблюдаются в соответствующих исследованиях “реальной жизни”, но это создает определенный способ математического представления изменений размера тела, а также тенденций, связанных с наблюдающимся снижением скорости ходьбы пожилых пассажиров в этих имитациях. Демографические категории “пассажиры”, “экипаж” и “пожилые пассажиры” определены в документе

Таблица 2. Результаты имитаций потоков в Simulex для IMO [62]

Группа (IMO)	Максимальная величина людского потока, чел./с (среднее по 10 испытаниям)	Пропускная способность людского потока, чел./(м·с)
Пассажиры	1,4	1,36
Экипаж ММО	1,6	1,58
Пожилые пассажиры	1,0	0,88
Взрослые	1,4	1,28
Взрослые в спасательных жилетах	1,2	1,12

IMO “MSC Circ 1238: Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships” [23].

Результаты этого моделирования, которые представляют особый интерес, следующие:

а) исходный состав категории “пригородные пассажиры” дал норму потока 1,36, что было очень близко к нормативному “стандарту” 1,33 для здоровых взрослых людей;

б) категория “пожилые”, определенная IMO (с небольшим учетом разновозрастного состава потока), показала 35 %-ное снижение нормы потока по сравнению с основной категорией “пригородные пассажиры”;

в) категория “SFV взрослые” продемонстрировала уменьшение потока на 11 % за счет увеличившихся габаритов человека в спасательном жилете по сравнению с людьми в обычной одежде.

Эффект “пожилого” населения, демонстрирующий снижение величины потока на 35 %, может быть больше, чем прогнозировалось по данным Ando, поскольку конкретизация демографического состава потока также оказывает некоторое влияние на общие значения параметров движения, в частности потока с пожилыми пассажирами. Увеличение размера тела приводит к относительно небольшому снижению скорости потока по сравнению с данными Паулса, Предтеченского и Милинского за счет учета увеличивающихся габаритов только торса человека или только ширины современного спасательного жилета. Не принимается во внимание возможное снижение скорости ходьбы, связанное с ожирением и физиологическими заболеваниями из-за ожирения.

10. Обсуждение: расчеты, модели и проектирование

Мы рассмотрели две первичные демографические тенденции, которые, как прогнозируется, влияют на величину людского потока и общую скорость движения:

а) “старение общества”, что, как прогнозируется, приведет к значительно более высокой доле пожилых людей в разных странах OECD, а в некоторых странах по прогнозам к 2050 году более 60 % взрослого населения будет старше 65 лет. Если мы используем цифры из анализа увеличения доли пожилых людей в обществе в целом в сочетании с анализом Ando скоростей ходьбы людей старше 65 лет, то мы могли бы принимать снижение скорости на 20 % в качестве показателя воздействий на величину потока, которые обсуждались в предыдущих разделах. Данные Холщевникова [2, 3] указывают на потенциальное падение около 40 %, но дают фактическое пиковое значение, которое на 20 % ниже типичного значения 1,33 чел/(м·с). Моделирование Simulex привело к значительному снижению скоро-

сти потока на 35 %, но мы предполагаем, что необходимо провести дополнительные проверки изменений структуры населения по ИМО в сравнении с его существующей структурой, прежде чем более широко использовать результаты этих компьютерных предположений. Для моделей, использующих усредненные характеристики потока, мы должны были бы назначить 20 % как показатель общего снижения скорости и других параметров потока, отражающий влияние “пожилых” популяции;

б) “эпидемия ожирения” и тенденция повышения “избыточного веса” населения во многих современных обществах. Мы использовали следующие показатели снижения скорости ходьбы: тесты Паулса с использованием зимней одежды (снижение на 10–20 % при ношении зимней одежды); анализ Предтеченского и Милинского влияния на увеличение размеров тела более тяжелой одежды (уменьшение интенсивности движения на 25 %), показатель Spearpoint и Macleannan (20 %) [40] и увеличение торса людей в спасательных жилетах при имитациях Simulex (11 %).

Для моделей эвакуации, использующих общие скорости потока, мы бы установили 20 % для учета в составе потока людей, страдающих ожирением, поскольку мы ожидаем, что последствия от ожирения будут, по крайней мере, такими же, как и при ношении тяжелой одежды, и, вероятно, будет также учитываться снижение скорости ходьбы для более выраженных случаев ожирения.

Рассмотрим комбинированное влияние этих двух демографических тенденций в следующем уравнении:

$$q_d = q(F_e F_o), \quad (3)$$

где q_d — номинальная удельная пропускная способность потока для проектирования или моделирования;

q — нескорректированная удельная пропускная способность потока для его “стандартного” состава;

F_e — коэффициент, учитывающий фактор преобладания пожилых людей в потоке;

F_o — коэффициент, учитывающий фактор преобладания людей, страдающих ожирением, в потоке.

При приведенных выше численных значениях, т. е. $F_e = 1 - 0,2 = 0,8$ и $F_o = 1 - 0,20 = 0,8$, и широко распространенной “стандартной” удельной пропускной способности 1,33 чел./ (м·с) имеем:

$$q_d = 1,33 \cdot (0,8 \cdot 0,8) = 1,33 \cdot 0,64 = 0,85. \quad (4)$$

Исходя из этих расчетов, предполагается, что мы могли бы рассматривать удельную пропускную способность потока 0,85 чел./ (м·с) (на 36 % меньше 1,33 чел./ (м·с)) для учета тенденций демографиче-

ских изменений населения, прогнозируемых OECD на 2050 год. Действительно, некоторый понижающий коэффициент должен применяться и в текущей практике проектирования, поскольку большая часть этих изменений уже произошла.

Вышеприведенный расчет был проведен не для того, чтобы предложить еще одно простое, “всеобщее” значение для всех проектировщиков всех видов зданий с целью применять его в будущем. Это просто примерный расчет, который используется для определения потенциальных последствий в обычных условиях. В действительности, в различных зданиях должна быть исследована демографическая структура населения. Можно поспорить, что аналогичные факторы применимы к зданиям с разнородным населением или с присутствием людей с ограниченными физическими возможностями. Такие факторы можно было бы использовать для алгоритмов компьютерных моделей с заранее определенными характеристиками потока, просто изменяя кривые зависимостей скорости от плотности. Тогда моделирование будет демонстрировать изменения соответствующих тенденций в потоке. Это не относится к “непрерывным” моделям движения, которые вместо этого должны основываться на индивидуальных характеристиках и содержать алгоритмы, реалистично воспроизводящие воздействия этих характеристик.

11. Дополнительные факторы

Признано, что в будущем необходимо будет учитывать дополнительные факторы, которые могут влиять на скорость людского потока и способность успешно эвакуироваться. В этой статье основное внимание было уделено необходимости использования компьютерных моделей для учета демографических изменений, но общий принцип состоит в том, что необходимо применять более гибкие вычисления и уходить от концепции однозначности, которая полагает “все одинаково” для всех случаев.

В будущем также должны учитываться следующие аспекты:

1. Биомеханика ходьбы: более подробный анализ биомеханики ходьбы требуется для более полного понимания основных механизмов при моделировании ситуации. Такие факторы, как длина ног, длина шага, колебания тела, модели походки, вспомогательные средства ходьбы и т. д., могут быть учтены в будущем. Кроме того, для населения, в составе которого могут доминировать пожилые люди и люди с разными физическими возможностями, разумно учитывать, что все большее число жителей может нуждаться в помощи (или во вспомогательных средствах для ходьбы, или в помощи персонала), чтобы добраться до выхода. Параметрическая количест-

венная оценка таких факторов потребуется до того, как будет предпринята попытка моделирования, но присущие ей сложности никоим образом не должны приводить к уклонению от учета этих факторов. Вполне вероятно, что подходы к компьютерному моделированию должны способствовать дальнейшему развитию подходов “непрерывных моделей”, рассматривающих изменения движения из-за воздействий лиц, находящихся вне потока, и в возможных точках контакта при высоких плотностях, когда “сдавливание” может стать риском.

2. Усталость: потенциальное снижение скорости ходьбы, возникающее после преодоления длинного пути эвакуации, характерное для высотных зданий, может иметь важное значение, особенно если участвующие в процессе люди пожилые, страдающие ожирением либо имеющие другие моторно-сенсорные нарушения.

3. Токсичность дыма: некоторые компьютерные симуляции используют модель фракционной эффективной дозы [63] для учета возможного влияния токсичности дыма на скорость ходьбы. Однако такое воздействие на здоровье также следует рассматривать в контексте демографии населения. Например, пожилые люди могут быть гораздо более восприимчивыми к вдыханию дыма.

Имеется ряд последствий для проектирования зданий. Если эта форма численного анализа дает целесообразные указания по выполнению элементов здания для размещения эвакуирующихся потоков, то нам понадобятся более широкие проходы и двери, для того чтобы произвести необходимые изменения пропускной способности этих элементов. Такие коррективы должны учитывать состав населения зданий в настоящее время и в будущем. Простое увеличение ширины проходов не должно быть единственным способом — мы должны учитывать изменения способностей и мобильности, связанные с изменениями в возрасте, степенью ожирения и увеличением доли людей со “смешанными способностями”, для передвижения в построенной среде и достижения выхода, ведущего в безопасное место. Руководства по проектированию должны быть пересмотрены и компьютерные модели обновлены. Нам может также потребоваться рассмотреть вопрос о том, какие организационные меры можно принимать для обеспечения безопасной для всех эвакуации.

12. Выводы

Сегодня представление движения людских потоков в существующих моделях эвакуации, как правило, основано на старых данных, которые не учитывают увеличение доли пожилых людей и людей, страдающих ожирением. В связи с этим модели людских “потоков” и подходы к проектированию необходимо пересмотреть. Как подчеркивалось в этой публикации, доля пожилых людей и людей, страдающих ожирением, увеличилась за последние 40 лет, и ожидается, что эти тенденции сохранятся в ближайшие 40 лет. Утверждается, что эти изменения приведут к тому, что люди будут двигаться медленнее, а в случае ожирения уменьшится допустимая плотность людского потока, выражаемая в количестве человек на квадратный метр. Таким образом, поток, который является результатом скорости движения и плотности, уменьшился за последние 40 лет и, как ожидается, еще больше сократится в ближайшие 40 лет. Это имеет значительные последствия для пожарной безопасности и безопасности жизнедеятельности в существующих зданиях, которые были спроектированы на основе старых данных и эвакуация из которых в будущем может занять больше времени, чем предполагалось первоначально. Кроме того, устаревшие данные, используемые в моделях эвакуации, влияют на точность текущих расчетов зданий. Эта статья имеет углубленное освещение проблемы увеличения доли пожилых людей и людей, страдающих ожирением, в обществе, но для решения этой проблемы необходимы дополнительные исследования. Утверждается, что лучший способ решения — пересмотреть движение людского потока, принимая в расчет взаимодействие людей, что является иным подходом к сложившемуся пониманию движения толпы. Предполагается, что существующие потоки могут измениться более чем на 36 %. Этот изменяющийся фактор (или его причины) можно было бы использовать для модификации руководств по проектированию или нормативно-правовой документации на ближайшее время, пока не будет получено более точное понимание сложных взаимодействий биомеханики и прогнозируемых демографических изменений населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfyonenko A. P., Belosokhov I. R. Study of children evacuation from pre-school education institutions // *Fire and Materials*. — 2012. — Vol. 36, issue 5-6. — P. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
2. 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. — P. 587–593.

3. *Kholshevnikov V. V., Shields T. J., Boyce K. E., Samoshin D. A.* Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia // *Fire Safety Journal*. — 2008. — Vol. 43, issue 2. — P. 108–118. DOI: 10.1016/j.firesaf.2007.05.005.
4. *Предтеченский В. М., Милинский А. И.* Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. — М. : Стройиздат, 1969. — 247 с.
5. *Hankin B. D., Wright R. A.* Passenger flow in subways // *Operational Research Quarterly*. — 1958. — Vol. 9, No. 2. — P. 81–88. DOI: 10.2307/3006732.
6. *Fruin J. J.* Pedestrian planning and design. — New York : Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners Inc., 1971.
7. *Pauls J.* Movement of people // *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* / DiNenno P. J., Beyer C. L., Custer R. L. P., Walton W. D., Watts J. M. W., Drysdale D., Hall J. R. (eds.). — 2nd ed. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1996. — P. 3-263–3-285.
8. *Pauls J. L., Fruin J. J., Zupan J. M.* Minimum stair width for evacuation, overtaking movement and counterflow. Technical bases and suggestions for the past, present and future // *Pedestrian and Evacuation Dynamics* / Waldau N., Gattermann P., Knoflacher H., Schreckenberger M. (eds.). — Berlin : Springer Verlag, 2005. — P. 57–69. DOI: 10.1007/978-3-540-47064-9_5.
9. World Population Ageing 2013 / United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. — New York : United Nations, 2013. URL: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf>.
10. World Population Prospects: the 2012 revision, key findings and advance tables / United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. — New York : United Nations, 2013. URL: <https://informationsociety.files.wordpress.com/2015/01/wpp2012-key-findings.pdf>.
11. Obesity Update 2012 / Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2012. URL: <http://www.oecd.org/health/49716427.pdf>.
12. *Kuligowski E. D., Peacock R. D., Reneke P. A., Wiess E., Hagwood C. R., Overholt K. J., Elkin R. P., Averill J. D., Ronchi E., Hoskins B. L., Spearpoint M.* Movement on stairs during building evacuations / NIST Technical Note 1839. — USA : National Institute of Standards and Technology, 2015. DOI: 10.6028/NIST.TN.1839.
13. *Pauls J. L.* Building evacuation: research findings and recommendations // *Fires and Human Behaviour* / Cantor D. (ed.). — New York : John Wiley & Sons, 1980. — P. 251–275.
14. *Peacock R. D., Hoskins B. L., Kuligowski E. D.* Overall and local movement speeds during fire drill evacuations in buildings up to 31 stories // *Safety Science*. — 2012. — Vol. 50, issue 8. — P. 1655–1664. DOI: 10.1016/j.ssci.2012.01.003.
15. *Ando K., Ota H., Oki T.* Forecasting the flow of people // *Railway Research Review*. — 1988. — Vol. 45, No. 2. — P. 8–14 (Japanese).
16. *Boyce K. E., Shields T. J., Silcock G. W. H.* Towards the characterization of building occupancies for fire safety engineering: capabilities of disabled people moving horizontally and on an incline // *Fire Technology*. — 1999. — Vol. 35, issue 1. — P. 51–67. DOI: 10.1023/a:1015339216366.
17. Guide to Safety at Sports Grounds (Football) (also known as the ‘Green Guide’). — 3rd ed. — UK : HMSO, 1985.
18. *Nelson H. E., MacLennan H. A.* Emergency movement // *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* / DiNenno P. J., Beyer C. L., Custer R. L. P., Walton W. D., Watts J. M. W., Drysdale D., Hall J. R. (eds.). — 2nd ed. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1996. — P. 3-286–3-295.
19. PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant Evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6). — London, UK : British Standards Institution, 2004.
20. Report by SCICON Ltd. on safety in football stadia: a method of assessment / Lord Justice Taylor’s Final Report, Technical Working Part on the Guide to Safety at Sports Grounds. — UK : Home Office, 1989.
21. The Building Regulations 2000. Approved Document B: Fire Safety (Volume 2 — Buildings other than dwelling houses). — 2006 ed. — Department of Communities and Local Government (DCLG), 2007.
22. NFPA 101. Code for safety to life from fire in buildings and structures. — Washington, DC : U. S. Department of Commerce, 2012.
23. Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships / MSC.1/Circ.1238. — London : International Maritime Organisation, October 2007.
24. 2012 Disability Status Report. United States. — Ithaca, NY : Cornell University, Employment and Disability Institute, 2012. — 64 p. URL: http://www.disabilitystatistics.org/StatusReports/2012-PDF/2012-StatusReport_US.pdf.

25. *Older S. J.* Movement of pedestrians on footways in shopping streets // *Traffic Engineering and Control*. — 1968. — Vol. 10. — P. 160–163.
26. *Polus A., Schofer J. L., Ushpiz A.* Pedestrian flow and level of service // *Journal of Transportation Engineering*. — 1983. — Vol. 109, issue 1. — P. 46–56. DOI: 10.1061/(asce)0733-947x(1983)109:1(46).
27. *Pauls J. L.* In: *Fires and Human Behaviour* / *Canter D.* (ed.). — London : John Wiley & Sons Ltd., 1980. — P. 227–275, Chapters 13 and 14.
28. *Society at a glance: OECD social indicators*. — Paris : OECD Publishing, 2006.
29. *Martin J. A., Hamilton B. E., Osterman M. J. K., Curtin S. C., Mathews T. J.* Births: final data for 2012 // *National Vital Statistics Reports*. — Vol. 62, No. 9. — Hyattsville, MD : National Center for Health Statistics, 2013.
30. *Arias E.* United States Life Tables, 2006 // *National Vital Statistics Reports*. — 2010. — Vol. 58, No. 21. — 40 p. URL: http://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr58/nvsr58_21.pdf.
31. *Have kids, settle down: marital and maternal age since 1938* / UK Parliament Research Publications, 2013. URL: <http://www.parliament.uk/business/publications/research/olympic-britain/population/have-kids-settle-down/>.
32. *The 2015 ageing report: economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013–2060)*. — Brussels : European Commission, 2015. — 424 p.
33. *Reeves N. D., Spanjaard M., Mohagheghi A. A., Baltzopoulos V., Maganaris C. N.* The demands of stair descent relative to maximum capacities in elderly and young adults // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. — 2008. — Vol. 18, issue 2. — P. 218–227. DOI: 10.1016/j.jelekin.2007.06.003.
34. *Kang H. G., Dingwell J. B.* Effects of walking speed, strength and range of motion on gait stability in healthy older adults // *Journal of Biomechanics*. — 2008. — Vol. 41, issue 14. — P. 2899–2905. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.08.002.
35. *Fujiyama T., Tyler T.* Free walking speeds on stairs: effects of stair gradients and obesity of pedestrians // *Pedestrian and Evacuation Dynamics* / *Peacock R., Kuligowski E., Averill J.* (eds.). — Boston, MA : Springer, 2011. — P. 95–105. DOI: 10.1007/978-1-4419-9725-8_9.
36. *Triggle N.* Fat patients ‘prompts ambulance fleet revamp’ // *BBC News. Health*. — 3 February, 2011. URL: <http://www.bbc.co.uk/news/health-12287880>.
37. *Obesity and overweight* // *WHO Fact sheet No. 311*, 2015. URL: <http://www.who.int/mediacentre/fact-sheets/fs311/en/>.
38. *Fryar C. D., Carroll M. D., Ogden C. L.* Prevalence of obesity among children and adolescents: United States, trends 1963–1965 through 2009–2010. — Hyattsville, MD : National Center for Health Statistics, 2012. — 6 p. URL: http://www.cdc.gov/nchs/data/hestat/obesity_child_09_10/obesity_child_09_10.htm.
39. *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.
40. *Spearpoint M., MacLennan H. A.* The effect of an ageing and less fit population on the ability of people to egress buildings // *Safety Science*. — 2012. — Vol. 50, issue 8. — P. 1675–1684. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.12.019.
41. *Hulens M., Vansant G., Claessens A. L., Lysens R., Muls E.* Predictors of 6-minute walk test results in lean, obese and morbidly obese women // *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. — 2003. — Vol. 13, issue 2. — P. 98–105. DOI: 10.1034/j.1600-0838.2003.10273.x.
42. *He X. Z., Baker D. W.* Body mass index, physical activity, and the risk of decline in overall health and physical functioning in late middle age // *American Journal of Public Health*. — 2004. — Vol. 94, issue 9. — P. 1567–1573. DOI: 10.2105/ajph.94.9.1567.
43. *Kuligowski E. D., Peacock R. D.* A review of building evacuation models / *NIST Technical Note 1471*. — Washington : U. S. Government Printing Office, 2005. — 156 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1471.
44. *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.
45. *Stahl F.* Final report on the “BFIRES/Version 1” computer simulation of emergency egress behaviour during fires: calibration and analysis / *NBSIR 79-1713*. — Washington, DC : U. S. Department of Commerce, NBS, Center for Building Technology, March 1979. DOI: 10.6028/nbs.ir.79-1713.
46. *Kisko T. M., Francis R. L.* EVACNET+: A computer program to determine optimal building evacuation plans // *Fire Safety Journal*. — 1985. — Vol. 9, issue 2. — P. 211–220. DOI: 10.1016/0379-7112(85)90009-8.
47. *Fahy R. F.* EXIT 89: An evacuation model for high-rise buildings // *Proceedings of the 3rd International Symposium of Fire Safety Science*. — London : Elsevier Science Publishers, 1991. — P. 815–823.

48. Ketchell N., Cole S. The EGRESS code for human movement and behaviour in emergency evacuations // Engineering for Crowd Safety / Smith R. A., Dickie J. (eds.). — Amsterdam : Elsevier, 1993. — P. 361–370.
49. 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. — P. 149–162.
50. STEPS — simulation of transient evacuation and pedestrian movements. User Manual. — Croydon: Mott MacDonald Group, 2003 (unpublished work).
51. 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. — P. 331–340.
52. Thompson P. A., Marchant E. W. A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. — 1995. — Vol. 24, issue 2. — P. 131–148. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00019-p.
54. Legion International. URL: <http://www.legion.com/legion-software>.
55. Thompson P. A. Developing new techniques for modelling crowd movement : Ph. D. — Scotland, University of Edinburgh, Department of Building and Environmental Engineering, 1995.
56. Cappuccio J. Pathfinder: a computer-based timed egress simulation // Fire Protection Engineering. — 2000. — Vol. 8. — P. 11–12.
57. TraffGO “Product Information — PedGo Editor”. Pamphlet, 2005.
58. Oasys MassMotion // AEC Magazine. — 25 July 2011. URL: <http://aecmag.com/software-mainmenu-32/445-oasys-massmotion>.
59. 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>.
60. Togawa K. Study of fire escapes basing on the observation of multitude currents: Report No. 14. — Tokyo : Building Research Institute, 1955.
61. Pauls J. L. In: Fires and Human Behaviour / Canter D. (ed.). — London : John Wiley & Sons Ltd., 1980. — P. 227–275, Chapters 13 and 14.
62. Thompson P., Lindstrom H., Olsson P. A., Thompson S. Simulex: analysis and changes for IMO compliance // Proceedings of the Second International Conference in Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED). — London : University of Greenwich, 2003.
63. Purser D. A. Toxicity assessment of combustion products // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / DiNenno P. J. et al. (eds.). — 3rd ed. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2002. — P. 2-83–2-171.