

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.

Самошин Д.А.

Академия государственной противопожарной службы МЧС России

Реферат.

Вероятность обеспечения безопасности людей в начальной стадии пожара в большой степени (ГОСТ 12.1.004-91, приложение 2), а иногда и полностью (СНИП 21.01-97, п.6.4) зависит от эвакуации людей. Поэтому критериями обеспечения безопасности людей является своевременность и беспрепятственность их эвакуации (СНИП 21.01-97, п.6.1). Однако, в прогнозировании расчетными методами ГОСТ 12.1.004-91 выполнения этих критериев имеется ряд существенных недостатков, которые необходимо устранить при разработке положений технического регламента по пожарной безопасности, предусматриваемого Федеральным законом от 27.12.2002г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (Статья 8, п.4).

Введение.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 (приложение 2, п.2.4) общее время эвакуации людей складывается из интервала «времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей», $\tau_{н.э}$, и расчетного времени эвакуации, t_p , которое представляет собой сумму времени движения людского потока по отдельным участкам (t_i) его маршрута от места нахождения людей в момент начала эвакуации до эвакуационных выходов из помещения, с этажа, из здания.

Два-три коротких абзаца ГОСТ 12.1.004-91 разъясняют как следует определять значения $\tau_{н.э}$. Во-первых: «Значение времени начала эвакуации $\tau_{н.э}$ для зданий (сооружений) без системы оповещения вычисляются по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения». При этом: «Зданиями (сооружениями) без системы оповещения считаются те здания (сооружения), возникновение пожара внутри которых может быть замечено одновременно всеми находящимися там людьми». Здесь же пишется: «Если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть

обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то $\tau_{н.э}$ допускается принимать равным нулю».

Но здесь же содержатся и такие рекомендации: «При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях (сооружениях) без систем оповещения величину $\tau_{н.э}$ следует принимать равной 0,5 мин для этажа пожара и 2 мин – для вышележащих этажей». Неминуем естественный вопрос: «Каким образом возникновение пожара внутри многоэтажного здания может быть замечено одновременно всеми находящимися в нём людьми?» Очевидно, что такие здания не подпадают под данное в ГОСТ определение зданий «без систем оповещения». Следовательно, зданиями (сооружениями) без систем оповещения являются те из них, которые просто не имеют таких систем или они в них не работают. Но тогда появляется вопрос об обоснованности значений 0,5 мин и 2 мин, поскольку «при отсутствии необходимых исходных данных» эти значения должны быть, по-видимому, максимальными из возможных (ожидаемых) значений. Не так ли?

Во-вторых, согласно п.2.5 приложения 2 ГОСТ 12.1.004-91: «При наличии в здании систем оповещения о пожаре значение $\tau_{н.э}$ принимают равным времени срабатывания системы с учетом её инерционности». В этом случае, как видно, психофизические качества человека не учитываются вообще: как только он получил сигнал о пожаре - так мгновенно начал эвакуироваться. Авторы этого положения считают необходимым учесть инерционность системы оповещения, забывая при этом тот общеизвестный факт, что и человек имеет время реакции, а различные системы оповещения – различную эффективность воздействия на человека. Поскольку время начала эвакуации может превосходить в ряде случаев время самой эвакуации, то состояние исследований поведения человека в этот период должно быть внимательно рассмотрено по крайней мере на информационном уровне.

Ряд проблемных вопросов возникает и при определении значений t_p согласно положениям ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97. СНиП требуют (п.6.1) обеспечения своевременности и беспрепятственности эвакуации людей «независимо от их возраста и физического состояния» (п.4.1). ГОСТ же, во-первых, допуская скопления людей на путях эвакуации (п.2.4), легализирует нарушение беспрепятственности движения, а во-вторых, используя расчетные детерминированные зависимости между параметрами людского потока (табл.2), не учитывает в явном виде возможной гаммы значений этих параметров для людей различного возраста и физического состояния.

Кроме того, ГОСТ своим ограниченным набором формул не воспроизводит полной кинетики людских потоков (их переформирование и растекание в процессе движения; образование скоплений и их рассасывание; время задержки движения из-за скоплений при различной интенсивности подходящих потоков; вызванные этими процессами

количественные изменения параметров движения людских потоков через границы смежных участков путей и при их слияниях; закономерности движения по участкам «неограниченной» и переменной ширины; закономерности выбора людьми маршрутов эвакуации и т.д.). Использование этого ограниченного набора формул, когда регламентируется (приложение 2, обязательное) «Метод определения уровня пожарной безопасности людей», с одной стороны, создает иллюзию [1,2,3] , что им и ограничивается теория людских потоков, а с другой стороны, приводит к противоречивым (расчетное время эвакуации занижено [4] , расчетное время эвакуации завышено [1]) результатам.

В данном случае причина таких расхождений состоит прежде всего в методологической ошибке разработчиков ГОСТ 12.1.004 , которые дословно заимствовав положения раздела 1 приложения 1 СНиП 11-2-80 «Пожарные нормы проектирования», не смогли понять, что в этих нормах они использовались для регулирования решений эвакуационных путей и выходов, которые могли быть изменены при проектировании, а в ГОСТе – для оценки уже существующей системы эвакуационных путей. СНиП 11-2-80 не допускали, например, задержек движения из-за скопления людей на границах смежных участков пути, поэтому и не содержали соответствующих формул для их расчета. Требования соблюдения критериев СНиП 11-2-80 стимулировали поиск способов оптимизации размеров путей движения людских потоков (например, [5]), возможных при проектировании. ГОСТ же лишь оценивает то объемно-планировочное решение здания, которое есть и поэтому должен содержать полный инструмент оценки для каждого конкретного случая, если он на это претендует.

Претензии на оценку или регламентацию ставят вопрос об инструменте оценки. Неверная оценка безопасности людей при пожаре угрожает жизни и здоровью людей, а их защита является основной целью технического регламента (ФЗ №183 от 28.12.2002г, статья 6, п.1). Поэтому должен быть регламентирован и инструмент , минимизирующий риск неверной оценки.

В отличие от материалов, изделий и конструкций, имеющих материальное воплощение, образцы которого могут быть испытаны до их реализации, эвакуация людей в чрезвычайных условиях пожара не может быть «испытана» заблаговременно. Поэтому инструментом её оценки является моделирование и разрабатываемые на его основе методы аналитического расчета. К сожалению, далеко не всегда аналитические методы определения расчетного времени (заметим, кстати, как и необходимого времени) эвакуации могут заменить методы моделирования такого сложного процесса, как эвакуация людей. Стремление обратить внимание на это специалистов и является целью настоящей статьи.

Задержка начала эвакуации.

Необходимость учета времени начала эвакуации впервые в нашей стране установлена ГОСТ 12.1.004. Это, безусловно, его прогрессивная новация. Новизной вопроса и его недостаточной научной проработанностью можно, по-видимому, объяснить и отмеченные недостатки в установлении нормируемых значений $\tau_{н.э.}$. Но некоторые из них трудно объяснимы и для начального этапа исследований, а другие должны были бы быть откорректированы за 12 лет действия этого ГОСТа. Тем более это необходимо сделать в преддверии разработки технического регламента.

Исследования, проведенные в различных странах, показали, что при получении сигнала о пожаре, человек будет исследовать ситуацию, оповещать о пожаре, пытаться бороться с огнем, собирать вещи, оказывать помощь и т.п. Среднее значение время задержки начала эвакуации (при наличии системы оповещения) может быть невысоким, но может достигать и относительно высоких значений. Например, значение 8,6мин было зафиксировано при проведении учебной эвакуации в жилом здании [11], 25,6мин в здании Всемирного Торгового Центра при пожаре в 1993 году [12].

Ввиду того, что продолжительность этого этапа, существенно влияет на общее время эвакуации, очень важно знать, какие факторы определяют его величину (следует иметь ввиду, что большинство этих факторов также будут влиять на протяжении всего процесса эвакуации). Опираясь на существующие работы в этой области, можно выделить следующие:

- состояние человека: устойчивые факторы (ограничение органов чувств, физические ограничения [13, 14, 15]), временные факторы (сон/бодрствование [16]), усталость, стресс [17], а также состояние опьянения);

- система оповещения [18,19,20];
- действия персонала [21,22,23-33];
- динамика ОФП [6];
- социальные и родственные связи человека. [6,34-37];
- противопожарный тренинг и обучение [11,21,22];
- тип здания [6,37];

На поведение при пожаре будет влиять пол и возраст человека [6,9], темперамент [17], а также другие факторы.

Эксперименты, проводимые в настоящее время с участием автора в университете Ольстера (Великобритания), показывают, что даже служащие торговых комплексов, получающие регулярный противопожарный тренинг и имеющие четкие обязанности, при получении сигнала о пожаре не всегда ведут себя адекватно: большинство из них тратят время на сбор дополнительной информации, не все из них сразу активируют пожарную сигнализацию, начинают эвакуировать посетителей и т.п.

В общем, создается впечатление, что большинство людей на этом этапе непродуктивно тратит время, а по мнению ряда авторов [22], именно задержка начала эвакуации ведет к гибели и травмам на пожаре. Поэтому изучение поведения людей в этот период чрезвычайно актуально. Оно и составляет основу сформировавшегося за рубежом направления Human Behaviour in Fires, рассматриваемого в настоящее время как самостоятельная область противопожарной науки. Однако, методологическая разрозненность работ, особенно в последнее десятилетие, вынудила одного из ведущих представителей этого направления Джонатана Сайма охарактеризовать [37] этот период как период эклектизма. Наши отечественные ученые, анализируя и более ранние работы этого направления, указывают на то, что полученные в них «результаты оценки поведения, состояния и действия людей на пожаре могут быть охарактеризованы либо как слишком общие, либо, наоборот, как слишком частные. Несмотря на кажущуюся обширность и многомерность они не являются достаточно конкретными... Большинство проводимых экспериментов носит характер простого наблюдения и внешней регистрации действий потерпевших и не опираются на теоретические представления»[9, с.168].

При таком состоянии зарубежных исследований в этой области замечательным достижением следует считать, что в нашей стране была найдена [40,41] ещё в конце 70-х годов прошлого столетия та теоретическая основа анализа поведения людей в начальной стадии пожара, которая не только объясняет эмпирику наблюдаемых фактов, но и закладывает рациональную основу методологии дальнейших исследований. Она базируется на теории статистических решений в психофизике. Было показано, что как принятие человеком решения о том, есть или нет сигнал о действительном возникновении пожара в поступающих косвенных признаках (запах гари, дым, шум, сообщения и т.п.) , так и решения о необходимости эвакуации выносятся человеком на основе сопоставления вероятности правильной гипотезы с вероятностью ложной тревоги. Если отношение плотности вероятностей правильной гипотезы к плотности вероятностей ложной тревоги превышает некоторое пороговое значение, то принимается положительное решение; в противном случае оно отвергается.

Каждый человек имеет своё представление о стоимости различных решений в условиях существования различных гипотез о состоянии объекта. Тогда оказывается, что его правило принятия решения является оптимальной стратегией, предписывающей выбирать ту гипотезу, для которой средний условный риск при данном наблюдении оказывается наименьшим. Таким образом, каждый человек использует, можно сказать, субъективно-оптимальную стратегию поведения. Задача управления эвакуацией состоит в том, чтобы всеми доступными способами приблизить эту субъективно-оптимальную стратегию к объективно-необходимой.

Выдвинутые теоретические положения расставляют, так сказать, по местам перечисленные выше факторы в системе формирования поведения людей при пожаре, позволяют объективно оценить степень воздействия каждого из них на субъективные правила принятия решений и целенаправленно искать эффективные способы их корректировки.

К сожалению, в нашей стране не проводятся целенаправленные исследования поведения людей в период с момента возникновения пожара до начала эвакуации. По-видимому, даже не анализируется состояние нормирования $\tau_{н.э}$ в других странах. С этой точки зрения, интересно обратиться к Британскому стандарту DD240 [20], в котором время задержки начала эвакуации поставлено в зависимость от функционального назначения здания и системы оповещения о пожаре (табл. 1).

Таблица 1

Время задержки начала эвакуации

Тип и характеристика здания	Время задержки начала эвакуации, мин, при типах систем оповещения		
	W1	W2	W3
Административные, торговые и производственные здания <i>(посетители находятся в бодрствующем состоянии, знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации).</i>	<1	3	>4
Магазины, выставки, музеи, досуговые центры и другие здания массового назначения. <i>(посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации).</i>	<2	3	>6
Общежития, интернаты <i>(посетители могут находиться в состоянии сна, но знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации)</i>	<2	4	>5
Отели и пансионаты <i>(посетители могут находиться в состоянии сна, и быть не знакомыми с планировкой здания и процедурой эвакуации)</i>	<2	4	>6
Госпитали, дома престарелых и другие тому подобные заведения. <i>(значительное число посетителей может нуждаться в помощи)</i>	<3	5	>8

Примечание. Характеристика системы оповещения

W1 – оповещение и управление эвакуацией оператором;

W2 – использование записанных заранее типовых фраз и информационных табло;

W3 – сирена пожарной сигнализации.

Несмотря на то, что конкретные цифры критикуются специалистами, DD240 дает хорошее представление о том, как можно связать некоторые факторы между собой. В работе [38] предложены понижающие коэффициенты, учитывающие иные параметры. Например, 0.5, если план эвакуации регулярно отрабатывается, 0.3-0.5, если персонал хорошо тренирован и т.п. На основе данных, приведенных в работе [39], среднее арифметическое значение $\tau_{н.э}$ составляет около 5 мин.

ГОСТ 12.1.004-91 предусматривает, что спустя период времени $\tau_{н.э}$ человек приступит к эвакуации. СНиП 21-01-97 также рассматривает эвакуацию людей как основной способ обеспечения их безопасности при пожаре. Однако, опросы людей [6-10] после пожара показали, что около трети из них не захотели эвакуироваться. Эту цифру не следует абсолютизировать – она относится преимущественно к жилым зданиям. Но ряд специалистов [22,42-44] также считают, что в определенных случаях эвакуация не является безопасной и целесообразнее оставаться в зданиях. Это относится прежде всего к зданиям повышенной этажности [45, 46] и к зданиям, в которых находятся люди с физическими ограничениями. Во всяком случае эвакуация не всегда должна, а иногда и не может заканчиваться выходом людей наружу сразу же. Вопрос устройства в необходимых случаях пожаробезопасных зон обсуждается, как известно, на протяжении десятков лет. Теперь он положительно разрешился, по крайней мере, для зданий с пребыванием маломобильных групп населения [47].

Решив эвакуироваться, человек будет выбирать возможный маршрут своего движения. И здесь не всегда будет срабатывать стереотип поведения «движение к ближайшему эвакуационному выходу». Многие факторы могут влиять на выбор маршрута, тем более, если угроза опасности не столь очевидна. Влияние представления об объемно-планировочном решении здания достаточно ясно, но может быть при этом человек будет стремиться быстрее попасть к наружному выходу, ближе к которому он оставил машину или своих близких. Традиционность объемно-планировочных решений, свойственная функциональным типам зданий, помогает человеку сориентироваться должным образом даже в случае, если он попал в данное здание первый раз. На выбор маршрута или его этапов должны оказывать значительное влияние расстояния до эвакуационных выходов и их загрузка. Но и в этом случае не приходится рассчитывать на стереотип «кратчайшего расстояния». Как показали уникальные исследования российских ученых [48-50], распределение эвакуирующихся из зрелищных залов значительно отличается от него. Психология поведения человека при выборе маршрутов эвакуации приводит к тому, что и распределение людского потока после выхода из зала происходит не пропорционально расстоянию до последующих эвакуационных выходов, а описывается сложной логистической

зависимостью. В этих исследованиях впервые было показано психологическое влияние возможности визуального восприятия дальнейшего маршрута движения на выбор его направления: до 68% людей предпочитают эвакуироваться по открытым лестницам даже, если они находятся на тех же расстояниях, что и закрытые лестничные клетки. Спустя 20 лет аналогичные результаты были получены и в Великобритании [35] при тренировочных не анонсированных эвакуациях покупателей из магазинов.

Однако результаты всех этих исследований перечеркиваются, если в новом техническом регламенте по пожарной безопасности будет сохранено требование СНиП 21-01-97: «При устройстве двух эвакуационных выходов каждый из них должен обеспечивать безопасную эвакуацию всех людей, находящихся на этаже или в здании. При наличии более двух эвакуационных выходов безопасная эвакуация людей, находящихся в помещении, на этаже или в здании должна быть обеспечена эвакуационными выходами, кроме каждого одного из них» (п.6.15). Трудно не согласиться с оценкой этих требований: «При таком «сценарии» необходимо было бы определять предельно допустимое расстояние до наиболее удаленного эвакуационного выхода. Следовательно, п.п. 6.15 и 6.23 противоречат друг другу. А чего стоит при этом «сценарий» требования п.п.6.11 и 6.29 с соответствующей им вполне вероятной необходимостью удвоения в этом случае ширины марша лестницы»[51, с.87].

Чем же может быть вызвано появление таких требований? Очевидно, не предусматриваемой возможностью возникновения пожара перед одним из выходов, поскольку тогда и при одном выходе следовало бы считать, что он не функционирует. Очевидно, авторы этого пункта находились под глубоким впечатлением тех многочисленных случаев в нашей стране, когда в нарушение противопожарных требований при эксплуатации часть эвакуационных выходов оказывается закрытой, что приводит к известным трагическим последствиям при эвакуации людей даже из крупных спортивных сооружений. Но не таким образом следует бороться с этими безобразиями! Ведь становится невозможной плановая организация эвакуации, даже разработка ее планов, которые должны быть в каждом здании.

Итак, решив эвакуироваться и наметив маршрут, человек начинает двигаться в выбранном направлении по начальному участку пути. Люди,двигающиеся одновременно в общем направлении по общим участкам эвакуационного пути, и образуют людской поток – некую временную совокупность людей, людскую массу, индивидуальное поведение людей в которой значительно нивелируется. Закономерностями движения этой массы людей по эвакуационным путям определяется, как известно, расчетное время эвакуации.

Определение расчетного времени эвакуации.

Требование: «Эвакуационные пути должны обеспечивать эвакуацию через эвакуационные выходы всех людей, находящихся в помещениях зданий и сооружений, в течение необходимого времени эвакуации» впервые было введено в отечественное нормирование СНиП –11-2-80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» (п.4.1). Там же указывалось: «Расчетное и необходимое время эвакуации из помещений и зданий устанавливается в соответствии с приложением 1» (п.4.6). Эти два пункта обозначили разделительный рубеж между существовавшим до 1980 года интуитивно-субъективным подходом к нормированию эвакуационных путей и выходов и пришедшим ему на смену принципом расчетного нормирования их размеров. Он базировался на объективных закономерностях движения людских потоков и критериях обеспечения безопасности людей при эвакуации в начальной стадии пожара:

$$t_p \leq t_{нб} , \quad (1)$$

$$D_p \leq D_{нб} = D \text{ при } q_{\max} \quad (2)$$

Авторами содержания этих пунктов и приложения 1 были практически реализованы результаты многолетних научно-исследовательских работ по изучению людских потоков и начального этапа исследований динамики опасных факторов пожара, которые благодаря этому получили в дальнейшем интенсивное развитие [52]. Этот подход означал и фактический переход к «гибкому нормированию», о котором заговорили спустя 10-15 лет. Парадоксально, но под этим предлогом, по-видимому, и был изъят этот принцип из строительных норм и правил проектирования. В результате имеем СНиП 21-01-97, в котором не осталась ни одного количественного критерия требований обеспечить «своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей» (п.6.1). Без количественной регламентации своевременности и беспрепятственности эвакуации людей эти требования превращаются из норм в декларацию. Очевидно, при разработке нового регламента по пожарной безопасности зданий и сооружений такая регламентация должна быть восстановлена, причем в более развернутом, чем прежде виде. Необходимый для этого методический подход сегодня может быть найден [53].

Проблема поиска компактной по форме и достаточной по содержанию структуры изложения в нормах сложной теоретической системы была и будет стоять перед разработчиками технического регламента. Поэтому полезно попытаться понять, как она решалась при разработке раздела 1 «Расчетное время эвакуации» приложения 1 СНиП 11-2-80, поскольку было необходимо не только вписаться в жесткие рамки формы, диктуемые нормирующими органами («только основные положения, никаких моделей – только простейшие расчеты, вместо математических выражений зависимостей – их значения в табличной

форме, все зависимости – детерминированные» [52]), но и провести беспристрастный анализ состояния теорий людских потоков. Необходимость такого анализа определялась, как можно понять [41,51,54], следующими основными причинами.

Эмпирическая база натуральных наблюдений людских потоков в зданиях различного назначения, на которую ориентировались теоретические построения [55,59], получившие широкое признание за рубежом, [56,57,58], хотя и была самой обширной в мире в 60-х годах, но составляла лишь четверть той, которая была накоплена к концу 70-х годов. Количественное разнообразие результатов проведенных серий натуральных наблюдений остро поставило проблему теоретического обоснования наблюдаемых зависимостей между параметрами людских потоков. Это - во-первых. Во-вторых, несмотря на кажущуюся простоту, графоаналитический метод расчета людских потоков [55,59] был трудоемок для проектной практики и недостаточно полно отображал существующее словесное описание этого процесса.

Диктуемый этими проблемами огромный объем научно-исследовательских работ был проделан в кратчайшие сроки (их результаты не успели даже войти в повторное издание книги Предтеченского В.М. и Милинского А.И. и были опубликованы позже – см. [51]). Как итог этих работ впервые имеем [41] :

- статистический анализ однородности выборочных совокупностей значений скорости людских потоков в 69 сериях натуральных наблюдений и экспериментов;
- описание людского потока как случайного процесса;
- общий вид зависимости скорости людского потока в виде случайной функции:

$$V_{D,j} = V_{0,j} (1 - a_j \ln \frac{D_i}{D_{0,j}}) ;$$

(3)

- математическую модель свободного движения людского потока (SDLP), основанную на соотношениях теории вероятностей;
- стохастическую имитационную модель анализа движения людских потоков

(ADLPV) и ее детерминированный вариант (ADLP).

Все эти новые теоретические положения были применены при установлении расчетных зависимостей между параметрами людских потоков в табл.1 СНиП 11-2-80 и затем в табл.2 ГОСТ 12.1.004-97 (перепечатанной с ошибками*). Эти расчетные зависимости являются

* В таблице 2 приложения 2 ГОСТ 12.1.004 -91 содержится 2 ошибки.

1. Пропущена строка соответствующая плотности 0.6 м²/м².

1	2	3	4	5	6	7	8
0.6	27	16.2	19	24	14.4	18	10.6

частными реализациями случайной функции (3). Значения скорости свободного движения $V_{0,j}$ в них выбраны таким образом, что эти зависимости аппроксимируют максимальные значения расчетного времени эвакуации, полученное в результате моделирования по программе ADLPV движения людских потоков по выявленным общим для зданий различного назначения расчетным схемам путей эвакуации. Это достаточно широко известно не только в нашей стране [41,51,54], но и за рубежом [60,61,62]. Удивительно при этом, что некоторые специалисты высших учебных заведений МЧС России и Белоруссии то, пользуясь этими результатами теории, спрашивают: «Где теория?» [1], то в качестве научной новизны устанавливают по данным табл.2 ГОСТ 12.1.004 формулы, по которым они получены [4], то моделируют параметры людских потоков, используя вместо них потоки заявок [2,3].

Математическое описание зависимостей между параметрами людских потоков – вторая часть (после установления самой совокупности параметров) модели. Третья часть – описание изменений состояний потока (его перемещений) в пространстве. Вот здесь-то обычно и возникают у специалистов разных профилей близкие их пониманию аналогии, например, гидроаналогия, но и движение людского потока имеет свои закономерные особенности: переформирования и растекания частей потока, их слияние и переход на смежные участки пути. Например, при переходе на участок меньшего сечения скорость людского потока снижается. Скорость же водного потока в таких случаях увеличивается. Поэтому ясно, что водный поток не может быть физической моделью людского потока, соответственно его математическое описание неправомерно распространять на людской поток. Возможны и другие аналогии и соответствующие им компьютерные программы. Западный рынок программных продуктов дает достаточно большое количество таких примеров [63]. Однако, рынок есть рынок и анализ покупок на нем четко показывает, что покупаются именно те программы, в которых учитывается «человеческий фактор», а не потоки фантомов. Реализации модели потока сопутствует и модель пространства, в котором происходит его движение. Требуемая детализация модели пространства определяется уровнем, на котором рассматриваются модели людских потоков. Так, например, при использовании модели ADLPV производится разметка эвакуационных путей на «элементарные» участки и намечаются маршруты движения людских потоков, а затем производится одновременное моделирование их движения.

Перечисленные составные части модели соответствуют тому уровню, на котором поток рассматривается как функциональный процесс

2. При движении по лестнице вниз при плотности $0.3 \text{ м}^2/\text{м}^2$ интенсивность движения равна 15.6 (а не 16.6) м/мин.

Примечание. Значения скорости и интенсивности движения в зависимости от плотности потока с шагом 0.01 находятся на страницах справочно-информационного ресурса «Эвакуация при пожаре» в интернете по адресу: www.FireEvacuation.ru.

при проектировании коммуникационных или эвакуационных путей зданий [55] и пешеходных путей территорий [64]. Но людские потоки могут рассматриваться и на других уровнях: на более общем (макро) или, наоборот, на более детальном (микро). На макро уровне людские потоки рассматриваются, например, при проектировании структуры города как пассажирские и пешеходные потоки. На микро уровне людской поток анализируется при моделировании индивидуального поведения и, соответственно, передвижения людей в нем.

Каждый из уровней использует свои характеристики людских потоков. Чем выше уровень, тем более генерализированные характеристики в нем используются. Но характеристики более высокого уровня должны развертываться в систему показателей более низкого уровня. Так, например, данные о пассажиропотоках в больших городах детализируются в почасовую нагрузку на станции метрополитена, которая и служит исходными данными для определения ожидаемой величины людских потоков при проектировании станций и пересадочных узлов метрополитена

[65]. Также и показатели индивидуального передвижения людей в потоке при его микро моделировании должны воспроизводить в своей совокупности статистику наблюдаемых закономерностей людского потока. С рассмотренной точки зрения моделирование людских потоков на уровне, соответствующем проектированию путей эвакуации, а, следовательно, её нормированию в ГОСТ и СНиП, является связующим звеном между макро и микро уровнями. Поэтому его корректность имеет решающее значение для всех этих уровней.

Реализуемость математического моделирования и, тем более, наглядность его результатов зависят в большой степени от технических возможностей. В отсутствие ЭВМ наиболее точным и наглядным методом математического моделирования людских потоков был графоаналитический [55]; с появлением ЭВМ – модели ADLPV и SDLP с соответствующими им программами, которые модернизируются по мере развития компьютерной техники и её программного обеспечения. Но при любом способе и технике моделирования оценкой качества модели всегда была и будет степень воспроизведения ею моделируемого реального процесса. В мировой литературе чаще заявляется, чем демонстрируется степень соответствия моделей и натурных наблюдений людских потоков. В отличие от западных специалистов представители российской высшей школы не коммерциализируют, а весьма детально, даже в учебных пособиях [55-59,66,67], излагают разработанные ими методы и полученные результаты. В свете изложенного, приведенные на рис.1 графики реально наблюдаемых людских потоков и полученные при моделировании с теми же исходными данными, уникальны. Они взяты из [65,68], публиковались в нашем журнале и за рубежом [62,69,70] .

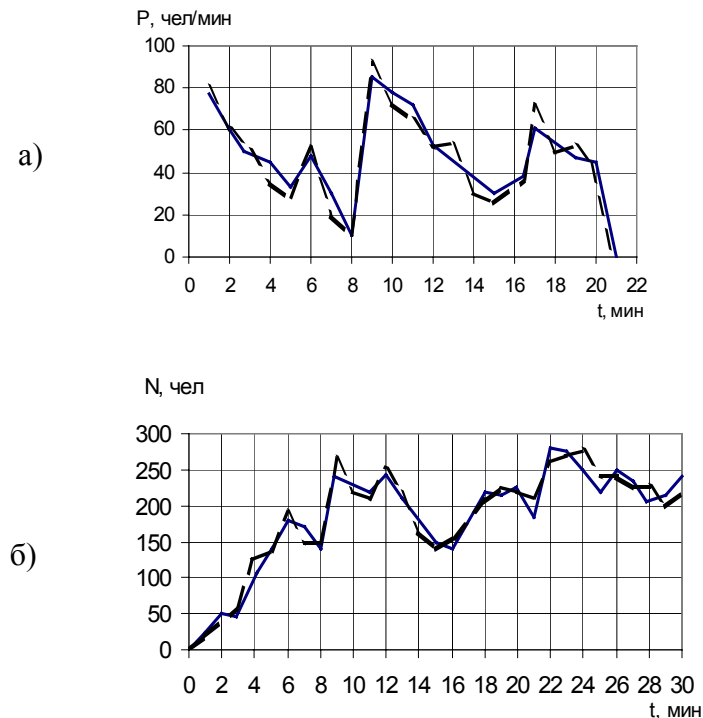


Рис. 1. Сопоставления результатов наблюдений (—) и моделирования (-----). а) модель SDLP; свободное движение на предзаводской территории; б) модель ADLPV; движение людского потока по коммуникационным путям московского метрополитена.

Приведенные графики позволяют наглядно оценить высокую степень соответствия моделируемого и реального количества людей, проходящих в сечение в пути в последовательные моменты времени: наблюдаемые значения лежат в границах доверительных интервалов моделирования, а сложная динамика распределения – практически идентична (вот где проявляется искусство и наука имитационного моделирования [71], а не в безответственных суждениях и дилетантских упражнениях [3]). Столь высокое качество модели ADLPV позволяет принять её результаты в качестве эталонных при сравнении с результатами, полученными графоаналитическим методом и по формулам тех основных положений, которые вошли в ГОСТ 12.1.004. Рассмотрим простейший пример, приведенный в [59, с.114].

Определим различными методами расчетное время эвакуации 100 человек в уличной одежде, находящихся в потоке с плотностью 0,4 в начале сорокаметрового коридора шириной 2м, разделенного посередине стеной с проемом шириной 1м. Расчетные зависимости между параметрами людского потока соответствуют значениям табл.2 ГОСТ 12.1.004. Очевидно, что поток занимает вначале коридора участок длиной 5,6м, а расстояние его головной части до проема 4,4м.

Расчет по формулам ГОСТ 12.1.004.

Параметры потока на участке i : $D_i=0.4$, $V_i=39,24$ м/мин, $q_i=15.7$ м/мин. Время движения потока до границы смежного (до проёма) участка пути: $t=4,4/39,24=0,11$ мин. Интенсивность движения потока в проеме:

$$q_{i+1} = \frac{q_i \cdot \delta_i}{b_{i+1}} = \frac{15.7 \cdot 2}{1} = 31.4 \text{ м/мин} > q_{\max}, \quad \text{следовательно перед проемом}$$

образуется скопление людей. Интенсивность движения через проем: $q_{i+1}=2.5+3.75b=2.5+3.75 \cdot 1=6.25$ м/мин. При этих параметрах определяется время движения через проем как частное от деления количества людей в

потоке на пропускную способность проема $t_{i+1} = \frac{N \cdot f}{q \cdot b} = \frac{100 \cdot 0.125}{6.25 \cdot 1} = 2.0 \text{ мин}.$

Интенсивность на участке $i+2$: $q_{i+2} = \frac{q_{i+1} b_{i+1}}{b_{i+2}} = \frac{6.25 \cdot 1}{2} = 3.12 \text{ м/мин}$ Тогда,

$D_{i+2}=0.03$, $V_{i+2}, 100 \text{ м/мин}$. Время движения по участку $i+2$: $t_{i+2}=20/100=0,2$ мин. Время выхода головной части потока: $t_{i+2_1} = 0.11 + 0.20 = 0.31 \text{ мин}$. Время выхода замыкающей части потока (расчетное время) составляет: $t_{i+2_2} = 0.11 + 2.0 + 0.20 = 2.31 \text{ мин}$ Результаты расчета представлены на рис.2.

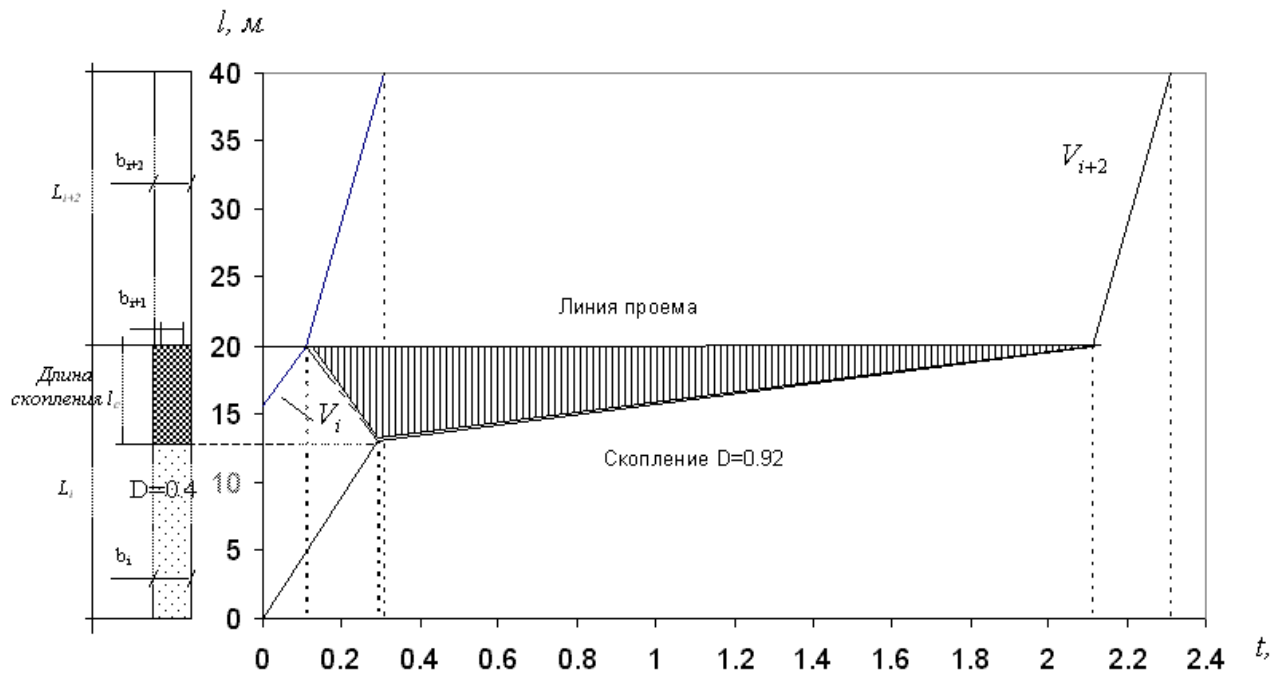


Рис. 2. Определение расчетного времени эвакуации по формулам ГОСТ 12.1.004-91*

Расчет графоаналитическим методом.

В момент начала движения за счет растекания поток сразу разделяется на две части. Первая из них, имея перед собой свободное пространство, идет с параметрами свободного движения: $D_{i_1}=0.05$, $V_{i_1}=100$ м/мин, $q_{i_1}=5$ м/мин. Вторая – с параметрами основной части: $D_{i_2}=0.4$, $V_{i_2}=39,24$ м/мин, $q_{i_2}=15.7$ м/мин. Между частями потока происходит переформирование: последующая часть потока постепенно приобретает параметры впереди идущей части. Скорость переформирования потока между первой и второй частями составит:

$$V'_{i_{1+2}} = \frac{q_{i_1} - q_{i_2}}{D_{i_1} - D_{i_2}} = \frac{5,0 - 15,7}{0,05 - 0,4} = 30,6 \text{ м/мин};$$

Первая часть потока подойдет к проему за время:

$$t_{i_1} = \frac{L_1 - l_n}{V_{i_1}} = \frac{20 - 15,6}{100} = 0,04 \text{ мин.}$$

Вторая часть потока ($D_{i_2}=0.4$) подойдет к

$$\text{проему за время: } t_{i_2} = \frac{L_1 - l_n}{V_{i_1}} = \frac{20 - 15,6}{30,6} = 0,14 \text{ мин.}$$

Определим параметры движения в проеме. Для первой части потока:

$$q_{i+1} = \frac{q_i b_1}{b_{i+1}} = \frac{5,0 \cdot 2}{1} = 10 \text{ м/мин} < q_{i+1 \max}. \text{ Для второй части потока } (D_{i_2}=0,4):$$

$$q_{i+1_2} = \frac{q_{i_2} b_1}{b_{i+1}} = \frac{15,7 \cdot 2}{1} = 31,4 \text{ м/мин} > q_{i+1 \max}. \text{ Следовательно, перед проемом}$$

образуется скопление с максимальной плотностью 0,92.

Параметры движения потока в проеме, который представляет собой границу между участками i и $i+2$ будут: $D_{i+1_2}=0,92$, $V_{i+1_2}=6,8$ м/мин, $q_{i+1_2}=6,25$ м/мин. Скорость образования скопления людей:

$$V'_c = \frac{q_{i+2} \frac{b_{i+1}}{b_i} - q_{i_2}}{D_{i+1_2} - D_{i_2}} = \frac{6,25 \frac{1}{2} - 15,7}{0,92 - 0,4} = -24,2 \text{ м/мин}$$

Полученные результаты нанесем на график (рис.3).

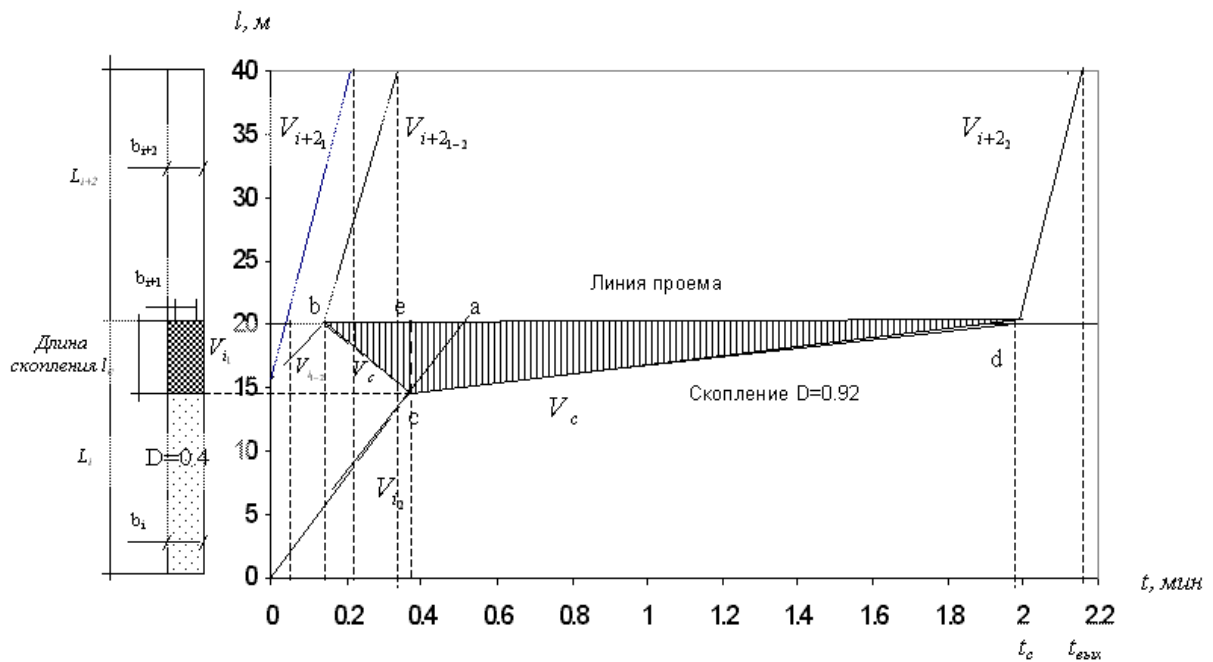


Рис. 3. Определение расчетного времени эвакуации графоаналитическим методом.

На графике проводим прямую из точки b до пересечения с прямой oa в точке c . В этот момент образование скопления людей прекратится и

начинается процесс рассасывания потока. Скорость рассасывания скопления определяется по формуле: $V_c = V_{i+2} \frac{b_{i+1}}{b_i} = 6,8 \frac{1}{2} = 3,4 \text{ м/мин}$. Из точки c проводим прямую до пересечения в точке d с горизонталью, определяющей на графике положения проема. Из графика следует, что поток покинет участок в момент t_c , т.е. через 1,98 минут после начала движения. Точка c определяет наибольшую величину скопления l_c , которая распространилась почти на 5,4 метра по участку от проема.

Определим параметры движения на участке $i+2$: для первой части потока:

$$q_{i+2_1} = \frac{q_{i+1} b_{i+1}}{b_{i+2}} = \frac{10 \cdot 2}{2} = 5 \text{ м/мин}; \text{ т.е. параметры движения такие же как и на}$$

участке i , поскольку вид пути и ширина обоих участков одинаковы, а движение через проем происходило беспрепятственно: $D_{i+2_1} = 0,05$,

$$V_{i+2_1} = 100 \text{ м/мин}. \text{ Для второй части потока: } q_{i+2_2} = \frac{q_{i+1_2} b_{i+1}}{b_{i+2}} = \frac{6,25 \cdot 1}{2} = 3,1 \text{ м/мин},$$

следовательно $D_{i+2_2} = 0,03$ $V_{i+2_2} = 100 \text{ м/мин}$. Время движения головной и

$$\text{замыкающей частей потока составит } t_{i+2_1} = \frac{L_{i+2}}{V_{i+2}} = \frac{20}{100} = 0,2 \text{ мин}.$$

Искомое расчетное время составит: $t_p = t_c + t_{n+2} = 1,98 + 0,20 = 2,18 \text{ мин}$.

Моделирование по ADLPV.

Значение расчетного времени эвакуации, полученное по программе ADLPV, составило 1,9 мин

Данные результатов расчета, полученные разными методами представлены в табл.2.

Результаты расчета сравниваемыми методами.

Метод расчета	Расчетное время эвакуации, мин	Время существования скопления, мин
Графоаналитический	2,18	1,84
По формулам ГОСТ 12.1.004	2.31	2,00
Модель ADLP	1.90	1,25

Можно заключить, что для этой ситуации, расхождение связано с различным времени существования задержки движения. Проанализируем причины расхождения, полученного различными методами (рис.4).

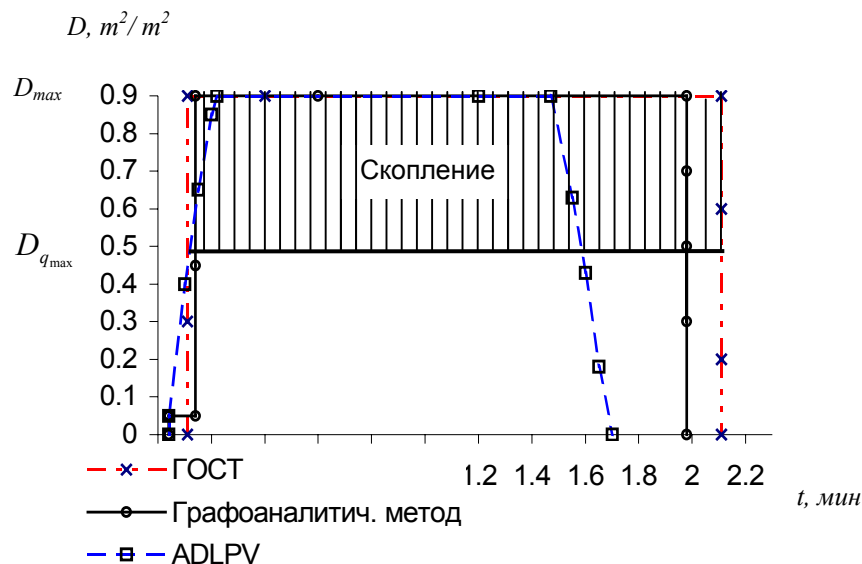


Рис. 4. Динамика расчета скопления людей перед проемом по формулам ГОСТ, графоаналитическим методом и с помощью ЭВМ (модель ADLPV).

Самый грубый расчет – по формулам ГОСТ, так как не учитывается растекание и переформирования потока. Как только головная части потока достигнет проема, по расчету $q > q_{max}$ – моментально образуется скопление людей с максимальной плотностью. Графоаналитический метод позволяет получить более точные результаты. Головная часть потока (за счет растекания) успевает беспрепятственно преодолеть проем до подхода основной части потока. При достижении основной частью проема (по

расчету $q > q_{max}$) - моментально образуется скопление людей с максимальной плотностью. Более близкие к реальности данные дает модель ADLP. Моделирование показывает, что плотность перед проемом нарастает постепенно. В работе В.А.Копылова [72], в которой исследовались людские потоки с высокими плотностями, указывается, что нарастание плотности происходит постепенно (а не мгновенно, как принято в графоаналитическом методе или в ГОСТ). Время достижения плотности от момента $D_{q_{max}}$ до D_{max} по его данным составляет 5-7 секунд. По результатам моделирования ADLP это время составляет 4.8с.

Как видно, расхождение результатов связано прежде всего с тем, сколько людей успеют пройти через проем до образования скопления. Эти люди будут иметь возможность преодолеть проем с более высокой скоростью, а количество людей в скоплении уменьшится и тем самым заметно сократится время существования скопления. Таким образом, расчет даже такой элементарной схемы путей движения длиной 40 м по формулам ГОСТ ведет к 20% увеличению времени эвакуации по сравнению с более точным моделированием на ЭВМ. Расчет графоаналитическим методом, который более точен, однако значительно более трудоемок, ведет к почти 15% увеличению времени эвакуации по сравнению с результатами моделирования.

По сути дела, такой результат вполне ожидаем. Разработчики раздела «Расчетное время эвакуации» СНиП 11-2-80, ограниченные предоставляемыми возможностями [51], были вынуждены искать и, как видим, нашли такую систему методологических приемов нормирования, которая давала бы результаты расчетов параметров эвакуации людей достаточно близкие к ожидаемым в реальных ситуациях, но гарантированно не выходящие за их границы.

Тем не менее, использование в нормировании детерминированного подхода не дает вероятностных характеристик полученных результатов, необходимых для оценки рисков. Приписывание в ГОСТ значения

вероятности 0,999 случаю, когда $\tau_{н.э} + t_p \leq t_{бл}$, некорректно, поскольку не основывается на оценке вероятности отклонений максимальных значений от их математического ожидания. Для этого необходима статистика результатов моделирования с учетом того, что скорость людского потока является случайной величиной. Для этого и разработана модель ADLPV – Анализ Движения Людских Потокoв, Вероятность. Так, например, расчетное время эвакуации людей с участка автотранспортного тоннеля при его длине 50 м по модели ADLP при детерминированных зависимостях $V = f(D)$ имеет значение $t_p = 0,97$ мин. Расчет же по программе ADLPV 30-ти реализаций этой зависимости как случайной функции при $V_0 = 90 \div 120$ м/мин даёт статистический ряд распределения значений t_i , приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Статистический ряд значений t_i завершения эвакуации.

Δt	0.78-0.84	0.84-0.90	0.90-0.96	0.96-1.02	1.02-1.08
N	4	11	9	5	1
P(t)	0.13	0.37	0.30	0.17	0.03

Вероятные изменения значений t_i лежат в интервале $m_t \pm 3\sigma$, что и позволяет определить максимальную продолжительность эвакуации $t_p = t_{\max} = m_t + 3\sigma = 0.906 + 3 * 0.064 = 1.098$ мин., а не 0,97 мин., т.е. в данном случае на 13,2% выше. А этому значению и соответствует вероятность 0,999.

Стохастическое моделирование позволяет учесть неоднородность состава людского потока и тем самым определить границы корректных результатов при микро моделировании. На основе выявленных закономерностей между параметрами движения людского потока [41,51] и самой богатой в мире базы данных по исследованию людских потоков предложен алгоритм [69], позволяющий моделировать движения здоровых людей различного пола и возраста, находящихся в различном

эмоциональном состоянии в потоке любой плотности, двигающихся по любому виду пути. Следует отметить, что модели Simulex и Exodus [63], разработанные в Англии около 10 лет назад, позволяют осуществлять такое моделирование, но они основаны на весьма скудных данных реальных наблюдений.

Этот алгоритм может быть использован и для разработки моделей индивидуального движения в потоке представителей маломобильных групп населения [73], которые составляют 7-8% от общего числа, а в торговых комплексах [74] приблизительно 10% от числа посетителей. Особенно актуальна разработка таких моделей для расчета эвакуации немобильных людей. Число таких людей в больницах может достигать 15-20% от общего числа пациентов [75,76]. Требуется установление не только крайне необходимых параметров «несамостоятельного перемещения» [77,78], но и специальных сценариев их эвакуации: люди оказывающие им помощь, должны найти носилки (или иные средства), вынести человека, вернуться за следующим и т.п.

Модели индивидуального движения важны для анализа ситуации, когда распространение ОФП может перекрыть первоначально намеченный маршрут эвакуации. С другой стороны, при реальной эвакуации торгового комплекса несколько раз наблюдалась такая ситуация, когда персонал здания открывал выходы, которые в начальной стадии эвакуации были закрыты. Изменение ситуации и в том и в другом случае влечет за собой изменение маршрутизации людских потоков. Можно было бы привести и другие примеры изменения ситуаций, однако итак очевидно, что разработка модели индивидуального движения людей в потоке актуальна на ближайшую перспективу.

Выводы.

Поведение человека в начальной стадии пожаре определяет ряд факторов, чрезвычайно важных для расчета эвакуации: собственно время

задержки, маршрутизацию и скорость движения. Таким образом, надо не только «механически» учитывать время задержки, но и предпринимать попытки моделирования такого поведения. В целом, поведение человека при пожаре интенсивно исследуется во всем мире. Например, только за последние 5 лет в Великобритании и США были проведены 2 международных симпозиума, целиком посвященные вопросам поведения человека при пожаре [79,80], на который было представлено 156 работ.

Расчет времени эвакуации по формулам ГОСТ даёт значения, существенно превосходящие ожидаемые. Расчет графоаналитическим методом даёт более точные результаты, но он слишком трудоемок. Графоаналитический метод – это уникальный метод, аналогов у него не было, нет, и скорей всего уже не будет. Ни в одной стране мира (судя по опубликованным работам), кроме нашей, никогда не было законченного «ручного» метода расчета эвакуации людей. Но он уже недостаточно точен из-за формализации условий образования скоплений, принятия условия мгновенного образования максимальной плотности, невозможности учесть в составе потока движение людей различных групп мобильности.

Решением указанных проблем является использование ЭВМ. Однако, вынужденное использование детерминированных зависимостей между параметрами людских потоков и аналитических методов расчета не позволяет учесть многообразие психофизиологических данных людей ни в статистике вероятностей их поведения, ни индивидуально. Поэтому для оценки степени риска для людей при эвакуации назрела необходимость моделирования эвакуации людей как случайного процесса. Высокий уровень теоретической обоснованности и соответствия реальным результатам позволяет считать, что в качестве стандартизированной модели должна быть принята модель ADLPV, реализуемая современным программным обеспечением. На её основе необходимо разработать модели индивидуального поведения людей в потоке, позволяющие предвидеть особенности хода процесса эвакуации с учетом людей, чьи

психофизиологические показатели отклоняются от среднестатистических в зданиях различных классов функционально пожарной опасности. Такие модели помогут также прогнозировать необходимость и выбор рациональных способов спасения людей.

Литература.

1. Дмитриченко А.С., Соболевский С.А., Татарников С.А. Новый подход к расчету вынужденной эвакуации людей при пожарах.// Пожаровзрывобезопасность. №6.2002.
2. Таранцев А.А. Моделирование параметров людских потоков при эвакуации с использованием теории массового обслуживания.// Пожаровзрывобезопасность №6.2002.
3. Таранцев А.А. Об одной задаче моделирования эвакуации с использованием теории массового обслуживания.// Пожаровзрывобезопасность. №3.2002.
4. Андреев А.О. Экспресс-оценка возможностей первичных средств пожаротушения в управленческих решениях при осуществлении государственного пожарного надзора: Дис...канд. техн. наук –М.,2000.
5. Холщевников В.В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания.: Дис....канд. техн. наук. – М., 1969.
6. Wood P. Behaviour Under Stress: People in Fires. PhD Thesis. Loughborough University of Technology, 1979.
7. Bryan J. L. Implications for Codes and Behaviour Model from the Analysis of Behavior Response Patterns in Fire Situations as Selected from the Project People and Project People II Study Programs, University of Maryland, 1983.
8. Canter D. An Overview of Human Behaviour in Fires. In: Fires and Human Behaviour. D. Canter, London, David Fulton Publisher: p.205-234, 1990.
9. Дутов В.И., Чурсин И. Г. Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре. Москва, Защита, 1993.
10. Saunders W. L. Occupant Decision Making in Office Buildings Fire Emergencies. PhD Thesis. Victoria University. Sydney, 2002.
11. Proulx G., Fahy R., The Time Delay To Start Evacuation: Review of Five Case Studies. Proceedings Of The Fifth International Symposium On Fire Safety Science, 1997, pp.783-795.
12. Fahy R. F., Proulx G., Human Behaviour in the World Trade Centre Evacuation. Proceedings Of The Fifth International Symposium On Fire Safety Science, 1997, pp. 713-726.
13. Pearson R. G., Joost M. G. Egress Behaviour Response Times of Handicapped and Elderly Subjects to Simulated Residential Fire Situations. Washington, National Bureau of Standards, 1983.
14. Boyce K. E. Egress Capabilities of People with Disabilities. PhD Thesis. University of Ulster, Belfast. 1996.

15. Proulx G., Housing Evacuation of Mixed Abilities Occupants -a Case Study. CIW W14 Fire Engineering for People with Mixed Abilities, University of Ulster, 1993, pp.229-246.
16. Bruck D. The who, what, where and why of waking to fire alarms: a riview. Fire Safety Journal, vol. 36, pp. 623-639, 2001.
17. Котик М.А. Психология и безопасность. Таллин, Валгус, 1981.
18. Bellamy L. L., Geyer T.A.W. Experimental Programme to Investigate Informative Fire Warning Characteristics for Motivation Fast Evacuation. Borehamwood, UK, Fire Research Station, 1990.
19. Proulx G., Sime J.D. To Prevent "Panic" in an Underground Emergency: Why not Tell People The Truth? Proceedings Of The Third International Symposium On Fire Safety Science, 1991, pp. 843-852.
20. Draft British Standard BS DD240 Fire Safety Engineering in Buildings Part 1: Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles, British Standards Institution, 1997.
21. Pauls J. L. Building Evacuation: Findings and Recommendations. Fires and Human Behaviour. D. Canter, London, John Wiley and Sons: p.251-276, 1980.
22. Brennan P., Tomas I. Predicting evacuation response and fire fatalities. Second International Symposium on Human Behaviour in Fire. (Shields et al), MIT, Boston, Interscience Communication Ltd, 2001, pp.321-332.
23. Woolworth: The Inquest. Fire 72(892): 245-248, 1979.
24. Bahme C. W. Department store fire Mexicali, Mexico. Fire Journal, May, 1969, 34-36.
25. Department store fire at Liverpool. Loss of eleven lives, F.P.A. Journal, vol 54, 1961. pp.125-135.
26. Department store, Amagasaki, Japan. Fire prevention, Vol. 232, 1990.p. 50.
27. The fire at Wollworth's, Piccadilly, Manchester on 8 May 179. Home office fire department report. 1980.
28. Five die in fire which destroyed department store. Fire prevention, Vol. 176, pp. 41-43, 1980.
29. Singapore department store fire. Fire Prevention, N105, pp. 44-46. 1974.
30. Singapore department store fire: nine found dead in lift. Fire International. Vol 4, N43, pp. 74-77, 1974.
31. The Taiyo department store, Japan, Fire prevention N 105, pp. 41-43, 1974.
32. Ten employees die in department store fire. Fire command, Vol. 46, Issue 7. 1979.
33. Swift and orderly evacuation of 500 people in Norwich department store. FPA Journal vol. 90, pp. 47-49.1971.
34. Bryan J. L. A Phenomenon of Human Behaviour Seen in Selected High-Rise Buildings Fire. Fire Journal November, pp. 27-90, 1985.
35. Шильдс Т. Дж., Бойс К.Е., Самошин Д.А. Исследование эвакуации крупных торговых комплексов// Пожаровзрывобезопасность - 2002, № 6

36. Jones B. K., Hewitt, A. Leadership and Group Formation in High Rise Building Evacuations. Proceedings Of The First International Symposium On Fire Safety Science, New York, Hemisphere Publishing Corp., 1986.
37. Sime J. Understanding Human Behaviour in Fires - An Emerging Theory of Occupancy. Inaguration Lecture on 14 October 1999. University of Ulster 1999.
38. Heskestad A. W., Meland, O.J., Determination Of Evacuation Times As A Function Of Occupant And Building Characteristics and Performance Of Evacuation Measures. Human Behaviour in Fire - Proceedings of the First International Symposium. Belfast, UK, University of Ulster, 1998, pp. 673-680.
39. Fahy R., Proulx G. Toward creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modeling. Second International Symposium on Human Behaviour in Fire. (Shields et al), MIT, Boston, Interscience Communication Ltd, 2001, pp. 175-184.
40. Нормы безопасности для эвакуации из школьных зданий, в частности, в районах, подверженных естественным катастрофам. – Отчет по контракту № 506463 между ЮНЕСКО и МИСИ./ науч. рук..Холщевников В.В.- М., 1979.
41. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов.: Дисс. доктора техн. наук – М., 1983.
42. Macdonald N. J. Non-Evacuation in compartmented fire resistive buildings can makes sense. International Conference on Building Use and Safety Technolody, 1985, pp. 169-174
43. Dunn V. The Dangers of Fire Escapes. Fire Technology 143(5), 1990. pp. 38-44.
44. MacLennan H. A. To evacuate or not to evacuate: Which is the safer opinion? Second International Symposium on Human Behaviour in Fire, (Shields et al), MIT, Cambridge, Boston, Interscience Communication Ltd, 2001, pp. 477-488.
45. Sio Ming Lo. The use of designed refuge floors in high-rise building. Applied Fire Science. – 1997. – 7, №3 p. 287-299.
46. Levin B. M. Groner N.E. Human Behaviour Aspects of Staging Areas for Fire Safety In GSA Buildings, National Institute of Standards and Technology, 1992.
47. СНиП 35-01-2001. Доступность зданий и сооружений для мало мобильных групп населения. М., 2001.
48. Овсянников А.Н. Закономерности формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных сооружениях: Дис....канд. техн. наук – М., 1983.
49. Овсянников А.Н., Холщевников В.В. Закономерности маршрутизации людских потоков в зрелищных сооружениях.// Исследования по функциональным физико-техническим и эстетическим проблемам архитектуры. Томский госуниверситет, 1988.
50. Холщевников В.В., Овсянников А.Н., Голубинский А.П., Швейцер И.С. Рекомендации по расчету путей эвакуации из зальных помещений и из

зданий спортивных сооружений./ Справочное пособие к СНиП.- М.,Стройиздат.1991.

51. Холщевников В.В. Исследование людских потоков и методологии нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. -М.: МИПБ МВД РФ, 1999.

52. Холщевников В.В. Критерии своевременной и безопасной эвакуации людей при пожаре./ Проблемы пожарной безопасности в строительстве. Материалы научно-практической конференции. Москва 17 апреля 2001г. – М., АГПС МВД РФ, 2001.

53. Холщевников В.В. Проблемы оценки безопасности людей при пожарах в уникальных зданиях и сооружениях.// Пожаровзрывобезопасность. 2003. №4.

54. Холщевников В.В. Теория людских потоков.// Пожаровзрывобезопасность. 2001. №6.

55. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. – М., Стройиздат . 1969.

56. Predtechenski V.M., Milinski A.I. Personenstrome in Gebauden.- Berechnungsmethoden fur die Projektierung. Koln Braunsfeld, 1971.

57. Predtechenskii V.M., Milinskii A.I. Evakuace osobz budov.- Ceskoslovensky Svaz pazarni ochrany. Praha, 1972.

58. Predtechenskii V.M., Milinskii A.I.Planning for Foot Traffic Flow in Buildings.- New Delhi, 1978.

59. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. – М., Стройиздат . 1979.

60. Chols[^]evnikov V.V. Die Gesetzmepigkeit der Bewegung von Personen – stro men and die Gestaltung raumlich-funktionellor Losunger fur Gebaude and Anlagen.//Wissenschaftliche Zeitchrift. Jahrgaung 3/1979. Heft 6. Technische Hochschule Leipzig.

61. Holschevnikov V.V., Predtetchenski M.V. Analises and Modeling the relationships between pedestrian flow parameters.-CIB W 14/81/37. 1986.

62. Kholschevnicov Valery V. Foot traffic flow: actual observations, experiments and theory.// Fire Bridge: University of Ulster – Russia. Proceeding of 1st International Conference. Fire SERT University of Ulster. 4/5 September 2000.

63. Холщевников В. В., Самошин Д.А., Галушка Н.Н. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации зданий и сооружений// Пожаровзвывобезопасность 2002. № 5.

64. Холщевников В.В. Расчет оптимальных вариантов пешеходных путей в городских узлах.// На стройках России. 1983. № 3.

65. 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

66. Холщевников В.В., Никонов С.А., Шамгунов Р.Н. Моделирование и анализ движения людских потоков в зданиях различного назначения. М., МИСИ, 1986.
67. Holschevnikov V.V., Nikonov S.A., Shamgunov R.N. Modeling and analysis of pedestrian flow movement in various facilities.- CIBW 14/87/14.
68. Айбуев З. С.-А. Формирование людских потоков на предзаводских территориях крупных промышленных узлов машиностроительного профиля: Дис....канд.техн.наук.- М., 1989.
69. Kholshchevnikov V. V., Shields T.J., Samoshyn D. A. Foot traffic flows: background for modeling. Second International Conference In Pedestrian And Evacuation Dynamics (PED). August 20-22, University of Greenwich, London. UK.
70. Kholshchevnikov V.V., Shields T.J., Samoshyn D.A., Galushka M.G. Modelling of pedestrian flows. 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards, September 8-12 2003, University of Ulster, Londonderry, UK.
71. Шенон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.:Мир.1978.
72. Копылов В.А. Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации: Дис.... канд. техн. наук. - М., 1974.
73. Шурин Е.Т., Апаков А.В. Выделение групп населения по мобильным качествам и индивидуальное движение в людском потоке как основа моделирования движения "смешанных" людских потоков при эвакуации.//В сб. "Проблемы пожарной безопасности в строительстве"- М.:АГПС МВД России, 2001, с.36-42
74. Hokudo A., Tsumura A., Murosaki Y., An investigation on proportion and capability of disabled people at shopping centres for fire safety. Second International Symposium on Human Behavior in fire. 2001, pp. 167-174.
75. Norma CSSR CSN 73 0835. Pozarni bespecnost staveb. Vodovy dravotnickych zarizeny.- 1980. /Пожарная безопасность зданий. Здания учреждений здравоохранения// Всесоюзный центр переводов . – М., 1983
76. Архангельская А. А. Принципы формирования типов и объемно планировочной структуры больниц восстановительного лечения. Дис...канд. техн .наук. – М.,1982.
77. Hall J. Patient Evacuation in Hospital. Fire and Human Behaviour. D. Canter (Ed). Chichester, John Wiley And Sons. 1980, pp. 205-226.
78. Шурин Е. Т. Самошин Д.А. Результаты экспериментов по определению некоторых параметров эвакуации мобильных людей при пожаре//10 научно-техническая конференция "Системы безопасности".- М. АГПС, 2001 - с. 114-117
79. Shields T. J. (Editor). Human Behaviour in Fire. Proceedings of the First International Symposium, Belfast, UK, University of Ulster, 1998.
80. Shields T. J. (Editor). Human Behaviour in Fire. Proceedings of the Second International Symposium, Boston, USA. Massachusetts Institute of Technology 2000.