

В. В. Холщевников, Д. А. Самошин

**ЭВАКУАЦИЯ
И ПОВЕДЕНИЕ ЛЮДЕЙ
ПРИ ПОЖАРАХ**

Москва 2009

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ, Д. А. САМОШИН

ЭВАКУАЦИЯ И ПОВЕДЕНИЕ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Утверждено Редакционно-издательским советом
Академии ГПС МЧС России

Москва 2009

УДК 614.841
ББК 38.96
Х74

Рецензенты:

Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

С. В. Пузач

Доктор технических наук, профессор

В. М. Есин

Холщевников В. В., Самошин Д. А.

Х74 Эвакуация и поведение людей при пожарах: Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 212 с.

Рассмотрены основные факторы, влияющие на поведение людей при пожарах и характерные действия человека при получении сообщения о пожаре. Приведены параметры, характеризующие людской поток, психофизиологические закономерности связи между параметрами и кинематические закономерности их изменения при движении людского потока во время эвакуации. Дано математическое описание основных расчетных случаев движения и приведены примеры расчета. Рассмотрены требования пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам, нормированию их размеров и обеспечению беспрепятственной и своевременной эвакуации людей.

Учебное пособие соответствует Государственному образовательному стандарту «Безопасность жизнедеятельности» и примерной учебной программе курса «Пожарная безопасность в строительстве». Пособие предназначено для слушателей и студентов пожарно-технических, строительных и архитектурных высших и средне-специальных учебных заведений, а также может быть полезно специалистам проектных и научно-исследовательских организаций, нормативных и экспертных органов.



УДК 614.841
ББК 38.96

© Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2009

© Холщевников В. В., Самошин Д. А., 2009

Глава 1. ИСХОДНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Введение

Пожар в здании – чрезвычайное происшествие, состоящее в возникновении и развитии процесса неконтролируемого горения, при котором образуются поражающие факторы и создается угроза их воздействия на население, материальные ценности здания и на окружающую среду.

На начало XXI века в странах земного шара регистрируется до 7 млн пожаров ежегодно, на которых погибает около 70 тыс. человек, до 1 млн человек получают травмы, а потери от пожаров и затраты на борьбу с ними достигают 1 % валового национального продукта стран мирового сообщества. В России в расчете на 1000 человек населения происходит на 40 % пожаров больше, чем в мире в среднем, а количество людей, погибших на них, в расчете на 100 тыс. чел., в 9–10 раз больше, чем в среднем по другим странам мира [1].

Так, в 2002 г. при 145-миллионном населении страны на пожарах погибло 19 988 человек [2], т. е. в расчете на 1 млн населения – 138 человек, погибших при пожарах. По оценке Всемирного центра пожарной статистики, это – «ужасающие показатели смертности при пожарах» [3]. При этом, «по крайней мере, в 10 раз больше людей получает при пожарах тяжелые ожоги и травмы» [4].

Но ГОСТ 12.1.004 [5] требует, чтобы «допустимый уровень пожарной опасности для людей должен быть не более 10^{-6} воздействия опасных факторов пожара, превышающих предельно допустимые значения, в год в расчете на каждого человека». Следовательно, статистические данные показывают, что в нашей стране фактический уровень пожарной опасности для людей превышает нормативный уровень более чем в 1000 раз! И это в то время как строительными нормами и правилами по пожарной безопасности зданий и сооружений [6] декларируется «приоритетность требований, направленных на обеспечение безопасности людей при пожаре, по сравнению с другими противопожарными требованиями». Поэтому сегодня, как и тысячи лет прежде, для людей эвакуация остается естественным способом самим спасти себя в современных чрезвычайных ситуациях.

Эвакуация – не только индивидуальная потребность человека, но и первостепенное требование обеспечения безопасности людей в отечественных противопожарных нормах строительного проектирования, п. 6.1 [6] раздела «Обеспечение безопасности людей» которых гласит: «Требования настоящего раздела направлены:

– на своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей;

- спасение людей, которые могут подвергнуться воздействию опасных факторов пожара;
- защиту людей на путях эвакуации от воздействия опасных факторов пожара».

Нормы [6] определяют: «Эвакуация представляет собой процесс организованного самостоятельного движения людей наружу из помещений, в которых имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара. Эвакуацией также следует считать несамостоятельное перемещение людей, относящихся к маломобильным группам населения, осуществляемое обслуживающим персоналом. Эвакуация осуществляется по путям эвакуации через эвакуационные выходы».

При этом в п. 6.4 норм [6] записано: «Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную эвакуацию людей через эвакуационные выходы из данного помещения без учета применяемых в нем средств пожаротушения и противодымной защиты».

В связи с этим необходимо рассмотреть, прежде всего, суть явлений и содержание понятий используемых в нормативных документах, что и является задачей первой главы.

1.1. ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЖАРА

В развитии пожара в помещении обычно выделяют три стадии:

- начальная стадия – от возникновения локального неконтролируемого очага горения до полного охвата помещения пламенем; при этом средняя температура среды в помещении имеет невысокие значения, но внутри и вокруг зоны горения температура такова, что скорость тепловыделения выше скорости отвода тепла из зоны горения, что обуславливает самоускорение процесса горения;
- стадия полного развития пожара – горят все горючие вещества и материалы, находящиеся в помещении; интенсивность тепловыделения от горящих объектов достигает максимума, что приводит и к быстрому нарастанию температуры среды помещения до максимальных значений;
- стадия затухания пожара – интенсивность процесса горения в помещении снижается из-за расходования находящейся в нем массы горючих материалов или воздействия средств тушения пожара (рис. 1.1).

Однако в любом случае, как показывает уравнение «стандартного пожара» [8], температура в очаге пожара через 1,125 мин достигает значения 365 °С. Поэтому очевидно, что возможное время эвакуации людей из помещений не может превосходить продолжительности начальной стадии пожара.

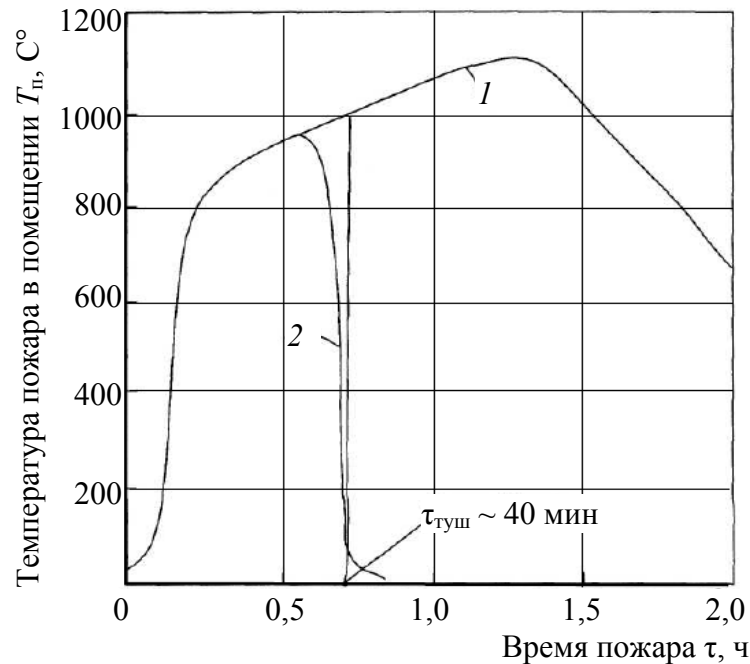


Рис. 1.1. Расчетный температурный режим в помещении клинической больницы [7]:
 1 – без учета тушения; 2 – с учетом тушения

В начальной стадии развития пожара опасными для человека факторами являются: пламя, высокая температура, интенсивность теплового излучения, токсичные продукты горения, дым, снижение содержания кислорода в воздухе, поскольку при достижении определенных уровней они поражают его организм, особенно при синергическом воздействии.

Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что максимальная температура, кратковременно переносимая человеком в сухой атмосфере, составляет 149 °С, во влажной атмосфере вторую степень ожога вызывало воздействие температуры 55 °С в течение 20 с и 70 °С при воздействии в течение 1 с; а плотность лучистых тепловых потоков 3500 Вт/м² вызывает практически мгновенно ожоги дыхательных путей и открытых участков кожи; концентрации токсичных веществ в воздухе приводят к летальному исходу: окиси углерода (СО) в 1,0 % за 2–3 мин, двуокиси углерода (СО₂) в 5 % за 5 мин, цианистого водорода (HCN) в 0,005 % практически мгновенно; при концентрации хлористого водорода (HCL) 0,01–0,015 % останавливается дыхание; при снижении концентрации кислорода в воздухе с 23 % до 16 % ухудшаются двигательные функции организма, и мускульная координация нарушается до такой степени, что самостоятельное движение людей становится невозможным, а снижение концентрации кислорода до 9 % приводит к смерти через 5 минут.

Совместное действие некоторых факторов усиливает их воздействие на организм человека (синергический эффект). Так, токсичность окиси углерода увеличивается при наличии дыма, влажности среды, снижении

концентрации кислорода и повышении температуры. Синергический эффект обнаруживается и при совместном действии двуокиси азота и понижении концентрации кислорода при повышенной температуре, а также при совместном воздействии цианистого водорода и окиси углерода.

Особое воздействие на людей оказывает дым. Дым представляет собой смесь несгоревших частиц углерода с размерами частиц от 0,05 до 5,0 мкм. На этих частицах конденсируются токсичные газы. Поэтому воздействие дыма на человека также имеет, по-видимому, синергический эффект.

В действительности, при пожаре выделяется значительно больше токсинов, воздействие которых достаточно хорошо изучено (см. табл. П1.1–П1.3 прил. 1.1). Максимально допустимый уровень опасных (основных) факторов пожара, воздействие которого не приносит вреда человеку (табл. П1.4 прил. 1.1), нормирован.

Вырываясь из помещения, опасные факторы пожара, прежде всего дым, стремительно распространяются по коммуникационным путям здания (рис. 1.2).

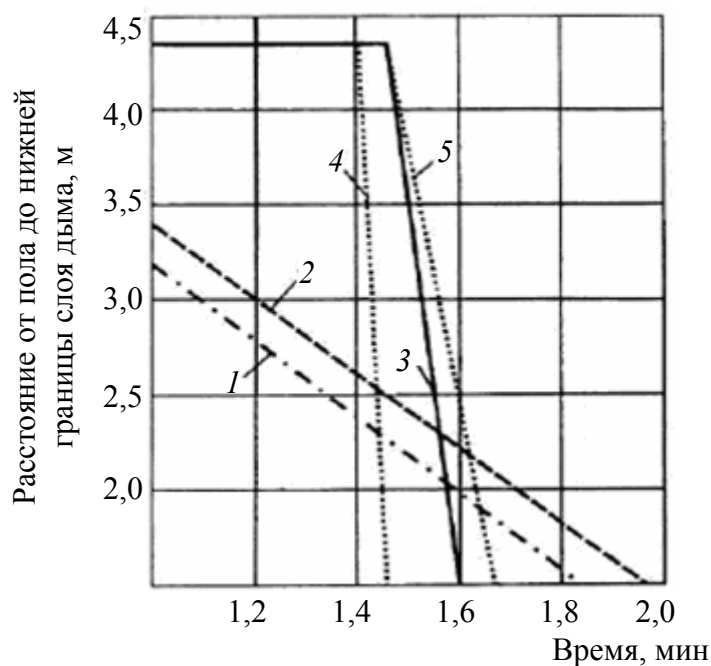


Рис. 1.2. Динамика задымления моллов (коридоров) на уровнях подземного пространства торгового комплекса [9]: 1, 2 – нижнего; 3, 4, 5 – верхнего

Первые нормативные значения времени, в течение которого опасные факторы пожара не будут достигать критических уровней воздействия на людей на последовательных этапах их эвакуации (из помещения, с этажа, по лестничной клетке из здания в целом [10, 11]), были предложены лишь в 1972 г. [12]. Их появление было стимулировано постановлением Совета Министров СССР [13], поставившим задачу «разработать новые нормы

проектирования путей и времени эвакуации людей в случае пожара из жилых, общественных и промышленных зданий с целью повышения безопасности людей...». «С этой целью на ряде опытных пожаров, проведенных на моделях и на натуральных объектах, измерялись температуры, концентрации продуктов горения, задымление помещений и другие обстоятельства, которые могут неблагоприятно повлиять на человека. Такие опыты под руководством Н. А. Стрельчука были проведены В. А. Пчелинцевым [14], М. Я. Ройтманом [15], М. П. Башкирцевым [16, 17], И. Н. Кривошеевым [18]». Предложенные нормативные значения допустимого (необходимого $t_{нб}$) времени были реализованы в разделе 2 приложения 1 «Определение расчетного и необходимого времени эвакуации людей» СНиП II–2–80 [19]. Следует иметь в виду, что при назначении этих нормативных значений предполагалось начало распространения опасных факторов в фазе интенсивного пожара, т. е. с момента самоускорения горения (прил. 1.1), а не с момента его начала.

В настоящее время успешно развиваются методы математического моделирования начальной стадии пожара (зонная, интегральная, полевая модели) [21], с использованием мощного аппарата современной компьютерной техники. «Современные методы прогнозирования ОФП не только позволяют «заглядывать в будущее», но и дают возможность снова «увидеть» то, что уже когда-то где-то произошло. Основные уравнения, из которых состоит математическая модель пожара, вытекают из фундаментальных законов природы – первого закона термодинамики, закона сохранения массы и закона сохранения импульса» [20]. Несмотря на широкую известность этих классических законов, уравнения пожара в самом общем виде были впервые сформулированы лишь в 1976 г. [22].

1.2. ПОВЕДЕНИЕ ЛЮДЕЙ ДО НАЧАЛА ЭВАКУАЦИИ

Большинство людей, вынужденных эвакуироваться из здания, находятся вне помещения, где возник пожар, и не могут непосредственно наблюдать момент возгорания и развитие пожара. По данным анкетных опросов людей, переживших пожар, можно сделать вывод, что чаще всего люди узнают о пожаре из устных сообщений (35 % опрошенных), увидев пламя (21 %) или по запаху дыма (18 %), остальные – как-то иначе [23–27].

Неизвестны случаи, чтобы пожар был обнаружен по шуму. Опрос людей, которые слышали шум, производимый при пожаре, показал, что они не приняли его за сигнал об опасности, поскольку объяснили его себе бытовыми причинами (шумные соседи, гуляющая компания, хулиганские выходки и т. п.). Запах гари также не сразу принимается за сигнал об опасности, поскольку первоначально объясняется другими причинами, например, подгоревшими продуктами в соседних помещениях или сжиганием

мусора где-то поблизости от здания. Даже устные сообщения не всегда воспринимаются как сигнал о действительной и близкой опасности [23].

Итак, тем или иным образом человек принял сигнал о пожаре. Какой будет его реакция? Из анкетных опросов известно [24, 27], что из узнавших о пожаре 33 % опрошенных людей начинали обследовать помещение, 10 % готовились покинуть помещение, 20 % стремились предупредить других, 10 % выясняли, вызвана ли пожарная команда, 6 % пытались сами вызвать пожарную команду, 13 % пытались сами потушить пожар, 8 % ничего не предпринимали, наблюдая, что делают другие.

Даже действия подготовленных, инструктированных людей не одинаковы. Так исследования [28] поведения обслуживающего персонала в торговых комплексах крупной фирмы при необъявленных (не анонсированных) тренировочных эвакуациях посетителей обнаружили, что, несмотря на регулярный противопожарный тренинг, при получении сигнала о пожаре, только 37,2 % персонала выполнили действия, предписываемые инструкцией. Остальные сотрудники, несмотря на появившиеся признаки пожара и даже сигнал оповещения, уточняли, соответствуют ли они действительности; советовались с вышестоящими менеджерами, прежде чем приступить к организации эвакуации покупателей или покинуть здание. Именно поэтому, для обеспечения безопасной эвакуации людей необходимо разработать и реализовать комплекс мероприятий по подготовке людей к действиям при пожаре – план эвакуации. Требования к составлению плана эвакуации приведены в прил. 1.2.

Только после того, как эти первоначальные сигналы–признаки были подкреплены другими признаками, инструкциями или достигали необычно высокого уровня, людьми принималось решение, что эти сигналы свидетельствуют о действительной угрозе пожара. Эти факты указывают на существование у человека определенного общего *правила принятия решений* на основании его ощущений, формирующихся под влиянием собственных наблюдений или поступающей информации. Такое правило раскрывает теория статистических решений в психофизике [29].

Согласно этой теории полезный сигнал, информирующий об определенном состоянии внешней среды (в данном случае о пожаре в здании), воспринимается в сенсорном пространстве человека совместно с другими сигналами, как внешней среды, так и внутренней нейронной системы. Задачей сенсорной системы является выделение полезного сигнала из поступающего «шума» сигналов. В общем случае информация, содержащаяся в шуме сигналов, описывается случайным вектором, каждая компонента которого может быть непрерывной или дискретной случайной величиной. Поэтому любая гипотеза о наличии в шуме полезного сигнала может быть высказана только с определенной вероятностью.

При анализе шума может быть выдвинута ошибочная гипотеза о том, что в нем присутствует полезный сигнал, тогда как на самом деле его нет. Вероятность такого решения названа вероятностью ложной тревоги. Так как полезный сигнал, когда он есть, может быть не замечен, то и гипотеза о наличии полезного сигнала также принимается с определенной вероятностью.

Появление какого-либо косвенного признака пожара (запах гари, дым, сообщение, шум и т. п.) можно рассматривать, как событие x . Его появление происходит и когда нет пожара – условие (гипотеза) H , и когда есть пожар – условие Π . Поэтому появление события x при тех или иных условиях является условной вероятностью и характеризуется распределением плотности вероятностей: $f(x/H)$ – при условии отсутствия пожара, $f(x/\Pi)$ – при условии возникновения пожара. Тогда функция правдоподобия $\lambda(x)$ того, что появление признака x соответствует действительному возникновению пожара, формируется на основании сопоставления вероятности правильной гипотезы с вероятностью ложной тревоги

$$\lambda(x) = f(x/\Pi)/f(x/H). \quad (1.1)$$

Если это отношение превышает некоторое пороговое значение $\lambda_0(x)$, то принимается положительное решение о наличии полезного сигнала; в противоположном случае эта гипотеза отвергается. Таким образом, в сенсорном пространстве производится сравнение вероятностей гипотез о наличии полезного сигнала или об его отсутствии (есть пожар или нет пожара) и выбор одной из них принимается по решающему правилу:

$$\begin{aligned} \lambda(x) < \lambda_0(x) & - \text{нет пожара,} \\ \lambda(x) \geq \lambda_0(x) & - \text{есть пожар.} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Для сенсорного пространства значение функции правдоподобия зависит от величины смешанного сигнала (полезный сигнал плюс шум), величины полезного сигнала, его приращения и среднеквадратического отклонения значений шума. В свою очередь пороговое значение x изменяется в зависимости от цен (затрат, последствий при той или иной интерпретации события) принимаемых решений и априорных вероятностей появления шума (q_H) и полезного сигнала (q_Π). Было показано, что применительно к рассматриваемому случаю, величина $\lambda_0(x)$ определяется согласно правилу:

$$\lambda_0(x) = \frac{C_{\Pi H} - C_{H H} \cdot q_H}{C_{H \Pi} - C_{\Pi \Pi} \cdot q_\Pi}, \quad (1.3)$$

где $C_{\Pi H}$ – плата за решение «пожар», когда в действительности его нет; $C_{H H}$ – плата за решение «нет пожара», когда в действительности он есть; $C_{H \Pi}$ – плата за решение «нет пожара», когда его действительно нет; $C_{\Pi \Pi}$ – плата за правильное решение «пожар», когда он действительно есть; q_H – априорная вероятность отсутствия пожара; q_Π – априорная вероятность пожара.

Сформулированное правило в значительной степени позволяет понять механизмы принятия человеком решения о том, возник или нет пожар по одному из сигналов (x) – признаков пожара. Становится объяснимой неоднозначность реакций на этот признак, если он недостаточно выделен среди «шума» других повседневных сигналов. Очевидно, что вероятность пожара ($q_{\text{п}}$) в обычных условиях невелика и значение $\lambda_0(x)$ имеет, соответственно, большое значение. Поэтому при недостаточной интенсивности косвенного признака пожара $\lambda(x) < \lambda_0(x)$, т. е. в этом случае ситуация воспринимается как недостаточно правдоподобная. Но цена ошибки ($C_{\text{нп}}$) очень велика и это стимулирует человека на выяснение истинного состояния среды, приведшего к появлению события x , – человек обследует помещения.

Могло бы быть принято другое решение, если бы пороговое значение $\lambda_0(x)$ было меньше. Значение же $\lambda_0(x)$ зависит не только от значимости ошибки, но и от формирования в сознании человека априорных вероятностей (сформированных представлений о возможностях) возникновения опасной ситуации, соответствующей сигналу–признаку, и обычной ситуации. Формирование априорных вероятностей находит объяснение в теории вероятностного прогнозирования человеком наступления определенных событий и в психологической теории преднастройки или установки, т. е. готовности человека определенным образом реагировать на ожидаемое событие. Последующие действия людей являются следствием оценок, полученных на основании решающего правила (1.2).

Таким образом, данные о действиях людей до начала эвакуации свидетельствуют о рациональности их поведения, по крайней мере, в большинстве случаев.

Но это случаи, так сказать, «заблаговременного» оповещения о пожаре людей, занятых, по-видимому, какой-то привычной деятельностью, имеющих определенные связи в окружающей социальной среде и находящихся на пространственном удалении от места возникновения пожара или иного ЧС, достаточном для адаптации его восприятия. Но те же люди могут среагировать совершенно по-другому, находясь в иных условиях.

Так, например, один из первых исследователей людских потоков рассказывает [30], что во время киносеанса, на котором он присутствовал в ленинградском кинотеатре «Молния», кто-то негромко вскрикнул. Этого оказалось достаточно, чтобы десятки людей мгновенно ринулись к выходам. Люди рвались к дверям, шагая по стульям, напирая на впереди идущих, образуя в проходах и перед выходами «пробки». Трагедии удалось избежать благодаря тому, что кто-то из администрации включил в зале свет. Люди увидели, что причин для паники нет. Пробки в дверях и гора из поваленных людей сами собой ликвидировались. Инцидент обошелся несколькими ушибами, обмороками и поломанными стульями.

Другой классический случай непреднамеренно спровоцированной паники произошел в 1878 г. в театре «Колизеум» города Ливерпуля. Один из зрителей, возбужденный пьесой, бросился бежать через зал к выходу. Немедленно и другие зрители устремились за ним. В результате – 37 жертв и много раненых.

Случай спровоцированной паники имел место в 1915 г. в Большом театре, когда в одной из лож прозвучал крик «Пожар!». Впоследствии оказалось, что это крикнул разыскиваемый полицией преступник, когда он заметил, что полицейские обнаружили его в ложе. Создав переполох в театре, он надеялся скрыться от преследования полицией.

Паника (от греч. *panikon* – безотчетный ужас) – это психологическое состояние, выраженное в чувстве острого страха, охватывающего людей и вызывающее неконтролируемое и неудержимое стремление быстрее уйти (убежать) из опасной ситуации.

Сейчас «уже имеются доказательства тому, что подобное поведение является скорее исключением, а не правилом» [31]. Однако зарубежные исследователи отмечают, что журналисты, освещающие события, называют паникой не только эти исключительные случаи, но чуть ли ни любой инцидент поведения людей при пожаре, необычный для повседневной эксплуатации здания. При этом они рассматривают в качестве панического поведения при эвакуации поражающие воображение случаи выпрыгивания людей из окон и с карнизов горящего здания, когда прибывшие пожарные уже поднимали передвижные автоматические лестницы; возвращение некоторых из эвакуировавшихся людей обратно в горящее здание; массовое бегство людей и возникновение «давки» на путях эвакуации.

Очевидно, первые две категории этих случаев не относятся к эвакуации, которая происходит в начальной стадии пожара. В первой из них люди уже были отрезаны от путей безопасной эвакуации и, спасаясь от пламени, они вынуждены вылезать в окна и на карнизы; с начала пожара прошло больше времени, чем определяемое как необходимое для эвакуации (прибыли пожарные, начали развертывание). Следовательно, речь уже идет не об эвакуации, а о спасении людей. И эти случаи свидетельствуют о том, в каком тяжелейшем физическом и психическом состоянии находятся люди, лишенные возможности эвакуироваться и вынужденные спасаться, надеясь на любой, даже невероятный случай удачи. Случаи же возвращения людей в горящее здание, вообще, происходят после того, как они эвакуировались. Причем, возвращение в горящее здание может и является иррациональным поведением, но отнюдь не свидетельствует о паническом состоянии. Кого же тогда будут награждать за спасение детей из горящего здания?

Бегство из горящего здания следует рассматривать как поведение вполне адекватное быстрому распространению опасных факторов пожара.

Хуже, если люди не спешат покинуть здание: потерянные минуты в начале эвакуации эквивалентны недостающим секундам в ее конце. Вполне естественно, что основная масса эвакуирующихся и состоит из «вовлеченных в «общий бег» людей, способных к здоровой оценке ситуации и разумным действиям» [32]. Бегство из горящего здания – естественное поведение людей, соответствующее возникшим условиям [33].

Совершенно другие причины лежат в основе третьей категории случаев. Возникновение «давки» при эвакуации, также принимаемое за признак паники, на самом деле свидетельствует о недостаточной пропускной способности эвакуационных путей и выходов. К сожалению, для практики эксплуатации зданий – это весьма распространенный случай. Так, например, статистические данные Японии показали [34], что недостаточная пропускная способность эвакуационных путей при пожарах явилась причиной 69 % несчастных случаев с людьми за период с 1945 по 1975 гг.

Таким образом, наблюдаемые возникновения давки являются следствием не паники среди эвакуирующихся людей, а результатом неправильно запроектированных эвакуационных путей, не обеспечивающих беспрепятственного движения образующихся при эвакуации людских потоков. Такие ситуации и провоцируют три непосредственных условия возникновения панических явлений: ощущение возможной опасности, чувство собственного бессилия изменить ситуацию и чувство изоляции или зависимости от нерациональных действий кого-либо в чрезвычайной ситуации. Жизнь требует спасения любыми способами, и в человеке пробуждаются реликтовые формы ее индивидуальной защиты, не считаясь с окружающими обстоятельствами: все благоприобретенные человечеством за последние столетия нормы общежития стираются – социальные связи деградируют, проявляется антиобщественное поведение, спасение за счет других становится естественным. Поэтому состояние человека становится таким, что «мышление и чувственное восприятие нарушаются вначале частично, затем теряются все другие мысли и чувственные реакции. Личность временно дезорганизуется. Нарушаются высшие психические функции, приводящие к прерыванию внутриличностного и межличностного функционирования. Срабатывает сильная моторная реакция, вся энергия направлена на то, чтобы покинуть данное место» [35].

Таким образом, рассмотренный состав действий, совершаемых людьми после обнаружения сигнала, и сам процесс обнаружения сигнала говорят о том, что проходит определенный интервал времени от момента возникновения пожара до момента начала эвакуации людей $t_{эв}$. Его величина зависит от психофизических свойств человека, от того, чем он занят и где находится и от того, видит ли человек сам начало пожара или узнает о нем по косвенным признакам или по системе оповещения, которая в свою

очередь обладает определенной инерционностью. В этот интервал времени формируется и психическое состояние человека, в котором он начинает эвакуироваться и вливается в общий поток.

1.3. ЛЮДСКОЙ ПОТОК

К сожалению, классических законов, которые бы позволили разрабатывать модели начальной стадии пожара, применительно к описанию поведения и движения людей в потоке эвакуирующихся при пожаре, не существует. Поэтому, чтобы «заглядывать в будущее» эвакуации, необходимо прежде суметь «увидеть» прошлые движения людей в подобных ситуациях.

Решив эвакуироваться, человек в любом случае, выходит на начальный участок эвакуационного пути. Это может быть проход между рабочими местами или оборудованием, проход между рядами зрительных мест, свободное пространство около места нахождения человека, соединяющие его с выходами из помещения. Одновременно с ним на этот участок могут выходить и другие люди. Они выбирают направление движения к тому или иному выходу и тем самым определяют маршрут своего движения, т. е. последовательность участков эвакуационных путей, которые они должны пройти для того, чтобы попасть в безопасное место. Множество людей, одновременно идущих по общим путям в одном направлении, образует людские потоки.

Несмотря на очевидность такого определения, оно не определяет ни структуры, ни характеристик людского потока как процесса, явно имеющего социальную природу и показатели, далекие от привычных при описании физико-технических явлений (потоков жидкостей, электрического тока, сыпучих веществ и т. п.). Именно эти различия и объясняют, по-видимому, тот факт, что этот веками наблюдаемый процесс не получил технического описания, пригодного для использования при проектировании коммуникационных путей и для разработки мероприятий по обеспечению безопасности эвакуации людей в чрезвычайных ситуациях.

По-видимому, непростая для человеческого восприятия структура людского потока определила первоначальное его описание как массы людей, состоящей из рядов идущих в затылок друг другу людей – «элементарных потоков» [36]. Такая модель, быстрее, соответствует воинскому подразделению на марше, чем неорганизованному перемещению людей, обгоняющих друг друга или идущих каждый в своем темпе и со своими целями.

Потребовались долговременные многочисленные натурные наблюдения людских потоков (рис. 1.3) и теоретические исследования, основанные на их результатах, прежде чем сформировалось современное представление о структуре и характеристиках людского потока, отражающие его суть в технических параметрах процесса.

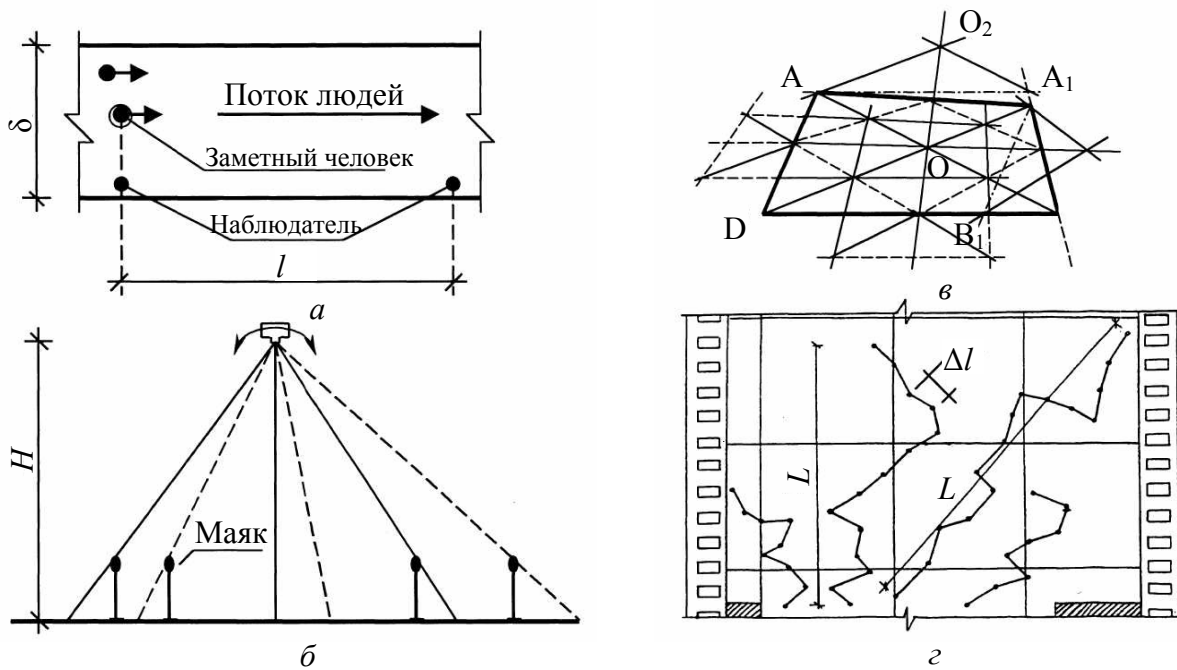


Рис. 1.3. Методы фиксации данных в натуральных наблюдениях и экспериментах:
a – визуальный; *б* – кино-фото; *в* – учет перспективных искажений;
г – пример кинограммы движения людей

Натурные наблюдения показывают, что людской поток обычно имеет вытянутую сигарообразную форму, рис. 1.4.

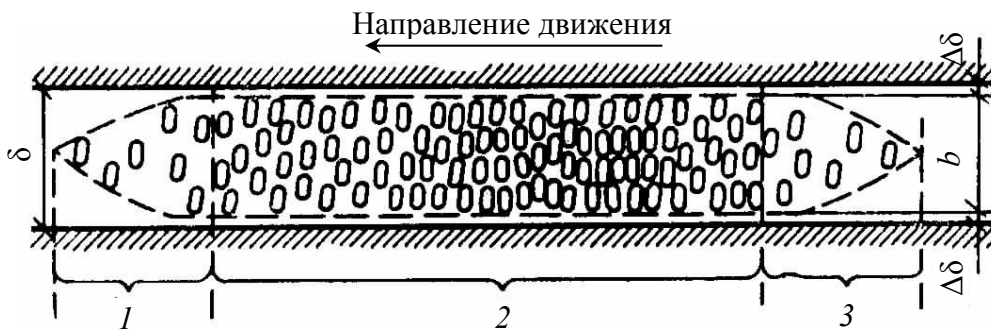


Рис. 1.4. Схема людского потока:
1 – головная часть; *2* – основная; *3* – замыкающая

«Размещение людей в потоке (как по длине, так и по ширине) имеет всегда неравномерный и часто случайный характер. Расстояние между идущими людьми постоянно меняется, возникают местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают снова. Эти изменения неустойчивые во времени...» [37]. Следовательно, на участке, занимаемым потоком, могут образовываться части с различными параметрами. При этом головная и замыкающая части состоят из небольшого числа людей, движущихся, соответственно, с большей или меньшей скоростью, чем основная масса людей в потоке. При эвакуации, головная часть потока уходит с большей скоростью вперед и по длине и числу людей возрастает, а замыкающая часть, наоборот, уменьшается.

Ширина потока b , как правило, обуславливается свободной для движения шириной участка, ограниченного ограждающими конструкциями, которые нарушают равномерность распределения людей в потоке, поскольку между ограждающими конструкциями и массой людей при движении всегда образуются зазоры $\Delta\delta$, соблюдаемые людьми из-за неизбежного раскачивания при ходьбе и опасения задеть конструкцию или какую-нибудь выступающую ее деталь. Поэтому движение людей в середине потока происходит при большей плотности, чем по краям. Ширина, которую людской поток использует для движения, называют шириной потока [36] или эффективной шириной участка пути [38]. Величины зазора, на которую уменьшается эффективная ширина участков различных видов пути в свету, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Разница между эффективной шириной и шириной в свету участков различных видов пути

Вид пути	Величина зазора $\Delta\delta$, см
Лестничный марш с оградой, перилами	25
Проход между кресел в зрительном или спортивном зале	0
Коридор, пандус	10–15
Препятствие	10
Дверной проем, проем	10–15

Движение людей в потоке не прямолинейно и имеет сложную траекторию, что иллюстрирует кинограмма, приведенная на рис. 1.3 г.

Наблюдаемыми параметрами людского потока являются:

- количество людей в потоке n ,
- плотность D ,
- скорость V ,
- величина потока P .

Плотность людского потока D_i , чел./м², – отношение количества людей в потоке N_i к площади занимаемого им участка, имеющего ширину b_i (для простоты вычислений ширину потока принимают равной ширине участка) и длину l_i :

$$D_i = \frac{N_i}{b_i l_i}. \quad (1.4)$$

Плотность потока определяет свободу движения людей в нем, и, как следствие, соответствующий уровень комфортности людей. В зависимости от значений плотности предложено различать несколько уровней комфортности людей в потоке (табл. 1.2) [39].

Характеристики уровней комфортности

Плотность, чел./м ²	Уровень комфорта	Расстояние между людьми, м	Характеристика уровня
Горизонтальная поверхность. Движение			
0,3	A	–	Свобода движения и выбора направлений
0,4	B	–	Свобода движения и выбора направлений. Небольшие конфликты
0,7	C	–	Свобода движения и выбора направлений ограничена
1,1	D	–	Скорость движения ограничена. Наиболее высокая плотность для общественных зданий
2,2	E	–	Скорость движения ограничена, наблюдается частое изменение ритма движения. Движение вперед с высокой скоростью возможно только маневрированием. Существование такой плотности допускается только на короткие интервалы времени
более 2,2	F	–	Скорость движения крайне ограничена. Движение вперед с высокой скоростью возможно только маневрированием. Частые неизбежные контакты с окружающими, потеря контроля над ситуацией и нарушение нормального функционирования коммуникационного пути
Горизонтальная поверхность. Скопление, очередь, зона ожидания			
0,8	A	свыше 1,2	Свободное движение в зоне ожидания
1,1	B	1,1–1,2	Ограниченное движение в зоне ожидания без контактов с окружающими
1,5	C	0,9–1,1	Ограниченное движение в зоне ожидания с контактами с окружающими
3,6	D	0,6–0,9	Размещение без контактов с окружающими. Движение в зоне ожидания ограничено
5,4	E	Менее 0,6	Размещение с контактами с окружающими
более 5,4	F	Физический контакт	Тесный физический контакт с окружающими

Свободное пространство в потоке зависит не только от количества человек, но и от площади, занимаемой каждым из них, поэтому определенную роль играют габариты людей. Для учета этого фактора было предложено вводить в расчет плотности потока площадь, занимаемую человеком (его горизонтальную проекцию f , м^2) [30]:

$$D_i = \frac{N_i f_i}{b_i l_i}, \text{ м}^2/\text{м}^2. \quad (1.5)$$

Формой горизонтальной проекции человека принят эллипс, диаметры которого соответствуют ширине и толщине тела человека (рис. 1.5 а). Площадь эллипса $f = 0,25\pi ac$.

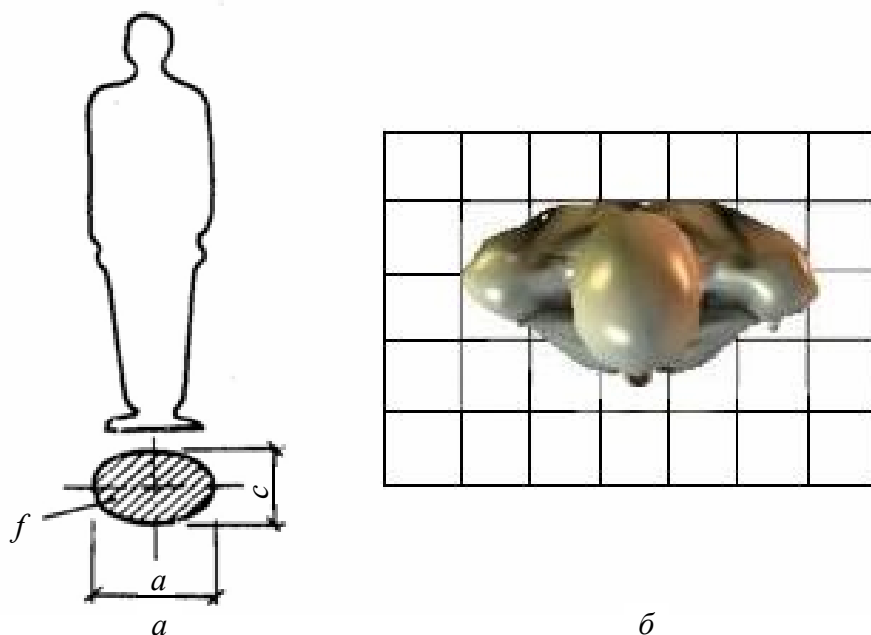


Рис. 1.5. Площадь горизонтальной проекции человека:
a – расчетная; *b* – действительная

Следует отметить, что действительная форма горизонтальной проекции человека несколько отличается от эллипса (рис. 1.5 б). Однако с учетом разнообразия физических данных и одежды принятое допущение несущественно искажает фактические размеры и форму горизонтальной проекции. Размеры людей изменяются в зависимости от физических данных, возраста и одежды. В таблицах и на рисунках прил. 1.3 [30, 40, 41] приводятся усредненные размеры людей разного возраста, в различной одежде и с различным грузом. Там же даны и значения площади горизонтальной проекции инвалидов с нарушением опорно-двигательного аппарата.

Эксперименты [42] позволили установить физический предел плотности, который составляет 14 чел./м^2 при средней площади горизонтальной проекции людей, участвовавших в эксперименте, равной $0,09 \text{ м}^2/\text{чел.}$, т. е. $D_{\text{ф.п}} = 1,12\text{--}1,13 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При этом первоначальная площадь горизонтальной проекции людей уменьшается приблизительно на 15 % за счет деформирования при сдавливании.

При натуральных наблюдениях максимальное значение плотности не превышало $D_{\text{max}} = 0,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Расчеты давления людей друг на друга показывают, что силовые воздействия в скоплении могут превышать 120 кг [30]. Это зависит от количества человек в скоплении и глубины активной части толпы. Практические наблюдения показывают, что они могут быть и выше. Так, например, при давке во время эвакуации людей со стадионов в городах Глазго и Цинциннати были погнуты металлические трубчатые ограждения. Исследователи отмечают, что «усилие, требуемое для изгиба металлической трубы ограждения диаметром 5 см, установленной на высоте 75 см от пола, составляет примерно 500 килограммов» [39].

В медицине известно, что при сильном и продолжительном воздействии давления на тело человека прогрессирует компрессионная асфиксия и наступает смерть. Компрессионная асфиксия – острый патологический процесс, развивающийся в результате нарушения дыхания, кровообращения и повреждения внутренних органов. Быстрота наступления смерти при компрессионной асфиксии определяется силовыми воздействиями на тело человека, направлением давления и областью сдавливания. При равной массе, сдавливающей тело человека, смерть быстрее наступает при одновременном сдавливании груди и живота, чем при изолированном сдавливании груди или живота. В зависимости от массы и длительности сдавливания можно выявить, следующие повреждения у пострадавших: отек легких, повреждения костей скелета и внутренних органов – разрывы печени, легких, селезенки, кровоизлияния в полости тела.

Наиболее трагичные случаи по данным [43, 44], в которых причиной гибели являлась компрессионная асфиксия, приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Инциденты, в которых причиной гибели людей явилась компрессионная асфиксия

Год	Место, мероприятие	Количество погибших/ пострадавших
1953, 9 марта	Россия, Москва, Трубная площадь, похороны И. В. Сталина	Около 2000/–
1968, 23 июня	Аргентина, Буэнос-Айрес, стадион,	74/150
1982, 20 октября	Россия, Москва, стадион	340/–
1990, январь	Мекка, хадж	1426/–
1994, январь	Мекка, хадж	270/–
1996, 16 октября	Гватемала, стадион	83/180
1998, январь	Мекка, хадж	118/–
1999, 31 мая	Беларусь, Минск, вход в станцию метро	53/150
2000, декабрь	Бразилия, стадион (футбольный матч)	200/–
2001, 9 мая	Западная Африка, Хана, стадион	100/–
2004, январь	Мекка, хадж	244/–
2005, 25 января	Индия, Вай, религиозное мероприятие	150/–
2006, январь	Мекка, хадж	345/–
2006, февраль	Филиппины, Манила, стадион	80/322

Изменения плотности оказывают сильнейшее влияние и на характер движения людей в потоке, меняя его от свободного, при котором человек может выбирать скорость и направление своего движения, до стесненного в результате дальнейшего увеличения плотности потока, при котором он испытывает все возрастающие силовые воздействия окружающих его людей (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Вид движения людей в интервалах плотности потоков [37]

Значение плотности, м ² /м ²	0–0,05	0,05–0,15	0,15–0,4	0,4–0,7	0,7–0,9	0,9–1,0	1,0–1,15
Вид движения людей	Индивидуальное	Поточное					
	свободное	свободное	без контактных помех	с контактными помехами	с силовыми воздействиями		
					слит-ное	деформация тел	сдавливание тел

Очевидно, что ограничение возможностей движения человека в потоке при увеличении его плотности ведет к снижению скорости движения V_i , м/мин, и всего людского потока, которая определяется как средняя скорость движения людей N , составляющих поток на участке i :

$$V_i = \sum V_N / N. \quad (1.6)$$

Скорость определяет и расчетное время движения t_i по рассматриваемому участку пути, имеющему длину l_i :

$$t_i = l_i / V_i. \quad (1.7)$$

Однако изменение скорости движения людей в потоке в зависимости от его плотности, изображенное графически (линейная функция), обнаруживается впервые в работе С. В. Беляева [36]. Он же указал и на влияние вида пути на скорость движения потока, приняв (при максимальных плотностях потока) в качестве расчетных значений: 17 м/мин при движении по горизонтальному пути, 10 м/мин – по лестнице вниз, 8 м/мин – по лестнице вверх.

Величина потока P – количество людей, проходящих через поперечное сечение участка пути, занятого потоком, в единицу времени.

$$P = N/bt. \quad (1.8)$$

Состав людей в потоке, как правило, неоднородный, как по их индивидуальному физическому, так и психическому состоянию (рис. 1.6).

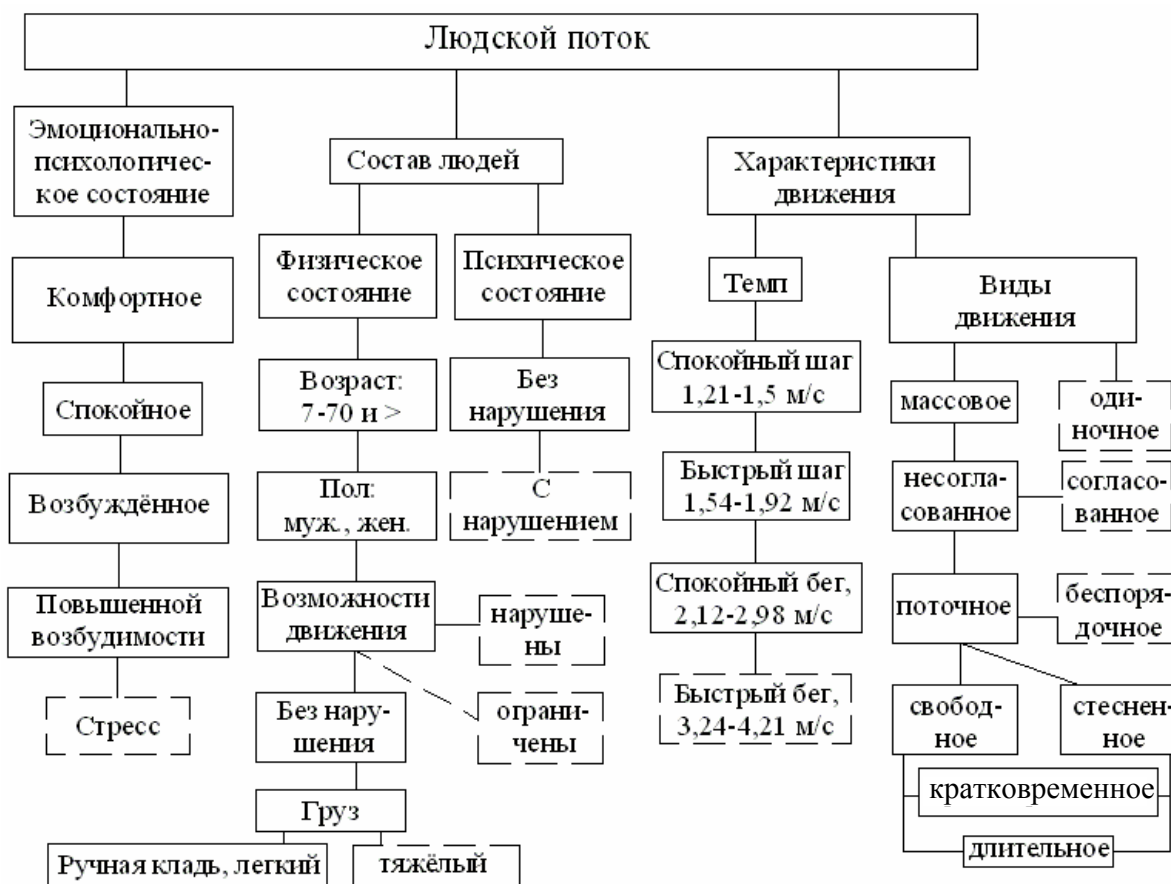


Рис. 1.6. Психофизиологические характеристики людского потока

Неодинаково люди реагируют и на изменения условий окружающей среды, вызывающих соответствующие изменения общего эмоционально-психологического состояния людей в потоке. Физической реакцией человека на условия окружающей среды и имеющуюся свободу движения будет его скорость, для чего он изменяет темп движения (рис. 1.6) в соответствии со своими физическими возможностями. Вполне понятно, что скорость движения различных людей в потоке будет различна, что и фиксируется при натурных наблюдениях (рис. 1.3 з). Такова, в общем, суть поведения людей при движении, как «системы взаимосвязанных реакций, осуществляемых живыми организмами для приспособления к среде» [45].

1.4. ЭВАКУАЦИОННЫЕ ПУТИ И ВЫХОДЫ

Решив эвакуироваться, человек намечает свой маршрут движения, т. е. ту последовательность участков пути, которую ему предстоит пройти для того, чтобы попасть с места его нахождения в то место, куда он наметил себе прийти за кратчайшее время. При пожаре такими местами являются: помещение, в котором ему будет более безопасно, чем в том, где он находится в данный момент; зона пожарной безопасности, специально созданная в здании и на территории, окружающей здание.

При эвакуации люди используют систему коммуникационных путей, обеспечивающую взаимосвязь между помещениями здания в повседневных условиях его эксплуатации. Эта система состоит из проходов между мебелью и оборудованием в помещениях; коридоров, фойе, кулуаров, лестниц, вестибюлей и входов (выходов), соединяющих их между собой и с территорией, окружающей здание. Но не любой из существующих выходов может быть признан эвакуационным.

Лишь те выходы являются эвакуационными [6], которые ведут:

- из помещений первого этажа непосредственно наружу или через коридор, через вестибюль (фойе), через коридор и вестибюль (фойе), через лестничную клетку, через коридор и лестничную клетку;

- из помещений любого этажа (кроме первого) непосредственно в лестничную клетку или на наружную открытую лестницу, в холл (фойе), имеющий выход непосредственно в лестничную клетку или на наружную открытую лестницу;

- в соседнее помещение на том же этаже, если в нем есть выше указанные выходы, а само помещение не является складским или производственным с технологическими процессами категории А или Б по пожарной и взрывной опасности.

Даже такие выходы не могут быть эвакуационными, если в их проемах установлены раздвижные и подъемно-опускные двери и ворота, ворота для железнодорожного подвижного состава, вращающиеся двери и турникеты.

Любое помещение в здании должно иметь, как правило, не менее двух эвакуационных выходов. Исключение из этого правила (т. е. могут иметь только один эвакуационный выход) составляют лишь следующие помещения:

- помещения для одновременного пребывания 10 и менее человек в зданиях детских дошкольных учреждениях, домов для престарелых и инвалидов, больниц, спальных корпусов школ-интернатов и детских учреждений;

- помещения для одновременного пребывания 15 и менее человек в подвальных и цокольных этажах;

- складские или производственные помещения с технологическими процессами категории А или Б по пожарной и взрывной опасности при числе работающих в наиболее многочисленной смене 5 человек и менее, категории В при числе работающих в наиболее многочисленной смене 25 человек и менее или при их площади менее 1000 м²;

- помещения иного назначения при числе одновременно находящихся в них людей 50 и менее человек.

Число эвакуационных выходов с этажей зданий также должно быть, как правило, не менее двух, если на них располагаются помещения, которые имеют не менее двух эвакуационных выходов. Некоторые здания, даже если на их этажах расположены помещения, которые могут иметь

один эвакуационный выход, должны иметь, тем не менее, два (или более) эвакуационных выхода.

К таким зданиям относятся: здания детских дошкольных учреждений, домов для престарелых и инвалидов, больниц, спальных корпусов школ-интернатов и детских учреждений; здания школ, внешкольных и средних специальных учебных заведений, профессионально-технических училищ, высших учебных заведений и учреждений повышения квалификации; здания вокзалов.

К числу таких зданий относятся также здания гостиниц, общежитий; здания спальных корпусов санаториев, домов отдыха, кемпингов, мотелей и пансионатов; здания предприятий по обслуживанию населения, учреждений органов управления, проектно-конструкторских, информационных, редакционно-издательских, научно-исследовательских организаций, банков и офисов.

Жилые многоквартирные дома, в общем случае, могут иметь один эвакуационный выход. Но, если общая площадь квартир на этаже (на этаже секции) составляет более 500 м^2 , то на каждом этаже такого дома должно быть не менее двух эвакуационных выходов.

Во всех случаях не менее двух эвакуационных выходов должны иметь подвальные и цокольные этажи при их площади более 300 м^2 или при одновременном пребывании на них более 15 человек.

Число эвакуационных выходов из здания должно быть не менее числа эвакуационных выходов с любого этажа этого здания.

Если в помещении, на этаже, в здании должно быть два (или более) эвакуационных выхода, то их следует располагать рассредоточено, а не в одном месте (например, рис. 1.7, 1.8). Поэтому, намечая свой маршрут эвакуации, человек практически всегда имеет, по крайней мере, два варианта возможной последовательности использования участков эвакуационных путей для достижения эвакуационного выхода и из помещения, и с этажа, и из здания. Наметив свой маршрут движения, человек выходит на участок общего пути, по которому выбрали то же направление движения и другие люди, т. е. на этом участке формируется людской поток. Можно сказать, что эти участки являются источниками людских потоков [46].

Таковыми участками в зрительных залах являются проходы между рядами зрительских мест (рис. 1.8), в офисных помещениях (рис. 1.9) – общие проходы между мебелью рабочих мест, в производственных помещениях промышленных предприятий (рис. 1.10) – проходы между оборудованием и т. п.

Пространство участков формирования людских потоков определяется антропометрическими размерами человека и эргономикой движений человека при осуществлении им основного функционального процесса, для реализации которого предназначено данное помещение. Минимально

необходимые габариты участков приводятся в нормах, справочниках, в учебниках и учебных пособиях по архитектурно-строительному проектированию, эргономике и инженерной психологии. Их примеры даны на рисунках прил. 1.4.

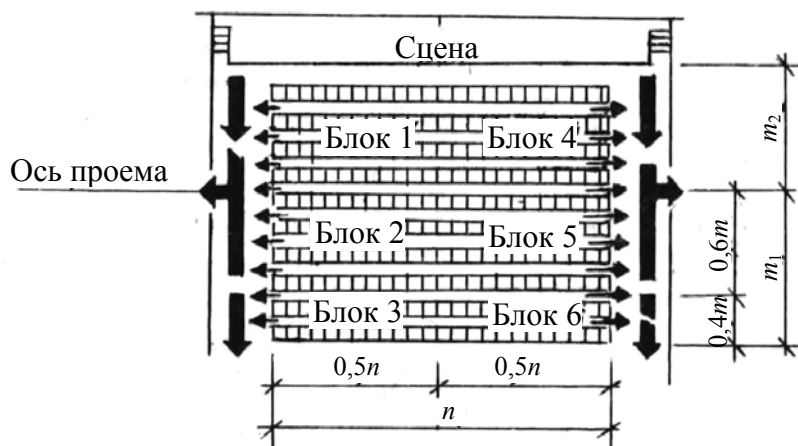


Рис. 1.7. Маршрутизация движения людских потоков при эвакуации из зрительных залов с боковыми (продольными) проходами [47]

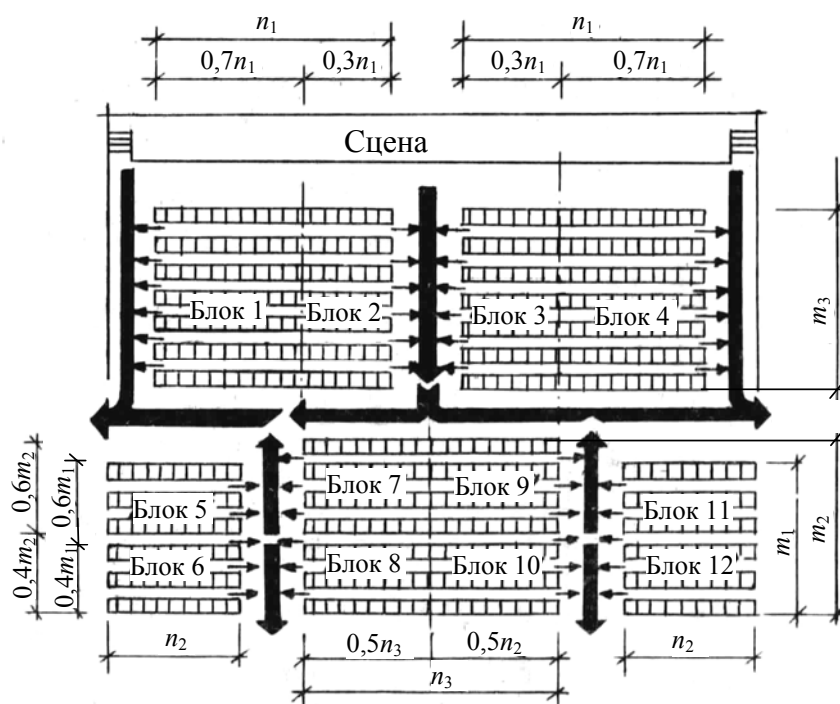


Рис. 1.8. Маршрутизация движения людских потоков при эвакуации из зрительных залов с поперечным проходом [47]

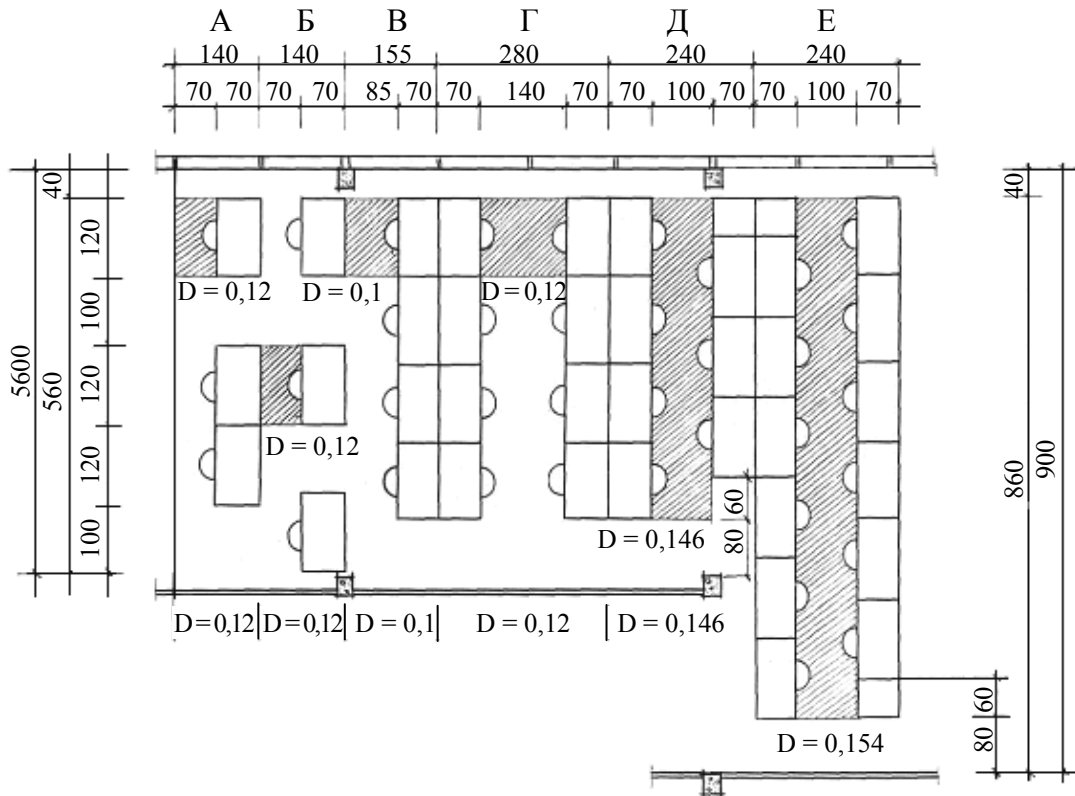


Рис. 1.9. Пример [48] вариантов минимально возможных площадей рабочего места ($F_{р.м}$) в офисных помещениях и изменения в зависимости от этого плотности людского потока, формирующегося в проходах:
 А, Б – $F_{р.м} = 2,9 \text{ м}^2$; В – $F_{р.м} = 2,18 \text{ м}^2$; Г – $F_{р.м} = 2,12 \text{ м}^2$;
 Д – $F_{р.м} = 1,89 \text{ м}^2$; Е – $F_{р.м} = 1,69 \text{ м}^2$

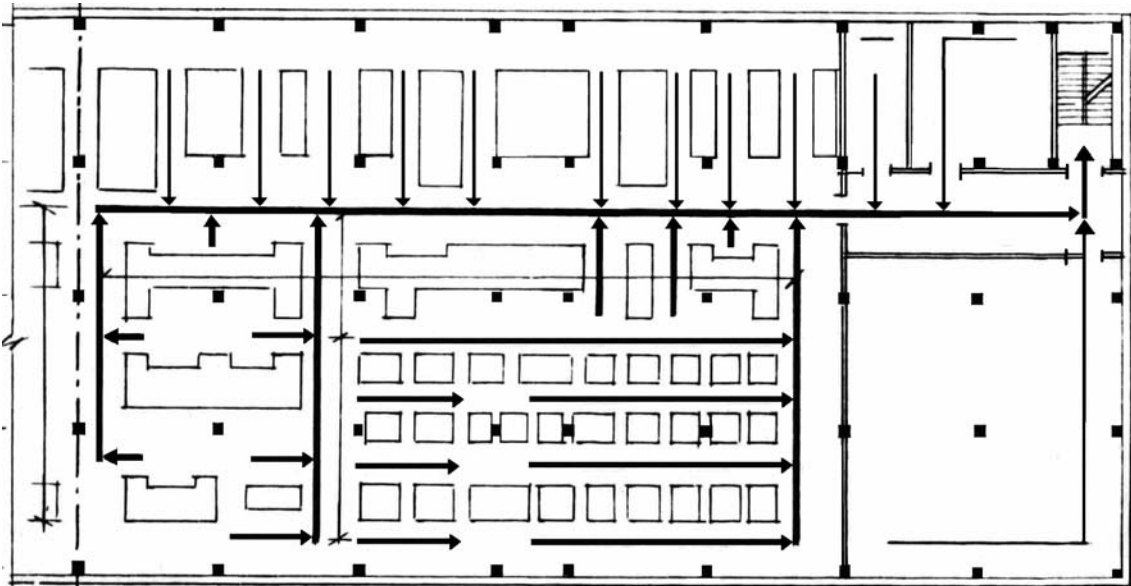


Рис. 1.10. Маршрутизация движения людских потоков при эвакуации в производственных зданиях [49]

Выйдя с участков формирования, людские потоки по магистральным (общим) проходам направляются к эвакуационным выходам из помещений. Покинув помещение, человек заканчивает первый этап эвакуации.

Выходя из помещений, люди приступают ко второму этапу эвакуации. Он может происходить по коридору, который из-за своей ширины ограничивает ширину потока, образующегося в нем из слияния людских потоков, выходящих из помещений. Ширина пути движения по коридору практически равна ширине коридора, если двери выходящих в него помещений открываются во внутрь помещений, или равна ширине коридора, уменьшенной на половину ширины дверного полотна – при одностороннем расположении дверей и на ширину дверного полотна – при двустороннем расположении дверей, рис. 1.11.

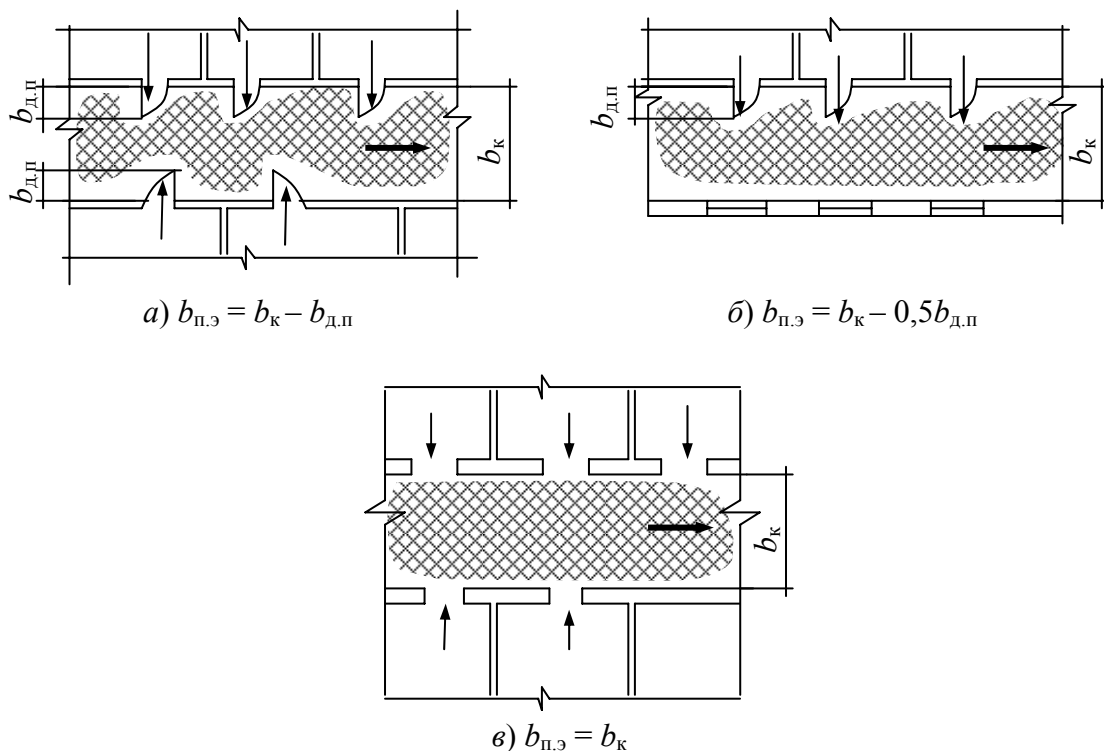


Рис. 1.11. Ширина пути эвакуации по коридору:

a – при двустороннем открывании дверей; *б* – при одностороннем открывании дверей;
в – при открывании дверей во внутрь помещений

Выходя в коридор, человек опять выбирает маршрут своего движения. Если коридор свободен и эвакуационные выходы из него не заблокированы, то человек, вероятнее всего, воспользуется привычным, ежедневно используемым им маршрутом – через ближайший эвакуационный выход (рис. 1.12 *a, б*).

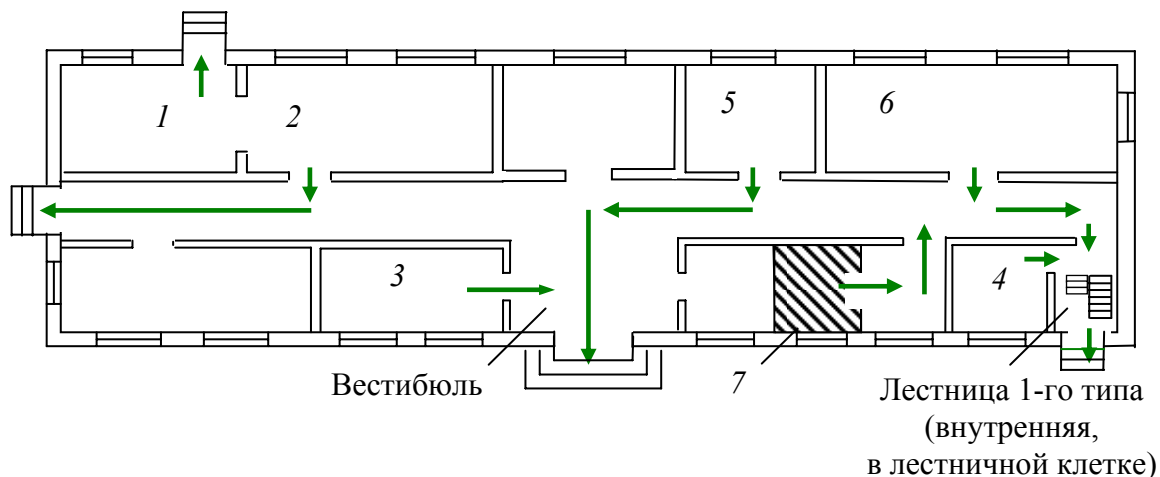


Рис. 1.12 а. Эвакуационные выходы из помещений первого этажа.

Описание маршрута эвакуации из помещений первого этажа наружу:

- 1 – непосредственно;
- 2 – через коридор;
- 3 – через вестибюль (фойе);
- 4 – через лестничную клетку;
- 5 – через коридор и вестибюль (фойе);
- 6 – через коридор и лестничную клетку;
- 7 – в соседнее помещение (кроме помещения категорий А и Б), обеспеченное эвакуационными выходами

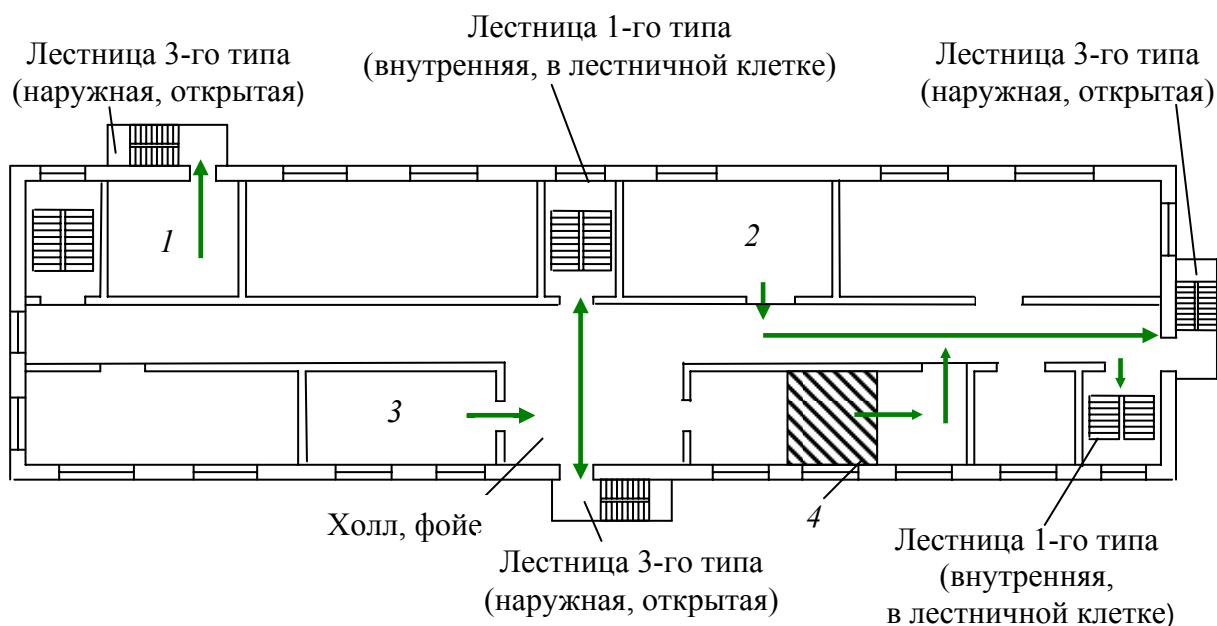


Рис. 1.12 б. Эвакуационные выходы из помещений, расположенных на любых этажах, кроме первого.

Описание маршрута эвакуации из помещений любого этажа, кроме первого:

- 1 – непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа;
- 2 – в коридор, ведущий непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа;
- 3 – в холл (фойе), имеющий выход непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа;
- 4 – в соседнее помещение (кроме помещения категорий А и Б), обеспеченное эвакуационными выходами

Согласно СНиП 21–01–97* «эвакуационные пути не должны включать лифты и эскалаторы» (п. 6.17) [6]. Они не должны включать также участки, ведущие:

– через коридоры с выходами из лифтовых шахт, через лифтовые холлы и тамбуры перед лифтами, если ограждающие конструкции шахт лифтов, включая двери шахт лифтов, не отвечают требованиям, предъявляемым к противопожарным преградам (рис. 1.13);

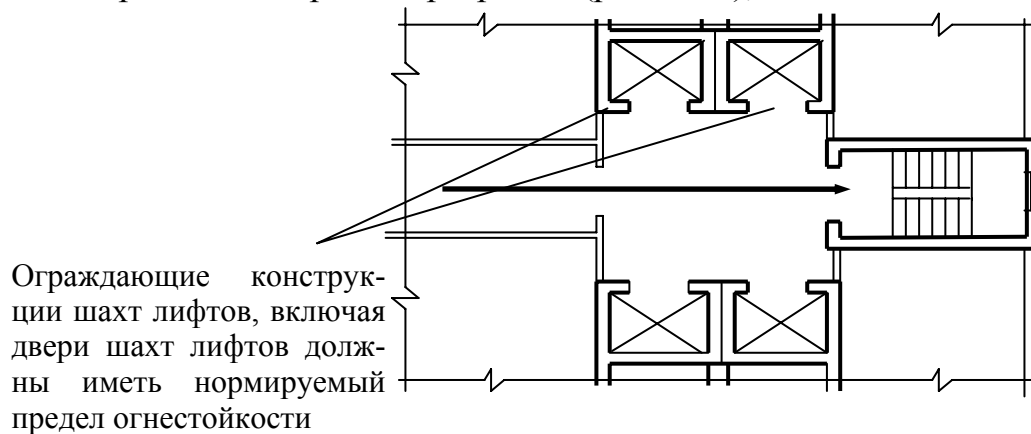


Рис. 1.13. Путь эвакуации через лифтовой холл

– через «проходные» лестничные клетки, когда площадка лестничной клетки является частью коридора (рис. 1.14 а), а также через помещение, в котором расположена лестница 2-го типа, не являющаяся эвакуационной (рис. 1.14 б);

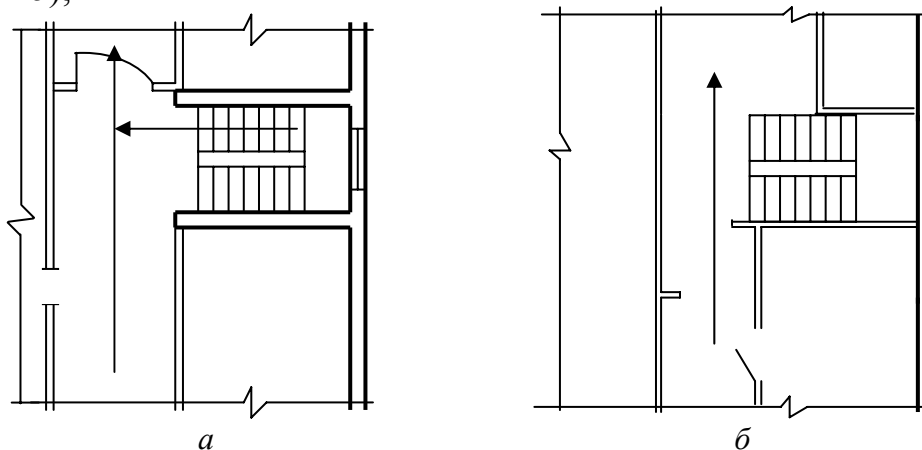


Рис. 1.14. Нарушения при проектировании путей эвакуации:

- а – площадка лестничной клетки является частью коридора;
- б – маршрут движения проходит через помещение, в котором расположена внутренняя открытая лестница, не являющаяся эвакуационной

– по кровле зданий, за исключением эксплуатируемой кровли или специально оборудованного участка кровли;

– по лестницам 2-го типа (внутренние открытые), соединяющим более двух этажей (ярусов), а также ведущим из подвалов и цокольных этажей, за исключением специально оговоренных в нормах случаев.

В полу на путях эвакуации не допускаются перепады высот менее 45 см и выступы, за исключением порогов в дверных проемах. В местах перепада высот следует предусматривать лестницы с числом ступеней не менее трех или пандусы с уклоном не более 1:6.

Если второй этап эвакуации людей проходит по фойе или вестибюлю, т. е. через помещения не ограничивающие, как коридор, ширины людского потока, то распределение людских потоков между возможными эвакуационными выходами, когда они не блокированы, происходит согласно закономерностям, приведенным на рис. 1.15, а, б, а структура потока приобретает форму, схематически показанную на рис. 1.16.

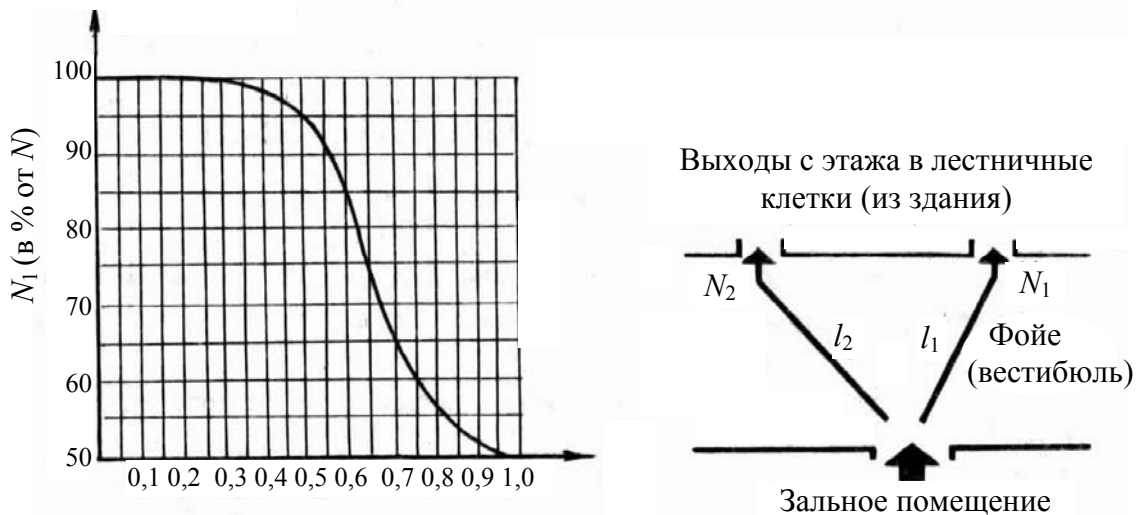


Рис. 1.15, а. Число зрителей и выбор выхода при эвакуации в две лестничные клетки либо в две открытые лестницы или в два выхода из здания:

N – общее количество эвакуирующихся; N_1 – число эвакуирующихся через ближний выход; N_2 – число эвакуирующихся через дальний выход; l_1 – длина пути до ближнего выхода; l_2 – длина пути до дальнего выхода

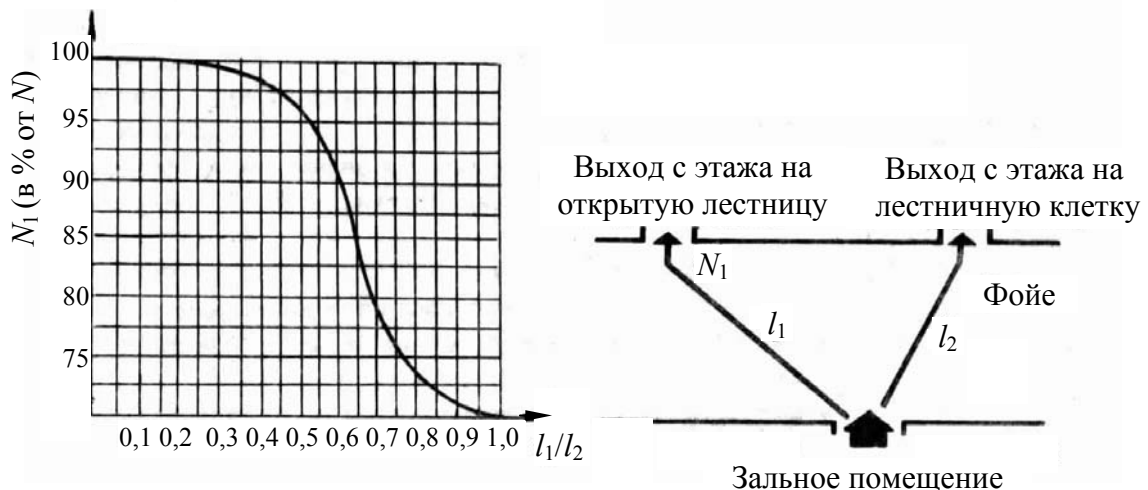


Рис. 1.15 б. Число зрителей эвакуирующихся по открытой лестнице: N – общее количество эвакуирующихся; N_1 – число эвакуирующихся по открытой лестнице; l_1 – длина пути до открытой лестнице; l_2 – длина пути до выхода в лестничную клетку

Третий этап эвакуации (для людей, находящихся на этажах выше первого) проходит по лестницам, открытым или размещенным в лестничных клетках. Движение людей по лестницам оказывается достаточно опасным даже при эксплуатации зданий в нормальных условиях. «Ниже приводятся некоторые статистические данные по США и, похоже, что аналогичный порядок и пропорция величин имеют место и в других развитых странах. По американским данным, в результате несчастных случаев на лестницах примерно 800 тысяч человек получают травмы и повреждения, требующие стационарного лечения. В 1978 г. в таких инцидентах погибли около 3000 человек. Кроме того, отмечены цифры порядка 1,8–2,66 млн травм и повреждений более легкого характера, потребовавших только амбулаторного лечения. В США ежегодный ущерб от несчастных случаев на лестницах оценивается примерно в 2 млрд долларов» [38].

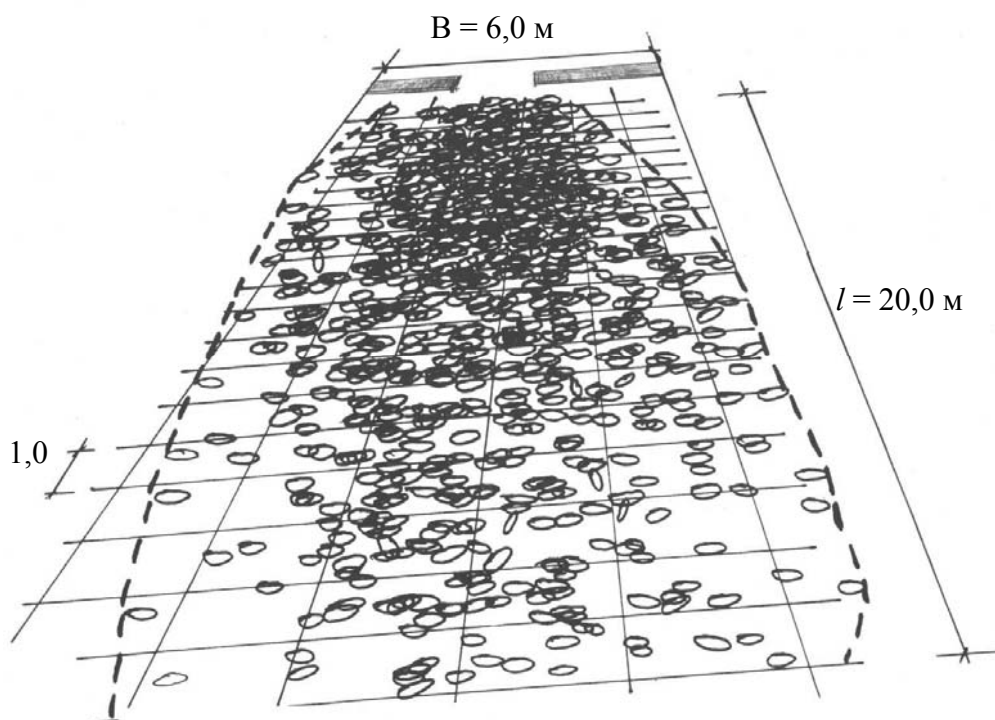


Рис. 1.16. Схема кинограммы движения людского потока численностью 126 человек на участке «неограниченной ширины» [47]

Несчастные случаи на лестницах чаще всего происходят с детьми, лицами в возрасте 21–25 лет и взрослыми женщинами. Если молодые люди обычно отделяются сравнительно легко (временная нетрудоспособность в течение нескольких дней), то у пожилых людей травмы могут быть значительно более серьезными. У пожилых людей такие инциденты могут привести к инвалидности и к резкому изменению образа жизни. Примерно 85 % инцидентов на лестницах со смертельным исходом происходят с людьми старше 65 лет.

Хотя несчастные случаи при движении по лестницам обуславливаются сочетанием многих причин, тем не менее, их исследование показывает, что многие из них вызваны ошибками архитектурно-строительного проектирования. Например, многие несчастные случаи на лестницах происходят из-за того, что человек не может ясно и четко видеть и чувствовать край ступени. В отечественной литературе давно отмечалось, что при высокой плотности потока у человека при спуске по лестнице возникает опасение оступиться и упасть [37, 50]. В результате этого люди снижают скорость спуска по лестнице до такой степени, что она становится ниже скорости их движения при подъеме, хотя он и требует гораздо больших физиологических затрат, чем спуск. Чем круче лестница, тем сильнее это опасение, тем более у пожилых людей. Причина состоит в неправильно запроектированной геометрии лестницы, когда ступень оказывается мала для того, чтобы человек мог сделать правильный шаг. Чтобы иметь надежную опору, он вынужден поворачивать ногу, а иногда и все тело, вдоль ступени, что увеличивает его раскачивание при спуске и вызывает повышенную утомляемость при таком движении и постоянном опасении упасть вниз по лестнице.

По-видимому, во всех странах мира архитекторам хорошо известно простое правило связи размеров ступени лестницы: сумма удвоенной высоты проступи плюс глубина ступени должна быть равна величине шага. Это правило было разработано Ф. Блонделем (Франция) более 300 лет назад. Однако в нормах и стандартах некоторых стран (например, Канада) оно не соблюдается из-за стремления сэкономить на площади лестничных клеток. Для нашей страны это не характерно.

В учебной литературе по проектированию зданий правило Ф. Блонделя высказано следующим образом: «Размеры ступеней обычно согласовываются с длиной шага. Если средняя длина шага человека составляет около 60 см, то при ходьбе по лестнице длина шага должна быть равна длине двух подступенков и одной проступи. Следовательно, при уклоне 1:2 размер ступени будет: подступенок – 15 см; проступь – 30 см».

Для обеспечения постоянного ритма движения важно, чтобы все ступени имели одинаковую высоту подступенков. Поэтому совершенно недопустима небрежность при проектировании и постройке лестниц, когда одна из ступеней получает меньший или больший подступенок. При движении в аварийных условиях один такой выпадающий размер ступени может стать причиной несчастья. Важно, чтобы ступень имела валик или подступенок был бы скошен. В противном случае лестница станет неудобной для хождения, так как люди будут задевать подступенок ногами» [37]. Геометрия ступени приведена на рис. 1.17.

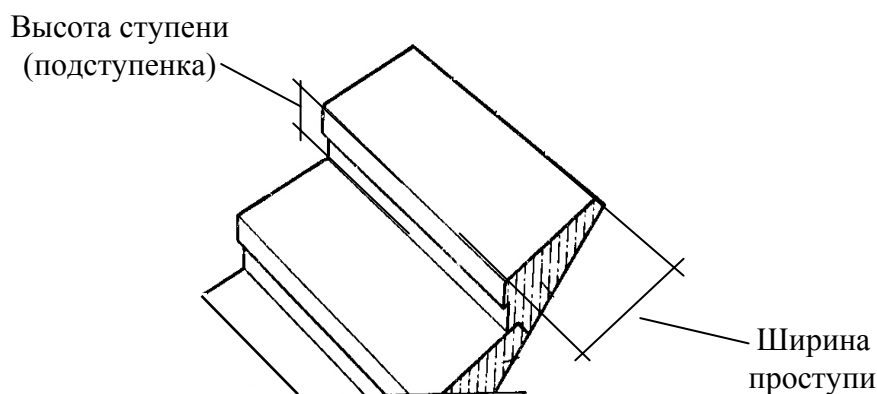


Рис. 1.17. Геометрия ступеней

Согласно отечественным нормам [6] ширина проступи лестницы должна быть, как правило, не менее 25 см, а высота ступени – не более 22 см (п. 6.30*).

В отечественных нормах строительного проектирования зданий и сооружений проектированию геометрии лестниц, соответствующей антропометрии движения человека, уделяется серьезное внимание. Требования к ширине и уклону наклонных путей эвакуации (лестниц и пандусов) приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Нормируемые значения ширины и уклона лестниц и пандусов

Тип здания	Ширина лестничного марша, м	Уклон марша	Ширина пандуса, м	Уклон пандуса
Общественное (СНиП 2.08.02) [51]	Не менее ширины выхода с этажа, но не менее 0,9–1,35 м или из расчета 80–165 чел. на 1 марш (п. 1.96, 1.105)	Не более 1:2, до 1:1,5 (п. 1.94)	Не менее 1,0 м (п. 1.117)	1:20 – 1:6 (п. 1.94)
Жилое (СНиП 31–01) [53]	0,9–1,05 м (п. 8.2)	1:1,5–1:1,25 (п. 8.2)	–	–
Производственное (СНиП 31–03) [52]	0,6 м на 100 чел. эвакуирующихся (п. 6.8)	Не более 1:2, до 1:1,5 (п. 5,17)	–	–
Общие требования к зданиям и сооружениям по СНиП 21–01–97 [6]	0,9–1,35 м (п. 6.29)	Не более 1:1 (п. 6.30)	0,7–1,2 м (п. 6.27)	Не более 1:6 (п. 6.28)

Примечание. Ширину марша следует определять расстоянием между ограждениями или между стеной и ограждением.

Определение уклона лестниц и пандусов проиллюстрировано на рис. 1.18.

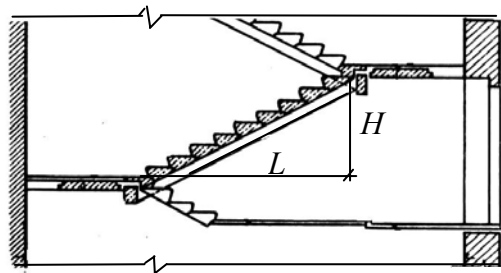


Рис. 1.18. Иллюстрация к определению уклона вертикальных путей эвакуации: уклон определяется соотношением H/L , например, если $H = 1,5$ м, $L = 3$ м, уклон лестницы составляет 1:2

Нормируется также число подъемов в одном марше. Например, для общественных зданий между площадками должно быть не менее 3 и не более 16 подъемов. В одномаршевых лестницах, а также в одном марше двух- и трехмаршевых лестниц в пределах первого этажа допускается не более 18 подъемов (п. 1.90 [51]).

Отечественные строительные нормы и правила требуют, чтобы ширина лестничной площадки была не менее ширины лестничного марша, а ширина лестничного марша должна быть не менее ширины выхода на лестничную клетку (рис. 1.19): $b_{л.п} \geq b_{л.м}$, а $b_{л.м} \geq b_{вх.л.к}$ (п. 1.96* [6]), так как в противном случае вероятно нарушение условия беспрепятственности движения.

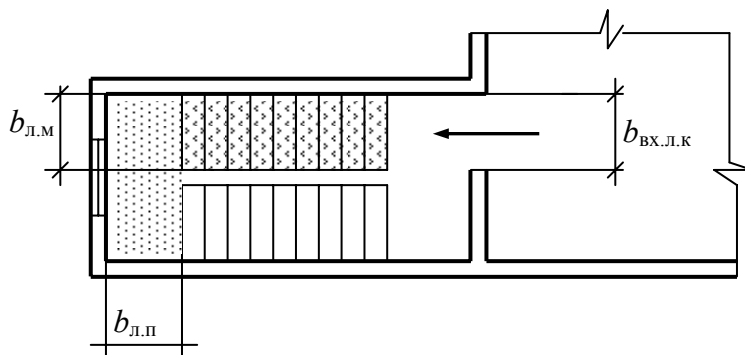


Рис. 1.19. Ширина лестничного марша $b_{л.м}$, ширина лестничной площадки $b_{л.п}$ и ширина входа в лестничную клетку $b_{вх.л.к}$

В общественных зданиях широко используются внутренние открытые лестницы. Нормирование использования внутренних открытых лестниц для эвакуации приведено в табл. 1.6. Но в стационарах лечебных учреждений открытые лестницы в расчет эвакуации людей при пожаре не включаются (п. 1.97 [51]).

Таблица 1.6

Внутренние открытые лестницы в общественных зданиях

Рассматриваемое проектное решение	Условия допустимости проектного решения	Ссылка на пункт норм
Внутренняя открытая лестница на всю высоту здания	<ol style="list-style-type: none"> 1. Степень огнестойкости здания I или II. 2. Только одна внутренняя открытая лестница в здании. 3. Отделение помещения с такой лестницей от примыкающих к ней коридоров и других помещений противопожарными перегородками. При устройстве автоматического пожаротушения во всем здании отделять помещения с открытой лестницей от коридоров и других помещений не обязательно 	п. 1.102 [51]
Внутренняя открытая лестница из вестибюля до второго этажа	<ol style="list-style-type: none"> 1. Степень огнестойкости здания I–III. 2. Отделение вестибюля от коридоров и других помещений противопожарными перегородками с обычными дверями и противопожарным перекрытием 	п. 1.102 [51]
Внутренняя открытая лестница из вестибюля до уровня следующего этажа в комплексе зрительских помещениях театров	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не более двух таких лестниц в здании. 2. Не менее двух дополнительных закрытых лестничных клеток в здании. 3. Изолированные эвакуационные пути на вышележащих этажах, ведущие к закрытым лестничным клеткам 	п. 1.102 [51]
Внутренняя открытая лестница с первого до второго этажа в здании предприятий розничной торговли	<ol style="list-style-type: none"> 1. Степень огнестойкости здания I или II. 2. Учитываются только для половины эвакуирующихся. 3. Необходимо предусмотреть не менее двух закрытых лестничных клеток для эвакуации остальных покупателей. 	пп. 1.97, 1.102 [51]
Внутренняя открытая лестница с цокольного до первого этажа в здании предприятий розничной торговли	<ol style="list-style-type: none"> 4. Длину пути по открытой лестнице следует включать в расстояние от наиболее удаленной точки зала до эвакуационного выхода наружу. 5. Если лестница из подвала или цокольного этажа выходит в вестибюль первого этажа, то все лестницы надземной части здания, кроме выхода в этот вестибюль, должны иметь выход непосредственно наружу 	

Наружные открытые лестницы для эвакуации допускается использовать в IV климатическом районе и в ПБ климатическом подрайоне (кроме стационарных лечебных учреждений) (п. 1.99 [51]). В остальных климатических районах допускается использовать указанные лестницы для эвакуации только со второго этажа зданий (кроме зданий школ и школ-интернатов, детских дошкольных учреждений и т. п.), и должны быть рассчитаны на число эвакуируемых в пределах от 30 до 70 человек.

Применение на путях эвакуации винтовых лестниц, криволинейных, лестниц с забежными ступенями исключается: «на путях эвакуации не допускается устройство винтовых лестниц и забежных ступеней...» (п. 6.28 [6]), рис. 1.20–1.22.

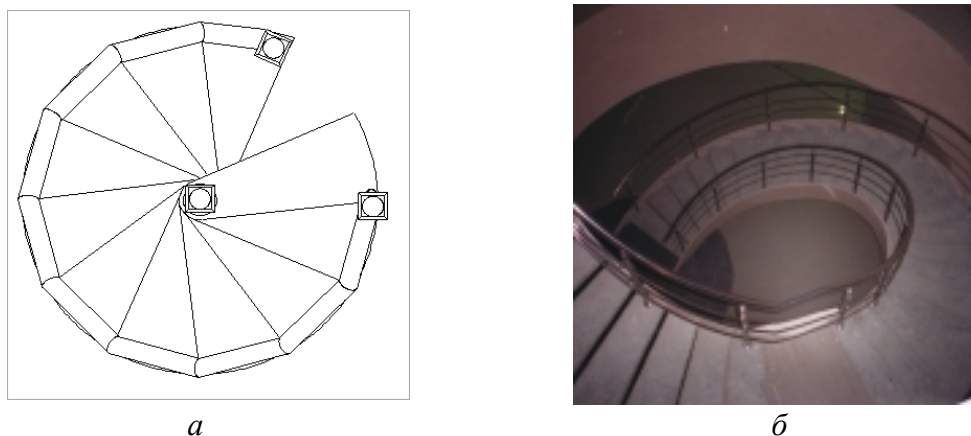


Рис. 1.20. Винтовая лестница: *а* – графическое изображение; *б* – фотография



Рис. 1.21. Криволинейные лестницы:
а – одномаршевая криволинейная лестница, размещенная в прямоугольном объеме;
б – одномаршевая криволинейная лестница, расположенная у стены

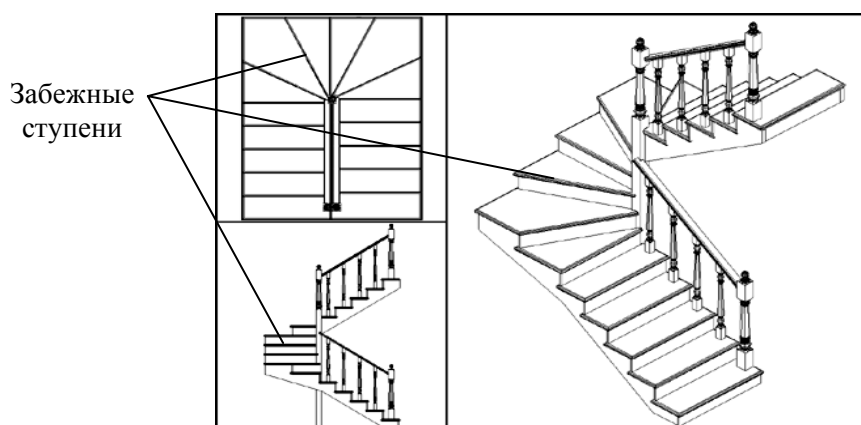


Рис. 1.22. Лестница с забежными ступенями

Следует, однако, отметить, что, несмотря на такое внимание строительных норм и правил к антропометрии параметров лестниц, в них практически не учитывается важнейший эргономический параметр – расположение перил, обеспечивающих устойчивость и координацию движения людей по лестнице. Рекомендациями [38], основанными на антропометрическом анализе, установлено, что лестницы, используемые для движения вниз потоков взрослых людей, должны иметь поручни на высоте от 915 до 965 мм от края ступени, а расстояние между поручнями должно быть не более 1575 мм (между центрами осей поручней). Такие поручни должны иметь круглое поперечное сечение диаметром около 45 мм. Расстояние поручня от стены должно быть не менее 55 мм, тем более, если стена имеет шероховатую поверхность. Результаты антропометрического анализа представлены на рис. 1.23.

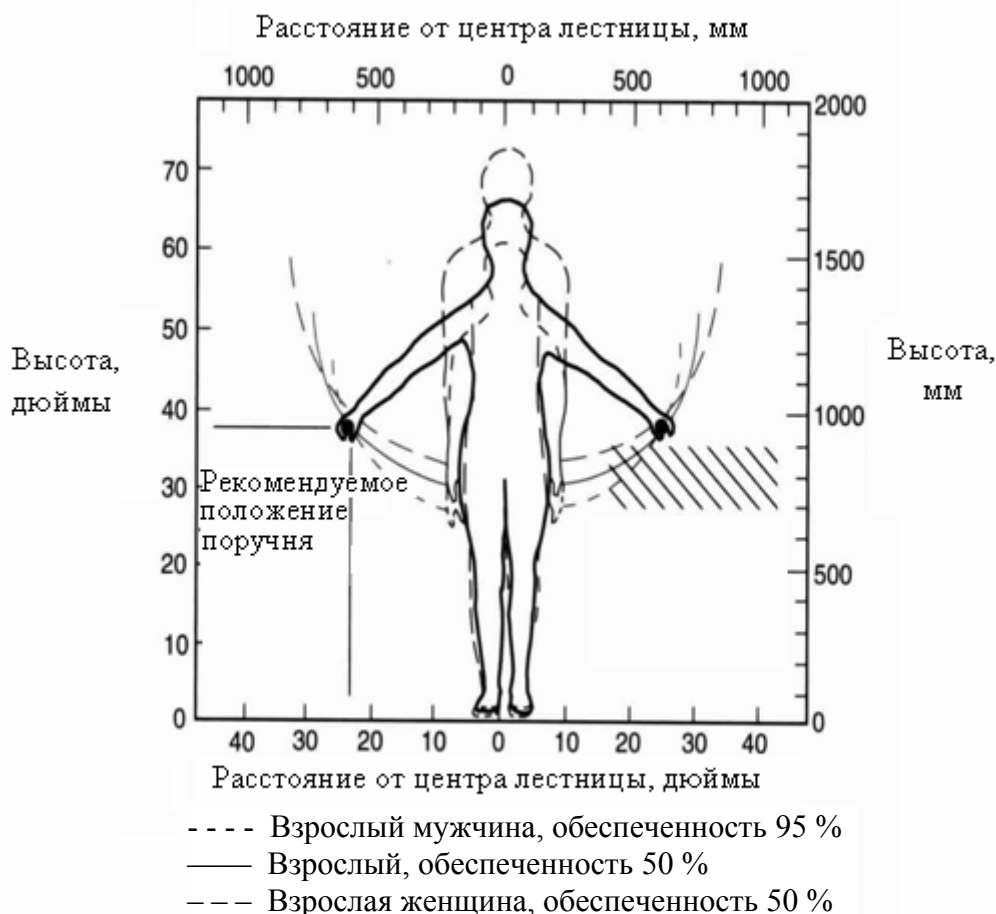


Рис. 1.23. Способности человека достичь и схватить поручень

Развивая проведенное исследование за пределы простого антропометрического анализа, Национальный научно-исследовательский совет Канады организовал изучение функциональных способностей людей (главным образом престарелых) с использованием поручней различной высоты и с различным расстоянием между ними. В первой части исследования были

замерены усилия и моменты, вызываемые при опирании на поручень молодыми и пожилыми людьми. Был получен вывод о том, что, по мнению обследованных людей, высота поручня от 914 до 965 мм (914 мм – предпочтительная) является оптимальной.

При переходе в таких антропометрических и функциональных исследованиях от одиночных людей к толпе получены данные, показаны на рис. 1.24.

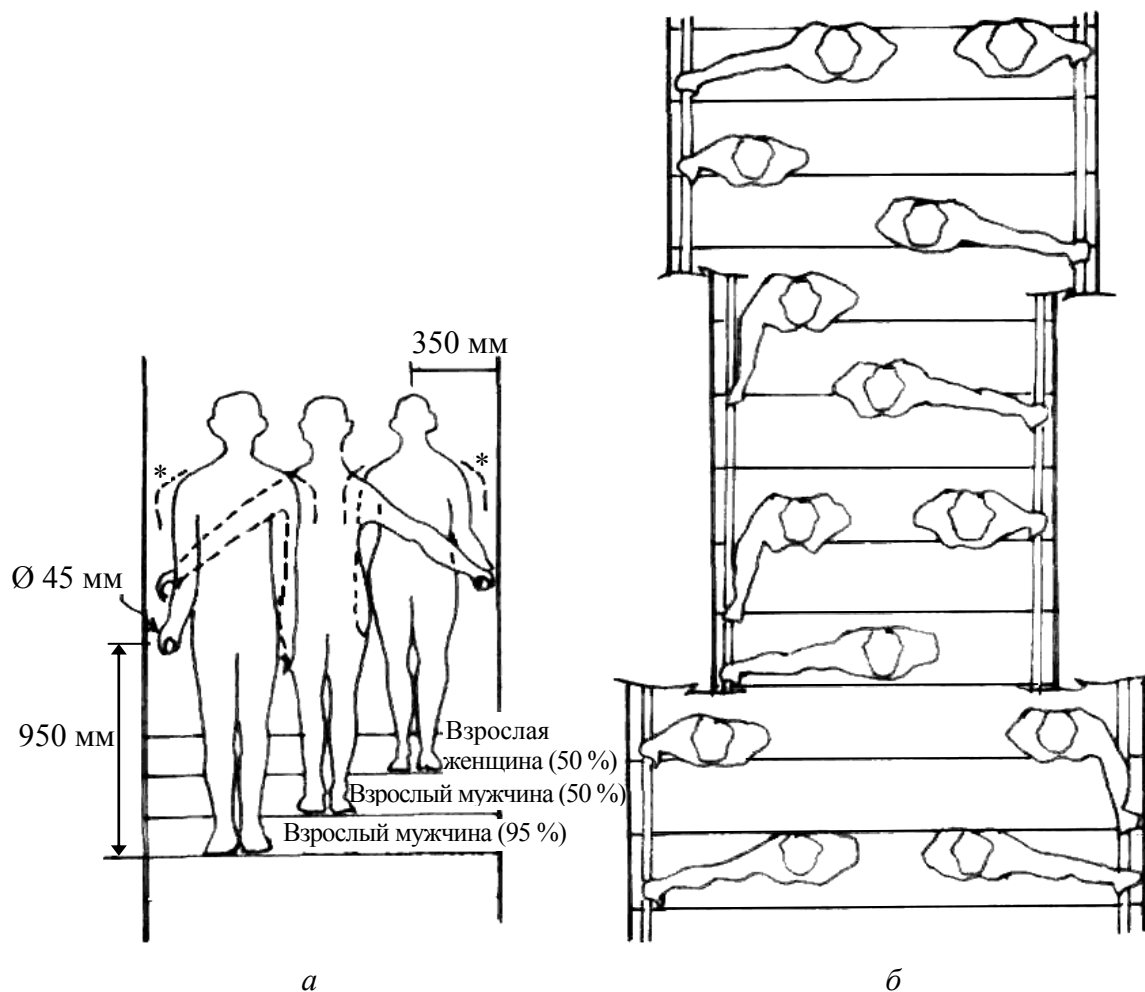


Рис. 1.24. Положение тела на лестнице:

- a* – фронтальная проекция при расстоянии между поручнями 1200 мм;
- б* – план лестницы с расстоянием между поручнями 1550, 1200, 1900 мм;
- * – раскачивание тела

На левой части рисунка показан фронтальный вид полностью заполненной лестницы с номинальной шириной 1400 мм и расстоянием между центрами поручней 1200 мм, что соответствует «стандартной лестнице» по рис. 1.23. Такая ширина считается хорошим минимумом, ибо позволяет двум человекам идти рядом и допускает некоторое раскачивание тела. Эта же ширина является максимальной для случая, когда человек, находящийся в середине лестницы, может достичь обеих поручней. Последний критерий

является, конечно, чисто теоретическим; более важным является критерий, согласно которому каждый человек на лестнице может держаться за один поручень.

Особенности расположения потока, в котором каждый участник движения может держаться за поручень, показаны на рис. 1.24 б, где в плане показаны лестницы с расстоянием между осями поручней 1550, 1200 и 1900 мм. Здесь показана также оптимальная плотность потока (2 чел./м²). Среднее расстояние между центром тела и центром поручня, составляющее 350 мм на рисунке, полностью соответствует предпочтительному расстоянию, наблюдавшемуся при лабораторных исследованиях движения по лестницам отдельных людей. Глубина ступени составляет 300 мм.

Верхняя схема (с расстоянием между центрами поручней 1550 мм) близка к максимальной рекомендуемой ширине для лестниц при поточном движении; при этом лестница может быть заполнена с оптимальной плотностью, а каждый участник движения имеет возможность держаться за поручень. Наибольшее из рекомендуемых расстояний между центрами поручней (1575 мм) основано на том, что высота поручня над углом ступени составляет не менее 910 мм. Это расстояние должно быть уменьшено примерно на удвоенную величину, на которую поручень ниже 910 мм. Например, при высоте поручней 810 мм расстояние между центрами поручней не должно превышать 1375 мм.

Нижний рисунок свидетельствует о том, что лестница чересчур широка. Поток не может ее занять с той же степенью безопасности, как в случае более узкой лестницы. В этом случае либо в середине лестницы образуется разуплотненная зона, либо люди, идущие по центру лестницы, не смогут держаться за поручень. Расстояние 1200 мм между центрами поручней можно рассматривать как минимальную ширину интенсивно используемых лестниц.

Основываясь на необходимости наличия «дорожки» шириной 30 дюймов (76 см), особенно при возможности двустороннего движения по лестнице, рекомендуют номинальную ширину лестниц, равную 1520 мм между стенами [38]. Отмечается важность организации достаточного пространства на лестницах для людей с ношей (чемоданы, сумки и пр.) при их эксплуатации в нормальных условиях.

Поскольку лестницы связывают между собой несколько этажей здания, то их необходимо защищать от распространения по ним опасных факторов пожара. Именно поэтому они размещаются в лестничных клетках, которые должны (п. 6.34* [6]) иметь выход наружу на прилегающую к зданию территорию непосредственно или через вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дверями, рис. 1.25.

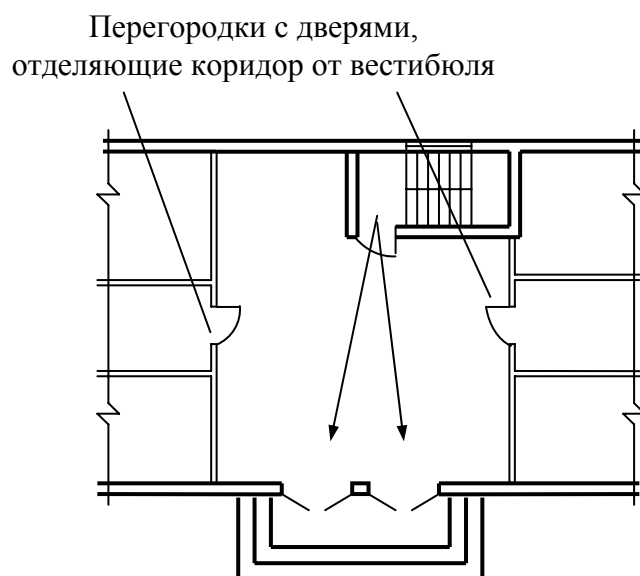


Рис. 1.25. Выход из лестничной клетки в вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дверями

Выходы из подвальных и цокольных этажей, являющиеся эвакуационными, как правило, следует предусматривать непосредственно наружу обособленными от общих лестничных клеток здания. Допускается эвакуационные выходы из подвалов предусматривать через общие лестничные клетки с обособленным выходом наружу, отделенным от остальной части лестничной клетки глухой противопожарной перегородкой 1-го типа (рис. 1.26). Эти требования диктуются стремлением не допустить распространения опасных факторов пожара из подвальных помещений и блокирования, таким образом, путей эвакуации всего здания.

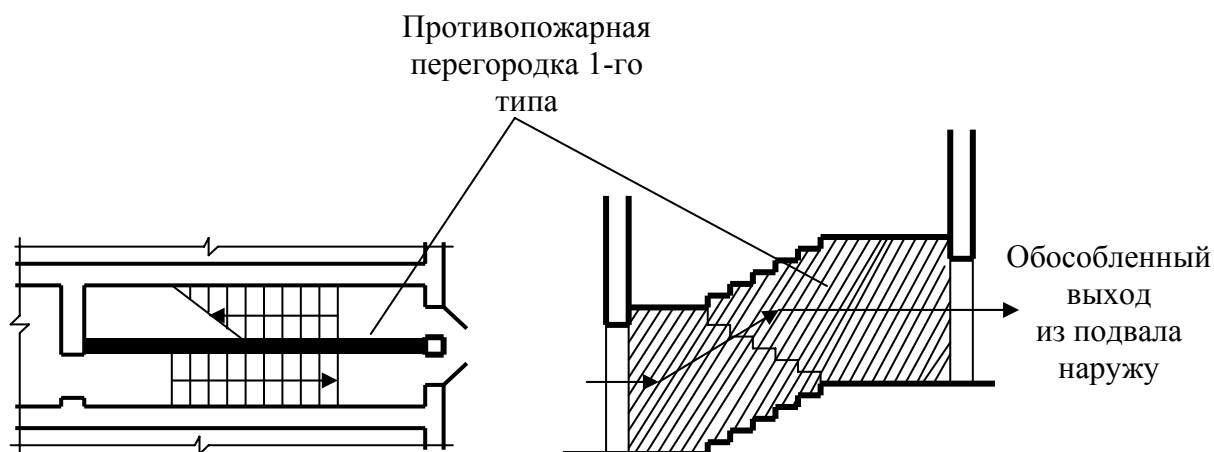


Рис. 1.26. Выход из подвала здания на территорию предусмотрен через общую лестничную клетку с обособленным выходом наружу, отделенным от остальной части лестничной клетки противопожарной перегородкой 1-го типа

Роль лестничных клеток как помещений, по которым происходит третий этап эвакуации всего населения здания, и в то же время их роль как аэродинамического канала интенсивного распространения дыма по всему зданию, определяет необходимость усиленной и высоконадежной защиты от проникновения в них дыма. Поэтому при переходе к строительству многоэтажных зданий были разработаны три типа незадымляемых лестничных клеток [6, п. 5.15]: Н1 – с входом в лестничную клетку с этажа через наружную воздушную зону по открытым переходам, Н2 – с подпором воздуха в лестничную клетку при пожаре, Н3 – с входом в лестничную клетку с этажа через тамбур-шлюз с подпором воздуха. Пример решения внутреннего пространства незадымляемой лестничной клетки в американской практике приведен на рис. 1.27.

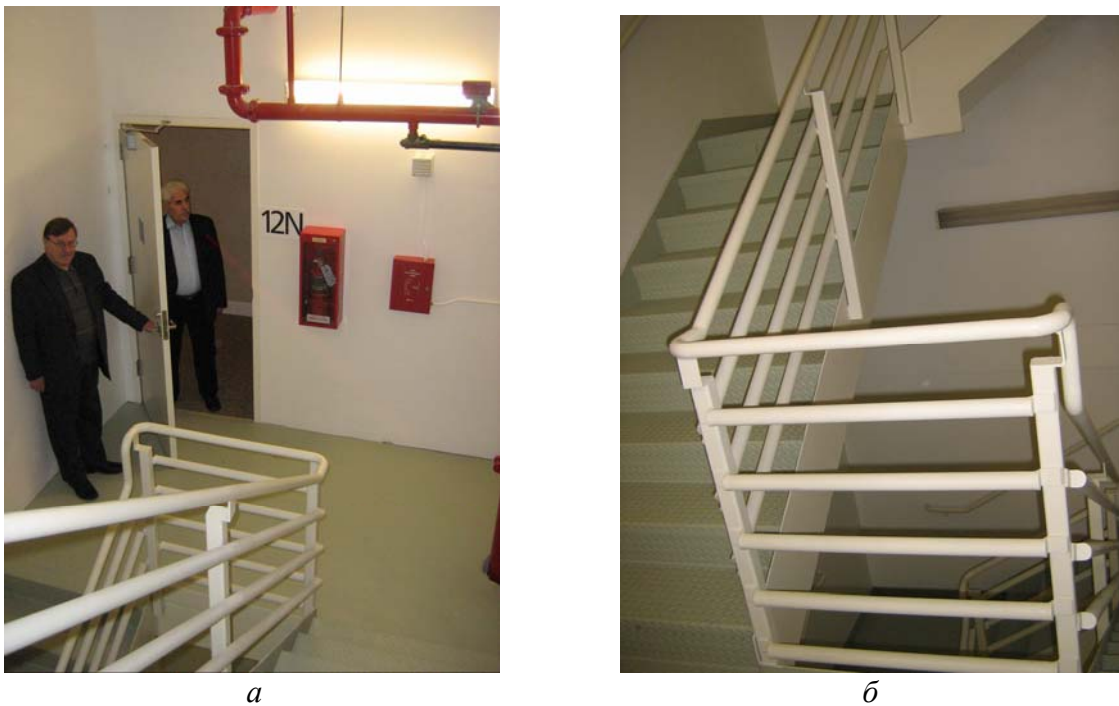


Рис. 1.27. Отель Wyndham (Чикаго):

а – вход в незадымляемую лестничную клетку; *б* – конструкция лестницы

Несмотря на высокую степень защиты этих типов лестничных клеток от проникновения опасных факторов пожара (их конструкции имеют предел огнестойкости, исчисляемый часами), их нельзя рассматривать в качестве пожаробезопасных зон для длительного пребывания населения всего здания. Это было бы неправильно, как из-за недостаточной площади лестниц для размещения всех людей с приемлемой плотностью, так и из-за постоянной психологической потребности людей продолжать движение с целью покинуть здание, охваченное развивающимся пожаром. Приостановка движения при эвакуации – одна из первых причин возникновения паники.

Выход людей из лестничной клетки или через вестибюль наружу, означает окончание третьего этапа эвакуации из здания. Но этот этап еще не

является окончанием эвакуации, которая осуществляется для обеспечения безопасности людей при чрезвычайной эвакуации в здании. Людям необходимо еще удалиться от здания на расстояние, достаточное чтобы исключить возможное воздействие на них вторичных проявлений [5, п. 1.5] опасных факторов пожара – осколков, частей разрушившихся конструкций, аппаратов и истекающих из них радиоактивных или токсичных веществ, или попасть в укрытие, защищающее от них. Движение людей от здания по территории в безопасное место – четвертый этап эвакуации.

Заключение

Итак, решив эвакуироваться с места своего нахождения во время пожара в безопасное место, человек следует маршрутом, проходящим по последовательно расположенным участкам пешеходных коммуникаций, связывающих эвакуационные выходы помещений всех этапов эвакуации из здания и с окружающей его территорией. Именно эта сеть участков и эвакуационных выходов, используемых людьми, образующими общий поток, является для них эвакуационным путем. Он является частью общей структуры эвакуационных путей и выходов здания. Для той части людей, которые пользуются им, он – расчетный эвакуационный путь (РЭП) на каждом этапе эвакуации, двигаясь по которому они рассчитывают благополучно покинуть здание.

Участки эвакуационного пути и выходы должны соответствовать не только индивидуальным антропометрическим данным людей, их эргономическим возможностям и противопожарным требованиям, но и требованиям, определяемым людским потоком, т. е. движущейся массой людей. Первостепенное требование состоит в недопущении на путях эвакуации скоплений людей с большой плотностью, поскольку это ведет, как было показано, к травматизму и компрессионной асфиксии.

Скопления возникают на границе смежных участков пути. Границами участков являются те поперечные сечения пути, где изменяется его ширина или вид (рис. 1.28). Скопления возникают в тех случаях, когда к границе участка подходит каждую минуту людей больше, чем она может пропустить за это время, т. е. когда величина людского потока P_{i-1} , подходящего к границе смежных участков с предшествующего участка $i-1$, больше пропускной способности Q_i последующего участка i . Очевидно, что в этих случаях недостаточная пропускная способность участков пути становится препятствием для движения людского потока без образования скопления людей. Поэтому при проектировании сети коммуникационных путей зданий любого назначения необходимо проверять обеспечение условий беспрепятственности движения на каждом из составляющих ее РЭП.

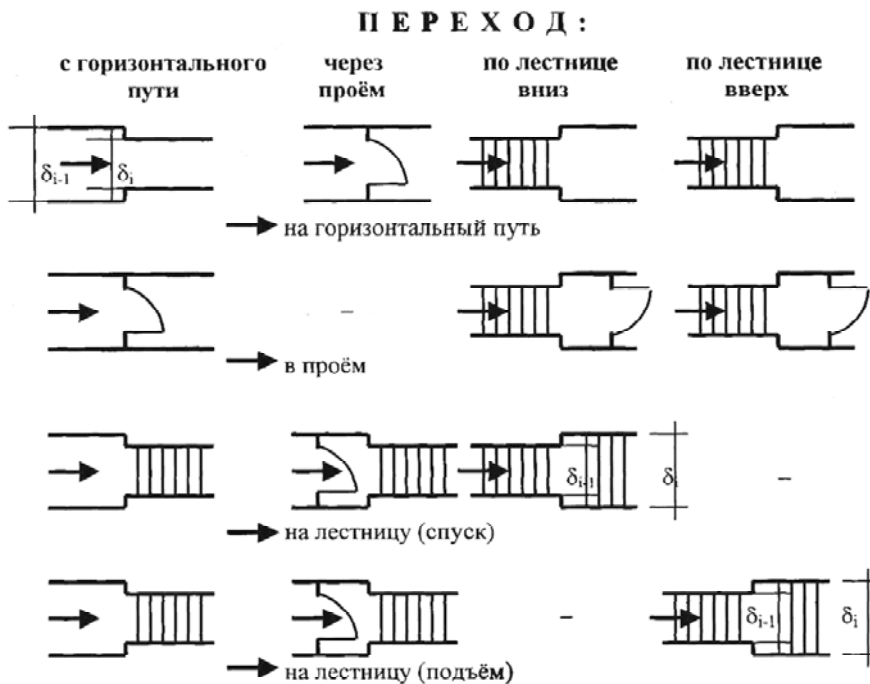


Рис. 1.28. Движение людей через границу участков пути

Рассмотренные данные о распространении опасных факторов пожара в зданиях, о поведении людей до начала эвакуации, о людских потоках, формирующихся при массовой эвакуации, и об эвакуационных путях и выходах дают возможность концептуально сформулировать основные критерии безопасной эвакуации людей при пожаре [37, 46]. Они и высказаны в СНиП 21–01–97: эвакуация людей при пожаре должна быть своевременной и беспрепятственной. Однако, это лишь концепция. Необходимо, прежде всего, записать ее в математическом виде:

$$- \text{своевременность эвакуации} - t_{н.э} + \sum t_{p,i} \leq t_{нб}, \quad (1.8)$$

$$- \text{беспрепятственность эвакуации} - P_i \leq Q_i. \quad (1.9)$$

Тогда становится понятным, по крайней мере, закономерности каких процессов необходимо искать для того, чтобы реализовать эти соотношения. Это мы и сделаем в следующей главе.

Следует добавить, что эта и дополнительная информация по теме настоящего учебного пособия приведена на сайте www.FireEvacuation.ru.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1

Дополнительные сведения об опасных факторах пожара

Горение – реакция взаимодействия горючего вещества и окислителя (кислорода воздуха) с выделением большого количества тепла и света, начинающаяся под воздействием источника воспламенения. *Пламя* – видимая зона горения. Внутри этой зоны происходят процессы окисления и тепловыделения, в результате которых образуются также токсичные газообразные продукты и дисперсионная среда, состоящая из мельчайших твердых и жидких частиц (дым). Процесс окисления поддерживается за счет поглощения кислорода, забираемого из окружающего воздуха. Распространение пламени происходит сначала линейным переносом фронта пламени по поверхностям конструкций из горючих материалов, окружающих зону возгорания. При увеличении очага пожара возникают конвективные потоки, которые переносят тепло и образующуюся токсичную газо-дисперсионную смесь по объему помещения, а затем и за его пределы по всему зданию.

Интенсивность процесса горения в помещении зависит от многих факторов. К основным факторам относят, как правило, вид (рис. П1.1) и количество пожарной нагрузки, вид и количество проемов, объемно-планировочное решение помещения (рис. П1.2), вид и толщину ограждающих конструкций.

В газоздушном смеси, образующейся при пожарах, содержится до 70 видов химических соединений, оказывающих токсическое воздействие на человека. Некоторые из них приведены в табл. П1.1 [9].

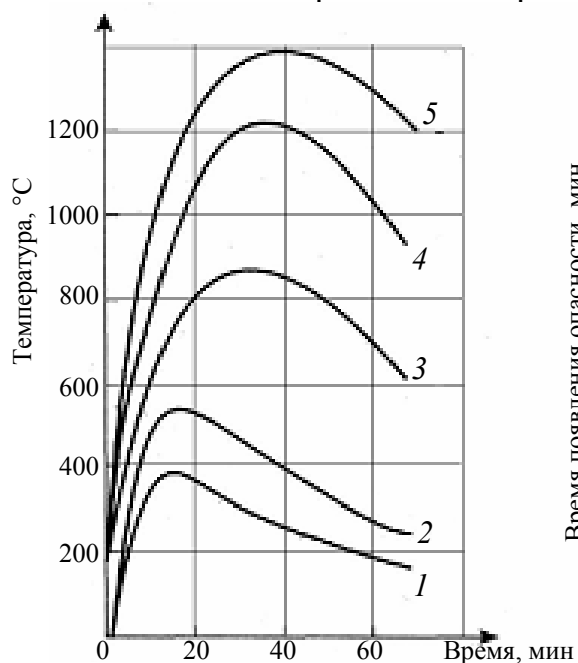


Рис. П1.1. Изменение температуры во времени при горении [8]: 1 – бумаги в рулонах; 2 – хлопка в кипах; 3 – древесины в брусках 50×50 мм; 4 – автомобильных шин; 5 – полистирола

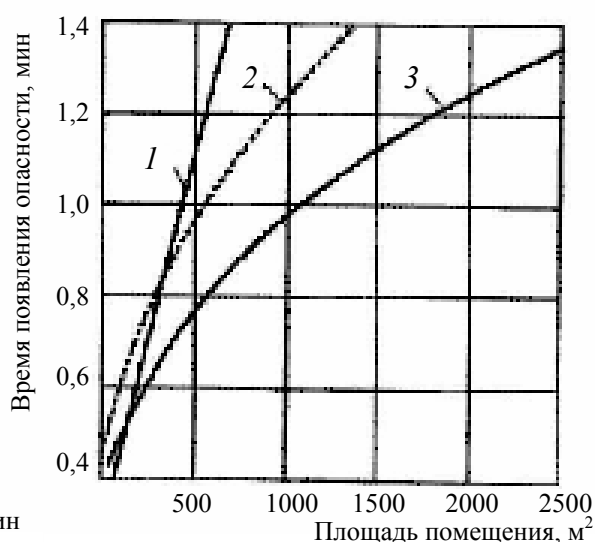


Рис. П1.2. Зависимость времени появления опасных факторов от площади [9]: 1 – в техническом помещении высотой 3 м; 2 – в торговом зале высотой 5 м; 3 – в торговом зале высотой 4 м

Таблица П1.1

Источники образования токсичных компонентов газовой смеси при пожарах

Источник образования (материал)	Токсичные компоненты
Горючие материалы, содержащие углерод	Оксись и двуокись углерода
Целлулоид, полиуретаны	Оксиды азота
Древесина, шелк, целлюлозные материалы, вискоза, азотосодержащие пластмассы	Цианистый водород
Древесина, бумага	Акролеин
Резина, тиоколы	Диоксиды серы
Поливинилхлорид, фторированные пластмассы	Соляная, бромистоводородная, плавиковая кислоты, фосфоген
Меламин, нейлон, мочевиноформальдегид	Аммиак
Древесина, нейлон, полиэфирные смолы, фенолформальдегид	Альдегиды
Полистирол	Бензол
Пенополиуретан	Изоцианаты

Таблица П1.2

Концентрации летучих токсичных веществ, выделяющихся при пожаре [54]

Название и химическая формула	Описание воздействия	Концентрация	Симптомы
Оксид углерода, угарный газ, CO	В результате соединения с гемоглобином крови, образуется неактивный комплекс – карбоксигемоглобин, вызывающий нарушение доставки кислорода к тканям организма. Выделяется при горении полимерных материалов. <i>Выделению способствует медленное горение и недостаток кислорода</i>	0,2–1 % об.	Гибель человека за период от 3 до 60 мин
Диоксид углерода, углекислый газ, CO ₂	Вызывает учащение дыхания и увеличение легочной вентиляции, оказывает сосудорасширяющее действие, вызывает сдвиг рН крови, также вызывает повышение уровня адреналина	12 % об. 20 % об.	Потеря сознания, смерть в течение нескольких минут. Немедленная потеря сознания и смерть
Хлороводород, хлористый водород, HCl	Снижает возможность ориентации человека: соприкасаясь с влажным глазным яблоком, превращается в соляную кислоту. Вызывает спазмы дыхания, воспалительные отеки и, как следствие, нарушение функции дыхания. <i>Образуется при горении хлорсодержащих полимеров, особенно ПВХ</i>	2000–3000 мг/м ³	Летальная концентрация при действии в течение нескольких минут

Название и химическая формула	Описание воздействия	Концентрация	Симптомы
Циановодород, (цианистый водород, синильная кислота), HCN	Вызывает нарушение тканевого дыхания вследствие подавления деятельности железосодержащих ферментов, ответственных за использование кислорода в окислительных процессах. Вызывает паралич нервных центров. <i>Выделяется при горении азотсодержащих материалов (шерсть, полиакрилонитрил, пенополиуретан, бумажно-слоистые пластики, полиамиды и пр.)</i>	240–360 мг/м ³ 420–500 мг/м ³	Смерть в течение 5–10 мин. Быстрая смерть
Фтороводород, (фтористый водород, HF)	Вызывает образование язв на слизистых оболочках глаз и дыхательных путей, носовые кровотечения, спазм гортани и бронхов, поражение ЦНС, печени. Наблюдается сердечно-сосудистая недостаточность. <i>Выделяется при горении фторсодержащих полимерных материалов</i>	45–135 мг/м ³	Опасен для жизни после нескольких минут воздействия
Диоксид азота, NO ₂	При попадании в кровь образуются нитриты и нитраты, которые переводят оксигемоглобин в метгемоглобин, что вызывает кислородную недостаточность организма, обусловленную поражением дыхательных путей. <i>Предполагается, что при пожарах в жилых домах отсутствуют условия, необходимые для интенсивного горения. Однако известен случай массовой гибели людей в клинической больнице из-за горения рентгеновской пленки</i>	510–760 мг/м ³ 950 мг/м ³	При вдыхании в течение 5 мин развивается бронхопневмония. Отек легких
Аммиак, NH ₃	Оказывает сильное раздражающее и прижигающее действие на слизистые оболочки. Вызывает обильное слезотечение и боль в глазах, удушье, сильные приступы кашля, головокружение, рвоту, отеки голосовых связок и легких. <i>Образуется при горении шерсти, шелка, полиакрилонитрила, полиамида и полиуретана</i>	375 мг/м ³ 1400 мг/м ³	Допустимая в течение 10 мин. Летальная концентрация
Акролеин (акриловый альдегид, CH ₂ =CH-CHO)	Легкое головокружение, приливы крови к голове, тошнота, рвота, замедление пульса, потеря сознания, отек легких. Иногда отмечается сильное головокружение и дезориентация. <i>Источники выделения паров – полиэтилен, полипропилен, древесина, бумага, нефтепродукты</i>	13 мг/м ³ 75–350 мг/м ³	Переносимая не более 1 мин. Летальная концентрация

Название и химическая формула	Описание воздействия	Концентрация	Симптомы
Сернистый ангидрид (диоксид серы, сернистый газ, SO ₂)	На влажной поверхности слизистых оболочек последовательно превращаются в сернистую и серную кислоту. Вызывает кашель, носовые кровотечения, спазм бронхов, нарушает обменные процессы, способствует образованию метгемоглобина в крови, действует на кроветворные органы. <i>Выделяется при горении шерсти, войлока, резины и др.</i>	250–500 мг/м ³ 1500–2000 мг/м ³	Опасная концентрация. Смертельная концентрация при воздействии в течение нескольких минут
Сероводород H ₂ S	Раздражение глаз и дыхательных путей. Появление судорог, потеря сознания. <i>Образуется при горении серосодержащих материалов</i>	700 мг/м ³ 1000 мг/м ³	Тяжелое отравление. Смерть в течение нескольких минут
Дым, парогазо-эрозольный комплекс	Наличие в составе: твердых частиц сажи, жидких частиц смолы, влаги, аэрозолей конденсации выполняющих транспортную функцию при дыхании. Кроме того, частицы дыма сорбируют на своей поверхности кислород, уменьшая его содержание в газовой фазе. Крупные частицы (> 2,5 мкм) оседают в верхних дыхательных путях, вызывая механическое и химическое раздражение слизистой оболочки. Мелкие частицы проникают в бронхиолы и альвеолы. При поступлении в большом количестве возможна закупорка дыхательных путей	–	–

Таблица П1.3

Примеры различных типов влияния ядов, выделяющихся при горении [54]

Взаимодействующие вещества	Описание воздействия	Тип воздействия
СО + недостаток кислорода	Биологические эффекты суммируются	Аддитивность
СО + СО ₂	Снижение токсичности СО в присутствии СО ₂	Антагонизм
СО + HCl	При концентрации близкой к летальной HCl отягощает интоксикацию СО (суммирование эффектов). При невысоких концентрациях, HCL рефлекторно уменьшает частоту дыхания, ограничивая поступление СО в организм (антагонистическое влияние)	Аддитивность/антагонизм

Взаимодействующие вещества	Описание воздействия	Тип воздействия
CO + + CO ₂ + недостаток O ₂	Нивелирует антагонистическое влияние CO ₂ на токсичность CO	Сложное комплексное воздействие
CO + NO ₂ + SO ₂	Присутствие CO и NO ₂ существенно усиливает токсичность CO и отчасти друг друга	Синергизм
CO + NO ₂ + HCl + + сажа	Ведущая роль в формировании токсического эффекта принадлежит CO. При низких уровнях содержания CO, проявляются показатели, характеризующиеся интоксикацией хлороводорода. Влияние аэрозольного компонента проявляется следующим образом. При размере частиц сажи с размером 2–5 мкм обнаружился общий усиливающий, а свыше 5 мкм – ослабляющий эффект	Сложное комплексное воздействие

Примечание. Рост температуры повышает чувствительность организма к токсическому воздействию.

Таблица П1.4

Нормированные значения опасных факторов пожара

№ п/п	Опасный фактор пожара	Предельное значение
1	Оксид углерода (угарный газ) – CO	1,16 г/м ³ (0,1 % объема)
2	Двуокись углерода (углекислый газ) – CO ₂	0,00011 г/м ³
3	Хлористый водород	0,000023 г/м ³
4	Температура	70 °С
5	Интенсивность теплового излучения	1,4 кВт/м ²
6	Концентрация кислорода	15 %
7	Предельная видимость в дыму	20 м

Источники. 1–4, 6 – ГОСТ 12.1.004–91; 5 – ГОСТ 12.3.047–98; 7 – Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2000.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.2

Требования к составлению планов эвакуации

1. План эвакуации представляет собой заранее разработанный план (схему), в котором указаны пути эвакуации, эвакуационные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации. План эвакуации состоит из

графической и текстовой частей. Результаты отработки планов эвакуации заносятся в журнал.

2. Планы эвакуации должны составляться с учетом особенностей поведения людей при пожарах, существующих объемно-планировочных решений здания, параметров движения людских потоков, пропускной способности эвакуационных путей и выходов, сложившего режима эксплуатации объекта, а также наличия активных и пассивных систем противопожарной защиты на основе правил пожарной безопасности, нормативных, справочных, научных и других документов, содержащих требования пожарной безопасности к организации эвакуации людей исходя из специфики пожарной опасности объекта.

3. При разработке плана эвакуации следует предусматривать несколько вариантов эвакуации людей из здания в зависимости от наиболее вероятных мест возникновения пожара, возможного характера его развития и количества эвакуирующихся.

4. В текстовой части плана эвакуации, выполняющейся в виде таблицы (№ п/п, перечень и порядок действий, исполнитель), инструкции либо памятки, отражаются следующие вопросы:

- 1) оповещение о пожаре и включение систем пожарной автоматики;
- 2) организация эвакуации;
- 3) отключение электроэнергии;
- 4) тушение пожара;
- 5) эвакуация имущества;
- 6) места сбора на прилегающей территории, достаточность их площади и проверка количества эвакуированных.

Действия людей при пожаре должны быть рассмотрены для дневного и ночного времени суток. Назначать исполнителей следует исходя из возможностей людей, при этом необходимо предусматривать дублирование выполнения обязанностей. Лица, задействованные в плане эвакуации, должны быть ознакомлены со своими обязанностями под роспись.

5. Графическая часть плана эвакуации представляет собой план здания без второстепенных деталей, на который нанесена схема эвакуации людей, условными знаками показаны места включения систем пожарной автоматики, размещения телефонов, огнетушителей, пожарных кранов, места отключения источников электроэнергии с расшифровкой условных знаков на плане. Сплошными зелеными стрелками на плане здания показываются основные пути эвакуации: наименее протяженные пути с высокой пропускной способностью, постоянно эксплуатируемые пути и пути, имеющие защиту системами пожарной автоматики. Пунктирными стрелками указывают запасные пути эвакуации. Схема эвакуации людей

при нахождении на этаже здания более 50 человек должна разрабатываться на основе расчета параметров движения людских потоков и пропускной способности эвакуационных путей и выходов. Схема эвакуации составляется с учетом требований, предъявляемым к эвакуационным путям и выходам.

6. Индивидуальный план эвакуации представляет собой частный случай общеобъектового плана эвакуации и составляется для помещения класса Ф1.2 (например, гостиницы, спальные корпуса санаториев и др.). Графическая часть составляется так же, как для общего плана эвакуации, но пути эвакуации наносят для конкретного номера или комнаты. Текстовая часть индивидуального плана эвакуации содержит перечень действий посетителей в случае пожара и краткую памятку о мерах пожарной безопасности.

7. В журнале отработки планов эвакуации должны фиксироваться дата проведения учения, вводная информация (например, срабатывание систем пожарной автоматики или обнаружения пожара сотрудником), общее время эвакуации, хронометраж отдельных эпизодов эвакуации, а также выявленные недостатки и положительные примеры действий людей при пожаре. На основе разбора учебной эвакуации принимаются меры по повышению уровня пожарной безопасности здания, отраженные в том числе в журнале.

8. План эвакуации (графическая и текстовая части) должен находиться у руководства объекта и в помещениях с дежурным персоналом. Графическая часть должна быть наглядно оформлена и находится в хорошо видимом для людей месте.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.3

Площади горизонтальной проекции людей

В табл. П1.5–П1.7 и на рис. П1.3 приводятся усредненные размеры людей разного возраста, в различной одежде и с различным грузом.

Таблица П1.5

Площади горизонтальной проекции взрослых людей [30]

Взрослый человек в одежде:	Ширина a, м	Толщина c, м	Площадь горизонтальной проекции, м²/чел.
– летней (в помещении)	0,46	0,28	0,100
– весенне-осенней	0,48	0,30	0,113
– зимней	0,50	0,32	0,125

Площади горизонтальной проекции детей и подростков [40]

Площадь горизонтальной проекции, м ² /чел.	Возрастные группы		
	Младшая 7–9 лет	Средняя 10–13 лет	Старшая 14–16 лет
В домашней одежде	0,04	0,06	0,08
со школьной сумкой	0,07	0,10	0,14
В уличной одежде со школьной сумкой	0,09	0,13	0,16

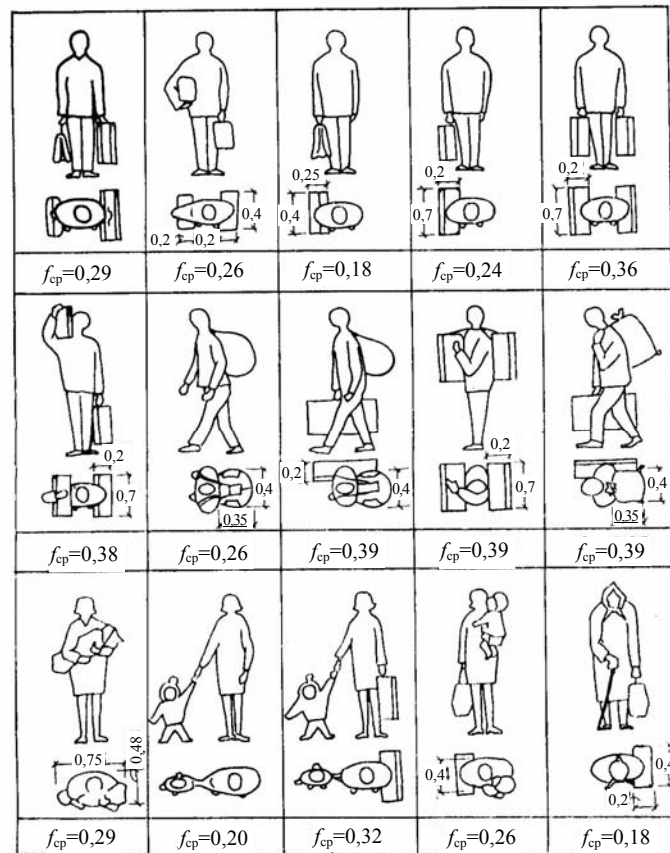








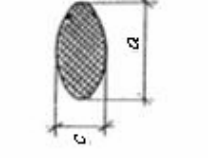
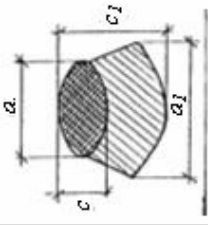
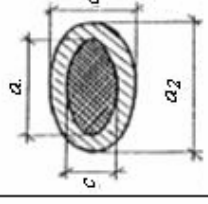
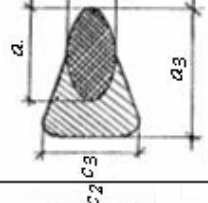
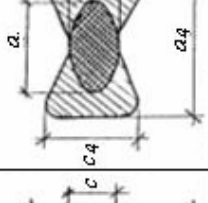
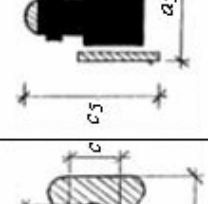
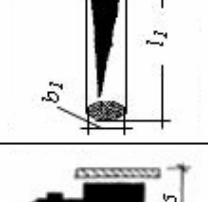
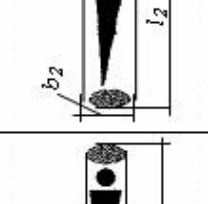


Рис. П1.3. Площадь горизонтальной проекции людей с различным грузом [41]

Площадь горизонтальной проекции людей с ограниченной мобильностью, м²/чел.

Здоровые люди, слабослышащие, с ограничением умственной деятельности	С поражением опорно-двигательного аппарата						
	Слепые	передвигающиеся без дополнительных опор	передвигающиеся с одной дополнительной опорой	передвигающиеся с двумя дополнительными опорами	передвигающиеся на креслах-колясках	транспортируемые на носилках	транспортируемые на катаалках
1	2	3	4	5	6	7	8
							
							
$a = 0,28$	$a_1 = 0,72$	$a_2 = 0,40$	$a_3 = 0,50$	$a_4 = 0,50$	$a_5 = 0,80$	$b_1 = 0,50$	$b_2 = 0,75$
$c = 0,46$	$c_1 = 0,82$	$c_2 = 0,75$	$c_3 = 0,65$	$c_4 = 0,90$	$c_5 = 1,20$	$l_1 = 2,10$	$l_2 = 2,10$
$f = 0,10$	$f = 0,40$	$f = 0,25$	$f = 0,20$	$f = 0,30$	$f = 0,96$	$f = 1,05$	$f = 1,58$

Источники. 1–6 – [55]; 7–8 – измерения авторов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.4

Антропометрические и эргономические размеры человека

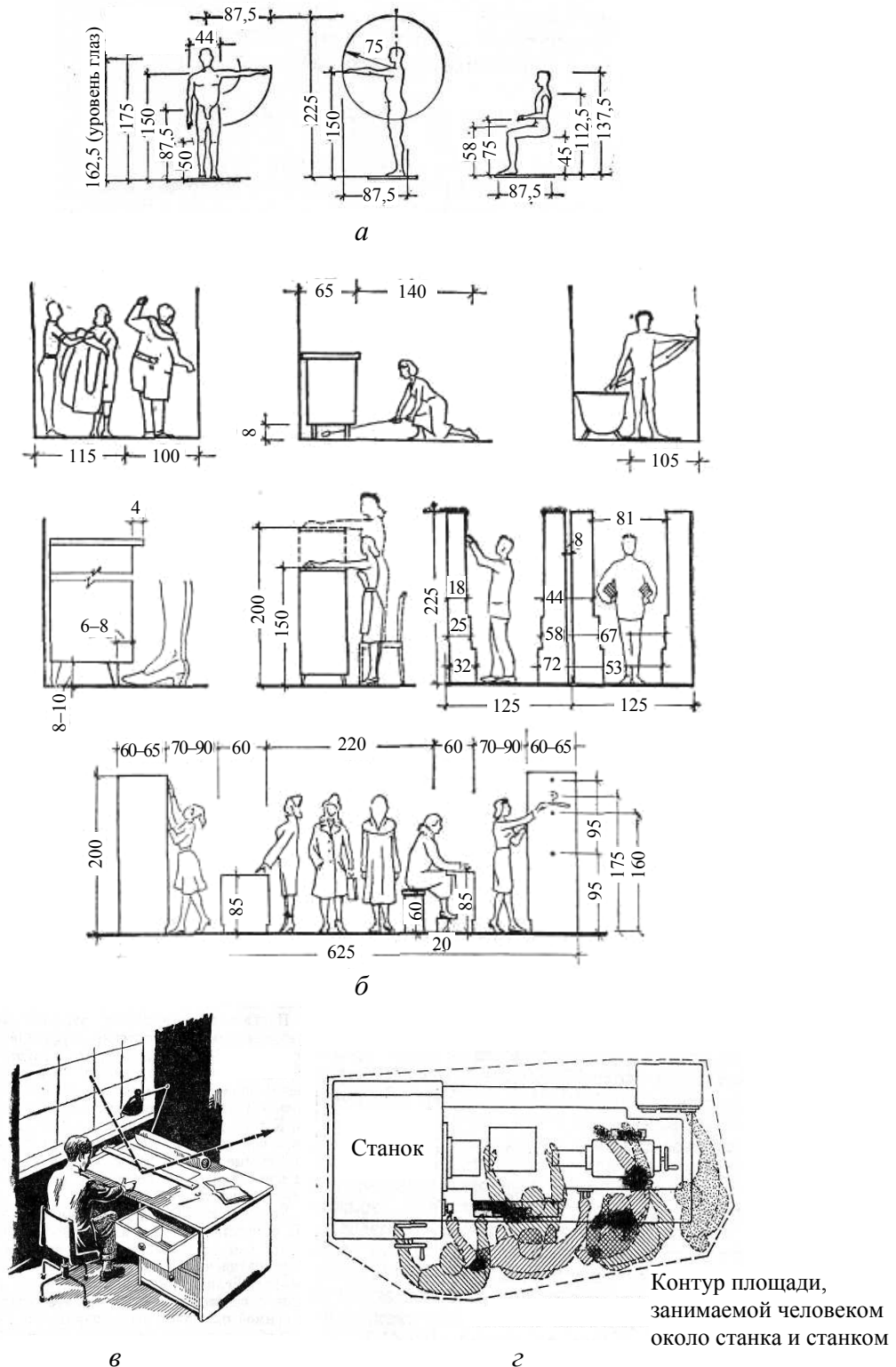


Рис. П1.4. Антропометрические и эргономические размеры, формирующие пространство рабочих мест и проходов между ними:
а – габариты человека; *б* – сочетание габаритов человека и оборудования; *в* – офисное рабочее место; *г* – изменения положений человека (план) при выполнении операций на станке

Глава 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

Введение

Сформулированные в заключительной части предыдущей главы критерии безопасности людей при эвакуации явились итогом длительных исследований [37] С. В. Беляева [11, 36], А. И. Милинского [30], В. М. Предтеченского [56, 57]. В нормировании они впервые были применены в 1980 г. [19].

Однако для их практической реализации потребовались еще более длительные исследования коллектива научной школы «Теория людских потоков» [58]. Эти исследования дали возможность установить закономерности изменения параметров людских потоков при их движении через границы смежных участков коммуникационных путей и закономерности связи между скоростью и плотностью потока при любом составе людей в потоке и различном уровне их эмоционального состояния. Установленные закономерности обеспечили возможность разработать методы расчета (моделирования) движения людских потоков от участков их формирования до места окончания их движения, как единого процесса.

Корректность открытых закономерностей и разработанных методов моделирования подтверждена результатами многочисленных серий натурных наблюдений и специально организованных экспериментов. Эмпирическая база данных составляет в настоящее время более 40 тыс. одновременных замеров скорости и плотности людских потоков при их движении по всем видам пути в зданиях большинства видов функционального назначения при различных режимах их эксплуатации, а также на городских территориях.

Основные положения закономерностей движения людских потоков и методов расчета процесса эвакуации людей при пожаре вошли в нормативные документы: первоначально СНиП II–2–80 (прил. 1 разд. 1), затем ГОСТ 12.1.004 (прил. 2). На их основе разработаны и нормы проектирования эвакуационных путей и выходов в производственных и общественных зданиях и сооружениях, в метрополитенах. Современная практика проектирования и эксплуатации зданий требует их дальнейшего развития. Рассмотрим установленные закономерности.

2.1. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

2.1.1. Движение через границы смежных участков пути

В простейшем случае движения людских потоков имеем следующую ситуацию. По участку i , имеющему ширину δ_i , к границе со следующим участком ($i+1$), имеющему ширину δ_{i+1} , подошел людской поток численностью N человек. По прошествии времени t весь поток перешел на участок $i+1$ и занял часть его длины Δl_{i+1} . Именно эти случаи были объектами (рис. 2.1) первых же обширных натуральных наблюдений [30].

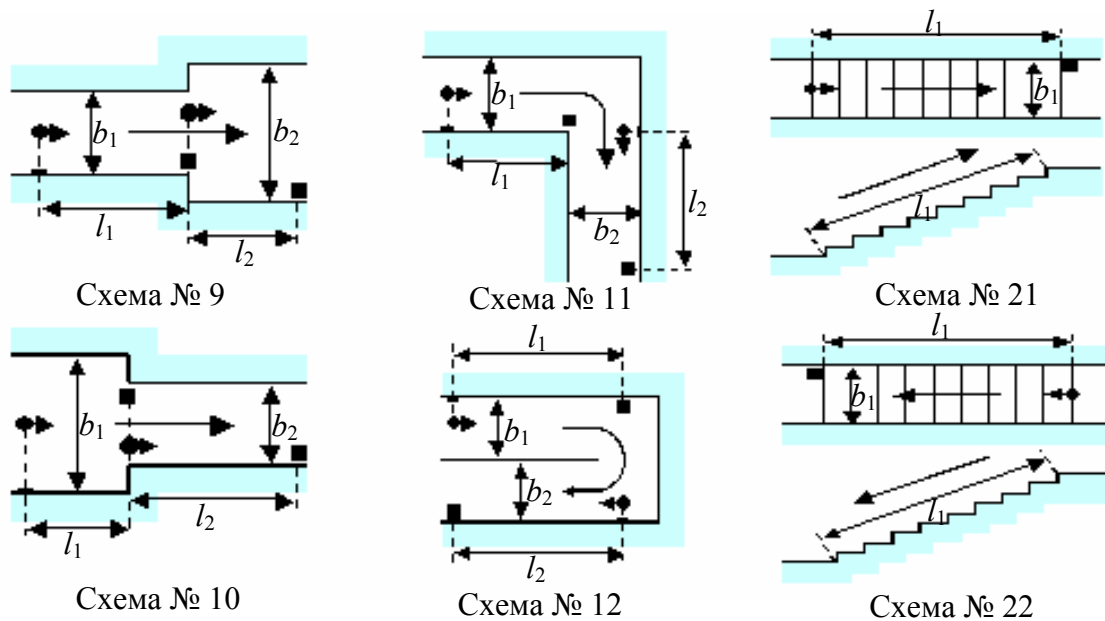


Рис. 2.1. Схемы движения одного людского потока через границы смежных участков коммуникационных путей. Квадратами обозначены наблюдатели, кругами – наблюдаемые в потоке люди

Спрашивается, с какими же значениями параметров двигался поток по участку $i+1$? Для облегчения понимания процесса перехода была принята упрощенная модель людского потока. Упрощение состояло в том, что «поскольку количество людей, составляющих головную и замыкающую части, относительно невелико по сравнению с основной массой, то вполне возможно показать поток в виде прямоугольника» [37]. (Однако, в реальности, «в аварийных... условиях движения... головная, уходящая с большей скоростью вперед, часть потока будет по длине и количеству людей возрастать, а остающаяся, замыкающая часть, наоборот, уменьшаться. Поэтому для аварийных условий необходимо обязательно учитывать так называемое растекание потока и, следовательно, постепенное изменение его плотности»). Размещение людей в потоке на занятом им участке Δl_{i+1} принимается равномерным, а ширина потока b равной ширине участков, по которым он

перемещается, т. е., соответственно, δ_i и δ_{i+1} . При этих упрощениях рассматриваемая ситуация изображена на рис. 2.2.

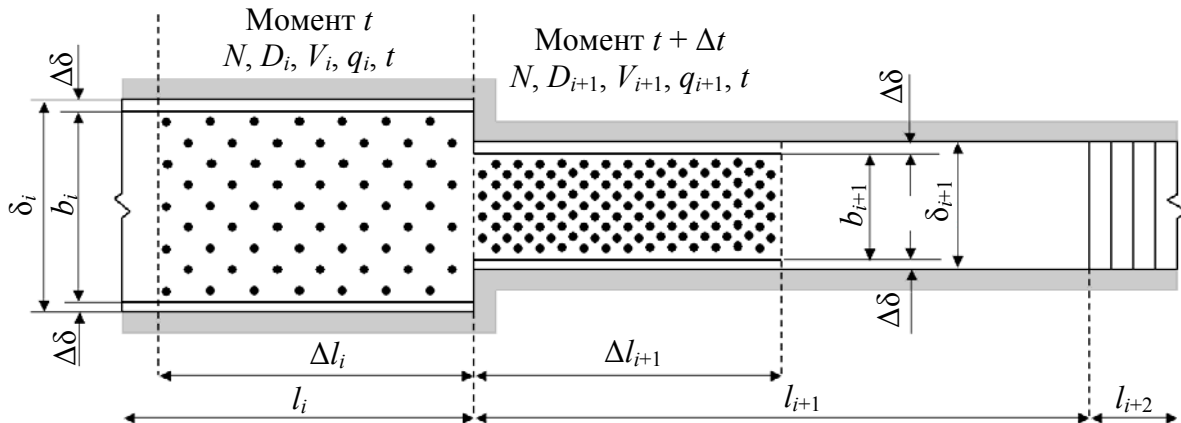


Рис. 2.2. Движение людского потока через границу смежных участков пути

Впервые этот вопрос было предложено решить следующим образом [30, С. 138]: «Если известна плотность D_1 потока на данном участке пути шириною δ_1 , то его плотность D_2 на следующем по ходу движения участке шириной δ_2 определяется из выражения

$$D_2 = D_1 \delta_1 / \delta_2. \quad (2.1)$$

Однако предположим, что людской поток численностью N человек и с плотностью D_1 движется по горизонтальному участку постоянной ширины δ_1 , разделенному проемом шириной δ_0 . «Следовательно, плотность в проеме будет равна

$$D_0 = D_1 \delta_1 / \delta_0, \text{ чел./м}^2.$$

Соответственно плотность, чел./м², на последующем после проема участке пути:

$$D_1 = D_0 \delta_0 / \delta_1, \text{ чел./м}^2.$$

Из расчета следует, что плотность на участках перед проемом и после проема при равной ширине участков оказывается одинаковой даже в том случае, когда пропускная способность проема меньше пропускной способности предшествующего проему участка. Очевидно, что пропускная способность участка не может быть больше пропускной способности предшествующего ему проема. Иначе говоря, участок не может пропустить большее количество людей, чем на него поступает за то же время с предыдущего участка.

Из расчета также следует, что движение через проем протекает при постоянной плотности... Следовательно, при одном и том же количестве людей, но при разных ширинах предшествующего проему участка, плотность в проеме не меняется. Однако при большей ширине участка и, следовательно, при меньшей плотности скорость будет больше, то есть количество подходящих к проему людей в единицу времени будет больше...

По-видимому, предпосылку расчета, вытекающую из выражения (2.1) следует признать неточной» [56].

Вернемся к схеме на рис. 2.2. Возможны два случая: первый – поток переходит через границу участков без задержки; второй – перед границей следующего участка происходит задержка людей.

В первом случае, если задержки движения на границе участков не происходит, то время, которое потребуется потоку для окончания движения по участку i (пройти оставшийся отрезок длиной $\Delta l_i = N / D_i \delta_i$), составит

$$t_i = \Delta l_i / V_i = N / V_i D_i \delta_i. \quad (2.2)$$

Ясно, что это время движения замыкающей плоскости потока по участку i .

За это же время поток пройдет по участку $i+1$ отрезок пути длиной Δl_{i+1} при неизвестной плотности D_{i+1} и неизвестной скорости движения V_{i+1} . Длина этого отрезка составит $\Delta l_{i+1} = N / D_{i+1} \delta_{i+1}$, а время

$$t_{i+1} = \Delta l_{i+1} / V_{i+1} = N / V_{i+1} D_{i+1} \delta_{i+1}.$$

Но поскольку $t_i = t_{i+1}$, то, следовательно, $D_i V_i \delta_i = D_{i+1} V_{i+1} \delta_{i+1}$. Обозначим величину DV через q , тогда можно записать:

$$q_{i+1} = q_i \delta_i / \delta_{i+1}. \quad (2.3)$$

Это соотношение впервые было установлено (иным способом) лишь в 1957 г. [56]. Позже величина q была названа интенсивностью движения людского потока, «так как значения q , не зависящие от ширины пути, характеризуют кинетику процесса движения людского потока. Значения интенсивности движения соответствуют значениям пропускной способности пути шириной 1 м» [37]. (Следует отметить, что величина «интенсивность движения», обозначаемая также через q , используется и в теории транспортных потоков, хотя и имеет несколько иную интерпретацию, например, [59]).

Каждому значению интенсивности движения соответствует определенное значение плотности потока, поэтому по найденному (2.3) значению интенсивности движения по участку $i+1$ всегда можно определить соответствующее ему значение плотности D_{i+1} , а по нему – значение скорости V_{i+1} .

Каков же характер кинетики людского потока, характеризуемый интенсивностью его движения?

Поскольку эта величина является произведением двух величин, при возрастании одной из которых (D) вторая (V) снижается, то при любом виде зависимости $V = \varphi(D)$, это произведение должно иметь максимум, q_{\max} . Положение и значение максимума зависит от вида функции $V = \varphi(D)$ и от ее конкретных значений. Для примера в табл. 2.1 приведены значения V и q при зависимости, выраженной полиномом четвертой степени $V^{**} = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57$ и при линейной зависимости между ее крайними значениями $V^* = 57 - 5,256D$. Графики зависимости $q = \varphi(D)$ при соответствующих значениях V^* и V^{**} приведены на рис. 2.3.

**Изменение значений интенсивности людского потока q
от вида зависимостей скорости его движения от плотности потока**

Плотность D , чел./м ²	Скорость V^* , м/мин	Интенсивность $q^* = DV^*$, чел./(м·мин)	Скорость V^{**} , м/мин	Интенсивность $q^{**} = DV^{**}$, чел./(м·мин)
0	57,00	0,00	57,00	0,00
1	51,70	51,70	39,27	39,30
2	46,49	92,98	28,10	56,20
3	41,23	123,70	21,60	64,80
4	35,97	143,90	18,20	72,80
5	30,72	153,60	16,50	82,50
6	25,47	152,80	15,48	92,90
7	20,21	141,46	14,31	100,20
8	14,95	119,62	12,48	99,80
9	9,70	87,30	9,70	87,30

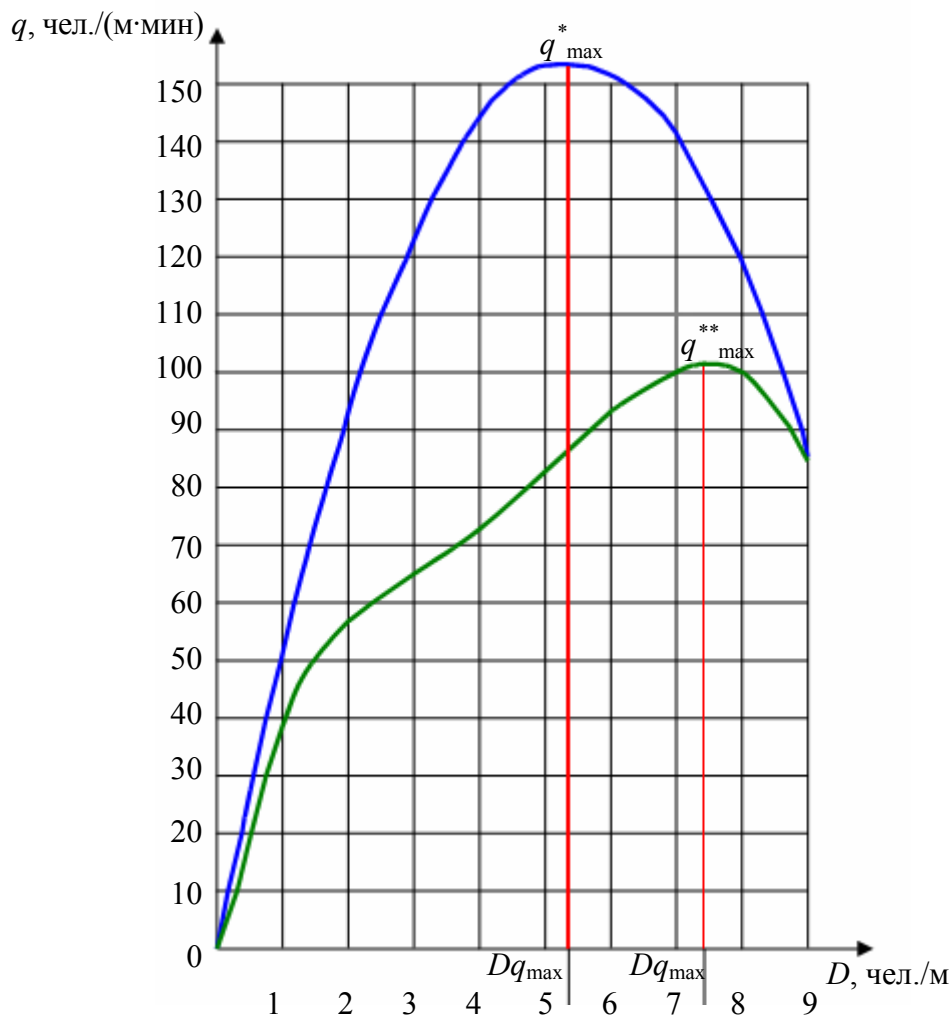


Рис. 2.3. Графики функции $q = \varphi(D)$ в зависимости от выражения функции V :
 $q^* = V^* D$, $q^{**} = V^{**} D$

Поскольку произведение интенсивности движения на ширину участка показывает количество людей, проходящих в единицу времени через поперечное сечение участка пути, занятого потоком, то величина людского потока P , чел./мин, (см. определение в гл. 1) равна

$$P = qb. \quad (2.4)$$

Здесь b – именно ширина потока, которая в данном случае ограничена конструкциями пути эвакуации; это хорошо понятно в случае движения людского потока по участку неограниченной ширины (см. рис. 1.16), когда ширина потока и ширина участка пути (вестибюля) не совпадают. Можно сказать, что геометрия путей движения деформирует поток, вынуждая его принимать различную ширину и длину; величина же потока, как показывает соотношение (2.3), остается, при обеспечении беспрепятственности его движения, неизменной:

$$q_{i+1}\delta_{i+1} = q_i\delta_i.$$

Иная ситуация складывается во втором случае движения людского потока через границы смежных участков пути, когда недостаточная ширина последующего участка ($i+1$) заставляет поток двигаться с интенсивностью больше максимальной (значение q_{i+1} , определенное по формуле (2.3), больше значения q_{\max} для данного вида пути), что невозможно. Поэтому часть людей не может перейти на последующий участок пути и скапливается перед его границей, в чрезвычайных ситуациях – при максимальной плотности D_{\max} . Продолжающие подходить к скоплению люди надавливают на находящихся в нем людей. В следующий момент времени они сами оказываются под давлением вновь подошедших людей. Плотность в скоплении может достичь физического предела. Давление людей друг на друга продолжает расти и никто из них уже не может его регулировать, а оно достигает таких величин, которых не может выдержать человеческий организм длительное время. Спустя 3–4 минуты в нем уже возникают процессы компрессионной асфиксии, сопровождающиеся тканевым и костным травматизмом. Как показали специальные натурные наблюдения в условиях, приближенных к аварийным ситуациям [42], высокие плотности в скоплениях перед проемами с недостаточной пропускной способностью возникают очень быстро, через 5–7 с, после начала их образования.

Очевидная опасность таких ситуаций определила большое внимание к их исследованиям в местах наиболее вероятного образования – в дверных проемах [30, 42, 60]. Схемы проведенных натурных наблюдений приведены на рис. 2.4.

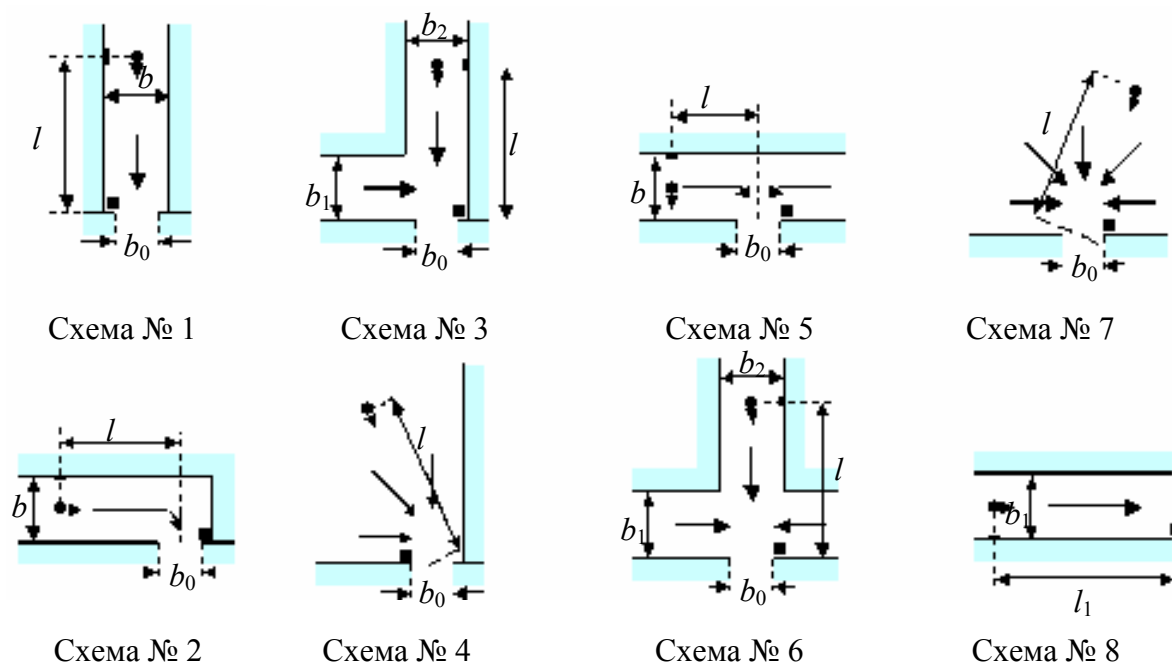


Рис. 2.4. Схемы проведенных натуральных наблюдений движения людских потоков через проем

Эти исследования показали, что люди, подходя к более узкому участку пути, в частности, к проему, заранее несколько корректируют направление своего движения к центру. В результате происходит взаимное сближение человеческих тел и соответствующее уплотнение потока. При этом взаимное расположение тел приближается по виду к непрерывной вогнутой цепи. Чем меньше ширина проема, тем ближе люди в этой цепи вынуждены прижиматься друг к другу. В проеме люди образуют своего рода арку, пяты которой упираются в дверную коробку, причем выпуклость арки направлена в сторону, противоположную направлению движения, рис. 2.5 а.

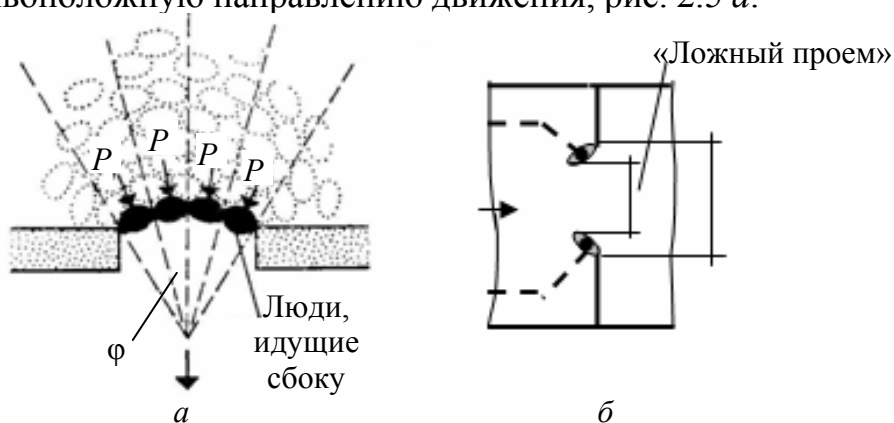


Рис. 2.5. Движение людского потока через проемы при их недостаточной пропускной способности:
а – схема образования арки; б – эффект «ложного проема»

Явление возникновения арки тесно связано с возникновением эффекта «ложного проема». При проходе через дверной проем люди стремятся избежать быть прижатыми к косяку проема. Для этого люди, идущие с боков,

отталкиваются от косяка к центру проема. Они на короткое время уменьшают действительную ширину проема, создавая тем самым «эффект ложного проема», рис. 2.5 б. Одновременно люди, идущие ближе к оси проема, оказываются в зазоре между людьми, идущими с боков, и при определенных условиях как бы заклинивают проем, образуя арку.

Существование арки носит пульсирующий характер, устойчивое ее положение – явление редкое. Причем арки редко возникают в проемах шириной 1,2 м и практически не образуются в проемах шириной более 1,6 м [42].

На рис. 2.5 буквой P обозначена сила, сообщаемая звену арки толпой людей. Эта сила в арке раскладывается на систему сил, вызывающих и боковые давления на торцы элементов арки (плечи людей). Торцовые силы могут быть вычислены по формуле $T = P / 2\sin 0,5\varphi$, из которой видно, что силы, которыми человек зажат с боков, тем больше, чем значительнее сила давления на арку (P) со стороны толпы и меньше угол φ . Сила P складывается из усилий, оказываемых людьми, оказавшимися в каждом секторе толпы, опирающемся на человека в образовавшейся арке. Такие усилия создаются людьми сознательно или бессознательно, когда они смещают центр тяжести своего тела в сторону арки и отставляют ногу в противоположном направлении для упора. Расчеты [30] показывают, что силы P могут составлять более 100 кг, а T – более 150 кг. При таких силах сдавливания человеку трудно самостоятельно вырваться из арки и если арка не разрушается, то их воздействие может привести к увечьям и даже смерти (*компрессионная асфиксия* – см. гл. 1). Печальные последствия их практического подтверждения давно известны. Так, в результате образования скоплений перед выходами во время паники в театре Броклона (г. Нью-Йорк) в 1879 г. погибло 283 человека. К сожалению, такое происходит и в наше время.

Оставаясь в рамках модели с равномерным распределением людей по длине потока, следует считать, что образование скопления начинается сразу, как только передняя граница потока на участке i достигнет границы с участком $i+1$. Перед этой границей образуется скопление с плотностью D_{\max} , состоящее из людей, не успевших перейти ее до подхода следующей части потока с плотностью D_i . Таким образом, образуется поток, состоящий из двух частей с разными плотностями. Поскольку скопление растет, то граница между этими частями потока перемещается в направлении, противоположном направлению движения потока.

Интенсивность движения в скоплении ($q_{D_{\max}}$) определяет и величину людского потока на последующем участке пути, т. е. то количество людей, которое может перейти на него из скопления перед его границей за единицу времени: $P = q_{D_{\max}}\delta_{i+1}$. При этом возможны два варианта развития процесса

движения людского потока по участку $i+1$. Первый вариант: поток продолжает движение при плотности D_{\max} . Второй вариант: люди, переходя на участок $i+1$, имеют перед собой пространство свободное для движения, поэтому они увеличивают скорость до значения V_{i+1} , соответствующего значению интенсивности движения в скоплении q_{\max} , но при значении плотности в интервале до D при q_{\max} , (см. рис. 2.6).

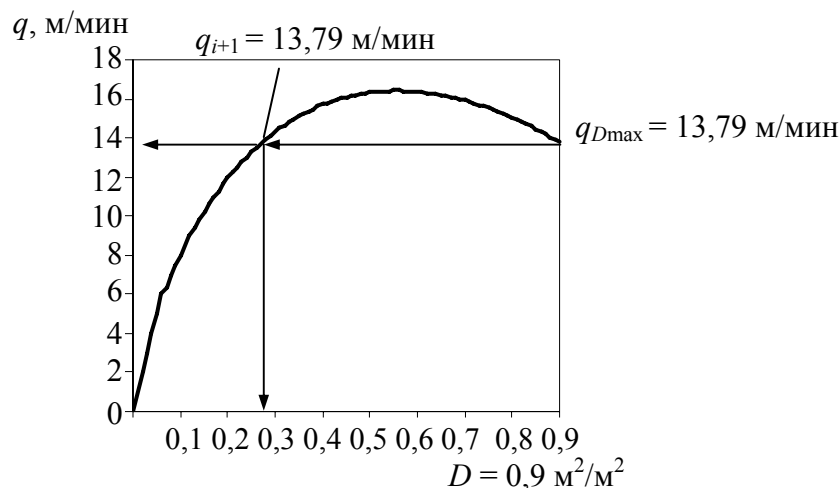


Рис. 2.6. Пример определения плотности потока на последующем участке пути

В соответствии с принятой для нормирования «жесткой» моделью, ГОСТ 12.1.004 принимает первый вариант: «При невозможности выполнения условия $q_i \leq q_{\max}$ интенсивность и скорость движения определяются при значении $D = 0,9$ и более» [5].

2.1.2. Слияние людских потоков

Слияние людских потоков может происходить на участках пути, где соединяются несколько путей и идущие по ним потоки, слившись в общий поток, затем идут по общему пути (рис. 2.7).

Таким образом, процесс слияния всегда сопровождается процессом движения потоков через границы смежных участков пути. Только в отличие от рассмотренного выше, в данном случае участку общего пути движения ($i+1$) будет предшествовать не один, а несколько, по крайней мере, два или три (i_1 , i_2 и i_3) участка. И здесь так же возможны два случая: беспрепятственное движение через границу смежных участков пути или образование скопления людей перед границей участка $i+1$.

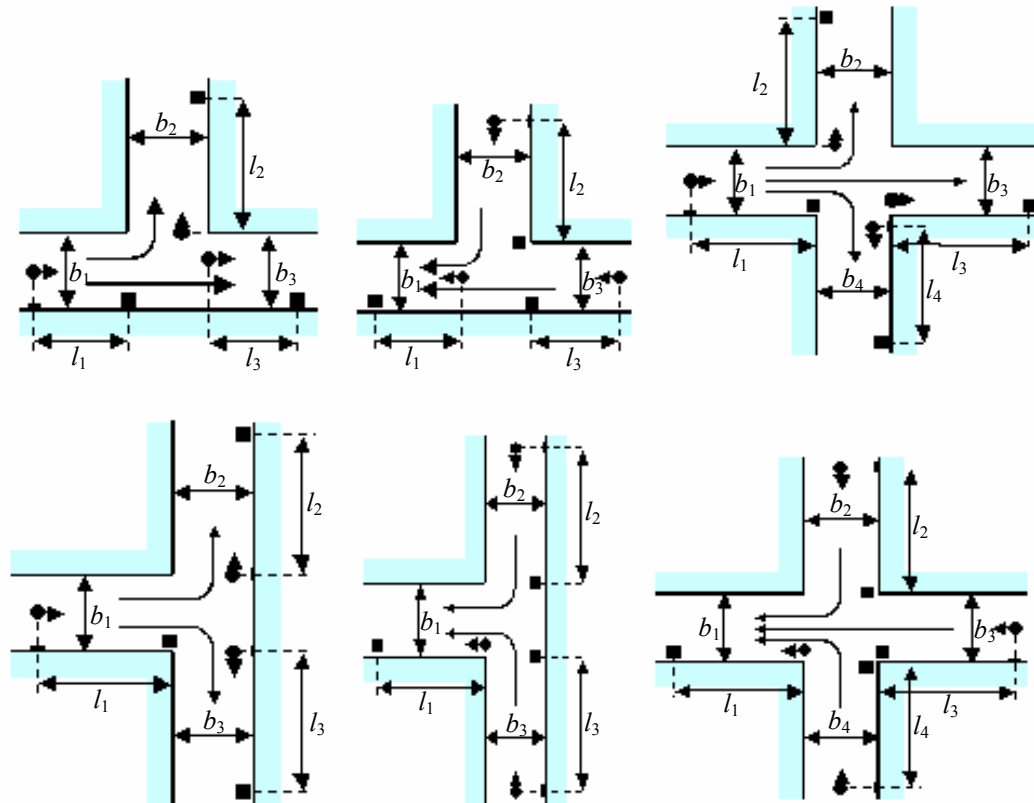


Рис. 2.7. Схемы проведенных натуральных наблюдений слияния и разделения людских потоков

Очевидно, что одновременный подход головных частей потоков к месту слияния в практике встречается редко. Как правило, люди из боковых проходов выходят либо в общий проход без слияния, либо вклиниваясь в поток идущих людей (рис. 2.8). Слияние людских потоков происходит при выполнении условия слияния потоков: передний фронт потока i_1 должен подойти к месту слияния до того, как последний человек из потока i_2 пройдет место слияния потоков, т. е.:

$$t_{i1} \leq t_{i2}. \quad (2.5)$$

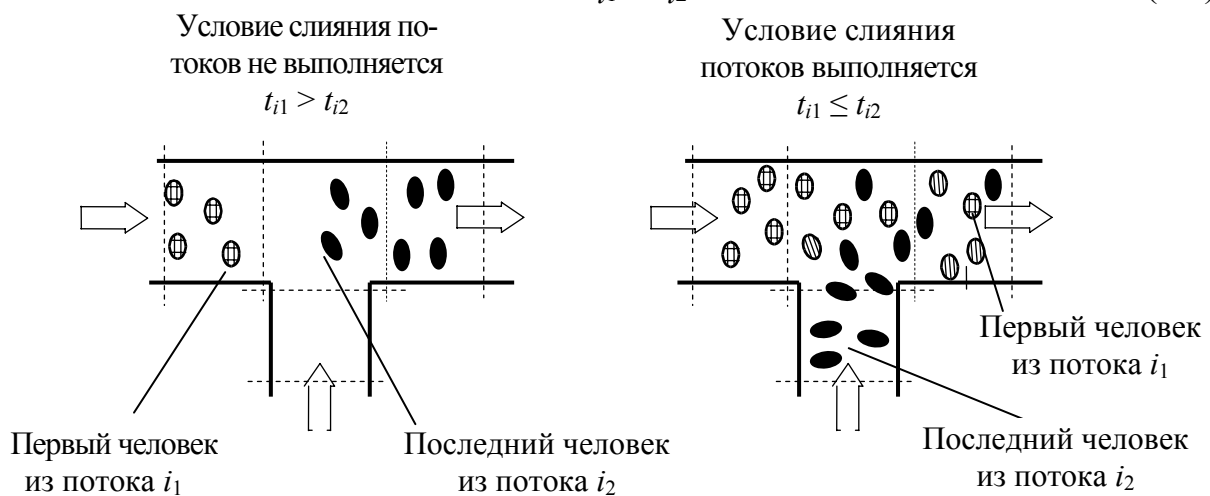


Рис. 2.8. Слияние людских потоков

Если слияние потоков происходит, то величина объединенного потока равна сумме величин сливающихся потоков, если ширина участка, на границе которого они сливаются, достаточна для его беспрепятственного движения, т. е. соблюдается условие, аналогичное (2.3):

$$q_{i+1} = \sum q_i \delta_i / \delta_{i+1}. \quad (2.6)$$

Если же пропускная способность последующего участка пути недостаточна, то перед его границей с участками i_1 и i_2 на этих участках образуются скопления людей с максимальной для данных условий плотностью, а поток, переходящий на участок $i+1$, будет иметь параметры движения, соответствующие q при D_{\max} .

2.1.3. Переформирование и растекание людского потока

При движении людских потоков по участкам пути весьма вероятны случаи, когда объединенный людской поток имеет несколько частей с различной плотностью (рис. 2.9). Например, при неодновременном слиянии двух потоков в объединенном потоке образуются три части: первая часть – с параметрами потока, первым прошедшем место слияния, вторая – с параметрами слившихся потоков, третья – с параметрами потока, последним миновавшем участок слияния. Переформирование людского потока – процесс выравнивания параметров движения в различных частях потока. В результате, вне зависимости от исходных параметров, каждая часть потока приобретает параметры впереди идущей части. Скорость переформирования V^1 – скорость движения границы увеличения впереди идущей части – определяется скоростью перемещения границы между частями потока с различной плотностью.

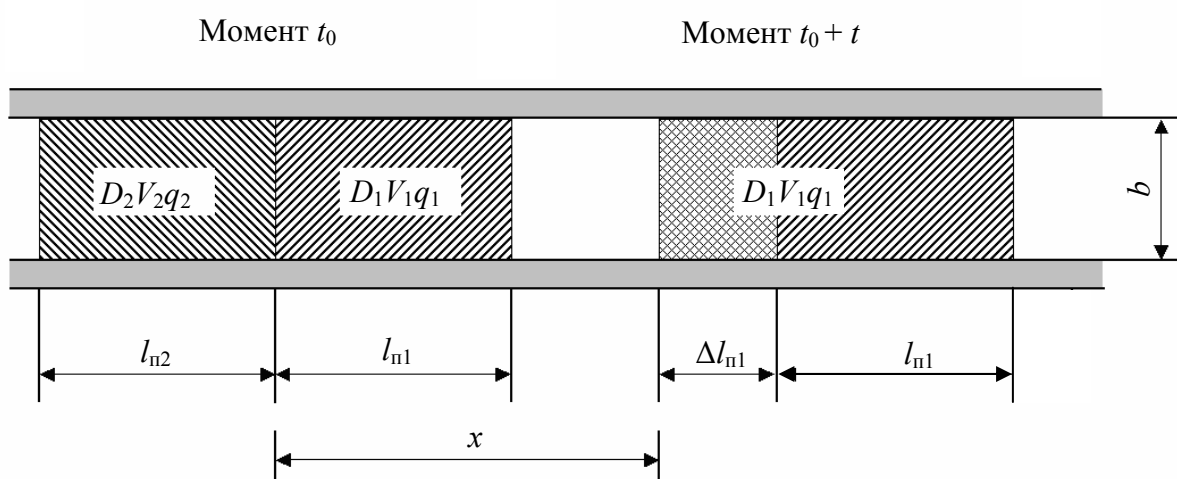


Рис. 2.9. Схема процесса переформирования людского потока

К началу процесса переформирования люди в арьергарде второй части потока, имеющей плотность D_2 , идут со скоростью V_2 и размещаются вплотную к первой части, имеющей плотность D_1 и скорость V_1 . По прошествии времени t все люди из второй части потока разместятся на участке $\Delta l_{п1}$ с плотностью D_1 в конце впереди идущей части, образуя единый поток с этой плотностью D_1 . Если $D_1 \geq D_2$, то $\Delta l_{п1} \leq l_{п2}$ и $\Delta l_{п1} = l_{п2} D_2 / D_1$.

На рис. 2.9 видно, что за время t люди, замыкающие первую часть потока, а вместе с ними и люди из примыкающего арьергарда второй части проходят расстояние $x + \Delta l_{п1} = V_1 t$. Люди же из замыкающей части второго потока проходят расстояние $x + l_{п2} = V_2 t$. Исходя из приведенных соотношений можно записать: $(x + l_{п1} D_2 / D_1) / V_1 = (x + l_{п2}) / V_2$ и, преобразовав, получим

$$x(1 - V_1 / V_2) = \Delta l_{п1} (q_1 / q_2 - 1). \quad (2.7)$$

Поскольку скорость переформирования потока, т. е. скорость приобретения второй частью потока плотности первой части, неизвестна, то обозначим ее V^1 . Тогда можно записать $x = V^1 t$. Но: $x + l_{п2} D_2 / D_1 = V_1 t$ и после алгебраических преобразований имеем

$$V^1 = (q_1 - q_2) / (D_1 - D_2). \quad (2.8)$$

Подобным образом может быть выведена и формула для расчета времени переформирования потока

$$t^1 = \Delta l_{п1} (D_1 - D_2) / D_2 (V_2 - V_1) = l_{п2} (D_1 - D_2) / D_1 (V_2 - V_1). \quad (2.9)$$

Пока рассматривалась ситуация, в которой плотность людского потока в его впереди расположенной части выше плотности сзади расположенной части, и, следовательно, $V_1 \leq V_2$. Считается [37], что и в случае $V_1 \geq V_2$ также происходит переформирование людского потока: люди из второй части потока, идущие с меньшей скоростью, увеличивают скорость и продолжают движение со скоростью первой части. Если головная часть потока имеет плотность свободного движения, то и весь поток, со временем, будет идти со скоростью свободного движения, т. е. с максимальной при данном уровне эмоционального состояния людей. Происходит *растекание потока*. Расчет процесса растекания потока производится по формулам (2.7)–(2.9), принимая $V_1 = V_0$ и $D_1 = D_0$, т. е. равные значениям при свободном движении людей в потоке.

Однако очевидно, что для этого все люди в потоке должны иметь одинаковые физические возможности или стимулировать свою подвижность, переходя на более высокий уровень эмоционального состояния. Такое наиболее вероятно в чрезвычайных ситуациях. Частичное растекание потока ежедневно наблюдается в часы пик на пешеходных коммуникациях

станций и пересадочных узлах метрополитена. Но здесь же мы наблюдаем и образование групп более медленно идущих, не так торопящихся, пожилых людей.

Процесс образования скопления (D_c) людей на границе участков с недостаточной пропускной способностью также «можно рассматривать, как частный случай переформирования...»:

$$V^1 = (q_c - q_2) / (D_c - D_2) \gg [37]. \quad (2.8a)$$

Тогда, соответственно, и

$$\begin{aligned} t^1 &= \Delta l_{п2}(D_c - D_2) / D_2(V_2 - V_c) = \\ &= l_{п2}(D_c - D_2) / D_1(V_2 - V_c). \end{aligned} \quad (2.9a)$$

2.1.4. Одновременное слияние и переформирование людских потоков на участках ограниченной длины

Наиболее наглядно этот процесс проявляется в проходах зрелищных залов театров, кинотеатров, концертных залов, цирков, трибун спортивно-зрелищных сооружений. В магистральных проходах, объединяющих проходы между рядами зрительных мест, при эвакуации образуется людской поток, плотность которого, как правило, увеличивается со временем и по длине магистрального прохода в направлении выхода из него. Сложность процесса определила необходимость его многократных исследований, наиболее обширными из которых выполнены в МИСИ (МГСУ) в период с 1965 по 1985 гг. [47, 61–65].

Установлено, что при формировании и движении людских потоков в магистральных проходах зрелищных помещений (рис. 2.10) процесс складывается из следующих элементов:

- движение в рядах;
- изменение параметров движения при переходе из рядов в магистральный проход;
- одновременное слияние нескольких потоков из рядов на ограниченных по длине участках магистрального прохода между рядами;
- многократное переформирование потока при его движении по магистральному проходу;
- разуплотнение и растекание;
- возможное образование и рассасывание скоплений людей в рядах и в магистральном проходе.

Особенности развития процесса зависят от системы выходов из рядов (одно- или двусторонняя система), вида пути, числа мест в ряду и количества рядов, выходящих в магистральный проход, его ширины и ширины проходов в рядах.

Замечено, что при достижении некоторого значения плотности потока в магистральном проходе движение в нем как бы стабилизируется. Причем при большом количестве рядов, выходящих в магистральный проход, плотность стабилизирующегося потока достигает значений, превышающих D при q_{\max} . Таких значений плотности стабилизации не наблюдается при коротких рядах и магистральных проходах. При стабилизации процесса выход людей из рядов и движение в магистральном проходе замедляется, а иногда и совсем прекращается. По мере продвижения объединенного потока к выходу из прохода плотность потока то уменьшается, то увеличивается.

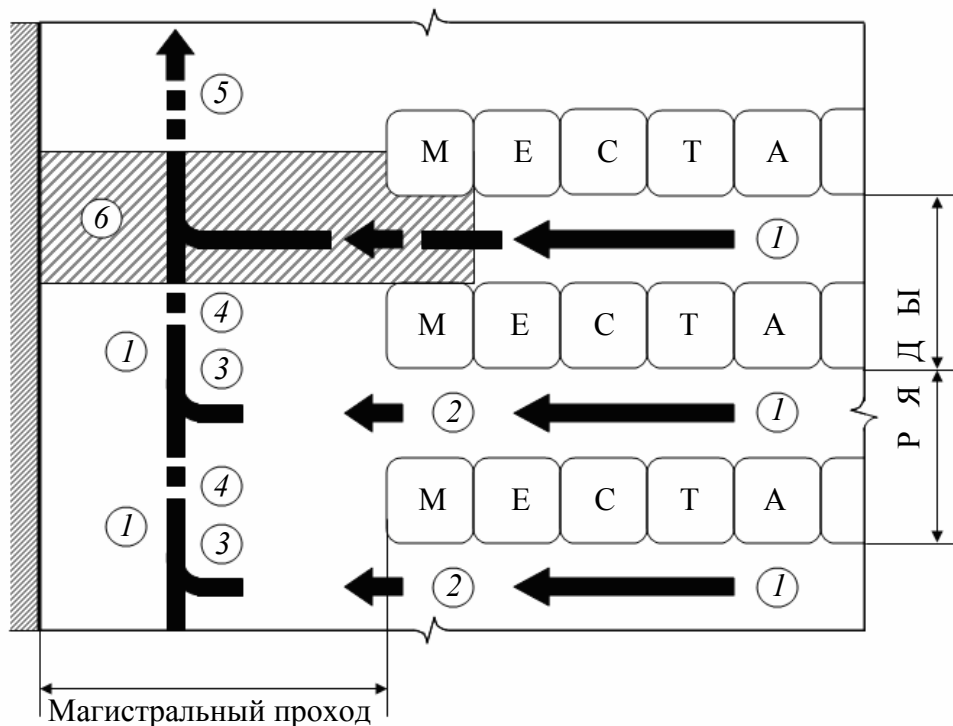


Рис. 2.10. Элементы процесса формирования и движения людских потоков в проходах зрелищных помещений: 1 – движение; 2 – переход через границы; 3 – слияние; 4 – переформирование; 5 – растекание и разуплотнение; 6 – скопление

Пользуясь установленными закономерностями переформирования, слияния, изменения параметров при переходе через смежные участки пути можно очень скрупулезно описать и этот сложный процесс эвакуации. Суммарное время движения потока из первого до i -го ряда составляет

$$\sum t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i = l(D_1 - D_0) / (q_1 - q_0) + l(D_2 - D_1) / (q_2 - q_1) + \\ + l(D_3 - D_2) / (q_3 - q_2) + \dots + l(D_i - D_{i-1}) / (q_i - q_{i-1}).$$

Это выражение преобразуется в формулу:

$$t = l / q_{\text{ср}} [D_i(q_{\text{ср}} - q_{i-1}) / \Delta q + \sum_1^{i-1} D] + N / \delta q_{\text{ср}}. \quad (2.10)$$

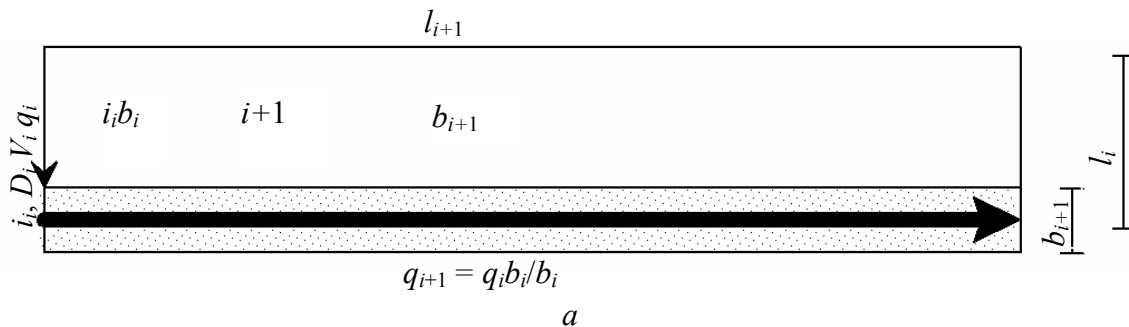
Пользоваться этими выражениями весьма трудоемко, поскольку необходимо определять параметры потока в магистральном проходе на уровне каждого ряда. Поэтому установлена [65] более простая расчетная формула:

$$t = mn / \delta q_{\text{ср}} + l D_1(k + 1)(2k + 1) / 6q_1, \quad (2.11)$$

где m – число рядов; n – количество зрительских мест в ряду; δ – ширина магистрального прохода; l – расстояние между боковыми выходами (рядами); D_1 и q_1 – соответственно плотность потока и интенсивность движения в магистральном проходе на уровне первого ряда, при величине потока из ряда P_p значение $q_1 = P_p / \delta$; $q_{\text{ср}}$ – интенсивность движения на выходе из магистрального прохода после момента стабилизации, принимается равной $q_{\text{ср}} = mP_p / \delta$, если она меньше q_{max} ; $q_{\text{ср}}$ равна интенсивности движения при $D_{\text{ср}} = P_p t_p / l \delta$, если она больше q_{max} , а $D_{\text{ср}} \leq D_c$ (при скоплении), $q_{\text{ср}}$ равна интенсивности движения при плотности скопления D_c , если она больше q_{max} и $D_{\text{ср}} \geq D_c$; k – целая часть от деления $q_{\text{ср}}$ на q_1 .

Рассматриваемый процесс не является спецификой зрелищных помещений. Они фактически стали «полигоном» изучения этого общего процесса, соответствующего наиболее общей схеме РЭП (рис. 2.11). А эта схема – и коридор, и лестница. Большая населенность этажей многоэтажных и особенно высотных общественных зданий определяет аналогичное развитие процесса, несмотря на, казалось бы, большое расстояние между выходами с этажей [66, 67].

Изложенные закономерности движения людских потоков не зависят от вида зависимостей между их параметрами и описывают только их кинематику. Однако описывающие их формулы и графики показывают, что конкретные, количественные показатели процесса движения людских потоков зависят от вида и количественного выражения входящих в них зависимостей между параметрами людского потока.



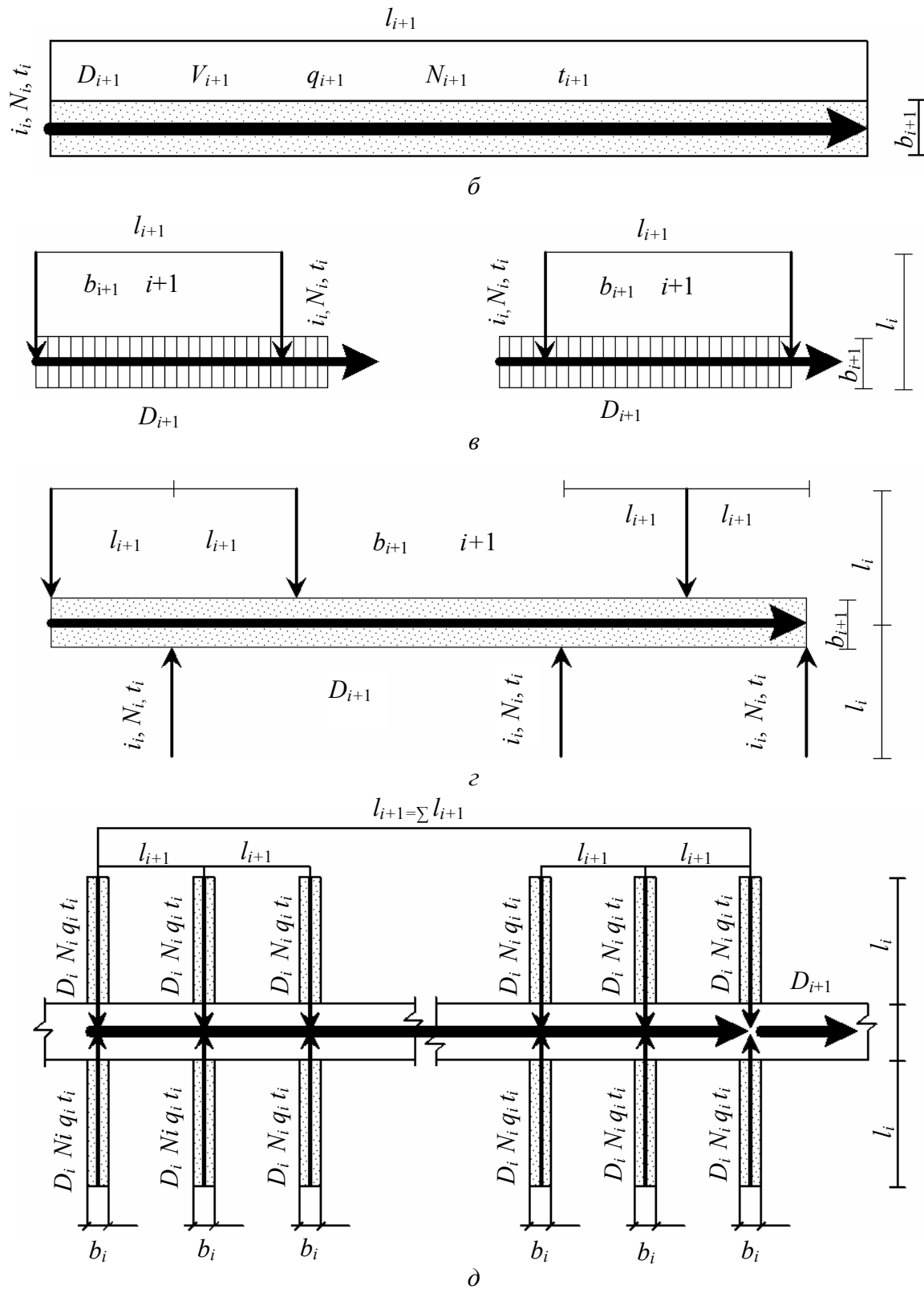


Рис. 2.11. Общая расчетная схема путей движения людских потоков и ее модификации:
 а – один источник; б – поток на общем участке; в – одностороннее расположение источников; г – двустороннее несимметричное расположение источников; д – двустороннее симметричное расположение источников (общая расчетная схема)

2.2. ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

2.2.1. Эмпирические данные и зависимости

Основной зависимостью, определяющей динамику людского потока, является зависимость между скоростью его движения и плотностью. От нее зависит время движения людского потока по участкам маршрута эвакуации и величина потока, поскольку именно вид этой зависимости определяет интенсивность его движения, что наглядно демонстрируют графики на рис. 2.3. Факт общей качественной зависимости скорости от плотности общеизвестен: при увеличении плотности скорость снижается. Однако общая известность такого факта лишь подтверждает подмеченный исследователями парадокс: «Этот факт не получил научного объяснения потому, что он слишком известен» [68]. Существование зависимости скорости людского потока от его плотности, как имеющей какой-то закономерный характер, впервые установлено лишь в начале 30-х гг. прошлого столетия [36]. Результаты подобных исследований на горизонтальных путях, выполненных сотрудниками одного из университетов Японии под руководством К. Kimura и S. Ihara, опубликованы в университетском издании приблизительно в тоже время [69]. Японские исследования оставались неизвестными в СССР, в Европе и в Америке в течение почти 50-ти лет.

Во всех последующих работах, проводимых в России, исследованию этой зависимости уделялось пристальное внимание, прежде всего потому, что в каждой из них количественные выражения получаемых зависимостей отличались от установленных в предыдущих работах. К концу 70-х гг. прошлого века общий объем эмпирических данных [46, 70] составил 24 478 одновременно фиксируемых значений скорости и плотности людских потоков в 69 сериях натуральных наблюдений в зданиях различного назначения, в сооружениях метрополитена, на городских территориях, во внеуличных переходах и в экспериментах (рис. 2.12–2.14). В настоящее время этот объем достиг более 40 тыс. замеров.

Скорость движения людей в потоке и потока в целом зависит не только от плотности потока, но и от вида пути, и от физических возможностей людей, составляющих поток, и от их эмоционального состояния, определяемого как индивидуальными особенностями каждого из участников движения, так и общим психологическим настроением массы людей, оказавшихся по стечению обстоятельств в одной толпе. Чем выше плотность потока и психологическая напряженность ситуации, тем больше превалирует над индивидуальным сознанием общий психический настрой массы, как стихийного образования, как единого социального организма, возникшего на короткое время [71, 72].

V , м/мин

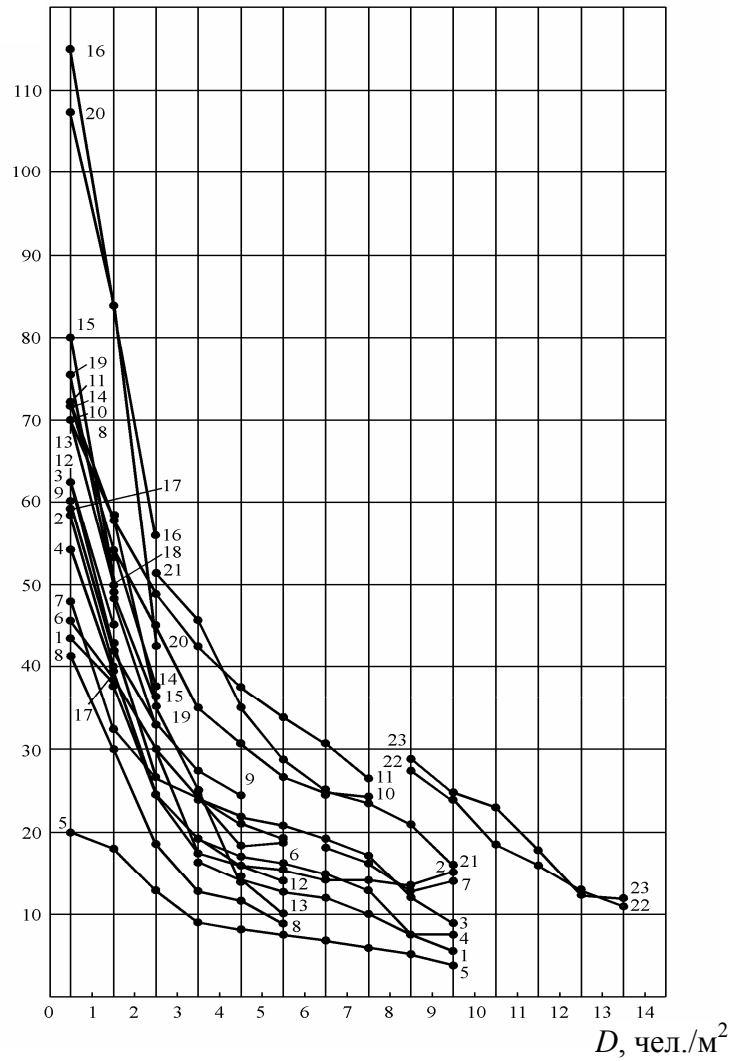


Рис. 2.12. Эмпирические зависимости скорости людского потока от его плотности при движении по горизонтальным путям здания: 1, 5 – театры, кинотеатры, 2 – университеты, 3 – промышленные, 4, 13, 14 – транспортные, 6 – спортивно-зрелищные, 7 – различные, 8 – торговые; школы: 9 – старшая группа, 10 – средняя, 11 – младшая; улицы: 12 – торговый центр, 15, 16, 18 – транспортный узел, 19 – промышленный узел, 20, 21 – метрополитен, 22, 23 – эксперимент

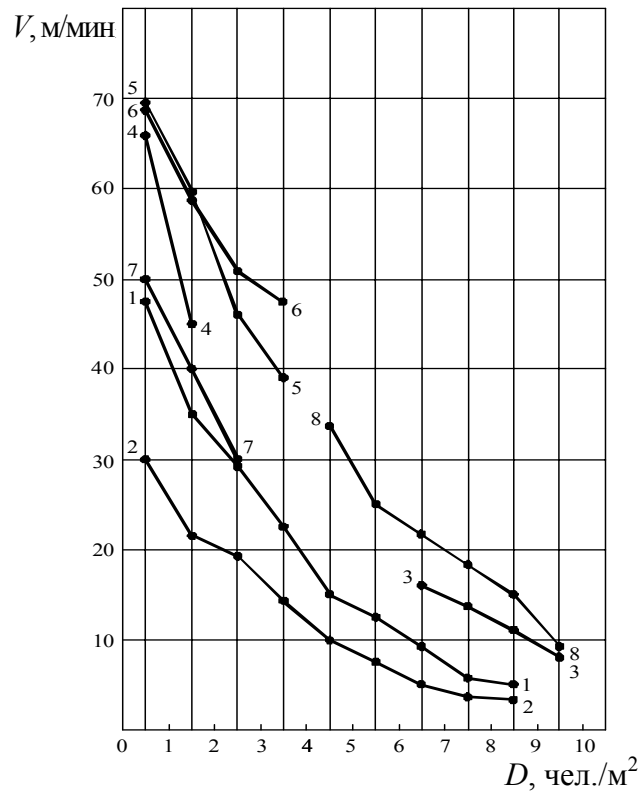


Рис. 2.13. Эмпирические зависимости скорости людского потока от его плотности при движении по лестнице вниз: здания: 1 – различного назначения, 2, 3 – спортивно-зрелищные, 4 – университет; школы: 5 – средняя группа, 6 – младшая; 7 – транспортный узел; 8 – эксперимент

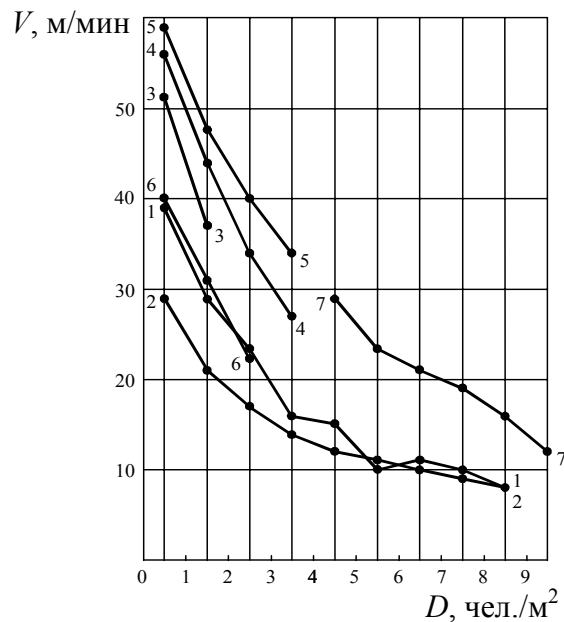


Рис. 2.14. Эмпирические зависимости скорости людского потока от его плотности при движении по лестнице вверх: здания: 1 – различного назначения, 2, 3 – спортивно-зрелищные, 3 – университет; школы: 4 – средняя группа, 5 – младшая; 6 – транспортный узел; 7 – эксперимент

Многофакторность формирования наблюдаемой скорости потока стала очевидной достаточно скоро, но долго не удавалось хотя бы «нащупать» и понять ее явно психологические и физические механизмы. Поэтому каждый раз построенные по эмпирическим данным зависимости сравнивались с другими, полученными таким же образом, или с некой, выбранной почему-то в качестве основной, зависимостью [37]. Однако их растущее множество стало тормозом практического применения этой основополагающей связи между параметрами людского потока, поскольку не давало возможности использования ни одной из них в качестве общей, расчетной закономерности, необходимой для нормирования.

Физическое достижение той или иной скорости движения человека зависит от двух факторов: длины шага и частоты шагов (темпа движения). Плотность потока (окружающие люди), с этой точки зрения, влияет тем, что лишает пешехода пространства, необходимого для полношагового движения. Однако если проанализировать расстояние между людьми и плотность потока, то становится видно, что при плотности до 2–2,5 чел./м² физические расстояния для полношагового (при среднем шаге 0,7 м) движения есть, а человек идет со скоростью меньшей скорости свободного движения. В этом интервале плотности на снижение скорости влияет расстояние между людьми не из-за физической возможности широко шагать, а из-за ограничения возможности маневрировать при движении. То есть имея перед собой человека, скажем, на расстоянии 1 м, и не имея возможности его обогнать, пешеход начинает уменьшать скорость, чтобы избежать столкновения. Если же он решил обогнать впереди идущего человека, то ему придется либо резко увеличивать скорость движения, либо, наоборот, резко притормаживать, то уклоняться от столкновений, то, наоборот, идти на них, что вызывает и физический и психологический отпор со стороны окружающих, да и самому не доставляет удовольствия. Становится очевидным, что плотность потока человек воспринимает не просто как ограничение физического пространства для движения, а гораздо сложнее – как комплекс физических и психических факторов, интенсивность воздействия которых на человека с увеличением плотности потока растет, и неизвестно, в какой степени. Влияние опасности, определяющей психологические условия, в которых происходит движение, более очевидно. Поэтому практически всеми постулируется, как сама собой разумеющаяся, психологическая и физиологическая обусловленность скорости людского потока, но нет ни одной работы, в которой раскрывались бы механизмы этой обусловленности, определяющие форму и вид ее проявления в наблюдаемых зависимостях.

В исследованиях людских потоков отмечается, что в чрезвычайных ситуациях, «когда психологический фактор играет большую роль, скорость

движения увеличивается при тех же плотностях потока. И это понятно, так как страх, овладевающий людьми, заставляет их бежать от опасности. Это общее желание, одинаковый для всей массы людей психологический импульс способствуют согласованности движения... Аналогичная картина наблюдается и при комфортных условиях с той лишь разницей, что общий психологический «настрой» людей обуславливает снижение скорости движения потока» [37]. Этот общий психологический настрой теоретиками психологии масс формулируется как «взаимное усиление эмоций, взаимное заражение» [71].

Такое почти дословное совпадение определений объектов исследований в теории людских потоков и в теории психологии масс не просто любопытно, но и показывает, что людской поток можно рассматривать как один из видов в типологии масс. Воспользуемся этим, чтобы словами психологов следующим образом выразить общую концепцию: «...отдельный человек, индивид, и массы – это как бы два противоположных полюса на шкале социально-психологического знания. Соответственно, между ними существует множество различий, так как масса представляет собой некое новое целое, несводимое к сумме входящих в нее людей... система не равна сумме своих составляющих» [71]. И еще: «Индивид, даже не испытывая на себе психического давления со стороны других, лишь на основе восприятия их поведения заражается этим поведением, подчиняется и следует ему» [72].

2.2.2. Стохастичность людского потока

Но это «некое новое целое» не есть нечто постоянное, неизменное. Наоборот, в нем все постоянно изменяется: не только состав людей в наблюдаемых потоках, но и их взаимное влияние друг на друга и влияние на них на всех окружающих, в котором они находятся в различных ситуациях. Поэтому не только скорость людского потока в каждом интервале плотности в каждой серии наблюдений является случайной величиной (рис. 2.15), но и характер изменения этой величины от одного интервала плотности к другому в каждой серии зависит от стечения многих обстоятельств.

Здесь случайность – форма естественного проявления процесса, а потому должна быть и формой его математического описания. Поэтому зависимость между скоростью и другими параметрами потока (плотностью, эмоциональным состоянием людей, видом пути и т. д.) является случайной функцией, которая в каждой серии наблюдений или экспериментов проявляется как одна из возможных ее реализаций. Только совокупность реализаций и дает представление о существующей закономерности изменений случайного процесса. Следовательно, для установления существующей

закономерности необходимо рассмотрение всей совокупности зафиксированных ее реализаций и соответствующий статистический анализ представляющих их эмпирических данных. Однако такой статистический анализ впервые был выполнен лишь в конце 70-х гг. в связи с необходимостью разработки СНиП II-2-80: «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений». Его результаты опубликованы позже [73].

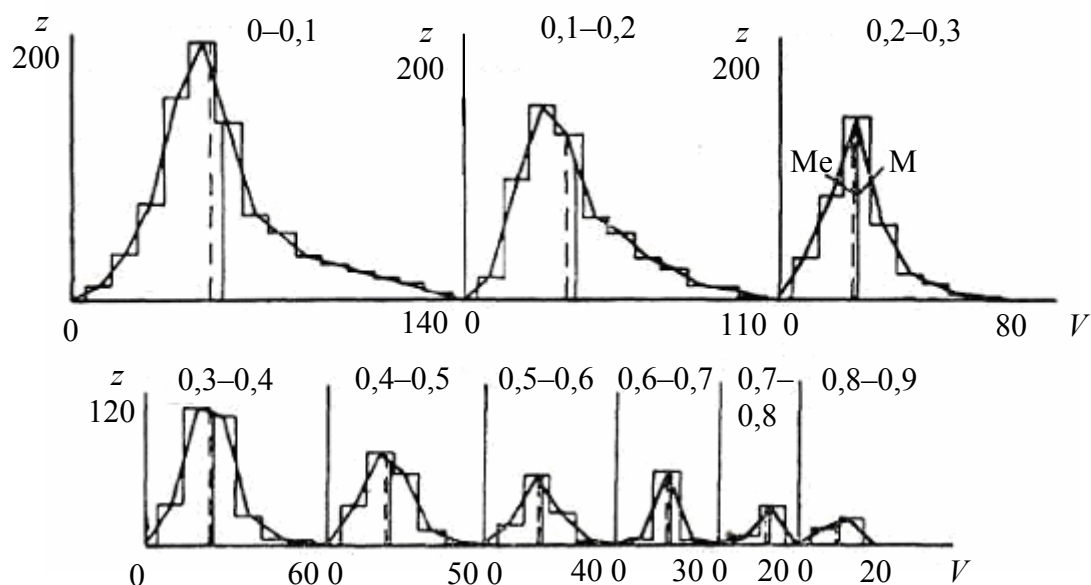


Рис. 2.15. Гистограммы и полигоны распределения значений скорости людей в потоке при движении по горизонтальным путям [1] для различных интервалов плотности потока: V – скорость движения, м/мин; z – количество замеров

Проведенный статистический анализ позволил выделить однородные по статистическим показателям группы серий проведенных к тому времени натурных наблюдений и экспериментов. Результаты анализа подтвердили корректность классификации этих серий по видам пути, но в то же время показали существование в каждом из этих классов нескольких групп, однородных по наблюдаемым значениям скорости движения, для которых межгрупповое объединение неправомерно. Причину столь значимых различий логично было объяснить влиянием различных уровней психологического воздействия на людей условий, в которых происходило движение наблюдаемых потоков людей. Основанием для такого логического постулата являлось и то, что оценить количественно влияние психологического фактора на величину скорости движения людского потока по тому или иному виду пути никогда ранее не удавалось. Для этого были естественные причины: любое наблюдаемое значение скорости движения каждого человека в потоке по конкретному виду пути – результат одновременного совместного влияния плотности потока и психологического воздействия среды, в которой происходит наблюдаемое движение.

2.2.3. Закономерность изменения скорости от плотности

В то же время, длительными наблюдениями установлено, что до достижения определенных значений плотности ее влияние на свободу движения человеком не ощущается. Поэтому и выделен интервал индивидуального, свободного движения (гл. 1, табл. 1.4). Точные значения порога D_0 , при достижении которого плотность становится фактором, вызывающим изменение скорости движения людей в потоке, не были известны, но было очевидно, что они находятся в интервале плотности до 1 чел./м², в котором наблюдается скорость свободного движения V_0 , можно сказать, скорость при нулевом влиянии плотности. В последующих интервалах плотности она уже влияет на скорость движения человека в потоке и, следовательно, всего потока, поэтому обозначим соответствующую скорость при плотности D , как V_D . Тогда степень влияния плотности на скорость легко установить по изменениям ΔV_D средней скорости движения людей в потоке (скорости потока) той или иной плотности V_D в сравнении со скоростью свободного движения V_0

$$\Delta V_D = V_0 - V_D. \quad (2.10)$$

Чтобы исключить влияние психологической напряженности ситуации, возьмем эти значения из одной и той же серии наблюдений и соотнесем полученные значения ΔV_D со значением V_0 , т. е. построим функцию

$$R = \Delta V_D / V_0 = \varphi(D). \quad (2.11)$$

Очевидно, что эта функция описывает общую тенденцию влияния именно плотности людского потока на его скорость, поскольку во всем остальном условия наблюдений были одни и те же или идентичны (вид пути, вид здания и режим его эксплуатации, состав потока). Такие функции были получены для всех серий натуральных наблюдений, графики которых представлены на рис. 2.12–2.14, в которых имелись значения V_0 . Они были объединены по видам пути. Полученные значения R приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Значения функции R при средних значениях плотности D в интервалах ее изменения

Плотность людского потока D , чел./м ²		1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
Средние значения R по эмпирическим данным для видов пути	Горизонтальных в зданиях	0,270	0,434	0,555	0,610	0,655	0,705	0,750	0,789
	Горизонтальных вне зданий	0,304	0,528	0,668	0,770	0,838	–	–	–
	Лестница вниз	0,214	0,386	0,529	0,672	0,761	0,799	0,841	0,895
	Лестница вверх	0,232	0,413	0,512	0,595	0,655	0,681	0,724	0,779
	Проем	0,320	0,454	0,541	0,609	0,655	0,701	0,737	0,780

Методология математической статистики четко, как аксиому, формулирует, что математическая формула только тогда получает реальное значение, когда она адекватна внутренним отношениям между явлениями или, во всяком случае, отражает эти отношения с достаточной степенью приближения. Поэтому необходимо выбрать вид аппроксимирующей функции, способной отобразить психофизическую суть описываемой взаимосвязи между интенсивностью воздействия плотности и реакцией на него человека, выражающейся в изменении скорости его движения.

В психофизике известно несколько законов, описывающих отображение внешних воздействий в сенсорном пространстве человеке [74]. Их анализ показал [46, 73], что устанавливаемой взаимосвязи в наибольшей степени может соответствовать так называемый всеобщий психофизический закон Вебера – Фехнера. О высокой степени соответствия выполненной аппроксимации свидетельствует пример, представленный на рис. 2.16.

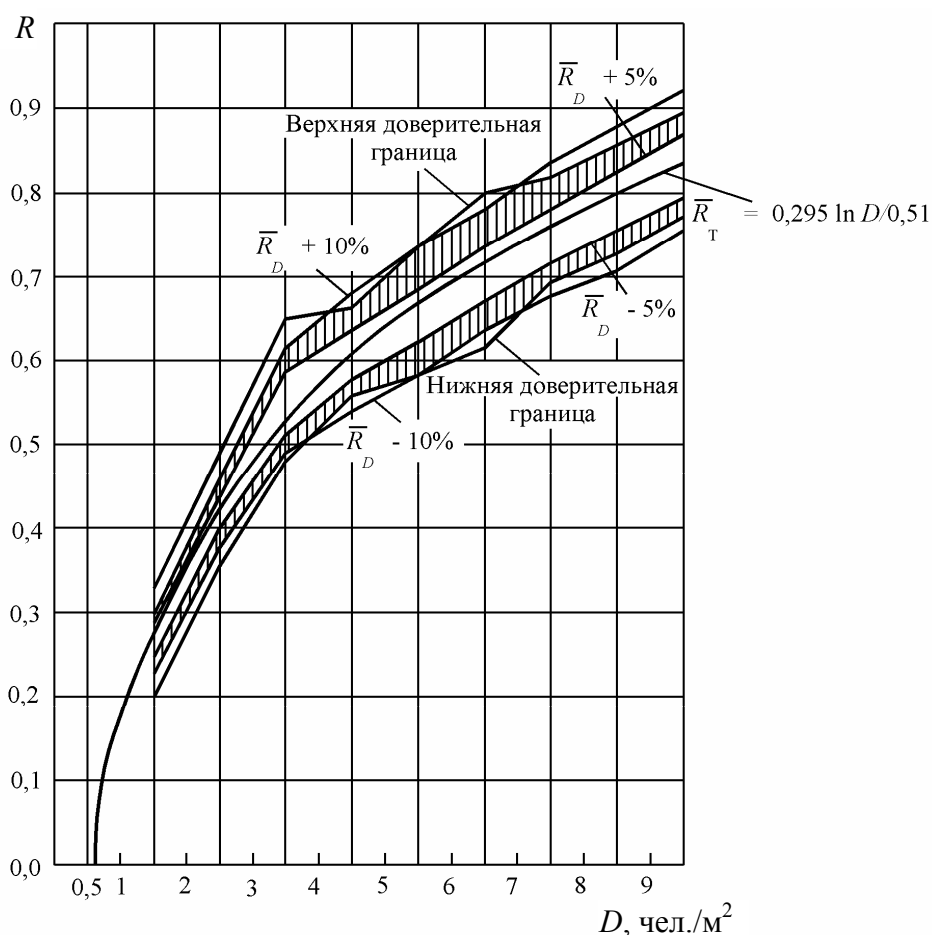


Рис. 2.16. Пример аппроксимации зависимости R_T для горизонтальных путей в зданиях:

- — установленная теоретическая функция $\bar{R}_T = f(D)$;
- ▨ — область допустимых отклонений от \bar{R}_D

Из найденного соотношения $R_{Dj} = (V_{0j}^{\mathcal{E}} - V_{Dj}^{\mathcal{E}}) / V_{0j}^{\mathcal{E}}$ следует формула для определения скорости движения людского потока

$$\bar{V}_{Dj}^{\mathcal{E}} = \bar{V}_{0j}^{\mathcal{E}} \left(1 - a_j \ln \frac{D_i}{D_{0j}} \right), \quad (2.12)$$

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

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

D_i – текущее значение плотности потока;

D_{0j} – пороговое значение плотности потока, по достижении которого плотность становится фактором, влияющим на скорость движения.

Поскольку в этой формуле величина R_{Dj} не зависит от уровня эмоционального состояния, то его влияние отображается величиной скорости свободного движения $V_{0j}^{\mathcal{E}}$. Кроме того, функция, стоящая в скобках этой формулы, является неслучайной функцией. Поэтому и случайность индивидуальных скоростей движения людей в потоке также отображается этой случайной величиной. Функция, которая представляет собой произведение случайной величины на неслучайную функцию, в теории вероятностей называется элементарной случайной функцией. Очевидно, что такое описание закономерностей изменения скорости людского потока в зависимости от его плотности отвечает стохастической природе процесса. Коэффициенты, характеризующие коэффициенты формулы (2.12) приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Значения коэффициентов a_j и D_{0j} в зависимости от вида пути

Вид пути	a_j	D_0 , чел./м ²
Горизонтальный вне зданий	0,407	0,69
Горизонтальный в зданиях	0,295	0,51
Проем	0,295	0,65
Лестница вниз	0,400	0,89
Лестница вверх	0,305	0,67

2.2.4. Закономерность влияния эмоционального состояния

Уровень эмоционального состояния изменяется от комфортного до стрессового. Шкала уровней может быть выражена в относительных единицах (от 0 до 1). Такая шкала имеет следующее содержательное описание [75]. Выделяются три стадии развития отрицательного эмоционального состояния. Первая стадия ($0 < \mathcal{E} < 0,3$) связана с появлением слабых

сигналов о возможности опасности. В этом состоянии происходит своеобразная настройка организма, подготовка его к встрече с ожидаемой опасностью. Вторую стадию ($0,3 < \mathcal{E} < 0,7$) следовало бы назвать «активные действия», поскольку этой стадии соответствует состояние повышенной активности организма, сопровождающее целесообразное поведение, направленное на устранение опасности. Когда устранить опасность не удается и возникает чувство бессилия справиться с угрожающей опасностью, тогда наступает третья стадия ($0,7 < \mathcal{E} < 1$), которая характеризуется резким спадом активности и переходом в зону запредельного торможения.

Уровень эмоционального состояния различным образом влияет на функционирование подсистем центральной нервной системы человека, активность которых описывается графиками на рис. 2.17 [75].

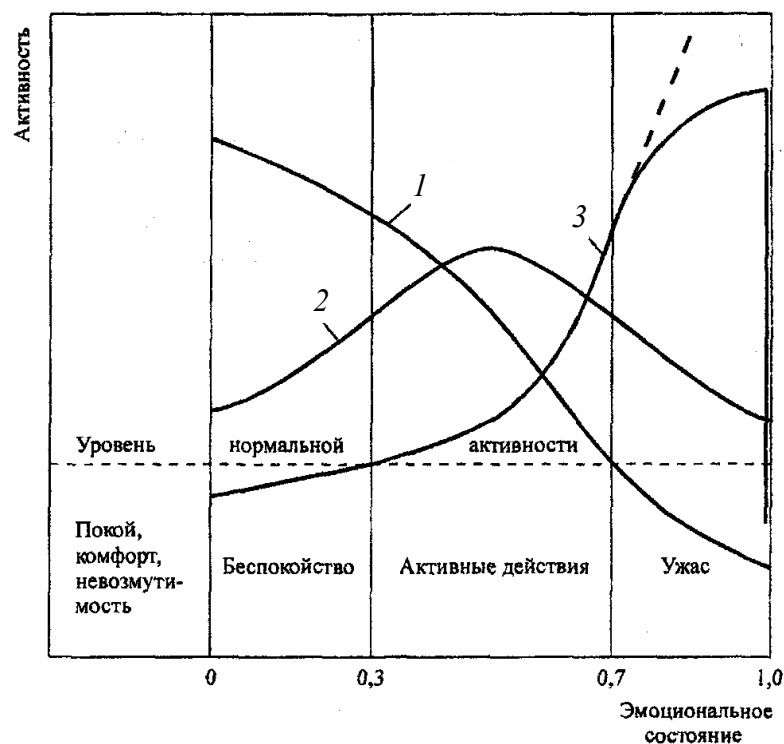


Рис. 2.17. Влияние эмоционального состояния на уровень активности:
1 — внимания; 2 — управления; 3 — движения

Как видно, двигательная активность при увеличении уровня эмоционального состояния возрастает. Учитывая этот факт и то, что значения скоростей движения людей в повышенном эмоциональном состоянии являются крайними членами в статистических распределениях значений скоростей свободного движения, по данным натурных наблюдений были установлены категории движения и соответствующие им скорости свободного движения по видам пути. Графики полученных зависимостей представлены на рис. 2.18.

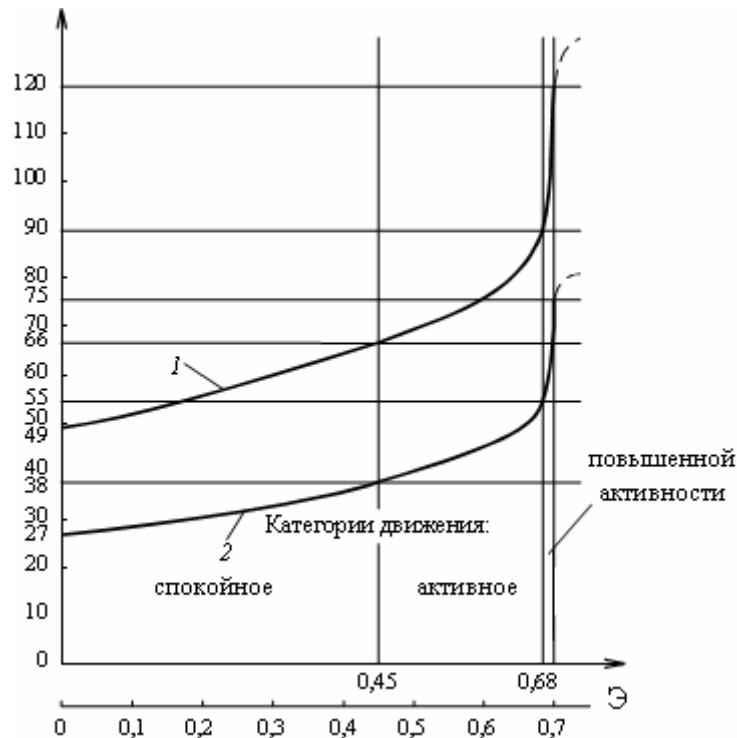


Рис. 2.18. Зависимость скорости свободного движения людей в потоке от уровня эмоционального состояния при движении:

1 – по горизонтальному пути, через проем, по лестнице вниз; 2 – по лестнице вверх

Таким образом, по данным статистической совокупности всех серий проведенных натуральных наблюдений и экспериментов была получена возможность определить конкретные значения всех членов формулы, описывающей закономерность связи между параметрами людских потоков (2.12) [76]. Они приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Значения скоростей свободного движения людей в потоке при различных категориях движения

Категории движения	Скорость свободного движения \bar{V}_0 по видам пути, м/мин	
	Горизонтальный, лестница вниз, проем	Лестница вверх
Комфортное	< 49,0	< 27,0
Спокойное	49,0–66,0	27,0–38,0
Активное	66,0–90,0	38,0–55,0
Повышенной активности	90,0–120,0	55,0–75,0

Теперь все части общего выражения закономерностей (2.12) изменения скорости движения людского потока определены для всех видов пути (j) и уровней эмоционального состояния людей. Поскольку скорость движения людского потока – величина случайная, то в каждом интервале плотности потока ее значения имеют распределения, дисперсия которых с

ростом плотности уменьшается, что соответствует данным натуральных наблюдений (рис. 2.15). Среднее значение \bar{V}_D (математическое ожидание) вычисляется по формуле (2.15), а дисперсия $S_{V_0}^2$ – по формуле

$$S_{V_D}^2 = S_{V_0}^2 \left(1 - a \ln \frac{D_i}{D_0} \right)^2. \quad (2.13)$$

Представленные формулы позволяют определить минимальные и максимальные значения скорости движения в зависимости от плотности и состава людского потока. Пример построения диапазона отклонений для горизонтального пути от средних значений представлен на рис.2.19.

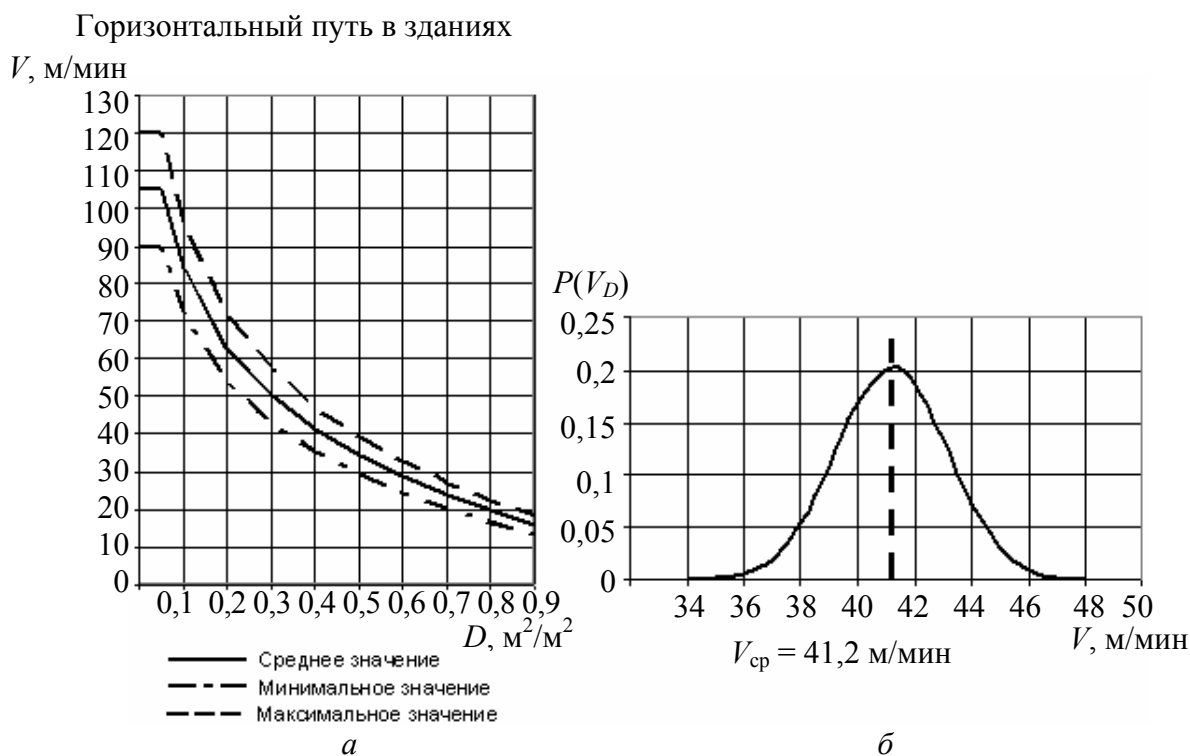


Рис. 2.19. Распределение вероятных значений скорости людей в потоке при категории движения «повышенная активность» по горизонтальному участку пути:

- а – при изменении плотности людского потока;
- б – при фиксированном значении плотности потока, например, $D_i = 0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$

Зависимость $V = f(D)$ определяет моноэкстремальный характер изменения интенсивности движения $q = VD$. Максимум этой функции достигается при значении плотности

$$D_{q_{\max}} = e^{(1/a_j - 1 + \ln D_{0j})}, \quad (2.14)$$

поскольку при этом значении первая производная функция $q_j = D \bar{V}_{0j}^{\exists} (1 - a_j \ln(D / D_{0j}))$ равна 0. Как видно, положение максимума не зависит от скорости свободного движения, а следовательно, и уровня эмоционального состояния, но зависит от величин, характеризующих плотность и вид пути.

Корректность положения максимумов интенсивности движения подтверждается натурными наблюдениями.

Наличие максимума в функции, описывающей зависимость интенсивности движения от плотности людского потока, является критерием оценки приемлемости видов функций, предлагаемых для описания зависимости $V = \varphi(D)$. Отсутствие максимума функции $q = f(D)$ означало бы неограниченность пропускной способности ($Q = qb$) поперечного сечения пути шириной b . Однако это противоречит натурным наблюдениям, которые показывают образование скоплений людей и задержки движения на границах участков пути из-за ограниченности их пропускной способности.

Международным научным сообществом установленная закономерность признана открытием в области социальной психологии [76].

Очевидность повышения психологической напряженности ситуации при возникновении пожара предопределяет выбор категории движения «повышенная активность» (табл. 2.3) в качестве интервала ожидаемых скоростей движения людей в чрезвычайной ситуации.

Кроме влияния физических данных человека, влияния плотности потока и эмоционального состояния, скорость движения зависит также от следующих факторов.

Состояние поверхности эвакуационного пути. Длина шага зависит от силы отталкивания опорной ногой, что, в свою очередь, зависит от коэффициента трения. Площадь контактного пятна при завершении шага определяется площадью пятки ноги, вынесенной вперед. В случае скользкой поверхности, ритм движения замедляется, так как человек с большей осторожностью и с большими потерями времени перемещает тело вперед. В связи с этим, нормы пожарной безопасности США (NFPA 101 Life Safety Code, пункт 7.1.6.4*) нормируют состояние поверхности эвакуационного пути. Большое внимание этой проблеме также уделялось в работе [37].

Следует иметь в виду, что при эвакуации, например, спортивных учреждений, ввиду дефицита времени, люди могут не иметь возможности переобуться. Скорость движения в специальной спортивной обуви, босиком, или в обуви для купания может существенно отличаться в сторону уменьшения.

Пространство, необходимое для движения можно условно разделить на две зоны: зона движения и зона восприятия. *Зона движения* – это зона, необходимая для выполнения шага. *Зона восприятия* – информационное пространство, необходимое для движения. Пешеход с помощью органов зрения отслеживает скорости и траектории движения окружающих людей, оценивает расстояния до объектов и предметов и корректирует скорость своего движения для избежания столкновений и выполнения маневров.

Специальные исследования показали, что люди с плохим зрением, практически не могут принимать равноценного участия в движении. При возникновении ЧС, в условиях плохой видимости (нарушение освещения, задымление и т. п.) скорость свободного движения существенно снижается и может достигать значений 20 м/мин. Интересно отметить, что при скорости встречного воздушного потока 6,5 м/с и более, например, при работе системы противодымной защиты, скорость движения человека также снижается.

В большинстве зданий люди находятся в составе семейной или социальной группы. Как показывают натурные наблюдения, в таком случае люди будут эвакуироваться в составе группы, скорость движения которой будет определяться скоростью движения самого медленно идущего члена группы.

2.3. ОСОБЕННОСТИ ЭВАКУАЦИИ МАЛОМОБИЛЬНЫХ И НЕМОБИЛЬНЫХ ЛЮДЕЙ

Очевидно, что в определенных типах зданий (больницы, интернаты для престарелых и т. п.), а также в общественных и промышленных зданиях различного назначения могут находиться люди с нарушением функций организма. Согласно СНиП 35–01–2001 [77] к категории маломобильных людей относятся люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуги, необходимой информации или при ориентировании в пространстве – это инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди старших возрастов, люди с детскими колясками и т. п. По данным [78] в России насчитывается 12 млн инвалидов. Причем 80 % из их числа – инвалиды I и II групп.

К отличительным особенностям эвакуации людей с ограничениями функций организма относятся:

1. Низкая скорость передвижения.
2. Использование при движении вспомогательных средств (костыли, палки, протезы, рамы, инвалидные коляски).
3. Увеличенные по сравнению со здоровыми людьми размеры эргонометрического пространства, необходимого для осуществления движения.
4. Пониженная «устойчивость» инвалидов в движущемся людском потоке, так как при высоких плотностях потоков и обгонах не исключены физические контакты между людьми, обусловленные пересечением эргонометрических зон близко расположенных людей.
5. Пониженная маневренность в движении по сложным участкам эвакуационного пути (повороты, сужения, места слияний потоков).
6. Трудности при преодолении преград в пути (открывание дверей и т. п.).

Кроме того, по данным специальных исследований [79] такие люди имеют сложности с чтением указателей эвакуационных выходов, восприятия сигналов системы оповещения, имеют повышенное время подготовки к эвакуации и т. п.

Параметры движения людей с нарушениями функций организма были исследованы в МИСИ (МГСУ) и в Академии ГПС МЧС РФ. Полученные результаты вошли в СНиП 35–01–2001. Согласно СНиП, выделяются 4 группы людей по их мобильности: М1, М2, М3, М4. Характеристика людей по группам мобильности приведена в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Характеристика групп мобильности

Группа мобильности	Характеристика людей в группе	Площадь горизонтальной проекции человека, м ²
М1	Люди, не имеющие ограничений по мобильности, в том числе с дефектами слуха	0,1
М2	Немощные люди, мобильность которых снижена из-за старения организма (инвалиды по старости); инвалиды на протезах; инвалиды с недостатками зрения, пользующиеся белой тростью; люди с психическими отклонениями	0,2
М3	Инвалиды, использующие при движении дополнительные опоры (костыли, палки)	0,3
М4	Инвалиды, передвигающиеся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную	0,96

Проведенные исследования [80, 81] показали, что изменение скорости движения маломобильных людей в зависимости от плотности имеет те же закономерности, что и описываемые ранее. Значение величин, входящих в формулу (2.12) для перечисленных групп мобильности в СНиП 35–01–2001 приведены в табл. 2.6. Следует учитывать, что приведенные параметры относятся к однородным по мобильным качествам группам людей. Данные, приведенные в таблице, позволяют заключить, что скорость потоков маломобильных людей значительно ниже, чем скорость движения здоровых людей. Наиболее низкие скорости наблюдаются у людей группы мобильности М2.

Очевидной отличительной особенностью немобильных людей является отсутствие возможности самостоятельного передвижения, необходимость помощи со стороны окружающих и значительные размеры эвакуационных путей для маневрирования при использовании носилок или кроватей-каталок. Эвакуация немобильных людей представляет наиболее сложную задачу. Данные исследований [82] говорят о том, что средние значения скорости переноски человека на носилках физически здоровыми мужчинами составляют: по горизонтали – 95 м/мин, по лестнице вниз – 65 м/мин, по лестнице вверх – 45 м/мин. Скорость беспрепятственного передвижения на кроватях-каталках – 80 м/мин. При этом, ввиду значительных физических нагрузок, после 1 минуты работы скорости передвижения снижаются

приблизительно на 10 %. Приведенные данные получены с участием физически развитых молодых мужчин, поэтому отражают наиболее оптимистичные данные для расчета процесса эвакуации немобильных людей. В табл. 2.7 отражены данные о скорости движения (перемещения) людей с физическими ограничениями, полученные корейскими исследователями [83].

Таблица 2.6

Значения параметров уравнения скорости движения для маломобильных групп людей по видам пути

Группы мобильности	Значения параметров	Величина параметров по видам пути (j)				
		горизонтальный	лестница вниз	лестница вверх	пандус вниз	пандус вверх
M1	$V_{0,j}$	100	100	60	115	80
	$D_{0,j}$	0,051	0,089	0,067	0,171	0,107
	a_j	0,295	0,400	0,305	0,399	0,399
M2	$V_{0,j}$	30	30	20	45	25
	$D_{0,j}$	0,135	0,139	0,126	0,171	0,146
	a_j	0,335	0,346	0,348	0,438	0,384
M3	$V_{0,j}$	70	20	25	105	55
	$D_{0,j}$	0,102	0,208	0,120	0,122	0,136
	a_j	0,350	0,454	0,347	0,416	0,446
M4	$V_{0,j}$	60	–	–	115	40
	$D_{0,j}$	0,135	–	–	0,146	0,150
	a_j	0,400	–	–	0,424	0,420

Таблица 2.7

Скорость движения маломобильных и немобильных людей

Категория эвакуирующихся	Средняя скорость движения, м/мин
С капельницей (перевязанный)	43,2
На кресле-коляске	49,8
На кресле-коляске с помощником	54,6
На кровати	
с помощью 1 человека	36,0
с помощью 2 человек	60,0
С помощью медперсонала	37,8
Передвигающийся с помощью дополнительных опор	34,2

При эвакуации по вертикальным эвакуационным путям решающее значение оказывают размеры лестничной площадки: чем шире, тем быстрее проходит разворот, уменьшая тем самым общее время движения. При ширине лестничного марша менее 1,2 м стандартные носилки (длиной 2,1 м) развернуть крайне сложно. Как показывает практика, существуют и применяются другие способы [84] эвакуации немобильных людей, приведенные в прил. 2.2. Приведенные данные описывают практически всю совокупность способов эвакуации немобильных пациентов больниц. Английские исследователи предлагают использовать следующие способы в зависимости от сценария развития пожара:

1. Пожар в отделении. Эвакуация пациентов должна быть осуществлена в кратчайшие сроки. Для эвакуации через задымленный коридор авторы рекомендуют использовать способы эвакуации, обеспечивающие как можно более низкое расположение пациента относительно пола. В таком случае, однако, скорости движения будут невысокими.

2. Пожар в корпусе. Ввиду отсутствия, как правило, сильного задымления путей эвакуации, могут быть использованы другие методы эвакуации, в частности те, которые позволяют развить большую скорость при транспортировке. Достаточно эффективным способом эвакуации является эвакуация на кроватях, в том числе эвакуация нескольких пациентов на одной кровати. При таком способе эвакуации на первое место выходит возможность маневрирования на путях эвакуации. В дальнейшем эвакуацию по лестнице можно продолжить, используя различные хваты и подручные материалы.

3. Пожар в смежном корпусе. Рекомендуется использовать кровати и кресла-коляски. Ввиду сложности процесса вертикальной эвакуации, многие авторы советуют ограничиться заранее спланированной и организованной горизонтальной эвакуацией. В табл. 2.8. приведены рекомендуемые способы эвакуации в зависимости от сценария пожара: 1, 2 или 3.

Таблица 2.8

**Способы эвакуации немобильных пациентов
в зависимости от сценария развития пожара**

Тип и состояние путей эвакуации	Номер сценария развития пожара и способ* эвакуации		
	Пожар в отделении	Пожар в корпусе	Пожар в смежном корпусе
1. Горизонтальные без препятствий	4	5	5
	14	17	17
	5		
2. Эвакуационные пути загромождены или не имеют достаточной ширины (не включают лестницы)	4	17	17
	14	12	15
		6	16
		10	3
			6
		10	
3. Лестницы и лестничные клетки	4	13	6
	14	6	3
		10	10
		4	

*Примечание. Пояснения к способам эвакуации приведены в прил. 2.2.

Авторы отмечают, что наибольших усилий требуют различные хваты, наименьших – перетаскивание пациента по полу и использование кроватей на колесах и кресел-каталок. Наиболее сложной является эвакуация больничных комплексов. Согласно имеющимся данным ([85], прил. 2.1) наиболее

опасным будут отделения для новорожденных (до 100 % немобильных пациентов), протезные отделения (20 % мобильных, 40 % маломобильных и 40 % немобильных пациентов), а также хирургические отделения, отделения для тяжелобольных и психиатрические больницы.

Заключение

1. Первые научные исследования [11, 36] эвакуации из зданий с массовым пребыванием людей выявили: «При неорганизованном движении, имеющем место при эвакуации... скорость становится неопределенной, что затрудняет не только установление связи между плотностью и пропускной способностью, но и разрешение вопроса о том, увеличивает или уменьшает пропускную способность уплотнение потоков. Между тем, выявление этой связи необходимо для разрешения основных задач эвакуации... Первое и основное условие безопасности вынужденной эвакуации – ее кратковременность» [36].

2. Выявление этой связи потребовало проведения многочисленных и трудоемких натурных наблюдений и экспериментов, разработки новых методов их осуществления, но обеспечило накопление крупнейшей в мире статистической базы эмпирических данных.

3. Философия естествознания говорит, что если бы форма проявления и сущность вещей непосредственно совпадали, то всякая наука была бы излишней. В исследованиях людских потоков прослеживается общая последовательность развития науки: от эмпирической стадии к формированию отдельных теоретических конструкций и затем к теории. Основопологающим для теории людских потоков стало установление кинематических закономерностей движения и психофизиологически обоснованной закономерности связи между параметрами людских потоков.

4. Установление этих закономерностей позволяет разработать методы расчета различных проектных ситуаций и моделирования людского потока как непрерывного процесса при эвакуации людей из зданий и сооружений, а затем приступить к обоснованному нормированию размеров эвакуационных путей и выходов. Поэтому рассмотрение методов расчета движения людских потоков является темой следующей главы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.1

Состав пациентов отделений больниц по мобильности

Таблица П2.1

Распределение пациентов различных отделений больниц по мобильности [85]

Учреждения здравоохранения	Состав пациентов по способности к передвижению, %		
	Способные к самостоятельному передвижению	С ограниченной способностью к передвижению	Не способные к самостоятельному передвижению
1. Гигиеническая поликлиника	100	–	–
2. Районный медпункт			
2.1. Детская часть	60	40	–
2.2. Остальные медицинские отделения	90	10	–
3. Поликлиники (см. пункт 4 б)			
4. Больницы с поликлиникой			
а) стационарная часть			
4.1. Терапевтическое отделение	40	40	20
4.2. Хирургическое отделение	40	30	30
4.3. Гинекологическое отделение	60	20	20
4.4. Детское отделение	20	40	40
4.5. Неврологическое отделение	50	30	20
4.6. Психиатрическое отделение	–	95	5
4.7. Кожное отделение	80	10	10
4.8. Ортопедическое отделение	40	30	30
4.9. Урологическое отделение	40	30	30
4.10. Глазное отделение	40	40	20
4.11. Ларингологическое отделение	70	20	10
4.12. Стоматологическое отделение	90	5	5
4.13. ТВС и респираторное отделение	90	5	5
4.14. Инфекционное отделение	60	20	20
4.15. Радиотерапевтическое отделение	40	30	30
4.16. Отделение ядерной медицины	80	10	10
4.17. Отделение профессиональных заболеваний	90	5	5
4.18. Анастезиологическо-реанимационное и подразделение интенсивного ухода	–	–	–
б) поликлиническая часть			
4.19. Детское отделение	60	40	–
4.20. Взрослое отделение	100	–	–
4.21. Остальные отделения	90	10	–

Учреждения здравоохранения	Состав пациентов по способности к передвижению, %		
	Способные к самостоятельному передвижению	С ограниченной способностью к передвижению	Не способные к самостоятельному передвижению
с) общие осмотровые и лечебные службы			
4.22. Отделение клинической биохимии	100	–	–
4.23. Радиодиагностическое (рентгеновское) отделение	80	10	10
4.24. Восстановительное отделение	80	10	10
4.25. Протезионное отделение	20	40	40
4.26. Отделение переливания крови	100	–	–
4.27. Отделение клинической гематологии	100	–	–
5. Специальные учебные учреждения			
5.1. Лечебные заведения для тяжело больных	10	40	50
5.2. Лечебницы ТВС и респираторных больниц	80	10	10
5.3. Психиатрические больницы	–	70	30
5.4. Лечебно-восстановительные учреждения	10	50	40
5.5. Курортные лечебницы для взрослых с болезнями двигательного аппарата	30	60	10
5.6. Остальные курортные лечебницы	70	30	–
5.7. Курортные лечебницы для детей и молодежи с болезнями двигательного аппарата	20	50	30
5.8. Остальные детские курортные	60	40	–
5.9. Санатории для взрослых	90	10	–
5.10. Санатории для детей и молодежи	80	20	–
5.11. Ночные санатории	100	–	–
6. Специальные детские учреждения			
6.1. Учреждения для новорожденных	–	–	100
6.2. Детские дома (дети до 3 лет)	–	–	100
6.3. Ясли	–	–	100

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.2
Способы и параметры эвакуации немобильных
пациентов больниц

Таблица П2.2

Среднее время эвакуации немобильных пациентов различными способами [39]

Способ эвакуации пациента (см. рис. П.2.1)	Время подготовки, с	Скорость свободного движения, м/мин		Время восстанов- ления, мин
		Горизонтальная	Вертикальная	
1. Английское одеяло	46	26,1	28,6	6,12
2. Одеяло с завязками	64	19,4	26,1	6,12
3. Матрас	95	11,8	10,9	6,15
4. Одеяло	38	24,0	–	5,12
5. Кровать-каталка	13	54,5	–	3,08
6. Хват двумя руками	12	66,7	75,0	3,08
7. Хват тремя руками	17	46,2	–	3,12
8. Хват четырьмя руками	14	60,0	75,0	–
9. Австралийский хват	14	50,0	–	4,15
10. Хват за грудь и бедра	21	60,0	70,6	6,05
11. Костыли	–	–	–	–
12. Хват через предплечья	9	60,0	–	3,08
13. Хват за бедра	10	46,2	–	4,07
14. Пижама	12	27,3	–	4,18
15. Стул	13	27,3	–	4,08
16. Кресло	11	33,3	–	4,12
17. Кресло-коляска	10	46,2	–	2,07
18. Амбулаторный стул	19	50,0	34,3	4,05

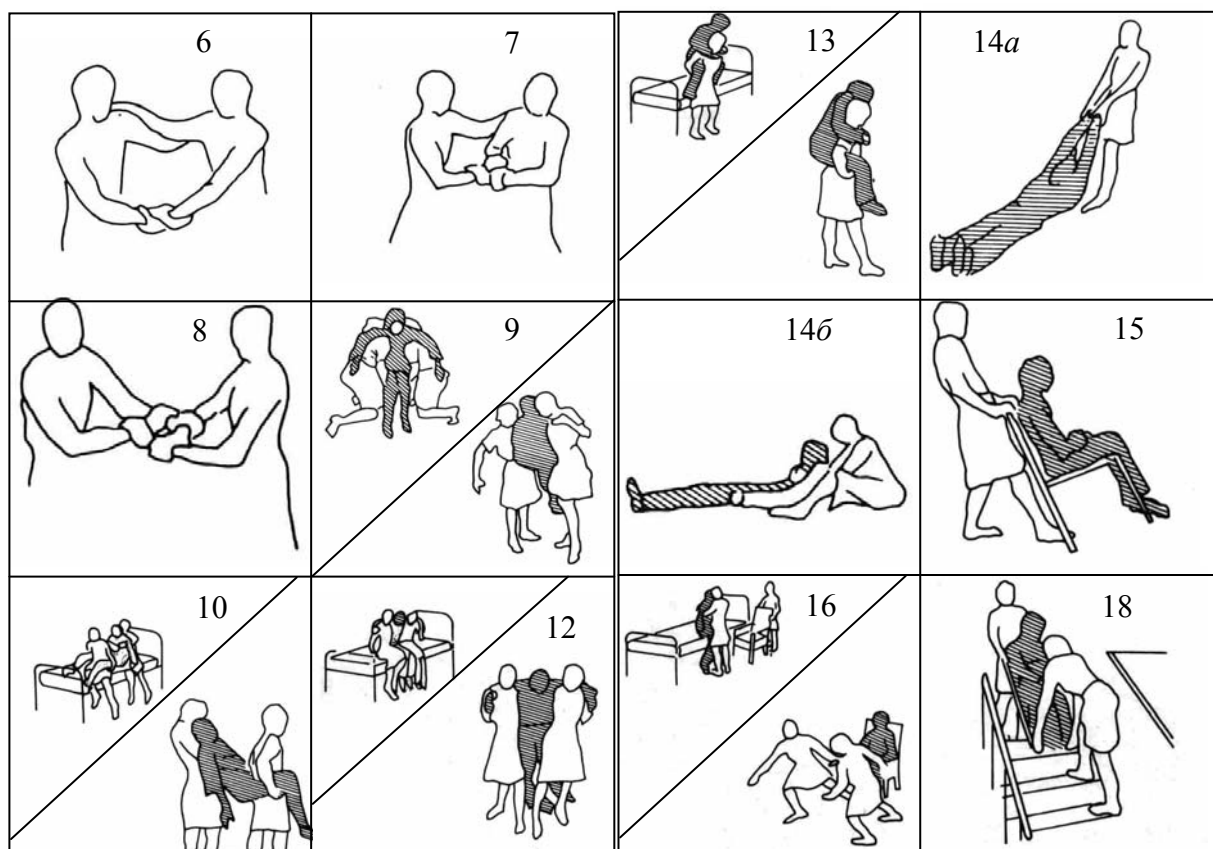
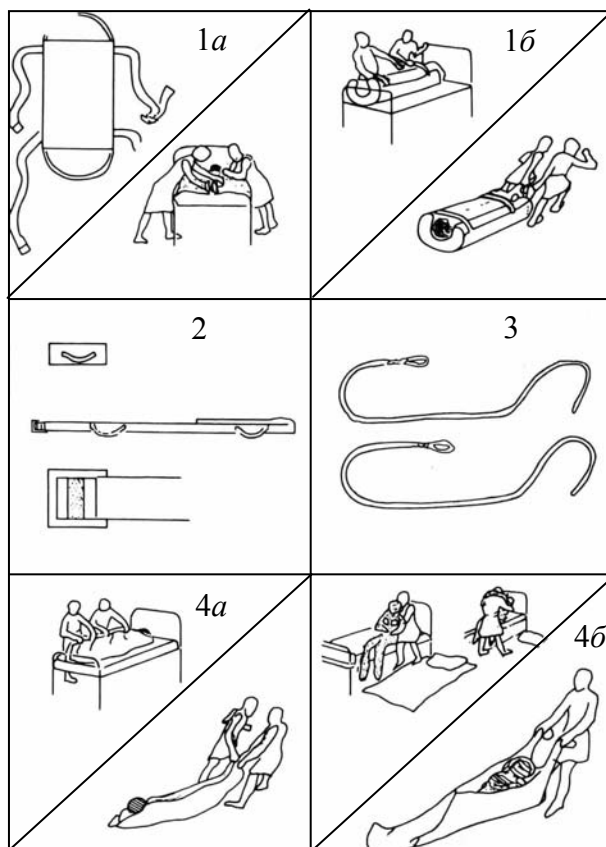


Рис. П2.1. Иллюстрация способов эвакуации немобильных людей

Глава 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

Введение

Модель – образ, заменитель какого-либо явления, процесса или объекта, который является оригиналом, прообразом данной модели. *Расчет* – система математических соотношений, описывающих модель. Не может быть расчета без модели. Используемая для расчета система математических соотношений является математическим описанием соответствующей ему модели. Однако отсутствие словесного описания при использовании математических формул или, наоборот, неявное их использование создают иллюзию независимости расчета от модели или, вообще, отсутствия модели, а иногда и расчета. Отсутствие в зарубежном нормировании архитектурно-строительного проектирования математических выражений для определения размеров эвакуационных путей и выходов и, в то же время, существование компьютерных программ, имитирующих движение людей, создают ошибочное мнение, что «ручной счет практикуется только в нашей стране и на постсоветском пространстве». Реальное положение совершенно не соответствует такому взгляду.

Ознакомление с проектными материалами зарубежных фирм показывает, что при назначении размеров эвакуационных путей в них используется норма: «Количество людей (n) на единицу ширины пути». Например, при проектировании лестниц высотных зданий они считают, что лестничный марш шириной 1,35 м соответствует 2,4 полосам движения и поэтому пишут, что по нему могут эвакуироваться 72 человека с этажа. Количество лестниц – две, а количество людей на этаже – 110 человек, значит, по их мнению, все в порядке – требования эвакуации людей обеспечены. Здесь, действительно, руками не записано ни одной формулы, но означает ли эта примитивность произведенных в уме операций отсутствие так называемого «ручного счета»? Что стоит за всеми этими арифметическими операциями? Оказывается они «обслуживают», причем весьма некорректно, простейшую модель людского потока позапрошлого века, которая нам известна благодаря отечественным исследованиям, опубликованным в 1934–1938 гг. [11, 36].

Эта модель описывает людской поток в виде «элементарных» потоков, т. е. параллельных рядов идущих в затылок друг другу людей. Интересно, что даже такая упрощенная модель позволила впервые показать:

- наличие зависимости между скоростью и плотностью людского потока и влияние на нее вида пути;
- необходимость «принятия за основу нормирования не пропускной способности, а времени эвакуации, зависящего от совокупности факторов эвакуационного движения»;

– бессмысленность нормирования пропускной способности пути без указания времени его использования.

Для практики (нормирования) эта модель была значительно упрощена [36] за счет того, что значения скорости движения элементарного людского потока по видам пути приняты минимальными: горизонтальный путь – 16 м/мин, лестница вниз – 10 м/мин, лестница вверх – 8 м/мин. Пропускная способность элементарного потока в минуту также принята постоянной, одинаковой для любого вида пути: 25 чел./мин. Ширина элементарного потока 0,5–0,6 м. Такое упрощение определялось целью нормирования: устанавливать необходимые размеры эвакуационных путей, исходя из минимальных значений параметров людского потока, как наихудшего варианта развития эвакуации.

Для наглядности использования нормируемых параметров было предложено графическое представление расчета: по оси ординат откладывается численность эвакуирующихся групп людей, а по оси абсцисс – продолжительность эвакуации. Поскольку пропускная способность выходов в данной модели является линейной функцией продолжительности, то ее график – прямая линия. Для понимания этой методики в прил. 3.1 приведен авторский пример в дословном изложении [36].

Изложенный пример наглядно иллюстрирует тот факт, что даже крайняя простота нормирования параметров процесса не означает возможности примитивного воспроизведения его динамики, которая и определяет требуемые проектные решения.

3.1. МОДЕЛИ И РАСЧЕТЫ ПРИ СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРЕ ЛЮДСКОГО ПОТОКА

Современное представление о структуре людского потока, в которой расстояния между идущими людьми постоянно изменяются, в результате чего могут возникать местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают вновь [37], требует при моделировании его движения полного учета всех выявленных кинематических и психофизиологических закономерностей. В зависимости от полноты их учета возможны несколько моделей движения людского потока.

Простейшая из них «Модель движения (без растекания) людского потока однородного состава». Эта модель имеет большое практическое значение, поскольку именно эта модель реализована в отечественном нормировании: СНиП II–2–80 [19] и затем ГОСТ 12.1.004–91* [5] в Приложении 2 (обязательное) «Метод определения уровня обеспечения пожарной безопасности».

Более полное воспроизведение кинематических закономерностей дает модель движения людского потока, учитывающая возможность его растекания. В ней за счет растекания людского потока частично учитывается изменение его структуры и возможность присутствия в составе потока, скажем, более энергичных, подвижных людей, которые в реальных людских потоках и образуют их головные части. Но в модели предполагается, что такими качествами обладают все люди в потоке, поскольку при достаточно продолжительном движении весь поток может переформироваться, приобретая скорость свободного движения.

Как первая, так и вторая модели используют детерминированное описание закономерностей связи между параметрами людских потоков и тем самым декларируют однородность людей в их составе.

Возможностями наиболее полного воспроизведения случайного и неравномерного по длине потока размещения людей, когда расстояние между идущими людьми меняется, и возникают местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают снова, обладают модели имитационного моделирования [46, 86, 87]. Такие возможности обеспечиваются, во первых, дискретным представлением структуры потока, для чего занимаемый им участок пути подразделяется по длине на «элементарные участки» (длиной 1–1,5 м) и, во вторых, описанием закономерностей связи между параметрами людских потоков в виде элементарной случайной функции [46, 76] и различными способами их реализации (или путем многократной их реализации при случайном выборе значений случайной величины V_0 , или случайным выбором значений V_{Dj} на определенных шагах моделирования процесса).

Теоретический и практический интерес могут представлять те случаи движения людских потоков (в частности, при эвакуации), когда не образуются потоки значительной плотности (например, эвакуация людей на четвертом этапе – по территории, прилегающей к зданию; движение по территории городских транспортно-коммуникационных узлов [88]; эвакуация людей с малонаселенных этажей зданий [89] и т. п.). В этих случаях может быть наиболее просто проверена достоверность широко разрабатываемых за рубежом моделей индивидуального движения [90], которые используют весьма ограниченную базу исходных эмпирических данных и потому их адекватность реальным ситуациям всегда должна контролироваться. Разработанная модель «Свободное движение людских потоков» [46] не имеет таких недостатков, опирается на обширную базу натуральных наблюдений и известные соотношения теории вероятностей.

Перспективным направлением дальнейшего развития моделирования людских потоков является создание моделей индивидуально-поточного

движения, сочетающих на новом уровне достоинства моделирования движения людей в потоках и их индивидуального движения, переходящего в поточное.

Необходимо отметить, что трудности моделирования людских потоков и незнание их закономерностей приводят к попыткам подмены процессов движения реальных людских потоков моделями других известных процессов иной физической природы [91–94]. Такой подход – не новость для методологии моделирования и он давно получил свою оценку [95]: «Одних интересуют структура и закономерности явления, приводящие к наблюдаемому результату; других – только сами результаты. Первые, моделируя, пытаются воспроизвести структуру и закономерности явления, вторые только результаты, не вдаваясь в реальные механизмы их появления».

3.2. РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ЭВАКУАЦИИ

Однако какая бы модель ни рассматривалась, прежде всего, должна быть составлена расчетная схема эвакуации в рассматриваемой ситуации. Составление расчетных схем эвакуации является первым, весьма ответственным, этапом всей последующей работы, поскольку от его корректности во многом зависит и корректность последующих результатов. Фактически, составитель расчетной схемы должен быть архитектором, инженером и психологом одновременно.

Это, можно сказать, творческий этап, поэтому составленные расчетные схемы эвакуации рекомендуется обсудить со всеми заинтересованными лицами.

Расчетная схема эвакуации представляет собой отдельно выполненную или, возможно, нанесенную на план здания, схему, на которой отражены:

- количество людей на начальных участках – источниках (проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т. п.);
- направление их движения (маршруты);
- геометрические параметры участков пути (длина, ширина) и виды участков пути (см. гл. 1).

В расчетной схеме учитываются только те пути движения людей, которые отвечают требованиям, предъявляемым к путям эвакуации.

Количество людей на начальных участках пути определяется исходя из требований нормативных документов, проектной вместимости помещений, экспертных оценок и натуральных наблюдений. Для этого могут быть использованы данные, приведенные в табл. 3.1.

Количество людей в помещениях различного назначения

Наименование помещения	Количество людей либо норма площади	Ссылка
Торговые помещения (готовящиеся к публикации документы)	3 м ² на одного человека, включая площадь занятую оборудованием	Новая редакция СНиП «Общественные здания и сооружения», «Системы противопожарной защиты». Нормы и правила проектирования. Часть 8. «Эвакуационные пути и выходы»
Торговые помещения (действующие документы)	1,35/2,0/1,6 м ² на одного человека, включая площадь занятую оборудованием (в городах / в сельской местности / на рынках)*	СНиП 2.08.02–89* п. 1.112
Офисные помещения	6–12 м ² общей площади с учетом оборудования на одного человека	СНиП 31–05–2003, приложение Д
Жилые помещения	Количество жилых комнат плюс 1 человек	Оценочно
Автостоянки	1 человек в одном автомобиле	Натурные наблюдения
Гостиницы, общежития	Расчетное количество мест	Оценочно
Выставки, музеи	2 м ² площади, не занятой оборудованием, на 1 человек	Оценочно
Здания высотой свыше 75 м	1,25 от расчетного количества людей	МГСН 4.19–2005 п. 14.21

*Примечания.

1. Натурные наблюдения, выполненные сотрудниками Академии ГПС МЧС РФ, показали, что максимальная загрузка популярного сетевого магазина составила около 5,9 м²/чел. В соответствии с нормами США NFPA 101 *Life Safety CoDe* (п. 7.3.1.2), площадь, приходящаяся на одного покупателя, находится в диапазоне от 2,8 до 5,6 м²/чел. Международные строительные нормы *International Building CoDe* (п. 1004.1.2) нормируют площадь, приходящуюся на одного покупателя, в интервале от 2,79 до 5,57 м²/чел.

2. В остальных случаях количество людей определяется в соответствии с функциональным процессом в здании (например, в производственном – в соответствии с технологическим регламентом производства), либо исходя из расчетного количества мест (например, в зрительном зале).

Рассмотрев количество людей на начальных участках пути, следует определить направление их движения. Прогнозирование выбора направления эвакуирующимися людьми является сложной и не в полной мере разрешимой задачей. Были установлены следующие наблюдаемые правила выбора людьми направления (маршрута) движения при эвакуации:

- 1) движение по тому пути, которым люди попали в здание [96];
- 2) исключение путей движения, проходящих рядом с зоной горения [97], хотя люди могут эвакуироваться через задымленные коридоры [24];
- 3) влияние персонала. В общественных зданиях, как правило, посетители при пожаре следуют указаниям персонала, даже если эти указания не соответствуют оптимальным [28];
- 4) при эвакуации с первого этажа – движение к открытому выходу, в проем которого видна уличная территория [98];

5) сложная логистическая зависимость, описывающая выбор выхода с этажа расположения зрительного зала (см. рис. 1.15) [47].

6) при прочих равных условиях – движение к ближайшему выходу [37].

Кроме того, имеющиеся данные показывают, что фактором выбора направления может быть место парковки личного автомобиля, место встречи членов семейной группы и т. п.

Стремление оценить совместное влияние нескольких достаточно очевидных и всегда присутствующих факторов на выбор людьми маршрута движения приводит к установлению системы коэффициентов выбора вероятного направления движения, например, при разделении людского потока по направлениям возможного дальнейшего движения, значения которых приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значения коэффициентов R для оценки вероятного направления движения [37]

Фактор	Характеристика пути	Коэффициент R
Длина	Большая длина	0,95
	Меньшая длина	1,05
	Неизвестная или одинаковая	1,00
Прямолинейность	Прямой	1,10
	С поворотами	0,90
Вид пути	Горизонтальный	1,20
	Лестница спуск	1,00
	Лестница подъем	0,70
Состояние, безопасность движения	Плохое состояние, неровности, скользкая поверхность и т. п.	0,50
	Очевидная опасность – задымление и т. п.	0
	Удовлетворительное состояние, отсутствие опасности или то и другое неизвестно	1

С учетом данных табл. 3.2 и нормирования протяженности эвакуационных путей при составлении расчетных схем становится возможным учитывать влияние расстояния до ближайшего эвакуационного выхода на выбор направления движения.

Пример

Определить величину людских потоков, образовавшихся после расчленения одного потока величиной $P_{n-1} = q_{n-1} \cdot b_{n-1} = 15 \cdot 2 = 30 \text{ м}^2/\text{мин}$, выходящих на прямой горизонтальный путь n_1 , открытую лестницу вниз n_2 и горизонтальный путь с поворотом n_3 . Состояние путей эвакуации удовлетворительное. Исходные данные $b_{n1} = 2 \text{ м}$, $b_{n2} = 1,5 \text{ м}$, $b_{n3} = 1,2 \text{ м}$. Длина пути и их состояние людям не известны.

Решение

Определяем поправочные коэффициенты.

Путь n_1 : $R_I = 1$, $R_{II} = 1,1$, $R_{III} = 1,2$, $R_{IV} = 1$.

Путь n_2 : $R_I = 1$, $R_{II} = 1,1$, $R_{III} = 1,0$, $R_{IV} = 1$.

Путь n_3 : $R_I = 1$, $R_{II} = 0,9$, $R_{III} = 1,2$, $R_{IV} = 1$.

Далее находим общие значения R для каждого направления, перемножая найденные в таблице значения:

$$R_{n1} = 1,32, R_{n2} = 1,1, R_{n3} = 1,08. \quad (3.1)$$

Определяем среднюю интенсивность движения

$$q_n = \frac{q_{n-1} \cdot b_{n-1}}{b_{n1}R_{n1} + b_{n2}R_{n2} + b_{n3}R_{n3}} = \frac{15 \cdot 2}{2 \cdot 1,32 + 1,5 \cdot 1,1 + 1,2 \cdot 1,08} = 5,37 \text{ м/мин.} \quad (3.2)$$

и далее интенсивности движения по возможным направлениям:

$$\begin{aligned} q_{n1} &= q_n R_{n1} = 5,37 \cdot 1,32 = 7,09 \text{ м/мин,} \\ q_{n2} &= q_n R_{n2} = 5,37 \cdot 1,1 = 5,91 \text{ м/мин,} \\ q_{n3} &= q_n R_{n3} = 5,37 \cdot 1,08 = 5,80 \text{ м/мин.} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Однако подобные расчеты – это лишь попытка предугадать выбор людьми направления, а затем и маршрута движения. Человек же планирует его реализацию еще не начиная эвакуации, выходя на первые же участки формирования людских потоков. Если эвакуация происходит не из помещения, где возник пожар, и в нем не наблюдается признаков блокирования выходов, то стереотипность использования людьми маршрутов движения в различных ситуациях позволяет воспользоваться данными натурных наблюдений в нормальных условиях эксплуатации зданий. Так, как видно из рис. 1.8, 2.10 (гл. 1, 2), где участками формирования людских потоков в зрительных залах являются проходы между рядами зрительских мест. В офисных помещениях (см. гл. 1, рис. 1.9) такими участками являются общие (магистральные) проходы между мебелью рабочих мест, в производственных помещениях промышленных предприятий (см. гл. 1, рис. 1.10) – проходы между оборудованием и т. п.

Пространство участков формирования людских потоков определяется антропометрическими размерами человека и эргономикой движений человека при осуществлении им основного функционального процесса (см. гл. 1), для реализации которого предназначено рассматриваемое помещение.

Но следует иметь в виду, что стремление к экономии рабочей площади может привести к значительным отклонениям от комфортных габаритов. Поэтому необходимо проводить внимательный анализ возможных вариантов формирования параметров людских потоков на этих участках (см. гл. 1, рис. 1.9), поскольку они определяют величину потоков из источников, которые затем определяют и величину людского потока на последующих участках пути. Поток самой большой плотности образуется в проходах между рядами зрительных мест. Здесь значение плотности достигает 4 чел./м^2 , несмотря на то, что ширина участка считается по плечам

выходящего человека [37], что больше чем расстояние между краем сидения зрителя и спинками кресел впереди расположенного ряда. С другой стороны, следует также иметь в виду, что в ряде случаев, особенно на стадии эскизной разработки проектов, на чертежах рабочих помещений показывается не все оборудование или площади складирования. В результате создается впечатление, что вдоль рабочих мест образуются участки большой, чуть ли не «неограниченной», ширины. При составлении расчетных схем их ширину не следует принимать более 1,5 м. В любом случае большая ширина прохода при одностороннем расположении рабочих мест при формировании потока людьми не используется.

Определение ширины пути вызывает затруднение только при выходе людей на участок «неограниченной» ширины, например в вестибюль (см. рис. 1.16). Как показали исследования [47], в таком случае ширина потока (b) зависит от количества людей (N) и длины (l) участка: $b = 4$ м при $N < 100$ чел. и $l \leq 6$ м; $b = 6$ м – в остальных случаях (см. рис. 1.16).

Длина участка формирования определяется расстоянием между точками выхода на него первого и последнего человека (напротив мест их расположения на момент начала эвакуации), образующих поток. Сечение пути, проходящее через точку расположения первого человека, считается передней границей участка формирования. Если далее по маршруту движения расположен участок пути того же вида и той же ширины, что и участок формирования, – это все равно следующий участок эвакуационного пути. Границами следующих участков являются, как известно [37], те сечения пути, начиная с которых изменяется его вид или ширина. Однако необходимо уточнить, что места слияния также являются границами участков (чисто формально, в их сечениях ширина предшествующих участков всегда изменяется). Также следует обратить внимание, что, если на пути движения находится участок, постоянно занятый людьми по тем или иным причинам, то его следует выделять как самостоятельный участок (рис. 3.1).

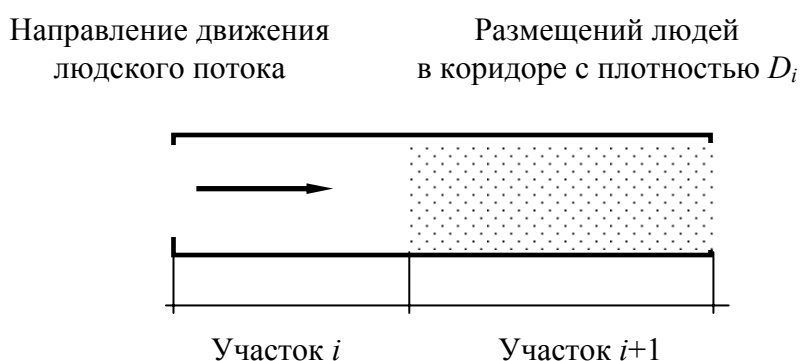


Рис. 3.1. Введение в расчетную схему участка обусловлено наличием людей в коридоре (например, студентов, ожидающих вызова на экзамен)

Согласно данным натурных наблюдений установлено, что повороты пути не влияют на параметры движения людского потока.

Определение длины (вдоль оси пути) отличается для горизонтальных и наклонных путей. К наклонным путям относятся лестницы и пандусы. Свободная ширина b наклонного пути, например лестничного марша, принимается в свету: от перил до стены. Длина наклонного пути L (рис. 3.2) принимается по истинному его значению: для обычных лестниц наклоны составляют 1:1,75–1:2, поэтому с необходимой для практических целей точностью α можно принимать $30\text{--}32^\circ$, т. е. $\cos\alpha$ приблизительно равен 0,85. Этажные и междуэтажные площадки в целях упрощения и облегчения вычислений, учитывая их небольшие размеры и меньшую сложность движения по ним в сравнении с лестничными маршами, допускается отнести к наклонным путям. Тогда средняя длина наклонного пути в пределах одного этажа, с учетом движения по площадкам, составит [3]:

– для двухмаршевых лестниц $L = \frac{L'}{\cos\alpha}$, где L' – горизонтальная проекция

длины наклонного пути, м; α – угол наклона к горизонту; не допуская серьезной погрешности, длину пути по двухмаршевой лестнице можно принимать равной его утроенной высоте H , т. е. $L = 3H$;

– для трехмаршевых лестниц $L = \frac{2L'}{\cos\alpha} + \frac{L''}{\cos\alpha} + L'' + 4b$.

Пандусы, если их наклон незначителен (меньше 1:8), можно относить к горизонтальным путям, при более значительных наклонах – к лестницам. Длина наклонного пути также определяется по его оси.

Пути движения в пределах здания обычно пересекаются дверными проемами, декоративными порталами, имеют сужения за счет различных архитектурных или технологических элементов, выступающих из плоскости ограждений. Такие местные сужения независимо от их характера в дальнейшем называются проемами шириной b . Длина пути L в проеме может не учитываться, если она не превышает 0,7 м, т. е. длины одного шага, в противном случае движение в проеме следует рассматривать как движение на самостоятельном расчетном участке горизонтального пути.

Участки формирования людских потоков связаны между собой участком коммуникационного пути, ведущего к выходу из помещения непосредственно или через другой участок (рис. 3.3). На такой участок выходят и другие аналогичные участки коммуникационных путей, объединяющие

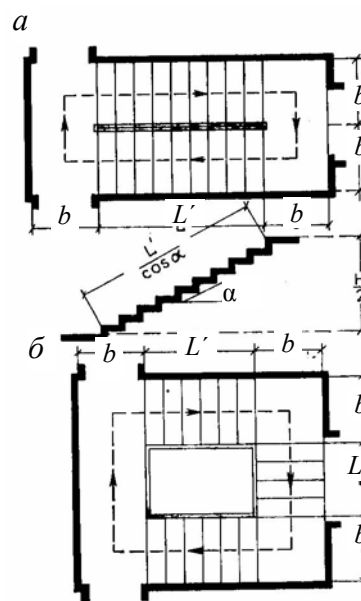


Рис. 3.2. Расчетная длина пути по лестнице:
а – двухмаршевая лестница;
б – трехмаршевая лестница

первичные источники. Для такого общего участка участки, объединяющие первичные источники, являются, в свою очередь, источниками людских потоков. Их можно назвать вторичными источниками.

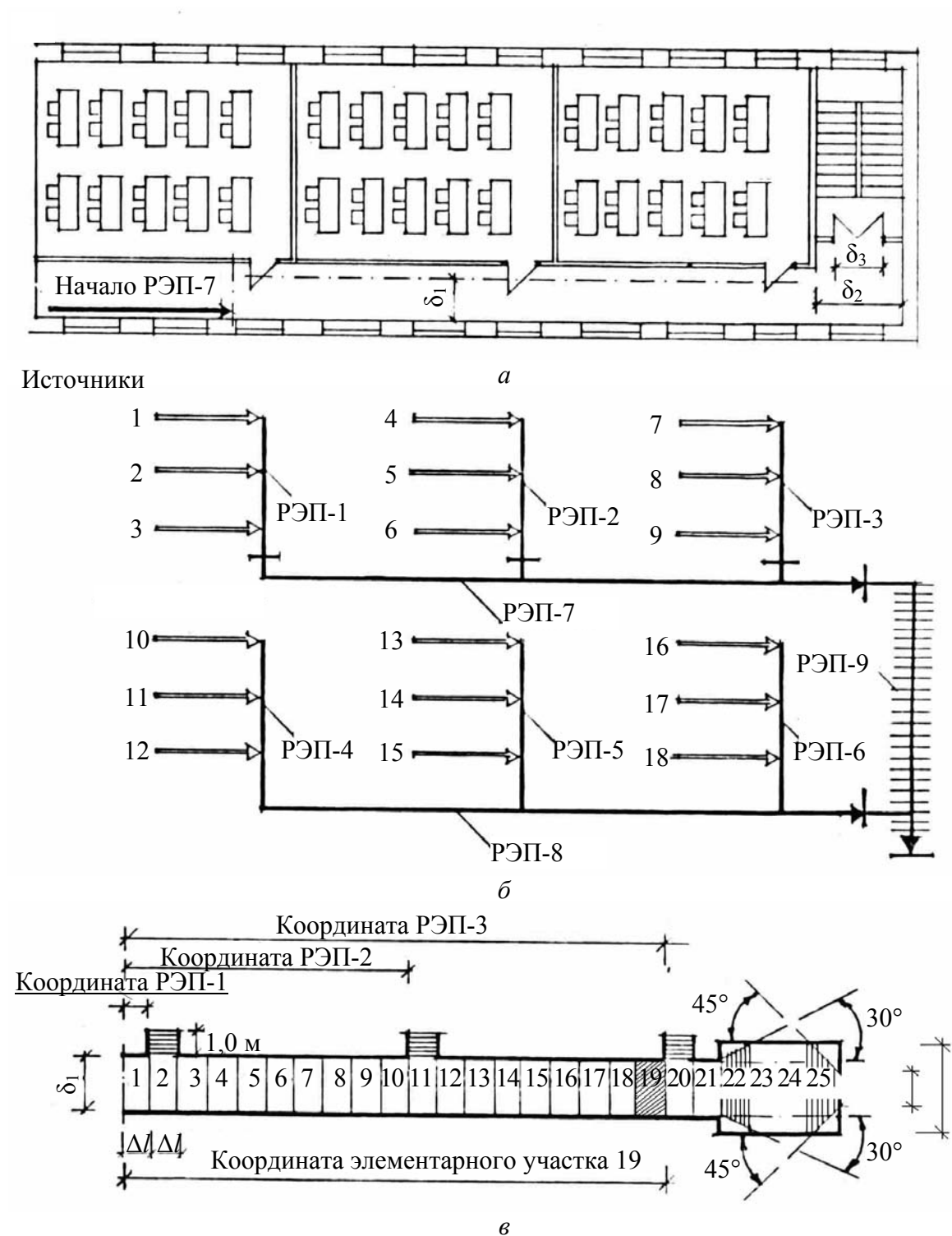


Рис. 3.3. Формализация схемы путей движения на примере двухэтажного здания:
a – схема фрагмента плана 2-го этажа; *б* – источники (1–18) и расчетные эвакуационные пути; *в* – разбивка РЭП-7 на элементарные участки

Назовем фрагмент коммуникационной структуры, состоящий из участков – источников людских потоков и объединяющих их участков, расчетным эвакуационным путем (РЭП). Тогда всю структуру коммуникационных путей здания можно представить как систему РЭП, состоящих из участков пути и выходящих на них первичных или вторичных источников.

Анализ объемно-планировочной структуры коммуникационных путей зданий и помещений разного функционального назначения показывает, что, несмотря на все их разнообразие, количество составляющих их типов РЭП [46, 67] весьма ограничено (см. рис. 2.11).

Очевидно (как показано на приведенных схемах), что движение людского потока с участка формирования на последующий участок общего пути, также как и из вторичных источников, всегда связано с переходом через границу этих участков, т. е. через сечение пути, в котором изменяется или ширина, или вид пути. Схемы возможных сочетаний смежных участков эвакуационных путей приведены на рис. 1.28.

Лестничные клетки являются центрами тяготения людских потоков (для первого этажа – выходы наружу), на входе в которые заканчивается второй этап эвакуации. Поэтому расчетные схемы целесообразно составлять для каждой части этажа, по которой люди эвакуируются через предусмотренную для них лестничную клетку (выход наружу). На рис. 3.4 приведен пример представления расчетной схемы эвакуационных путей.

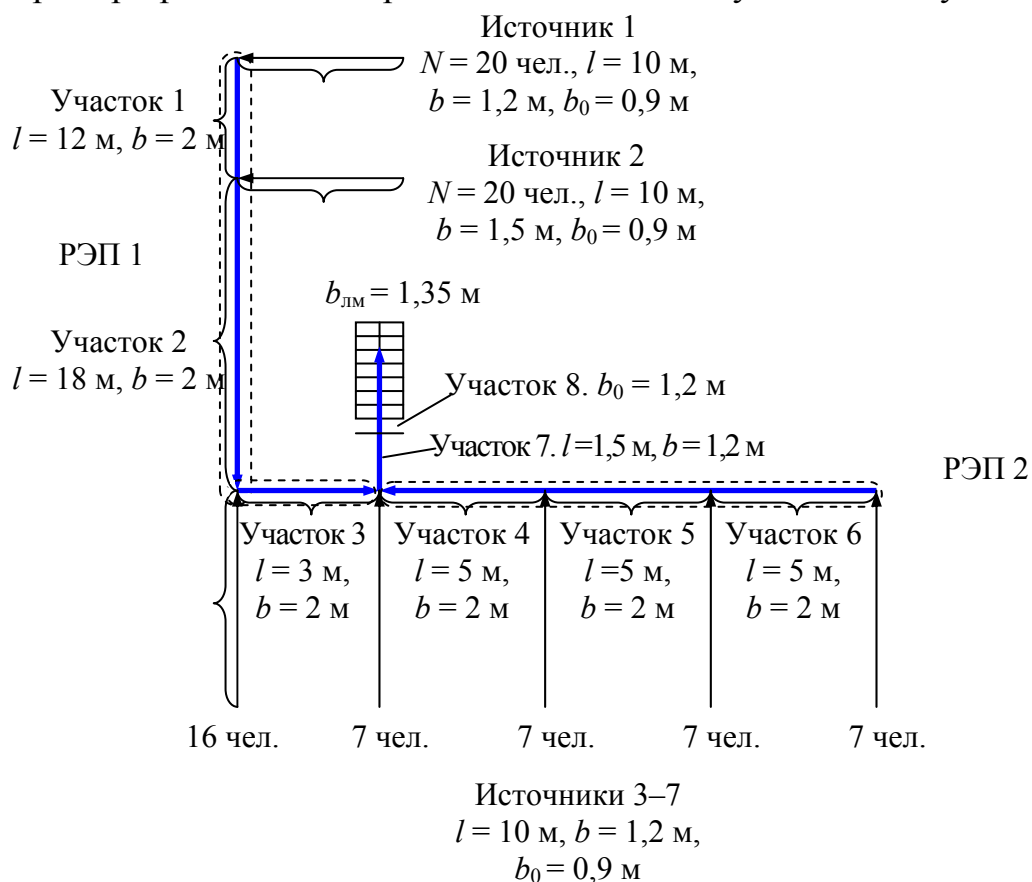


Рис. 3.4. Пример составления расчетной схемы эвакуации людей по части этажа до входа в лестничную клетку: N – количество людей; b – ширина; l – длина; b_0 – ширина проема

3.3. МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ (БЕЗ РАСТЕКАНИЯ) ЛЮДСКОГО ПОТОКА ОДНОРОДНОГО СОСТАВА

Эта модель имеет большое практическое значение, поскольку именно она реализована СНиП II-2-80 [19] и затем ГОСТ 12.1.004-91* [5]. Как уже отмечалось, время эвакуации, определенное в результате расчетов, используется для назначения значения вероятности своевременной эвакуации, и использование такой модели, дающей, так сказать, пессимистическую оценку, вполне мотивировано необходимостью учесть худшие варианты развития процесса эвакуации.

Модель исходит из следующих соображений. «Наблюдения показывают, что людской поток обычно имеет вытянутую сигарообразную форму. При этом головная и замыкающая части состоят из небольшого числа людей, двигающихся соответственно с большей или меньшей скоростью, чем основная масса людей в потоке. Поскольку число людей, составляющих головную и замыкающую части, относительно невелико по сравнению с основной массой, рекомендуется принимать поток в форме прямоугольника» [37, С. 42]. «Следует иметь в виду, что под плотностью потока по его ширине b и длине (в пределах l) понимается ее средняя величина» [37, С. 43]. Специально указывается: «При невозможности выполнения условия ($q_i \leq q_{\max}$) интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути определяется... при значении D_{\max} и более» [5]. Расчетная техника применения данной модели демонстрируется на конкретном примере. Схема РЭП приведена на рис. 3.5. Там же показано расположение людских потоков на момент начала эвакуации $t_{\text{эв}}^0 = t_{\text{нз}}$. Людские потоки численностью по $N_{\text{п}} = 28$ чел. каждый начинают движение одновременно с четырех боковых участков их формирования – из проходов, имеющих длину $l_{\text{п}}$ и ширину $b_{\text{п}} = 1,65$ м. Маршрут движения каждого потока: проход бокового участка и затем по участкам длиной $l_{\text{ки}}$ коридора постоянной ширины $b_{\text{к}} = 2$ м к дверному проему шириной b_0 .

Рассмотрим варианты развития процесса движения людских потоков при неизменных размерах участков пути по коридору $l_{\text{к.1}} = l_{\text{к.2}} = l_{\text{к.3}} = l_{\text{к.4}} = 10$ м; $l_{\text{п}} = 40$ м. Ширина боковых проходов также остается постоянной $b_{\text{п}} = 1,65$ м. Ширина общего выхода b_0 может изменяться в зависимости от условий рассматриваемых вариантов. Плотность людских потоков на участках формирования во всех вариантах остается постоянной $D_{\text{п}} = 0,12 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (при $f = 0,125 \text{ м}^2/\text{чел.}$). Длина боковых проходов $l_{\text{п}}$ в рассматриваемых вариантах изменяется пропорционально принимаемому количеству людей $N_{\text{п}}$ и равна $l_{\text{п}} = N_{\text{п}}f/D_{\text{п}}b_{\text{п}}$.

Количество людей в боковых проходах $N_{\text{п}} = 28$ чел., $l_{\text{п}} = 18$ м, ширина прохода $b_{\text{п}} = 1,65$ м,

$$D_{\text{п}} = N_{\text{п}}f / l_{\text{п}}b_{\text{п}} = 28 \cdot 0,125 / 18 \cdot 1,65 = 0,12 \text{ м}^2/\text{м}^2. \quad (3.4)$$

По формуле или по таблице (прил. 3.2) определяем соответствующие $D_{\text{п}} = 0,12 \text{ м}^2/\text{м}^2$ значения скорости и интенсивности движения в проходах: $V_{\text{п}} = 74,76$ м/мин и $q_{\text{п}} = 8,97$ м/мин. Можем определить величину людского потока, сформировавшегося в проходе:

$$P_{\text{п}} = q_{\text{п}} \cdot b_{\text{п}} = 8,97 \cdot 1,65 = 14,8 \text{ м}^2/\text{мин.} \quad (3.5)$$

При таких параметрах потоки могут покинуть проходы за время

$$t_{\text{п}} = l_{\text{п}} / V_{\text{п}} = l_{\text{п}} b_{\text{п}} D_{\text{п}} / V_{\text{п}} b_{\text{п}} D_{\text{п}} = N_{\text{п}} f / P_{\text{п}} = 0,24 \text{ мин.} \quad (3.6)$$

Люди начинают эвакуацию и выходят в коридор. Интенсивность движения людских потоков по коридору в этот момент

$$q_{\text{к}}^0 = q_{\text{п}} b_{\text{п}} / b_{\text{к}} = P_{\text{п}} / b_{\text{к}} = 14,8 / 2 = 7,4 \text{ м/мин.} \quad (3.7)$$

Соответственно, находим $D_{\text{к}}^0 = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_{\text{к}}^0 = 83,24 \text{ м/мин}$, $q_{\text{к}} = 7,49 \text{ м/мин}$. Это параметры людских потоков в коридоре в момент начала их эвакуации по нему $t_{\text{к}}^0 = 0$.

Двигаясь по коридору, через какой-то интервал времени $\Delta t_{\text{к}}^1$ фронтальная часть каждого из потоков достигнет мест выходов в коридор потоков с боковых проходов, расположенных по ходу движения ближе к общему выходу из коридора. Определим значение

$$\Delta t_{\text{к}}^1 = l_{\text{ки}} / V_{\text{ки}}^0 = 10 / 83,24 = 0,12 \text{ мин.} \quad (3.8)$$

В этот характерный момент времени $t_{\text{к}}^{0,12}$, поскольку $\Delta t_{\text{к}} < t_{\text{п}}$, происходит слияние в коридоре людских потоков, выходящих из боковых проходов. Величина части потока в коридоре, образующейся от слияния, равна

$$P_{\text{к}}^{0,12} = 2P_{\text{к}}^0. \quad (3.9)$$

Тогда интенсивности движения в коридоре

$$q_{\text{к}}^{0,12} = (q_{\text{п}} b_{\text{п}} + q_{\text{к}}^0 b_{\text{к}}) / b_{\text{к}} = 2P_{\text{к}}^0 / b_{\text{к}} = 2 \cdot 14,98 / 2 = 14,98 \text{ м/мин} \quad (3.10)$$

с соответствующими значениями $D_{\text{к}}^{0,12} = 0,34$ и $V_{\text{к}}^{0,12} = 44,03 \text{ м/мин}$. К этому моменту из боковых проходов выйдет половина людей ($t_{\text{к}}^{0,12} = 0,5t_{\text{п}}$). Эти части потоков, продолжая пополняться людьми из боковых проходов и из коридора, двигаются к общему выходу (рис. 3.6). Люди из четвертого бокового прохода за время $t_{\text{к}}^{0,24}$ пройдут расстояние $l_{4\text{ф}}^{0,12} = V_{\text{к}}^{0,12} \cdot t_{\text{к}}^{0,12} = 83,24 \cdot 0,12 = 10 \text{ м}$. Но по прошествии времени $\Delta t_{\text{к}}^2 = t_{\text{п}} - \Delta t_{\text{к}}^1 = 0,24 - 0,12 = 0,12 \text{ мин}$ все люди покинут боковые проходы. Это второй характерный момент развития процесса $t_{\text{к}}^{0,24}$.

Ситуация на момент $t_{\text{к}}^{0,24}$ показана на рис. 3.7: все люди – в коридоре, где образовалось несколько частей потока.

Первая часть, образовавшаяся в коридоре из людей, успевших выйти в него из четвертого прохода, имеет плотность $D_{\text{к4}}^0 = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и движется со скоростью $V_{\text{к4}} = 83,24 \text{ м/мин}$; ее фронтальная граница переместилась за это время вперед на расстояние $l_{4\text{ф}}^{0,24} = V_{\text{к4}} \cdot t_{\text{к}}^{0,24} = 83,24 \cdot 0,24 = 20 \text{ м}$, а замыкающая $l_{43}^{0,24}$ – на 10 м ($l_{4\text{ф}}^{0,24}$ минус длина этой части потока из $N_1 = 14$ чел., которые ушли при плотности $D_{\text{к4}} = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ до начала слияния). На участках коридора между выходами с боковых проходов №4 и №3, №3 и №2, №2 и №1 части потоков по 14 чел. ($Nf = 1,75 \text{ м}^2$), находившиеся на этих участках коридора в период $\Delta t_{\text{к}}^2 = t_{\text{к}}^{0,24} - t_{\text{к}}^{0,12}$ до момента слияния, образовали с людьми из боковых проходов общие части слившегося потока с параметрами $D_{\text{ки}}^{0,12} = 0,34$ и $V_{\text{ки}}^{0,12} = 44,03 \text{ м/мин}$, которые к моменту $t_{\text{к}}^{0,24}$ прошли вперед на расстояние $l_2^{0,24} = l_3^{0,24} = l_{43}^{0,24} = V_{\text{ки}}^{0,12} \cdot \Delta t_{\text{к}}^2 = 44,03 \cdot 0,12 = 5,3 \text{ м}$.

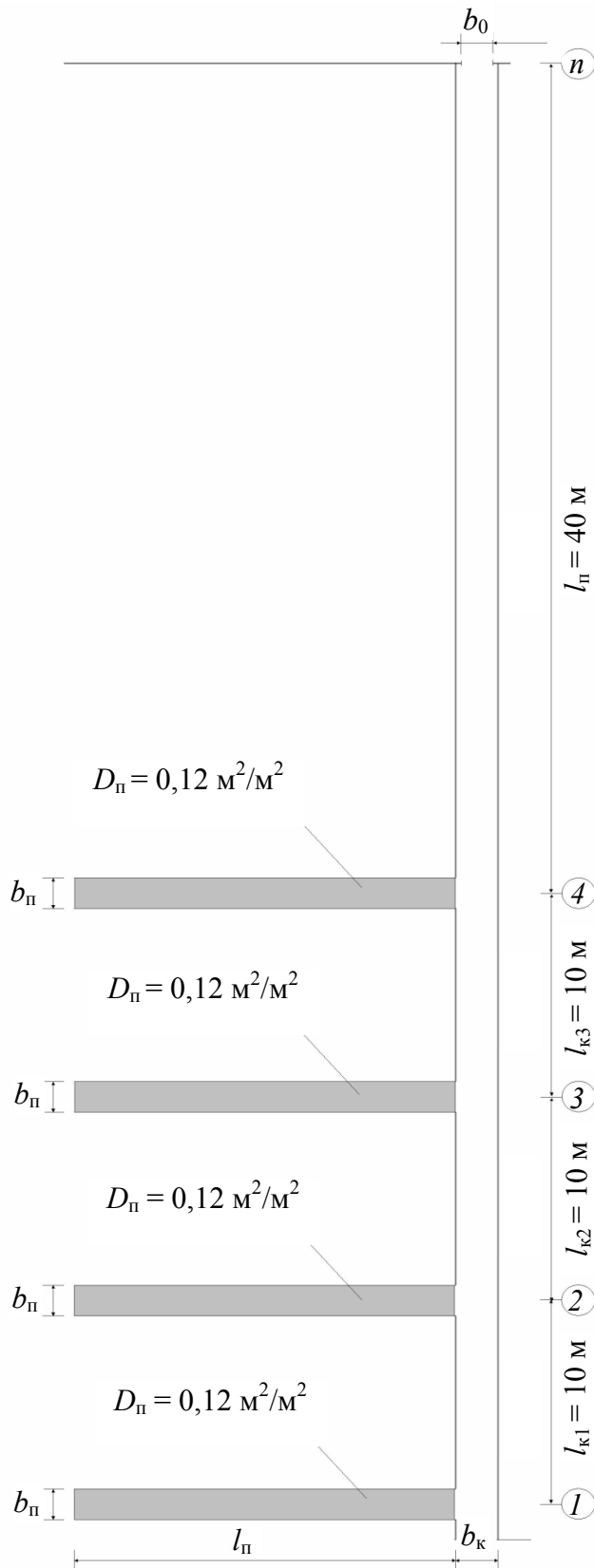


Рис. 3.5. Состояние потока в момент $t_{\text{эВ}}^0 = t_{\text{п.э}}$

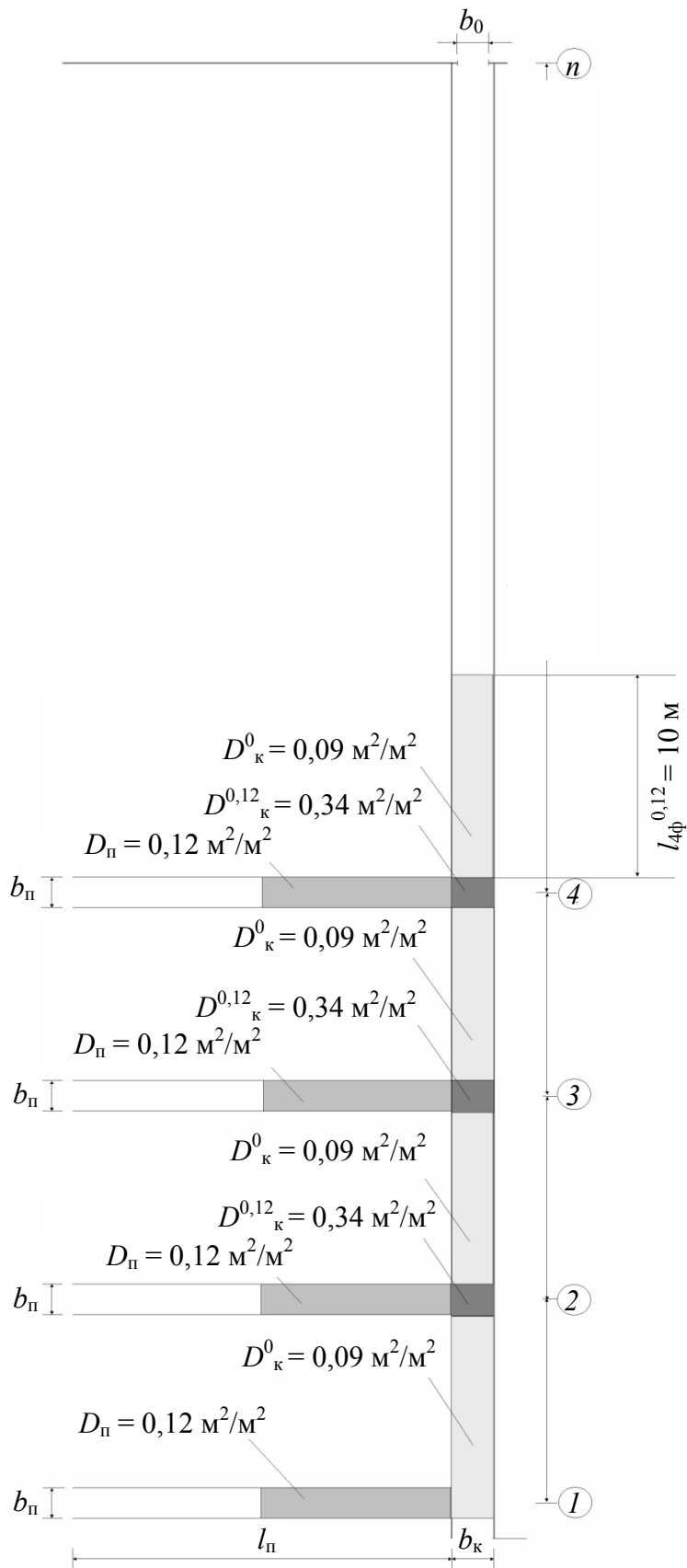


Рис. 3.6. Состояние потока в момент $t_k^{0,12}$

Таким образом, к моменту времени $t^{0,24}_к$ между замыкающей границей первой части ($D^0_к = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $V^0_к = 83,24 \text{ м/мин}$) и фронтальной границей второй части образовался разрыв потока длиной в $10 - 5,3 = 4,7 \text{ м}$. Между остальными частями потока величина разрывов также составит $10 - 5,3 = 4,7 \text{ м}$. Но последняя из этих частей имеет «хвост» длиной $l_x^{0,24} = 10 \text{ м}$ ($D^0_к = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $V^0_к = 83,24 \text{ м/мин}$), состоящий из 14 человек, вышедших из бокового прохода в коридор последними. Эта «хвостовая» часть вплотную примыкает к замыкающей границе впереди расположенной части потока, образовавшейся от слияния ранее ($t^{0,12}_к$) вышедших с этого участка людей и людей, вышедших с участка №2.

Люди «хвостовой» части потока идут быстрее перемещения замыкающей границы предшествующей части потока. Они, по прошествии определенного интервала времени, вынуждены разместиться в конце впереди расположенной (более плотной) части ($D^{0,12}_к = 0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $V^{0,12}_к = 44,03 \text{ м/мин}$), т. е. наблюдается частный случай общего при слиянии людских потоков процесса: переформирование замыкающей части потока (гл. 2), сформированной из людей, не участвовавших в слиянии. Переформирование людского потока – процесс выравнивания параметров движения в различных частях потока. В результате, вне зависимости от исходных параметров, каждая часть потока приобретает параметры впереди идущей части. Скорость переформирования $V^1_{пер}$ – скорость движения границы увеличения впереди идущей части – определяется скоростью перемещения границы между частями потока с различной плотностью.

К началу процесса переформирования люди в авангарде второй части потока, имеющей плотность D_2 , идут со скоростью V_2 и размещаются вплотную к первой части, имеющей плотность D_1 и скорость V_1 . По прошествии времени t все люди из второй части потока разместятся с плотностью D_1 в конце впереди идущей части, образуя единый поток с этой плотностью D_1 . Скорость переформирования

$$V^1 = (q_1 - q_2) / (D_1 - D_2); \quad (3.11)$$

время переформирования

$$t^1 = \Delta l (D_1 - D_2) / D_2 (V_2 - V_1) = \Delta l (D_1 - D_2) / D_1 (V_2 - V_1). \quad (3.12)$$

Применительно к рассматриваемому случаю значение времени переформирования составит $t^1 = 10(0,34 - 0,09) / 0,34(83,24 - 44,03) = 0,19 \text{ мин}$. То есть в момент времени $t^{0,43}_к$ в коридоре будет существовать только часть потока с плотностью $D^{0,43}_{к4} = D^0_{к4} = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (первая часть) и последующие с плотностью $D^{0,43}_к = D^{0,24}_к = D^{0,12}_к = 0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При этом $V^1 = (7,49 - 14,97) / (0,09 - 0,34) = 29,92 \text{ м/мин}$.

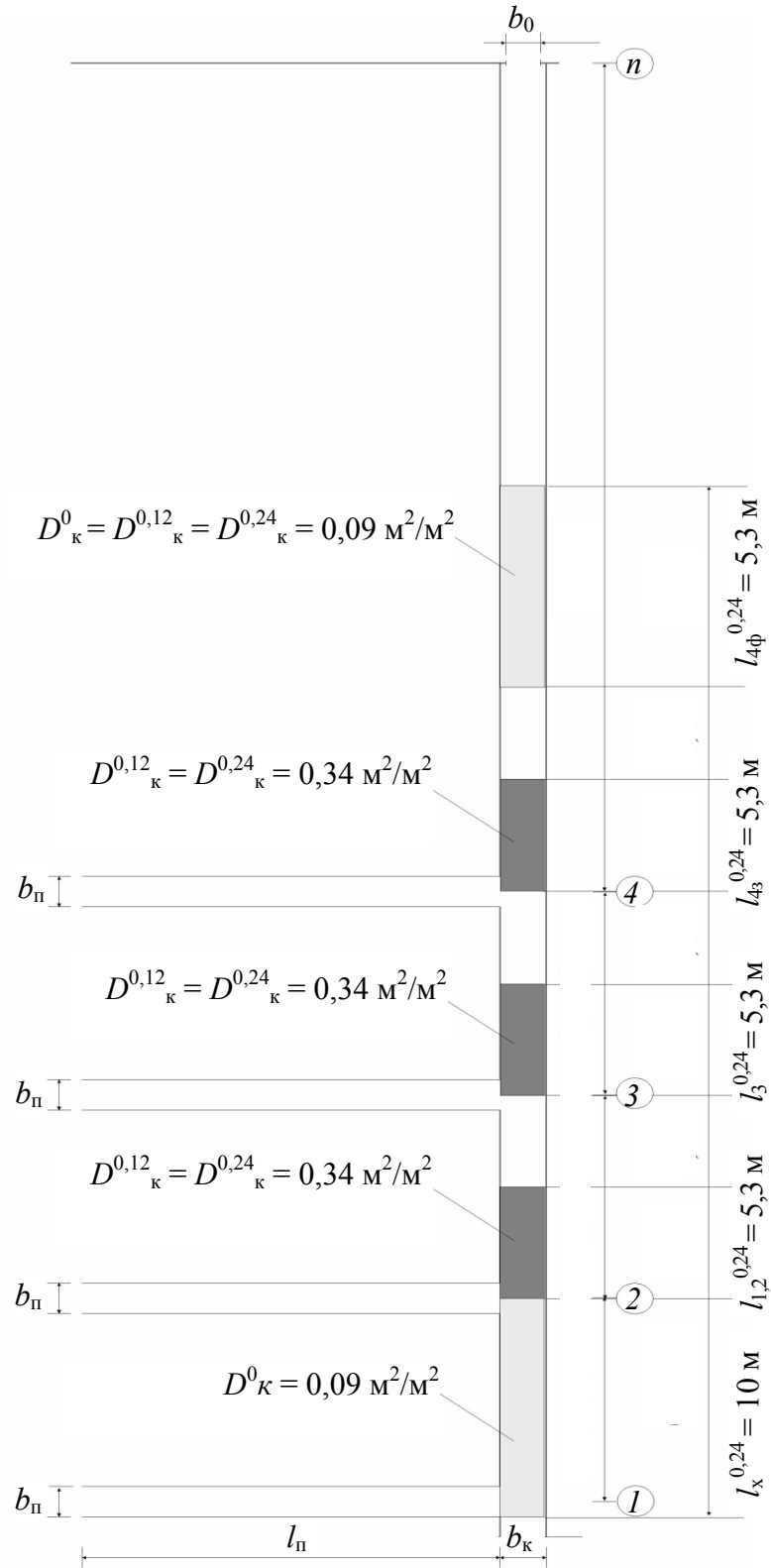


Рис. 3.7. Состояние потока в момент $t_k^{0,24}$

Фронтальная граница первой части за этот промежуток времени (t^1) переместится по направлению к выходу из коридора еще на $0,19 \cdot 83,24 = 15,8$ м. Фронтальная граница второй части – только на $0,19 \cdot 44,03 = 8,4$ м. Величина разрыва между замыкающей границей передней части и фронтальной границей второй части возрастет на 7,4 м и достигнет 12 м. Фронтальные границы других частей потока также продвинулись вперед на 8,4 м, но величина разрыва между ними останется прежней, поскольку они идут с одинаковой скоростью. По длине последняя часть «прирастет» (за счет перестроения «хвоста») и длина последней части потока, состоящей из 42 человек, теперь составит $l_{1,2}^{0,43} = 42 \cdot 0,125 / 2 \cdot 0,34 = 7,7$ м. Положение частей потока в коридоре в этот момент времени показано на рис. 3.8.

После этого момента фронтальная граница первой части подойдет к дверному проему через интервал времени $\Delta t^3 = 4,2 / 83,24 = 0,05$ мин. За это время фронтальные границы остальных частей потока переместятся по маршруту движения на расстояние $\Delta l = \Delta t^3 \cdot V_{ki}^{0,12} = 0,05 \cdot 44,03 = 2,2$ м и займут в момент времени $t_k^{0,48}$ положение, показанное на рис. 3.9.

Начинается процесс перехода людского потока через дверной проем, который, в зависимости от ширины проема, будет протекать по-разному.

При ширине $b_0 = 1,6$ м и первая и последующие части потока пройдут через проем беспрепятственно, поскольку $q_0 = q_k b_k / b_0 \leq q_{0\max}$ в любом из этих случаев. (Следует обратить внимание на то, что величина потока $P_k = q_k b_k$ перед проемом и в проеме $P_k = q_0 b_0$ при беспрепятственном движении не изменяется, поскольку $q_k b_k = q_0 b_0$). Следовательно, время прохождения через проем (Δt_0) последнего человека из потока, стоящего перед проемом, равно времени его движения в потоке до проема $\Delta t_0 = t_k = \Delta l_k / V_k = \Delta l_k D_k b_k / D_k b_k V_k = N_{lf} / P_k = N_{lf} / P_0$, поскольку время задержки людей перед проемом равно 0, в цифрах: $t_k = \Delta l_k / V_k = 10 / 83,24 = 0,12$ мин; либо $t_k = N_{lf} / P_0 = 14 \cdot 0,125 / 14,97 = 0,12$ мин. Результаты расчетов времени выхода $t_{\text{вых}}$ людей через проем на последующий участок пути сведены в табл. 3.3.

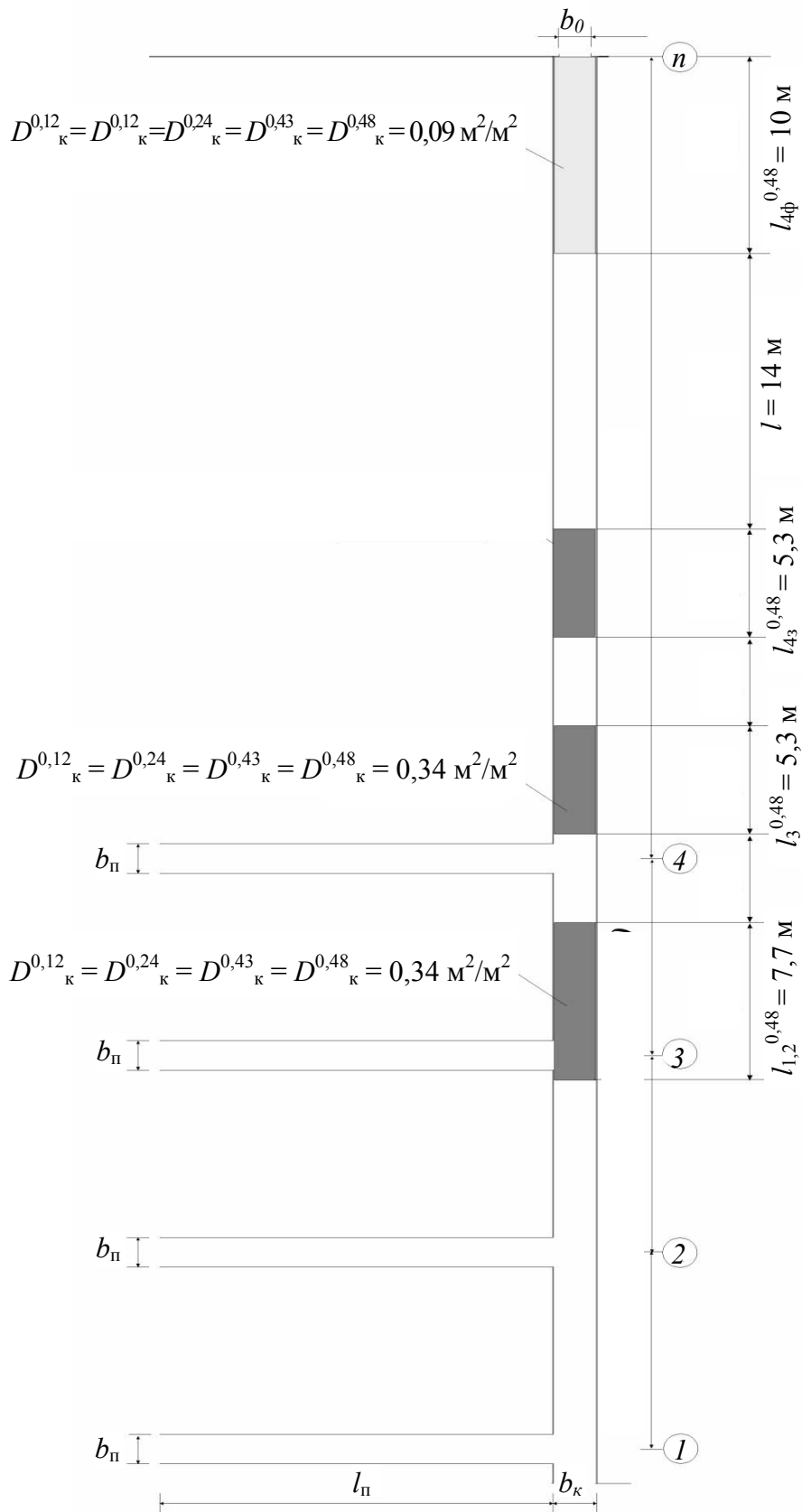


Рис. 3.9. Состояние потока в момент $t_k^{0,48}$

Таблица 3.3

**Параметры выхода людей из коридора через дверной проем
при беспрепятственном движении по нему**

Части потока из боковых проходов	1	2	3	4
Количество людей N_b , чел. (m^2)	14 (1,75)	28 (3,50)	28 (3,50)	42 (5,25)
Плотность, D_k в момент t^0	0,09	0,34	0,34	0,34
Скорость V_k , м/мин	83,24	44,03	44,03	44,03
Величина потока $P_k = q_k b_k$, $m^2/мин$	14,97	29,94	29,94	29,94
Расстояние до проема в момент $t_{k,0.48}^{0.48}$, м	0,0	24,2	34,2	44,2
Время движения до проема при $t_{k,0.48}^{0.48}$, мин	0,00	0,55	0,78	1,00
Полное время движения до проема, t_n , мин	0,48	1,03	1,26	1,48
Время движения через проем Δt_0 через проем, мин	0,12	0,12	0,12	0,18
Время выхода с участка, $t_n + \Delta t_0$, мин	0,60	1,15	1,38	1,66

Таким образом, последний человек, из 112 начавших эвакуироваться из боковых проходов, покинет расчетный эвакуационный путь за расчетное время $t_{p,эв} = 1,66$ мин.

Представим ход расчета в координатах: время – расстояние (рис. 3.10). Поскольку скорость $V = l/t$, то она равна тангенсу угла этого прямоугольного треугольника. Его гипотенуза показывает перемещение границ (фронтальной или замыкающей) потока, перемещающегося с этой скоростью. Чем больше угол наклона гипотенузы, тем выше скорость движения людского потока. Вертикальными жирными линиями на рис. 3.10 показаны длины частей потока в моменты достижения выхода фронтальными границами частей потока.

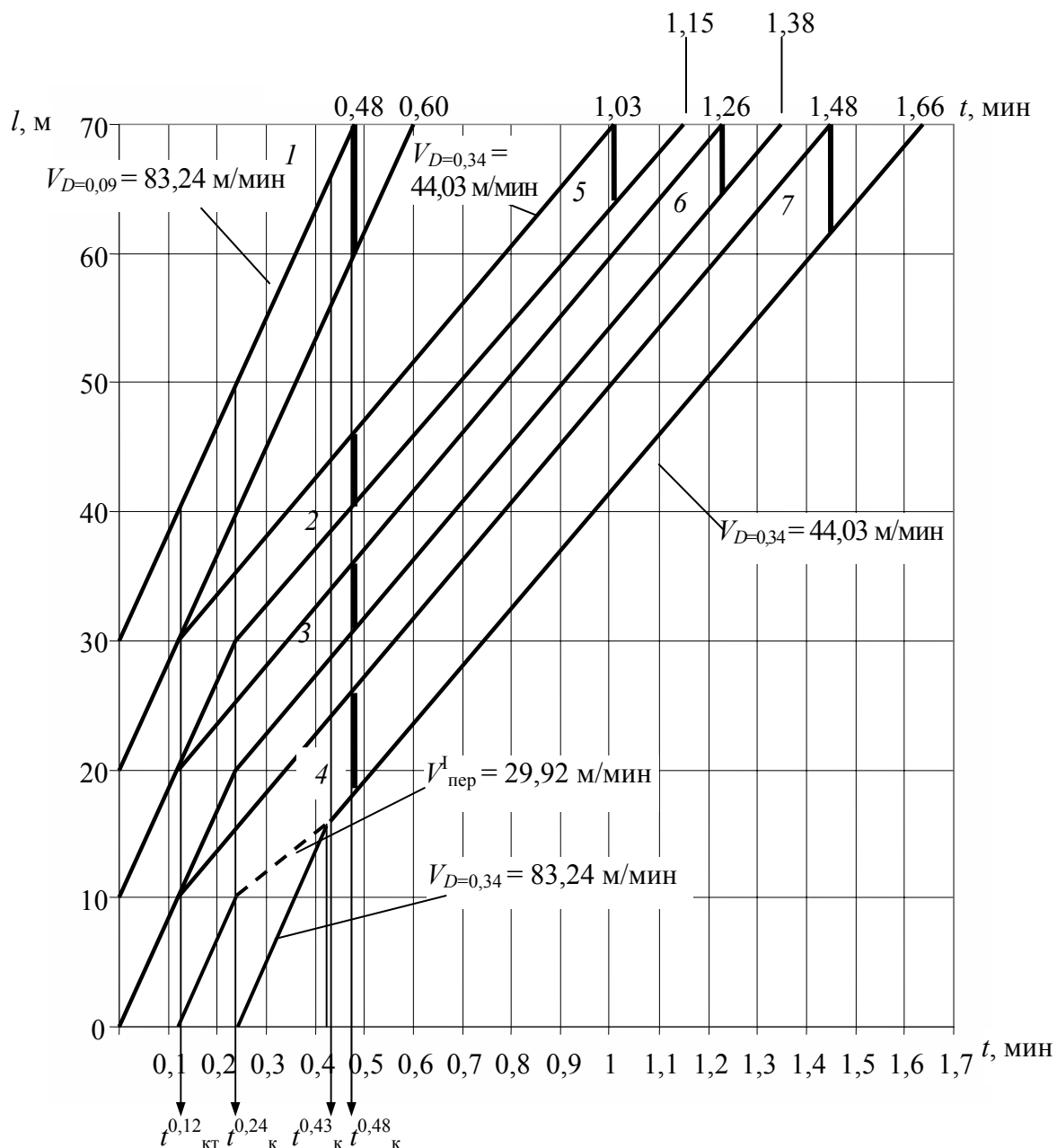


Рис. 3.10. Графоаналитическое представление расчета примера:

1-4 – длины частей потока в момент времени $t_{к}^{0,48}$;

5-7 – в момент начала их выхода через проем

По другому будет происходить движение людских потоков при ширине проема $b_0 = 1,4$ м. При ширине проема $b_0 = 1,4$ м переход через проем первой части происходит беспрепятственно при $q_0 = q_{0,09} \cdot b_{к} / b_0 = 7,49 \cdot 2 / 1,4 = 10,7$ м/мин в течение времени, как и в первом варианте при $b_0 = 1,4$ м, $\Delta t_0 = 0,12$ мин. Но такая ширина проема оказывается недостаточной для беспрепятственного движения следующих частей потока, поскольку для этого поток должен был бы иметь интенсивность движения в проеме, равную $q_0 = q_{0,09} \cdot b_{к} / b_0 = 14,97 \cdot 2 / 1,4 = 21,39$ м/мин. Однако это невозможно,

поскольку $q_{0\max} = 19,6$ м/мин, т. е. в данном случае $Q_0 \leq P_{i-1}$ – количество людей, которое подходит к границе с проемом в каждый интервал времени, больше, чем через него может пройти людей за этот же интервал времени. Из-за этого перед проемом часть людей задерживается, и пополняется людьми, подходящими к нему в следующий интервал времени. Образуется скопление, плотность размещения людей в котором при чрезвычайных ситуациях достигает максимальной величины (D_{\max} и более). При такой плотности на интенсивность движения через проем начинает оказывать влияние и ширина проема:

$$q_{0,9} = 2,5 + 3,75b_0. \quad (3.13)$$

В данном случае $q_{0,9} = 2,5 + 3,75 \cdot 1,4 = 7,75$ м/мин, соответственно $V_0 = q_{0,9} / 0,9 = 8,61$ м/мин (вместо $q_0 = 14,97 \cdot 2 / 1,6 = 18,7$ м/мин, которая была при беспрепятственном движении) и $Q_0 = q_{0,9} \cdot b_0 = 7,75 \cdot 1,4 = 10,85$ м²/мин.

Для данного варианта составим табл. 3.4, аналогичную табл. 3.3.

Таблица 3.4

Параметры выхода людей из коридора через дверной проем при образовании перед ним скопления людей

Части потока из боковых проходов	1	2	3	4
Количество людей N_i , чел. (м ²)	14 (1,75)	28 (3,50)	28 (3,50)	42 (5,25)
Плотность, D_k в момент $t_{k,0,48}$	0,09	0,34	0,34	0,34
Скорость V_k , м/мин	83,24	44,03	44,03	44,03
Величина потока $P_k = q_k b_k$, м ² /мин	14,97	10,85	10,85	10,85
Расстояние до проема в момент $t_{k,0,48}$, м	0,0	24,2	34,2	44,2
Время движения до проема при $t_{k,0,48}$, мин	0,00	0,55	0,78	1,00
Полное время движения до проема, $t_{п}$, мин	0,48	1,03	–	–
Время движения через проем Δt_0 через проем, мин	0,12	0,32	0,32	0,48
Время выхода с участка, $t_{п} + \Delta t_0$, мин	0,60	1,35	–	2,16

Примечание. Время подхода людей из различных боковых проемов определяется процессом переформирования.

При проведении расчетов для этой таблицы необходимо учесть следующее. Первая часть потока пройдет через проем беспрепятственно и вторая часть потока подойдет к нему, как и в предыдущем варианте, в момент $t_{k,0,48} + \Delta t_k = 0,48 + 0,55 = 1,03$ мин. Но время перехода ее 28 человек теперь, при $Q_0 = 10,85$ м²/мин, составит уже $\Delta t_0 = N_i / Q_0 = 28 \cdot 0,125 / 10,85 = 0,32$ мин.

При образовании скопления происходит переформирование потока, поскольку передняя часть потока переходит через проем с параметрами,

соответствующими вычисленным при $D = 0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а к ней примыкает часть с параметрами при $D_k = 0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Скорость переформирования имеет в этом случае значение (3.11): $V^I = (q_1 - q_2) / (D_1 - D_2) = (7,75 - 14,97) / (0,9 - 0,34) = -12,89 \text{ м/мин}$. Значение времени переформирования составляет (3.12): $t^I = l_{п2}(D_1 - D_2) / D_1(V_2 - V_1) = 5,3 \cdot (0,9 - 0,34) / 0,9(44,03 - 8,61) = 0,09 \text{ мин}$. Изобразим эти расчеты построениями на графике, фрагмент которого представлен на рис. 3.11.

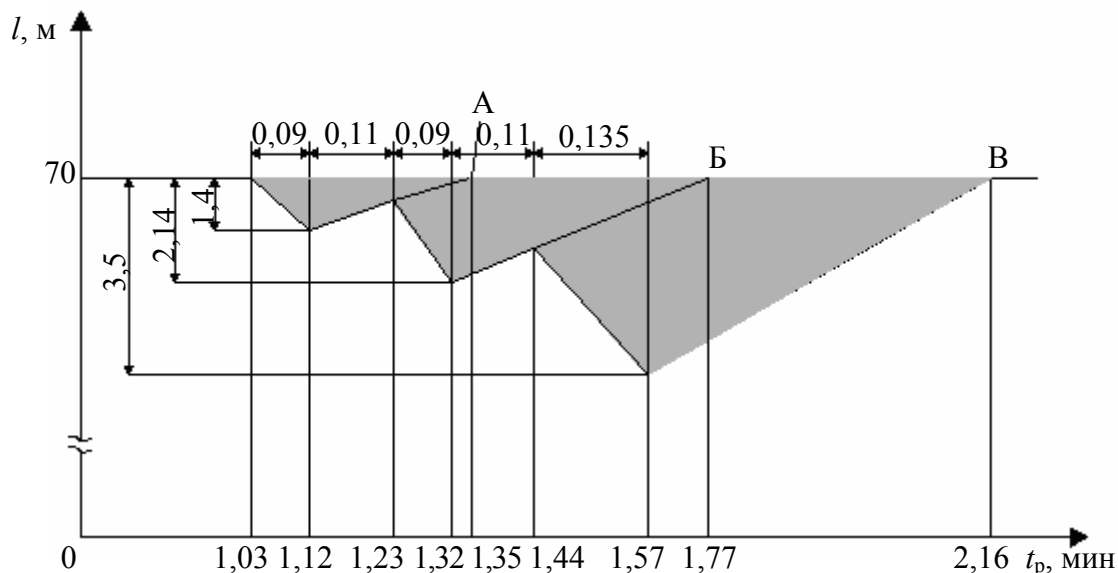


Рис. 3.11. Графоаналитическое изображение образования скопления людей перед проемом шириной 1,4 м

К моменту окончания переформирования этих частей потока из образовавшегося скопления через проем уйдет часть людей, равная $\Delta N_{ск}^I = Q_0 \cdot t^I = 10,85 \cdot 0,09 = 0,98 \text{ м}^2$. Оставшиеся к этому моменту люди образуют перед проемом скопление длиной $\Delta l_{ск} = (N_2 - \Delta N_{ск}^I) / D_1 b_k = (3,5 - 0,98) / 0,9 \cdot 2 = 1,4 \text{ м}$, что и видно из построений на рис. 3.11.

Оставшиеся люди продолжают уходить через проем (и вышли бы в момент времени, соответствующий точке А), но через 0,11 мин их нагоняют люди из третьей части потока и между этой частью потока ($D_3 = 0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$) и оставшимся скоплением начинается переформирование, в результате которого длина скопления опять увеличивается. Скорость переформирования составит, как и в предшествующем случае, $V_{пер}^I = -12,89 \text{ м/мин}$. Той же останется и продолжительность переформирования с момента ее начала (1,23 мин): $t^I = 0,09 \text{ мин}$, т. е. оно закончится в момент $t_{ск} = 1,32 \text{ мин}$.

К моменту начала переформирования в скоплении оставалось количество людей, равное: $N_2 - Q_0 \cdot t = 3,5 - 10,85 \cdot 0,2 = 1,33 \text{ м}^2$. К ним подошли еще $3,5 \text{ м}^2$ из третьей части потока. Причем в момент окончания переформирования в скоплении находится количество людей, равное: $N_{ск} = 1,33 + 3,5 - 10,85 \cdot 0,09 = 3,85 \text{ м}^2$ и оно имеет длину $\Delta l_{ск} = 3,85 / 1,8 = 2,14 \text{ м}$. На

переход этих $4,83 \text{ м}^2$ ($3,5 + 1,33$) через проем потребовалось бы $\Delta t_0 = N_{\text{ск}} / Q_0 = 4,83 / 10,85 = 0,445$ мин. Указанное количество людей вышло бы с участка в момент времени, соответствующий точке Б.

Однако остающееся скопление нагоняет через $0,11$ мин фронтальная граница последней, четвертой части общего потока ($N_4 = 5,25 \text{ м}^2$) с плотностью $0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Опять начинается переформирование частей потока, и время переформирования возрастает: $V^1 = -12,89$ м/мин, а $t^1 = l_{\text{п2}}(D_1 - D_2) / D_1(V_2 - V_1) = 7,7 \cdot (0,9 - 0,34) / 0,9(44,03 - 8,61) = 0,135$ мин. В этот момент в скоплении находится количество людей, равное $N_{\text{ск}} = 3,85 - 10,85(0,11 + 0,135) + 5,25 = 6,44 \text{ м}^2$, которые при плотности $0,9$ занимают перед проемом участок длиной $\Delta l_{\text{ск}} = N_{\text{ск}} / 0,9 \cdot b_{\text{к}} = 3,6$ м.

В скоплении перед проемом участвуют люди из второй, третьей и четвертой частей потока в количестве $N = 3,5 + 3,5 + 5,25 = 12,25 \text{ м}^2$. При пропускной способности проема $Q_0 = 10,85 \text{ м}^2/\text{мин}$ время их движения через проем составит

$$t_0 = \sum N / Q_0 = 12,25 / 10,85 = 1,13 \text{ мин}, \quad (3.14)$$

т. е. время эвакуации людей в данном случае $t_{\text{р.эв}} = 2,16$ мин (точка В).

Таким образом, сравнение значений $t_{\text{р.эв}}$, полученных по первому и второму вариантам, показывает, что время задержки из-за скопления людей составит $0,5$ мин, т. е. образование скопления людей перед проемом увеличивает общее расчетное время эвакуации в данном случае более чем на 30% (в $1,3$ раза), а время движения непосредственно через проем – в 2 раза.

График образования скопления людей перед проемом с недостаточной пропускной способностью на рис. 3.11 описывает кинетику процесса. Она качественно не изменится и при другой, меньшей ширине проема. Изменяются ее динамические показатели, наиболее важным из которых для обобщенных расчетов является время существования скопления, т. е. время движения людей через проем, определяемое формулой (3.14). Ее простота позволяет оперативно оценить влияние ширины проема на величину t_0 , например, $b_0 = 1,2$ м и $b_0 = 0,9$ м.

При ширине проема $b_0 = 1,2$ м интенсивность движения через него составит (3.13): $q_{0,9} = 2,5 + 3,75b_0 = 2,5 + 3,75 \cdot 1,2 = 7,0$ м/мин. Пропускная способность проема при этом $Q_0 = q_{0,9} \cdot b_0 = 7,0 \cdot 1,2 = 8,4 \text{ м}^2/\text{мин}$. Значение $t_0 = \sum N / Q_0 = 12,25 / 8,4 = 1,46$ мин. Общее расчетное время эвакуации по РЭП составит: $t_{\text{р.эв}} = 1,03 + 1,26 = 2,29$ мин, т. е. возрастет по сравнению со временем беспрепятственной эвакуации в $1,38$ раза. При ширине проема $b_0 = 0,9$ м интенсивность движения через него составит: $q_{0,9} = 2,5 + 3,75 \cdot 0,9 = 5,875$ м/мин. Пропускная способность $Q_0 = 5,875 \cdot 0,9 = 5,29 \text{ м}^2/\text{мин}$. $t_0 = 12,25 / 5,29 = 2,32$ мин. $t_{\text{р.эв}} = 1,03 + 2,32 = 3,35$ мин, т. е. возрастет по сравнению со временем

беспрепятственной эвакуации более чем в 2 раза. Столь длительное (более 2 мин) существование скопления людей с максимальной плотностью угрожает высокой вероятностью компрессионной асфиксии.

Учитывая крайнюю опасность нарушения условий беспрепятственности эвакуации и СНиП II–2–80, и ГОСТ 12.1.004 настойчиво требуют не допускать планировочных решений эвакуационных путей, ведущих к образованию скоплений людей и их продолжительному нахождению в них. Это и требование обеспечить соблюдение условия: $q_i \leq q_{\max}$, и введение снижения значений скорости и интенсивности движения людей через проем при $q_i \geq q_{\max}$ (коэффициент влияния проема m), и учет влияния ширины проема при образовании перед ним максимальной плотности потока (3.13), и требование оценивать «время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления» [27], это и сама использованная модель, не учитывающая растекание образующихся частей людских потоков.

3.4. МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ С РАСТЕКЕНИЕМ ИХ ГОЛОВНЫХ ЧАСТЕЙ

Рассмотрим реализацию этой модели на том же примере, что и предыдущую. Начальное состояние показано на рис. 3.5 (ширина проема – 1,6 м). В момент выхода в коридор потоков с боковых проходов в коридоре, так же, как и в предыдущей модели, образуются потоки с параметрами: $D_{\kappa}^0 = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_{\kappa}^0 = 83,24 \text{ м/мин}$, $q_{\kappa}^0 = 7,49 \text{ м/мин}$. Но в этой модели, в отличие от предыдущей, учитывается, что часть из вышедших в коридор людей, имея перед собой свободный путь, увеличивает свою скорость до скорости свободного движения и образует головные части потоков с параметрами: $D_0 = 0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_0 = 100 \text{ м/мин}$, $q_0 = 5 \text{ м/мин}$. Время выхода в коридор последних людей из боковых проходов также остается прежним – 0,24 мин. Построим координационную сетку $t - l$, изобразим в ней эти исходные данные (рис. 3.12), и дальнейшие расчетные операции будем сопровождать графическими построениями, как в предыдущем примере на рис. 3.11.

С первого же момента выхода в коридор начинается переформирование между головными частями каждого из потоков и их частями с плотностью $D_{\kappa} = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Как и прежде скорость переформирования определяется по формуле (3.11), в данном случае:

$$V_{\kappa}^1 = (q_0 - q_{\kappa}) / (D_0 - D_{\kappa}) = (5 - 7,49) / (0,05 - 0,09) = 62,25 \text{ м/мин};$$

время переформирования – по формуле (3.2):

$$t^1 = \Delta l_{\text{п2}}(D_1 - D_2) / D_2(V_2 - V_1) = l_{\text{п2}}(D_1 - D_2) / D_1(V_2 - V_1).$$

Нанесем линии, соответствующие скоростям V_0 , V_{κ} , V_{κ}^1 на координационную сетку, поместив их начала в точки, соответствующие пересечениям осей коридора и боковых проходов.

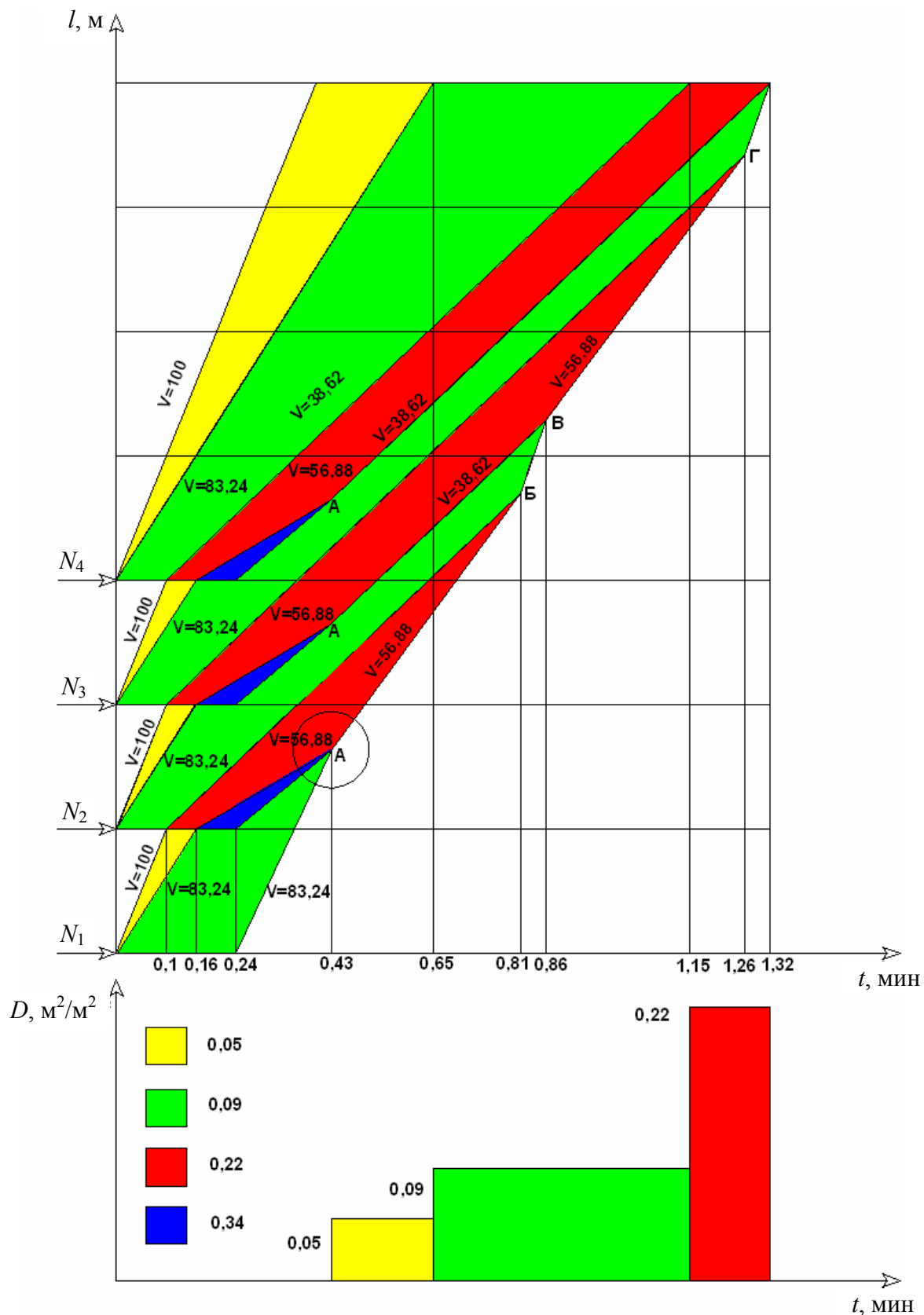


Рис. 3.12. Графическое представление расчета движения людского потока с растеканием его частей. В нижней части рисунка представлена диаграмма изменения плотности потока на выходе

Построения показывают, что с момента начала слияний ($t_1 = \Delta l_k / V_0 = 10 / 100$) головных частей потоков, идущих по коридору, с потоками из боковых проходов в течение 0,06 мин ($\Delta t_1 = \Delta l_k / V_0^0 - \Delta l_k / V_k^0 = 10 / 62,25 - 10 / 100$) в слияниях участвуют потоки с боковых проходов № 2, № 3, № 4 ($D_k = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$) и головные части потоков, идущих по коридору со скоростью 100 м/мин из предшествующих боковых проходов. В местах слияний образуются части потока с интенсивностью движения $q_k^{0,1} = q_0^0 + q_k^0 = 5 + 7,49 = 12,49 \text{ м/мин}$, которой соответствуют значения $D_k^{0,1} = 0,22$ и $V_k^{0,1} = 56,88 \text{ м/мин}$.

Но в тот же момент, когда закончится слияние этих частей потоков, к местам слияния подходят по коридору потоки с плотностью $D_{ki} = 0,09$, которые еще не успели переформироваться со своими головными частями до плотности свободного движения. Начинается их слияние с потоками из боковых проходов, которые имеют те же значения плотности. Образуются части потока с интенсивностью движения $q_k^{0,16} = 2q_k^0 = 14,98 \text{ м/мин}$ и соответствующими ей значениями $D_k^{0,16} = 0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $V_k^{0,16} = 44,03 \text{ м/мин}$. Нанесем линии, соответствующие найденным значениям скоростей, на координатную сетку, поместив их начало на линиях слияния в точках $t = 0,16$ мин и $t = 0,24$ мин – в моменты окончания выхода потоков из боковых проходов.

Между каждой из образовавшихся частей потока с момента их образования происходит переформирование с расположенными впереди них частями. Части потока с плотностью $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$ переформировываются с частями, имеющими плотность $0,09$ ($V_{ki}^I = (7,49 - 12,51) / (0,09 - 0,22) = 38,62 \text{ м/мин}$), а с ними, в свою очередь, переформировываются части с плотностями $0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ($V_{ki}^{III} = (12,51 - 14,97) / (0,22 - 0,34) = 20,5 \text{ м/мин}$). Нанесем линии этих скоростей переформирования на координатную сетку (рис. 3.12), начиная их в точках $t = 0,1$ и $t = 0,16$ мин, соответственно. В момент $t = 0,24$, когда выход людей из боковых проходов прекращается, в местах слияний остаются только потоки с плотностью $0,09$, пришедшие по коридору из предшествующих боковых проходов. Поэтому, начиная с этого момента, происходит переформирование этих частей потока с предшествующими им частями с плотностью $0,34$. Скорость переформирования между ними составит $V_k^{IV} = (14,97 - 7,49) / (0,34 - 0,09) = 29,92 \text{ м/мин}$. Отразим это на рис. 3.12, начав построение линий в точках $t = 0,24$ мин.

Как видно из рис. 3.12, эти линии пересекаются с линиями движения границ между частями потоков с плотностями $0,22$ и $0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Это значит, что часть потока с плотностью $0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$ полностью переформировалась до плотности предшествующей части ($D_k = 0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$) и начинается переформирование между частями с плотностью $0,22$ и с плотностью $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Скорость переформирования между ними составляет: $V_k^V = (12,51 - 7,49) / (0,22 - 0,09) = 38,62 \text{ м/мин}$. Проводим соответствующие линии на рисунке.

Для точного проведения таких операций сопроводим их расчетом, используя фрагмент построения этих линий на рис. 3.13.

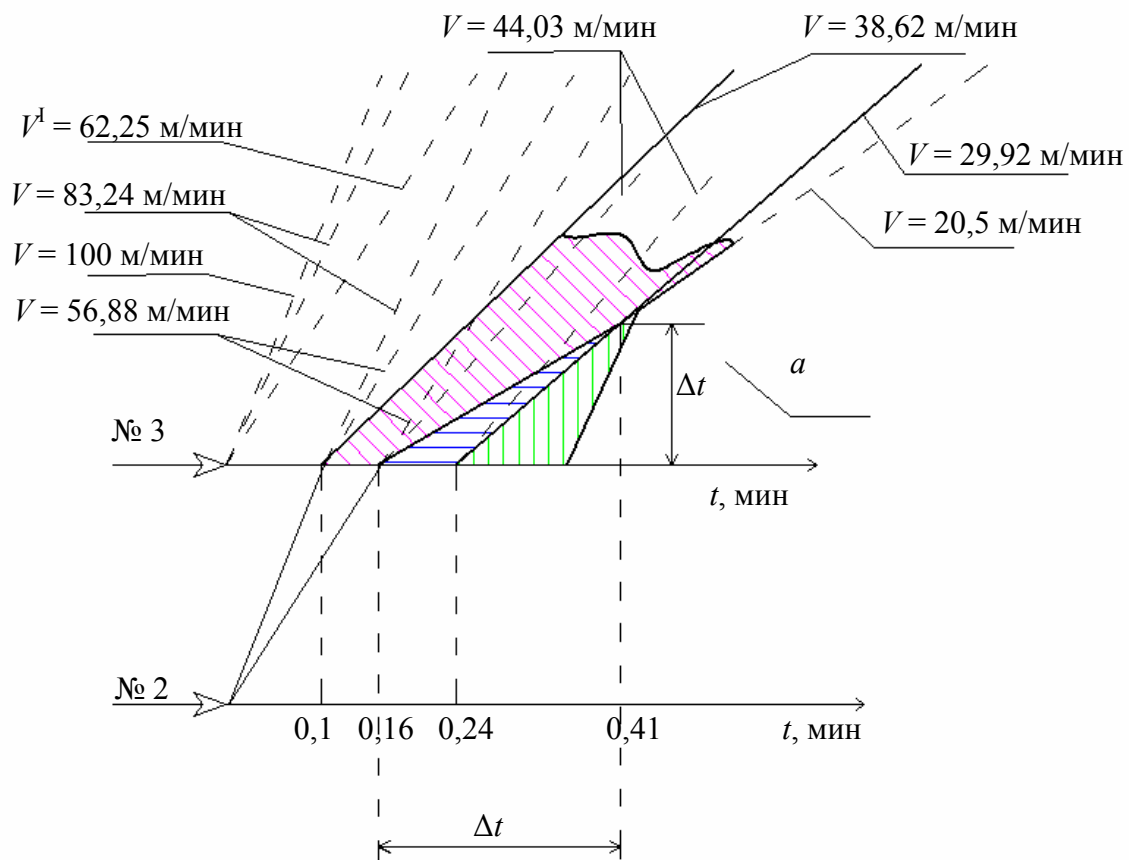


Рис. 3.13. Уточнение построения точки, соответствующей моменту окончания переформирования частей потока с плотностями $0,34$ и $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$

Поскольку линии, соответствующие $V_{\text{к}}^{\text{III}}$ и $V_{\text{к}}^{\text{IV}}$, имеют разные уклоны, то они пересекутся в какой-то момент в точке a . Определим этот момент, обозначив его t_x . Имеем два прямоугольных треугольника с общей вершиной в точке a : треугольник $t_{0,16}, a, t_x$ и треугольник $t_{0,24}, a, t_x$. Размер их общей вертикальной стороны обозначим Δl , а $t_{0,16} - t_x = \Delta t_x$. Тогда $\Delta l / \Delta t_x = 20,5$, а $\Delta l / (\Delta t_x - 0,08) = 29,92$. Откуда $\Delta t_x = 0,25$ мин. Следовательно, $t_x = 0,41$ мин. С этого-то момента и остаются только две части людского потока с плотностью $0,22$ и $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Фронтальная часть потока плотностью $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ переформировывается с расположенной впереди нее частью потока плотностью $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$ со скоростью $V_{\text{к}}^{\text{V}}$, но с ней в свою очередь с той же скоростью переформировывается расположенная сзади нее часть потока плотностью $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (см. рис. 3.12). Поэтому количество людей и плотность ($0,09$) в этой части потока остаются неизменными в течение продолжительного времени до тех пор, пока не иссякнут (не переформируются с ними) замыкающие их части потоков плотностью $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Движение границы замыкающей части общего потока определяется, как видно из рис. 3.12, процессами, происходящими в движении потока, выходящего с последнего (№ 1), наиболее удаленного от выхода, бокового прохода. Часть его, подходящая с плотностью 0,09 к границе слияния с потоком из бокового прохода № 2, после того, как он прекратился (в момент $t_{0,24}$), продолжает движение со скоростью $V^{0,09}_к = 83,24$ м/мин. Она переформируется на участке коридора между боковыми проходами № 2 и № 3 с впереди расположенной частью плотностью 0,34, образовавшейся от слияния его части с потоком из бокового прохода № 2 до того, как он иссяк в момент $t_{0,24}$. Скорость переформирования, как было рассчитано ранее, составляет $V^{IV}_к = 29,92$ м/мин. Момент окончания ее переформирования определяется подобно рассмотренному на рис. 3.13. Построим также необходимые для расчета прямоугольные треугольники (рис. 3.14).

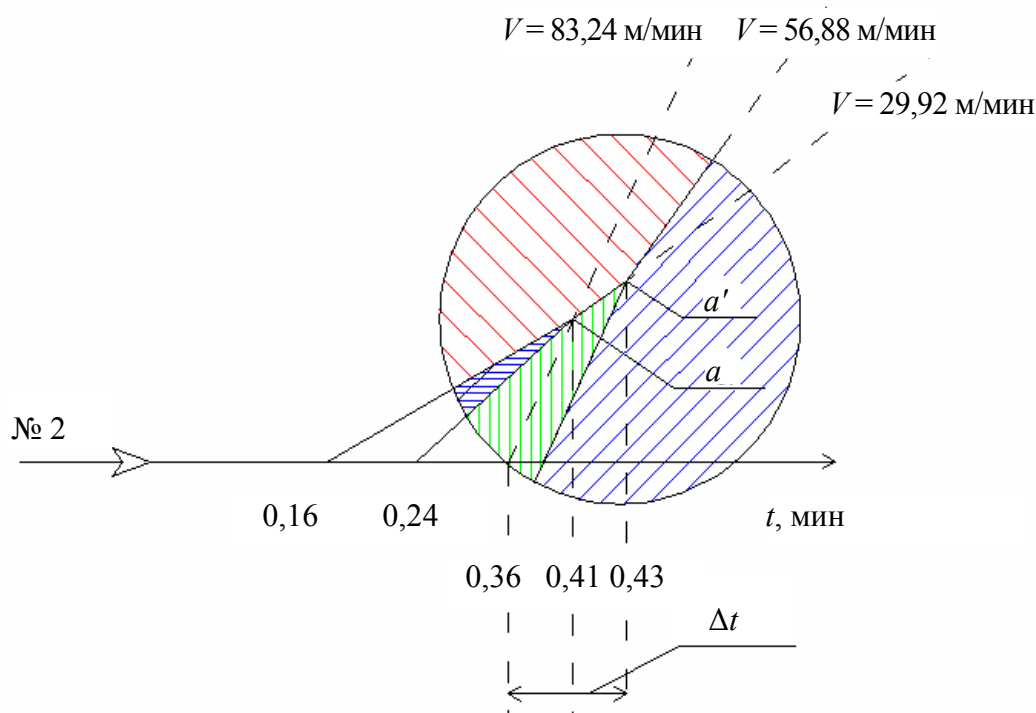


Рис. 3.14. Уточнение построения точки, соответствующей моменту окончания переформирования частей потока с плотностями 0,22 и 0,09 м²/м² в замыкающей части потока

Соотношения $\Delta l_1 / \Delta t_x = 29,92$ м/мин и $\Delta l_1 / (\Delta t_x - 0,2) = 83,24$ м/мин позволяют определить $\Delta t_x = 0,31$ мин и $t_x = 0,47$ мин. Но к этому моменту поток с плотностью 0,34 м²/м² уже перестал существовать (в момент 0,41 мин), следовательно, поток плотностью 0,09 м²/м² заканчивает переформирование уже с потоком плотностью 0,22 м²/м², идущим со скоростью $V^{0,23}_к = 56,88$ м/мин. Поток плотностью 0,09 м²/м² переформируется с

впереди расположенным потоком плотностью $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$ со скоростью $V_{\text{к}}^{\text{в}} = 38,62 \text{ м/мин}$, как было подсчитано ранее. Приход потока плотностью $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в сечение коридора, в котором прекращается переформирование предшествующих частей потока в момент $t_{0,41}$, продолжается еще $0,01 \text{ мин}$. Продолжительность его переформирования до плотности $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$ определяется из соотношений $\Delta l_2 / \Delta t_x = 38,6$ и $\Delta l_1 / (\Delta t_x - 0,01) = 83,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$, т. е. составляет всего лишь $0,02 \text{ мин}$ и заканчивается в момент $t = 0,43 \text{ мин}$ – практически одновременно с переформированием предшествующих частей потока.

После этого момента замыкающая часть общего потока двигается со скоростью $56,88 \text{ м/мин}$ при плотности $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$ до момента ее переформирования с впереди идущей частью плотностью $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в момент t_c . Значение этого момента рассчитывается подобным же образом или определяется при помощи графических построений – $t_6 = 0,81 \text{ мин}$. С этого момента замыкающая часть общего потока двигается со скоростью $83,24 \text{ м/мин}$ при плотности $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ до момента $t_b = 0,86 \text{ мин}$ ее переформирования с впереди расположенной частью плотностью $0,22$. Такое движение будет продолжаться до момента ($t_r = 1,26 \text{ мин}$) ее переформирования с частью потока, идущей впереди при плотности $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$. После чего, двигаясь со скоростью $83,24 \text{ м/мин}$ и переформировываясь до плотности $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$ впереди идущей части, она практически одновременно с окончанием переформирования достигнет проема выхода из коридора в момент окончания эвакуации $t_{\text{р.эв}} = 1,33 \text{ мин}$.

3.5. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКОГО ПОТОКА ADLRV (АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ, ВЕРОЯТНОСТЬ)

Расчет графоаналитическим методом, хотя и «достаточно элементарен по своему существу, но трудоемок» [37, С. 167]. Поэтому при появлении первых же возможностей использования ЭВМ стали разрабатываться подходы к их применению для расчетов движения людских потоков в зданиях различного назначения [63, 99, 100], которые создали необходимые предпосылки для разработки в последующем алгоритма [46] и соответствующих ему программных комплексов имитационного моделирования [86, 101].

Идея имитационного моделирования людских потоков состоит в том, чтобы, придав малым совокупностям людей ($N_i = D_i b_i \Delta l_i$) естественные, независимые от их сознания, закономерности связи между их скоростью движения и ощущаемыми ими плотностью потока и видом пути [76], рассмотреть, как будет развиваться процесс в последовательные достаточно малые интервалы времени Δt_i , в течение которых и могут происходить

наблюдаемые, но не улавливаемые другими методами, изменения состояний потока, когда «расстояние между идущими людьми постоянно меняется, возникают местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают снова. Эти изменения неустойчивы во времени...» [37, С. 43].

Плотность людского потока на участке его нахождения всегда рассчитывается по формуле $D_i = N_i / b_i \Delta l_i$. При этом количество людей на «элементарном» участке ($b_i \Delta l_i$) в момент t_{i+1} определяется как баланс количества людей, успевших уйти с него на последующий элементарный участок за интервал времени Δt и перейти на него за этот интервал времени с предшествующего элементарного участка. Если нужно учитывать при этом и площадь горизонтальных проекций (f_i) людей, образующих поток, то $N_i = \sum_i N_i f_i$. Значение D_i определяет соответствующее ему (при данной ка-

тегории движения) значение скорости движения на этом участке пути. В каждый момент времени распределение людей с определенной плотностью и скоростью движения по элементарным участкам характеризует состояние людского потока. Движение приводит к изменению состояния потока в последовательные моменты времени (рис. 3.15).

Напомним (гл. 2), что скорость движения людского потока при плотности D_i на i -м отрезке участка пути k -го вида – случайная величина $V_{D,k}$, имеющая следующие числовые характеристики:

– математическое ожидание (среднее значение)

$$V_{D,k} = V_{0,k} \quad \text{при } D_i \leq D_{0,k}, \quad (3.15)$$

$$V_{D,k} = V_{0,k} (1 - a_k \ln D_i / D_{0,k})^m \quad \text{при } D_i \geq D_{0,k};$$

– среднее квадратическое отклонение

$$\sigma(V_{D,k}) = \sigma(V_{0,k}) (1 - a_k \ln D_i / D_{0,k}), \quad (3.16)$$

где $V_{0,k}$ и $\sigma(V_{0,k})$ – математическое ожидание скорости свободного движения людей в потоке (при $D_i \leq D_{0,k}$) и ее среднее квадратическое отклонение, м/мин;

$D_{0,k}$ – предельное значение плотности людского потока, до достижения которого возможно свободное движение людей по k -му виду пути (плотность не влияет на скорость движения людей);

a_k – коэффициент адаптации людей к изменениям плотности потока при движении по k -му виду пути;

D_i – значение плотности людского потока на i -м отрезке (Δl) участка пути шириной b_i , чел./м²;

m – коэффициент влияния проема.

Значения указанных величин приведены в МГСН 4.19–2005 [102].

При любом возможном значении $V_{0,k}$ люди в количестве N^0_i , находящиеся в момент t_0 на i -м элементарном участке, двигаются по нему и начинают переходить на последующий участок $i+1$. На участок i в свою очередь переходит часть людей с предыдущего ($i-1$) элементарного участка и из источника j .

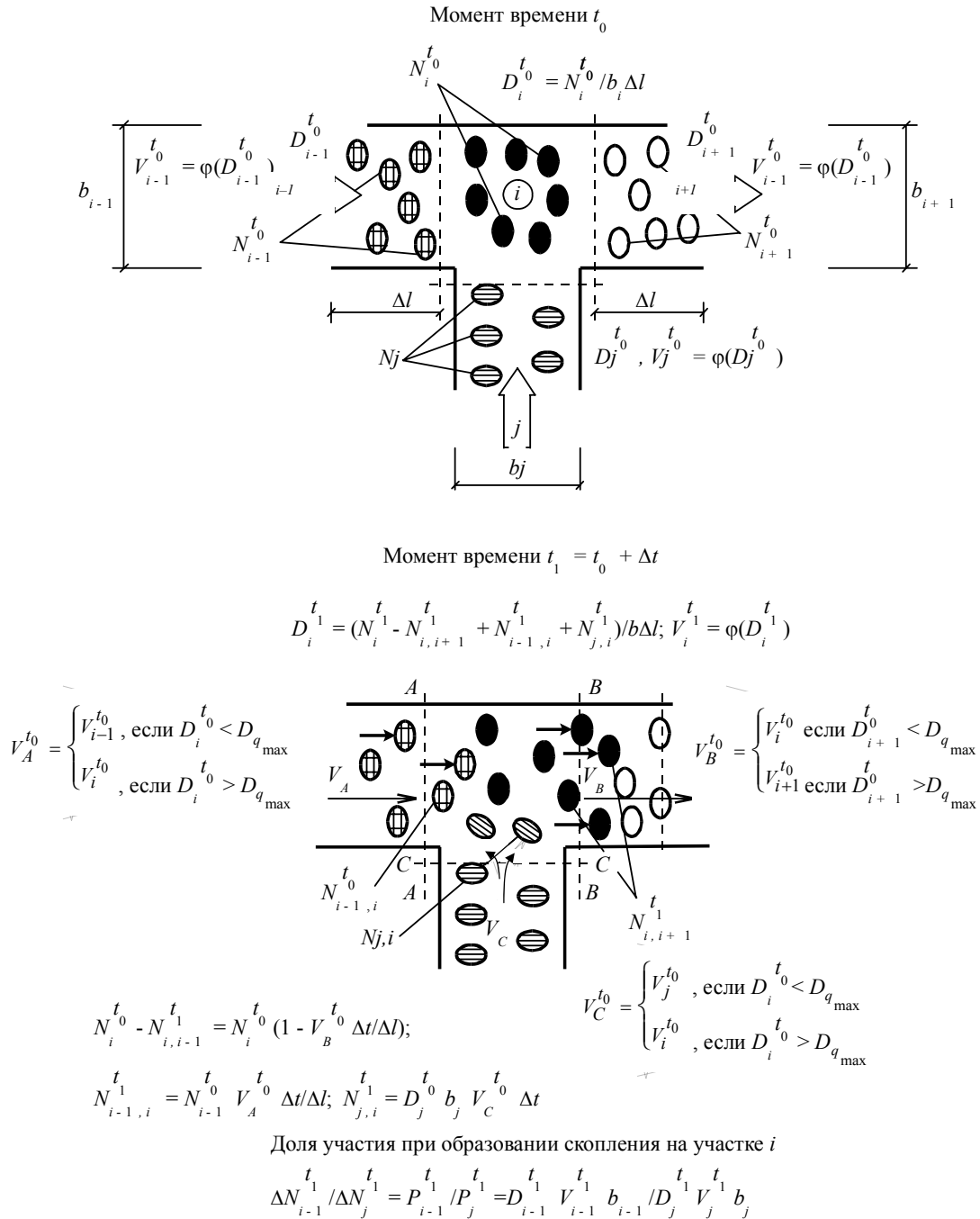


Рис. 3.15. Изменения состояния потока в последовательные моменты времени

По прошествии времени Δt к моменту $t_i = t_0 + \Delta t$ только часть людей $N_{i,i+1}^{t_1}$ людей с участка i успеет перейти на участок $i+1$. К этому моменту времени из $N_i^{t_0}$ людей, бывших на участке i в момент t_0 , останется $N_i^{t_0} - N_{i,i+1}^{t_1}$ людей. Их число пополняется за счет людей, успевших за этот интервал времени перейти на него с предыдущего участка — $N_{i-1,i}^{t_1}$ и из источника $N_{j,i}^{t_1}$. Тогда плотность потока на участке i в момент t_1 будет равна

$$D_i^{t_1} = N_i^{t_0} - N_{i,i+1}^{t_1} + N_{i-1,i}^{t_1} + N_{j,i}^{t_1} / b_i \Delta l. \quad (3.17)$$

Скорость движения людей, оказавшихся на участке i в момент t_1 , определяется как функция сформировавшейся на нем плотности потока, т. е.

$$V_i^{t_1} = V_{0,k}(1 - a_k \ln D_i^{t_1} / D_{0,k}). \quad (3.18)$$

Подобный процесс происходит на всех элементарных участках, занятых людским потоком. Изменение плотности потока на каждом из них в различные моменты времени отражает процесс переформирования различных частей потока и, как частный случай, процесс растекания потока.

Изменение плотности потока на каждом из элементарных участков в последовательные моменты времени зависит от количества людей, переходящих через границы участков. В общем случае количество людей, переходящих за интервал времени Δt с участка i на последующий участок $i+1$, составляет

$$N_{i,i+1}^{t_1} = D_i^{t_0} b_i V_{\text{пер}} \Delta t, \quad (3.19)$$

т. е. зависит от скорости перехода $V_{\text{пер}}$ через границу участка В–В или, соответственно, А–А, С–С.

Скорость перехода $V_{\text{пер}}$ через границы смежных элементарных участков следует принимать, руководствуясь следующими соотношениями:

$$V_{\text{пер}} = \begin{cases} V_i^{t_0}, & \text{если } D_{i+1}^{t_0} \leq D \text{ при } \max V_{iDk} \cdot D = q_{\text{max}} \\ V_{i+1}^{t_0}, & \text{если } D_{i+1}^{t_0} > D \text{ при } \max V_{iDk} \cdot D = q_{\text{max}}. \end{cases} \quad (3.20)$$

Если $V_{\text{пер}} = V_i^{t_0}$, то время $t_{\text{пер}}$, необходимое для перехода всех $N_i^{t_0}$ людей, находящихся на элементарном участке i в момент t_0 , на последующий участок ($i+1$), будет определяться по формуле

$$t_{\text{пер}} = \Delta l / V_i^{t_0}. \quad (3.21)$$

За интервал времени $\Delta t < t_{\text{пер}}$ на участок $i+1$ перейдут не все $N_i^{t_0}$ людей, а только их часть

$$N_{i,i+1}^{t_0} = N_i^{t_0} V_i^{t_0} \Delta t / \Delta l. \quad (3.22)$$

Количество людей, не успевших перейти за интервал времени Δt с участка i на участок $i+1$, следовательно, составит

$$N_i^{t_0} - N_{i,i+1}^{t_0} = N_i^{t_0} (1 - V_i^{t_0} \Delta t / \Delta l). \quad (3.23)$$

Если $V_{\text{пер}} = V_{i+1}^{t_0}$, то справедливы аналогичные соотношения, в которых вместо $V_i^{t_0}$ следует принимать $V_{i+1}^{t_0}$. При этом количество людей, остающихся на участке i , увеличивается, а количество людей, переходящих на него с предыдущего элементарного участка $i-1$ и источника j , остается тем же, что и при $V_{\text{пер}} = V_i^{t_0}$. Следовательно, плотность потока на участке i в следующий момент времени t_1 будет больше, чем при $V_{\text{пер}} = V_i^{t_0}$. Она будет расти тем быстрее, чем меньше значение $V_{i+1}^{t_0}$, т. е. чем выше значение $D_{i+1}^{t_0}$. При $D_{i+1}^{t_0} = D_{\text{max}}$ этот процесс моделирует распространение скопления людей.

Если в какой-то момент времени $t_{\text{п}}$ плотность потока на участке i достигла максимальной величины и дальше увеличиваться не может, то на этот участок в этот момент времени не может прийти ни один человек ни с предшествующего участка, ни из источника. В результате перед их границами с участка i задерживается соответственно $\Delta N_{i-1}^{t_{\text{п}}}$ и $\Delta N_{j,i}^{t_{\text{п}}}$ людей.

В следующий момент времени t_{n+1} часть людей с участка i переходит на участок $i+1$, плотность людского потока на нем уменьшится и часть скопившихся перед его границей людей сможет перейти на него. Но это не все люди, скопившиеся на границах участков $i-1$ и j . Доля их участия в пополнении людьми участка i в момент t_{n+1} определяется соотношением:

$$\Delta N_{i-1}^{n+1} / \Delta N_j^{n+1} = D_{i-1}^{n+1} V_{i-1}^{n+1} b_{i-1} / D_j^{n+1} V_j^{n+1} b_j \quad (3.24)$$

Эти соотношения полностью описывают состояние людского потока на элементарных участках и их переходы в последовательные моменты времени при конкретных значениях $V_{0,k}$, и позволяют рассчитать соответствующие значения времени движения людских потоков с участков их формирования до прохода последней группой людей к сечению пути, в котором заканчивается эвакуация. Совокупность значений t_{Δ} , полученных при различных значениях $V_{0,k}$, формирует эмпирическое распределение вероятностей значений t_p . Это распределение позволяет рассчитать по правилам математической статистики значение времени завершения эвакуации, соответствующее вероятности $P(t_{p,эв}) = 0,999$.

Адекватность имитационной модели реальному процессу движения людского потока неоднократно проверялась натурными наблюдениями. Один из примеров сопоставления результатов [103] приведен на рис. 3.16.

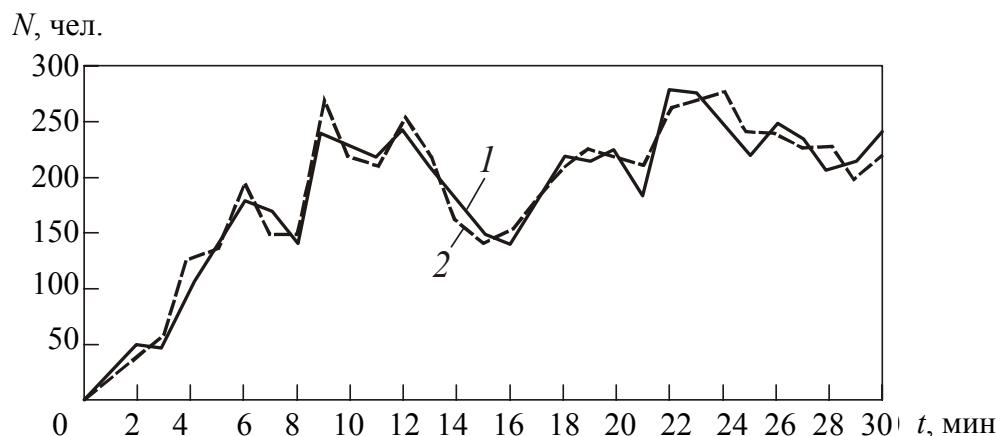


Рис. 3.16. Изменение количества людей, проходящих через поперечное сечение пути в последовательные моменты времени на примере пассажирского зала метрополитена:

1 – эксперимент; 2 – моделирование

Высокая степень соответствия результатов моделирования данным натурных наблюдений позволила широко использовать имитационную модель в практике проектирования уникальных объектов.

Используя данные предыдущего примера, промоделируем две ситуации: при ширине проема 1,6 и 0,9 м. Как уже отмечалось выше, в рамках данной модели учитываются такие случаи движения, как растекание головной части, переформирование частей потока с различной плотностью, разуплотнение потока, динамика формирования скопления людей и его рассасывания, а также многие другие нюансы процесса, определяемые

возможностью его более подробного рассмотрения при поэлементном моделировании его развития. Здесь следует обратить внимание, что при наступлении условия $q_i > q_{\max}$ в этой модели поток достигает максимальных плотностей не мгновенно, а приблизительно за 5–7 с, что и фиксируется при проведении экспериментов и натуральных наблюдений.

В табл. 3.5 обобщены результаты расчетов с помощью описанных выше моделей при ширине выхода из коридора $b_0 = 1,6$ м.

Таблица 3.5

Результаты расчетов с помощью различных моделей людского потока при ширине выхода из коридора 1,6 м

Определяемые параметры	Модель людского потока		
	Без растекания головных частей	С растеканием головных частей	Модель ADLPV
t_p , мин	1,66	1,33	1,30
D_{\max} , M^2/M^2	0,34	0,34	0,29

Как видно из данных табл. 3.5, наименьшее время фиксируется при использовании программного комплекса ADLPV, работавшего в детерминированном режиме вычислений. Для выяснения причин различий результатов, необходимо проследить динамику движения людей в сравнении с другими моделям.

На рис. 3.17–3.22 представлены графики значений плотностей людского потока в коридоре в моменты времени 0,12, 0,24, 0,43 и 0,48 мин соответственно.

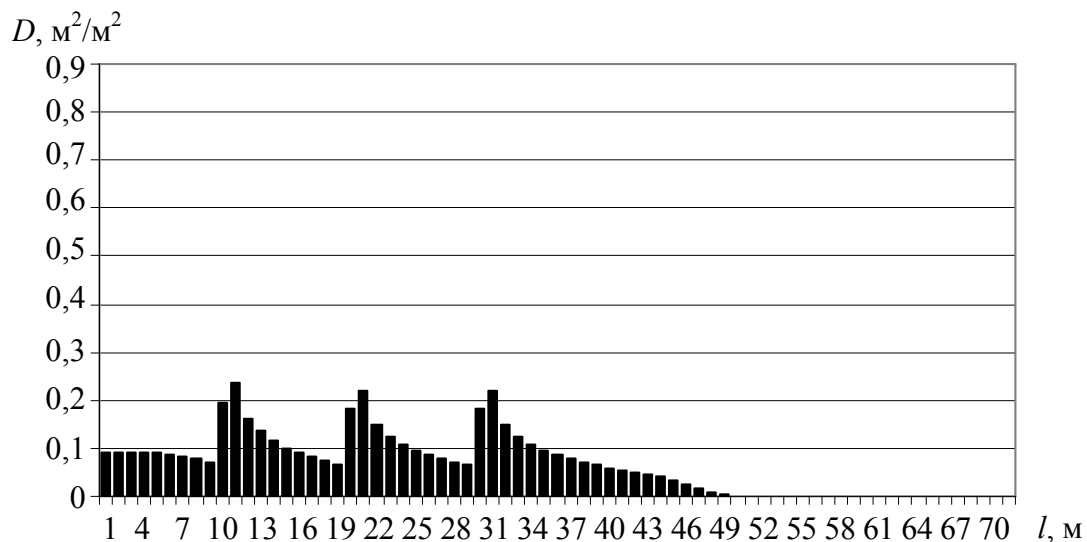


Рис. 3.17. График максимальных значений плотностей людского потока в коридоре спустя 0,12 мин после начала движения

Модель ADLPV дает картину динамики плотности потока в коридоре (рис. 3.17), качественно идентичную результатам расчета на основе модели движения людского потока без растекания головной части (см. рис. 3.6): люди, выходящие из боковых проходов в коридор идут с плотностью $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$; в местах слияния потоков плотность возрастает. Однако, плотность возрастает только до значения $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$ против $0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в рамках более грубой модели. Это объясняется тем, что происходит слияние головной (а не основной) части потока, идущей по коридору с параметрами свободного движения: $D_0 = 0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_0 = 100 \text{ м/мин}$, $q_0 = 5 \text{ м/мин}$. Она сливается с частью потока, выходящей из бокового прохода с параметрами $D_{\text{п}} = 0,12 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_{\text{п}} = 74,76 \text{ м/мин}$ и $q_{\text{п}} = 8,97 \text{ м/мин}$. Тогда, интенсивность q объединенного потока составит $q = (q_0 b_{\text{к}} + q_{\text{п}} b_{\text{п}}) / b_{\text{к}} = (5 \cdot 2 + 8,97 \cdot 1,65) / 2 = 12,4 \text{ м/мин}$. Это соответствует плотности $0,22 \text{ м}^2/\text{м}^2$, что и наблюдается на графике.

Более того, за счет более низкой плотности и, как следствие, более высокой скорости движения, головная часть потока пройдет большее расстояние.

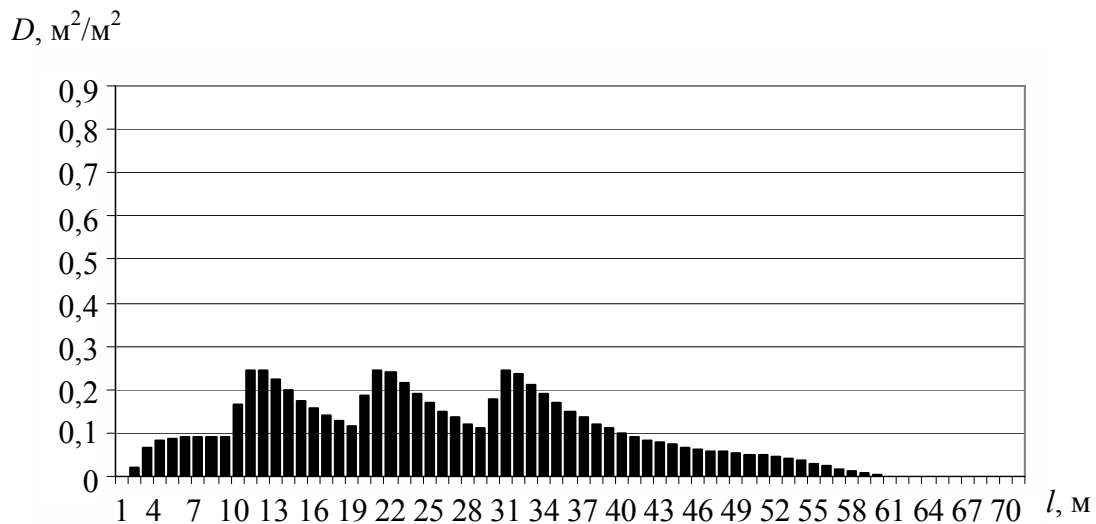


Рис. 3.18. График максимальных значений плотностей людского потока в коридоре спустя 0,24 мин после начала движения

Спустя 0,24 мин все люди вышли в коридор (см. рис. 3.18). Последовательное переформирования частей потока с различной плотностью обуславливает отсутствие разрывов между частями людского потока, что наблюдается при игнорировании по тем или иным причинам этой особенности движения людских потоков в более грубых моделях (рис. 3.7). В местах слияний плотность несколько увеличивается и составляет $0,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$, что обуславливается неполным переформированием потока с плотности $0,09$ до $0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

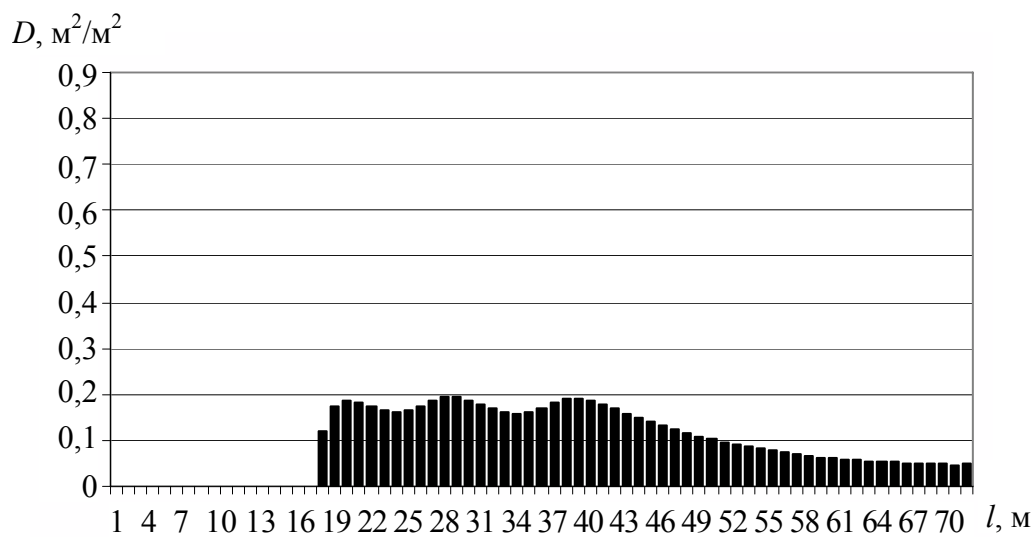


Рис. 3.19. График максимальных значений плотностей людского потока в коридоре спустя 0,43 мин после начала движения

Результаты моделирования, представленные на рис. 3.19, показывают, что за счет более высокой скорости, обусловленной возможностью людей идти с параметрами свободного движения, движение через дверной проем начинается раньше, чем в модели без растекания головной части (см. рис. 3.8). За счет переформирования людского потока, плотность слившихся частей потока уменьшается до $0,19 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

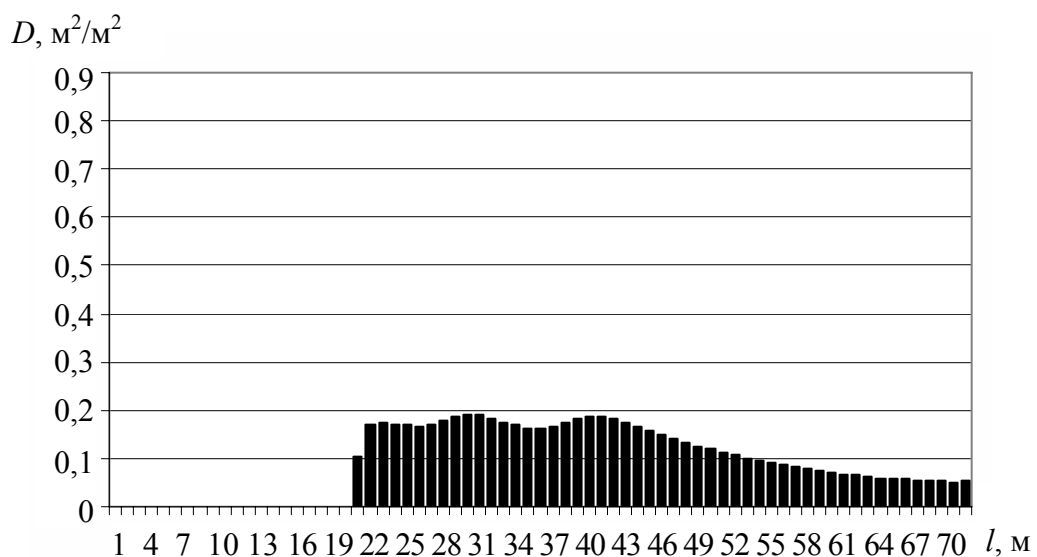


Рис. 3.20. График максимальных значений плотностей людского потока в коридоре спустя 0,48 мин после начала движения

Диаграмма плотности людского потока на участках пути в коридоре в момент времени 0,48 мин представлена на рис. 3.20. Ситуация схожая с представленной на рис. 3.19. Однако, как видно, замыкающая часть потока успела пройти еще несколько метров. Обращает на себя внимание тот факт, что в случае, если поток не успеет переформироваться полностью с плотности 0,19 до плотности 0,05 м²/м², то, возможно, при определенной ширине выхода из коридора произойдет образование скопления.

Определим минимальную ширину для беспрепятственного движения: $b_{\min} = q_k b_k / q_{\max} = 11,63 \cdot 2 / 19,6 = 1,18$ м. Таким образом, при движении людского потока с плотностью 0,19 м²/м² через дверной проем шириной менее 1,18 м (например, 0,9 м), образуются скопления людей и задержка движения. При большей ширине проема движение происходит беспрепятственно. Результаты моделирования показали, что при ширине проема $b_0 = 0,9$ м поток не успевает переформироваться до параметров, обеспечивающих беспрепятственное движение через проем шириной 0,9 м, поэтому образуется скопление людей и задержка движения (рис. 3.21). Однако, ввиду того, что в скопление попадет небольшое количество людей (около 29 человек), то ее продолжительность будет незначительна – 0,68 мин. Расчетное время эвакуации составит – 1,52 мин.

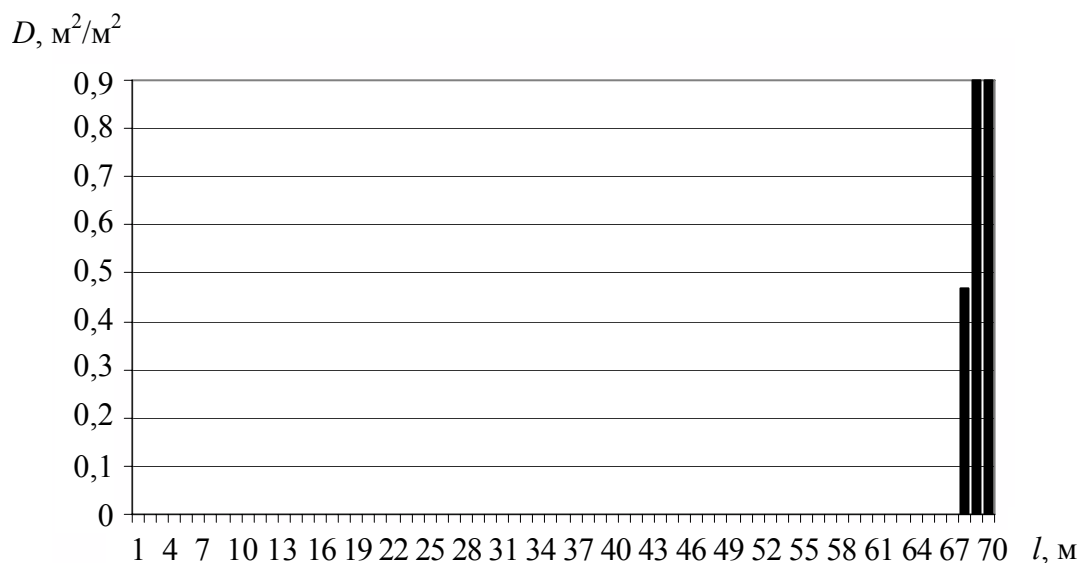


Рис. 3.21. График формирования максимальных плотностей людского потока при образовании скопления перед дверным проемом шириной 0,9 м

График зафиксированных максимальных плотностей за весь интервал времени движения людского потока по коридору представлен на рис. 3.22.

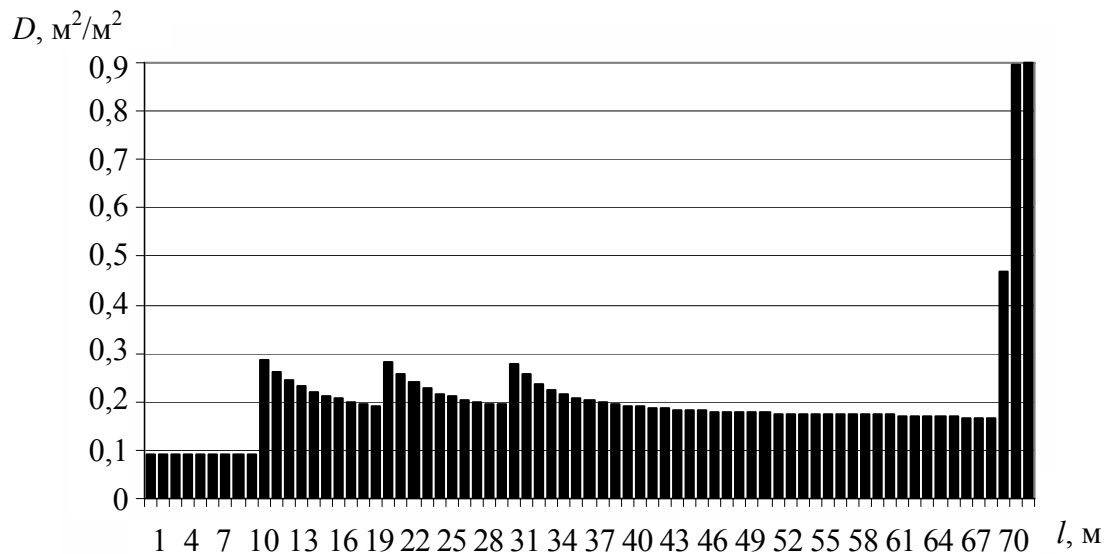


Рис. 3.22. График максимальных значений плотности людского потока в коридоре

Расчеты, выполненные на основе нескольких моделей людского потока, показали, что модели, описывающие людской поток без растекания его головной части и другие перечисленные характерные особенности его движения, на сегодняшний день не отвечают требованиям, предъявляемым к проектированию уникальных и сложных объектов, отличающихся, как правило, большой населенностью и сложностью процесса эвакуации людей в чрезвычайных ситуациях. Тем самым подтверждается давно высказанное положение: «...для аварийных условий обязательно учитывать растекание потока и, следовательно, постепенное изменение его плотности» [37, С. 42]. Такой расчет позволяет точнее и более полно оценить выполнение условий обеспечения безопасности людей, но он весьма трудоемок. Решением проблемы трудоемкости является использование современных достоверных программных комплексов, подтвержденных статистикой натурных наблюдений и экспериментов.

Рассмотрим еще один пример. Определим расчетное время эвакуации людей из условного пожарного отсека многофункционального высотного здания с помещениями класса Ф4.4. Площадь горизонтальной проекции $0,125 \text{ м}^2$. Скорость свободного движения по лестничной клетке принимается согласно МГСН 4.19 равной 80 м/мин . Расчетная схема движения людских потоков при эвакуации представлена на рис. 3.23. Результаты моделирования показывают, что плотности людского потока на этаже будут иметь значения, приведенные на рис. 3.24. Динамика выхода людей с этажа приведена на рис. 3.25.

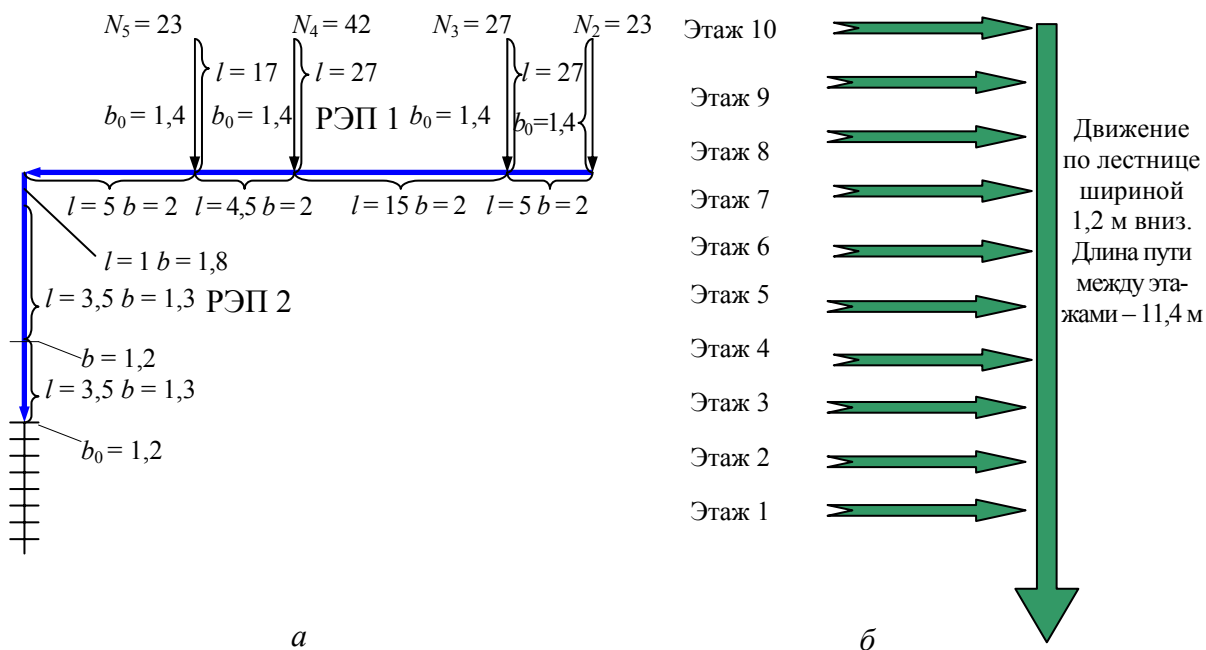


Рис. 3.23. Расчетные схемы движения людского потока:

a – в пределах типового этажа; *б* – по лестничной клетке шириной 1,2 м; N – количество людей в источнике; b – ширина пути (в случае, если это не указано, равная 2 м), м; b_0 – ширина дверного проема, м; l – длина пути, м

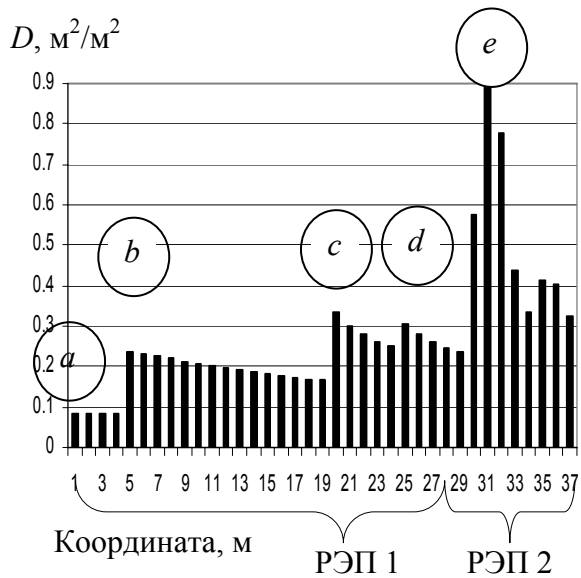


Рис. 3.24. Максимальные значения плотности людского потока в коридоре этажа здания. Буквами обозначены места роста значений плотности: *a* – выход людей из источника 2; *b* – из источника 3, *c* – из источника 4; *d* – из источника 5; *e* – в месте сужения участка пути



Рис. 3.25. Динамика выхода людей с этажа здания (при отсутствии скопления на лестнице)

Расчетное время эвакуации из пожарного отсека составляет 27,14 мин (при расчете детерминированным способом; результаты вероятностного расчета будут представлены ниже). Максимально достигнутые значения плотности людского потока на лестнице представлены на рис. 3.26.

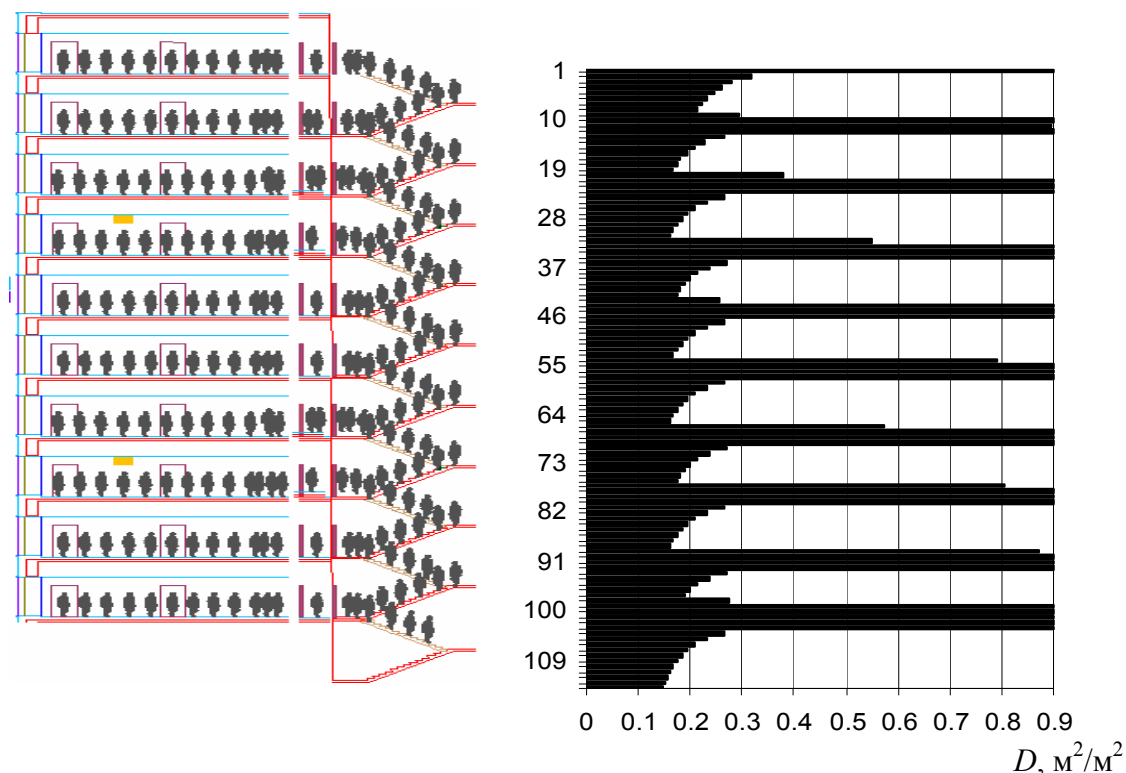


Рис. 3.26. Максимальные значения плотности людского потока на лестнице

Результаты, приведенные на рис. 3.26, показывают, что скопления людей с максимальной плотностью образуются в местах слияния людских потоков, что хорошо согласуется с ранее полученными данными. Крайне интересным является то, что время выхода людей с этажа возрастает до 20 мин, так как из-за скопления на лестничной площадке вход в лестничную клетку блокируется. При этом покинуть этаж до образования скопления в лестничной клетке не успевают от 59 до 89 из 115 чел., находящихся на этаже. Приведенные результаты однозначно указывают на то, что условия безопасности людей по условиям беспрепятственности и своевременности эвакуации не выполняются. Решением указанной задачи является разработка алгоритма поэтапной эвакуации.

При расчете вероятностным способом каждому значению плотности на элементарном участке пути соответствует не строго фиксированное значение скорости, а одно из ее вероятных значений в интервале $\pm 3\sigma_V$. Многократная реализация расчетных вариантов при вероятных значениях V_0 дает эмпирическую совокупность значений параметров людского потока на

каждом из участков эвакуационного пути. Имея такую совокупность значений, методами математической статистики вычисляются числовые характеристики случайных величин интересующих параметров, например, времени завершения процесса эвакуации (рис. 3.27, 3.28).

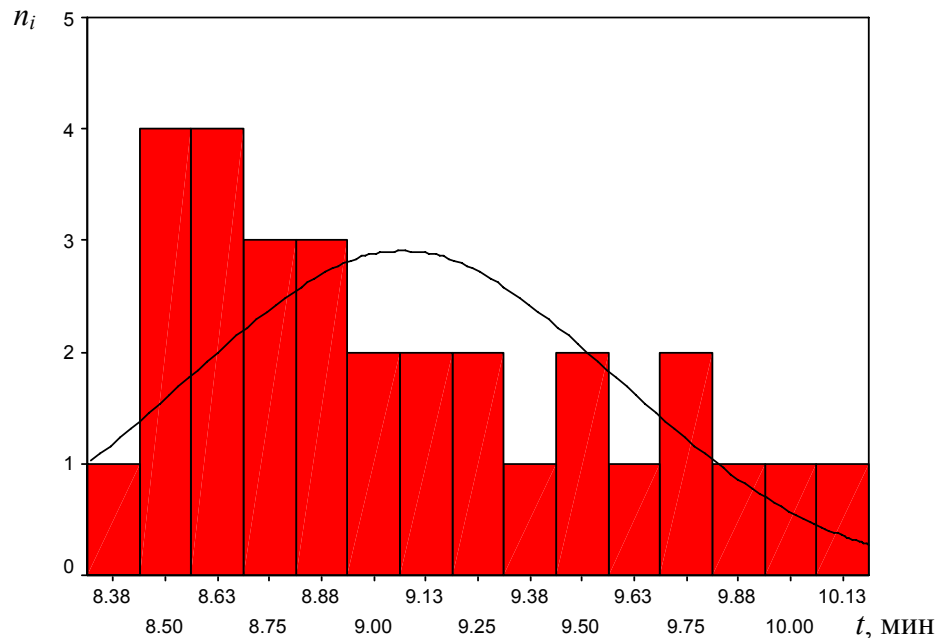


Рис. 3.27. Гистограмма распределения вероятности времени выхода людей из лестничной клетки. Среднее значение 9,07 мин, среднее квадратичное отклонение 0,51; 95 % доверительный интервал: нижняя граница 8,86, верхняя 9,27 мин

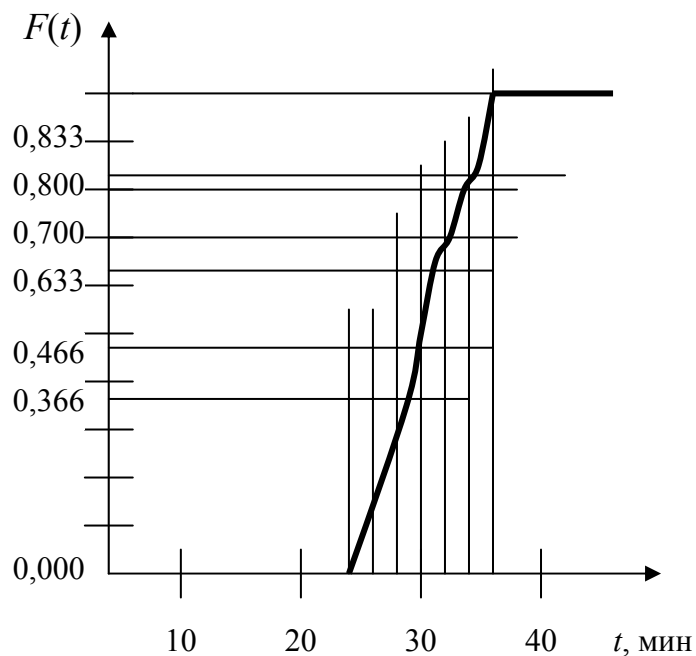


Рис. 3.28. График функции $F(t)$ распределения вероятности расчетного времени в интервале от 22,2 до 36,93 мин: $m_t = 26,27$ мин; $\sigma_t = 2,90$ мин; $t_{\max} = 36,93$ мин.; $t_{\min} = 22,2$ мин

Как видно из графика (рис. 3.28), значение расчетного времени эвакуации должно быть принято равным 36,93 мин с вероятностью 0,999, а не 30 мин, как это следовало бы из расчета при детерминированных зависимостях при средних значениях зависимости скорости от плотности людского потока. Очевидно, что занижение на треть значения расчетного времени эвакуации людей может оказаться недопустимым для обеспечения их безопасности при эвакуации.

3.6. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ В ПОТОКАХ

Модели свободного движения людей в потоке допускают множество вариантов имитации индивидуального передвижения людей, но общим критерием их корректности является соответствие их результатов наблюдаемой статистике реальных потоков [46]: распределению людей по длине пути и количества проходящих людей в рассматриваемое сечение пути (сток) в различные моменты времени.

При свободном движении людей в интервале плотности потока $0-D_{0,k}$ плотность не влияет на скорость движения людей. Поэтому при известном распределении вероятностей скорости движения людей в источниках искомые вероятностные показатели распределения людей по длине пути $f_t(l)$ и количества проходящих людей $f_l(t)$ в рассматриваемое сечение пути определяются как функции случайных величин

$$f_t(l) = \frac{1}{t \cdot S_v \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(l/t - \bar{V})^2}{2 \cdot S_v^2}} \quad \text{и} \quad f_l(t) = \frac{1}{t^2 \cdot S_v \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(1/t - \bar{V})^2}{2 \cdot S_v^2}}, \quad \text{соответственно.}$$

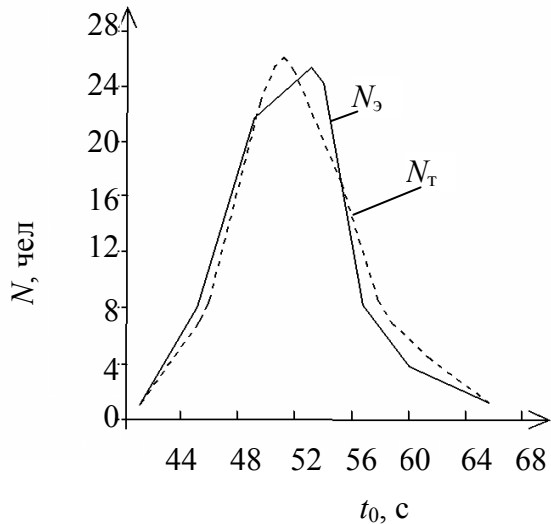
Таким образом, эта стохастическая модель должна просто использовать известные в теории вероятностей функции случайных величин. Но практический аспект этой модели гораздо глубже, поскольку каждое значение случайной величины V_0 – это индивидуальная скорость того или иного человека в потоке и ее относительная частота – это оценка вероятности нахождения в составе потока определенного количества людей, имеющих такое значение скорости, которое зависит от их физических возможностей и психологического состояния. Поэтому такая модель позволила впервые достаточно просто оценить влияние неоднородности состава людей в потоке на результаты расчетов и моделирования людских потоков. Чтобы избежать многочисленных расчетных операций вручную, разработана компьютерная программа SDLP – Свободное Движение Людских Потоков. Показано [46, 73], что при многочисленных и не одновременно функционирующих источниках людских потоков распределение времени прохождения людьми через общий сток может быть описано обобщенным законом Эрланга.

Адекватность модели реальным ситуациям подтверждена многочисленными натурными наблюдениями в городских транспортно-коммуникационных узлах [104] и на предзаводских территориях [105], рис. 3.29, 3.30.

КОЛИЧЕСТВО ЛЮДЕЙ, ПРИХОДЯЩИХ В СТОК:

$$N_3 - \text{эмпирическое, } N_3 = \sum N_i;$$

$$N_T - \text{теоретическое, } N_T = N_p f_{l,k}(t)$$



ЭКСПЕРИМЕНТ:

Проверка распределения

$$f_{l,k}(t) = \sum_{i=1}^{n=k} f_{k1}(t)(t_0 - t_i)$$

источников – 26

$N_1 = 3-5$ чел.; $\sum N_1 = 128$ чел.;

для каждого источника: \bar{V}, S_V ;

$L_p = 60$ м.

В стоке определяется количество людей, приходящих в интервале времени t_c

Рис. 3.29. Свободное движение людей на предзаводской территории из множества источников (экипажи городского общественного транспорта) к одному стоку (заводская проходная)

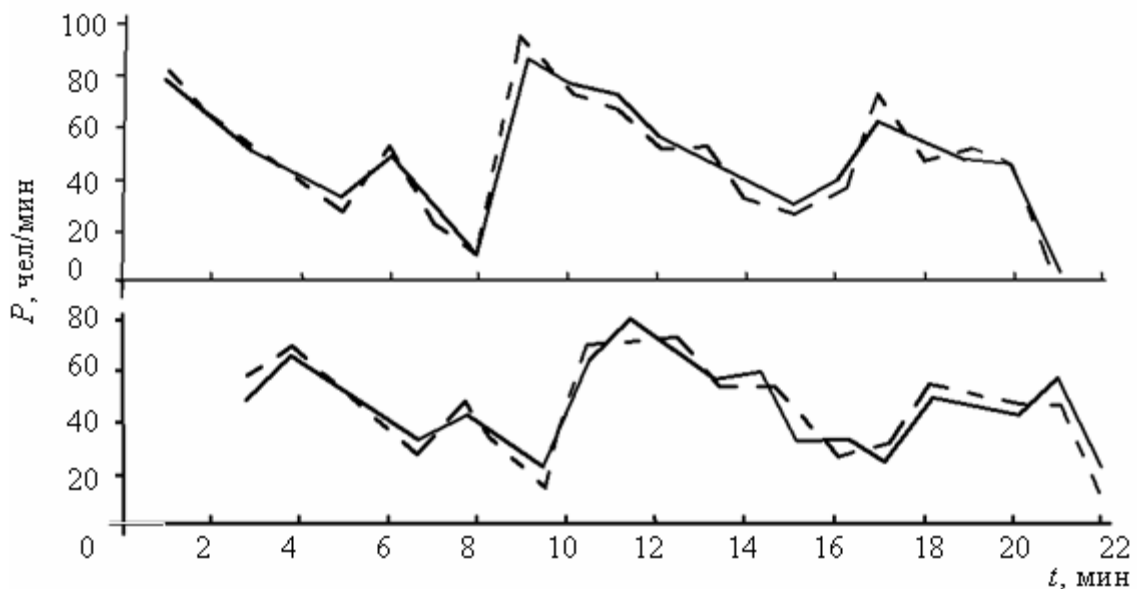


Рис. 3.30. Динамика прихода людей в стоки, находящиеся на расстоянии 250 и 100 метров от источников: ----- — моделирование, ————— — наблюдения

Заключение

Обширные натурные наблюдения и теоретические исследования российской научной школы «Теория людских потоков» [58], включающей представителей многих учебных и научно-исследовательских организаций, позволили создать систему моделей, адекватно описывающих реальные людские потоки в различных условиях эксплуатации здания и территорий их комплексов. На их основе разработаны необходимые для практики методы расчета и программное обеспечение их компьютерной реализации.

Рассмотренные модели движения людских потоков при эвакуации обладают различной степенью детальности воспроизведения реального процесса. Потребности и возможности практики потребовали, прежде всего, использования основных расчетных положений теории людских потоков, реализующих модель движения (без растекания) людского потока однородного состава. Дальнейшее развитие строительного проектирования и усложнение угроз для жизни людей требуют более полного использования возможностей прогнозирования на основе моделирования процессов эвакуации людей в чрезвычайных ситуациях. Состояние разработок необходимых для этого моделей позволяет удовлетворить запросы практики. Первоочередными задачами сегодня являются:

- повышение уровня знаний специалистов в этой области;
- более широкая компьютеризация расчетов по соответствующим моделям;
- активизация их внедрения в нормирование и практику проектирования.

Решение этих задач гарантирует повышение уровня специальных знаний, необходимых для разработки обоснованных вариантов решений по организации безопасности людей в разнообразных чрезвычайных ситуациях, обеспечивая им реальную возможность своевременно и беспрепятственно эвакуироваться, а не спасаться при помощи пожарных из-за того, что нормы пожарной безопасности не реализуются фактически уже на стадии проектирования из-за низкого уровня прогнозирования сценариев процесса эвакуации и динамики ОФП.

Актуальным для практики сегодня становится разработка методологии поэтапной эвакуации из высотных зданий.

Кинематические закономерности движения людских потоков показывают, что при многочисленных источниках на расчетном эвакуационном пути на общем участке их движения в результате слияний могут образовываться части потока, которые не успевают растекаться до малой плотности до того как они достигают мест слияния следующих потоков. В результате, на участках слияния образуются потоки такой величины, что пропускной способности сечений общего пути их движения оказывается недостаточно для обеспечения беспрепятственного движения, т. е. $q_i > q_{\max}$, а изменить ширину общего участка до такой величины, чтобы выполнялось условие $q_i < q_{\max}$, нет возможности.

Такое положение характерно для общих (магистральных) проходов постоянной ширины в зрительных залах, в которых одновременные многочисленные слияния и переформирования людских потоков приводят к стабилизации общего потока в магистральном проходе при определенной, часто максимальной, плотности. В этом случае для ликвидации максимальной плотности разработана методика проектирования расширяющихся проходов [64].

Однако не всегда возможно выполнить необходимое расширение общего участка РЭП, например, лестниц многоэтажных зданий. На этот факт было обращено внимание достаточно давно [48, 66] и тогда же было предложено для обеспечения беспрепятственного движения по лестницам высотных зданий организация поэтапной эвакуации и использование лифтов [106]. Использование лифтов дает возможность организовать комбинированную поэтапную эвакуации, обеспечивающую значительное сокращение общей продолжительности эвакуации людей из высотных зданий и снижение плотности людского потока до 3–4 чел./м² вместо 7–9 чел./м². Численные эксперименты по эвакуации людей из таких зданий показывают, что в лестничной клетке образуются скопления людей с высокой плотностью, фактически «коллапс» движения (рис. 3.31).

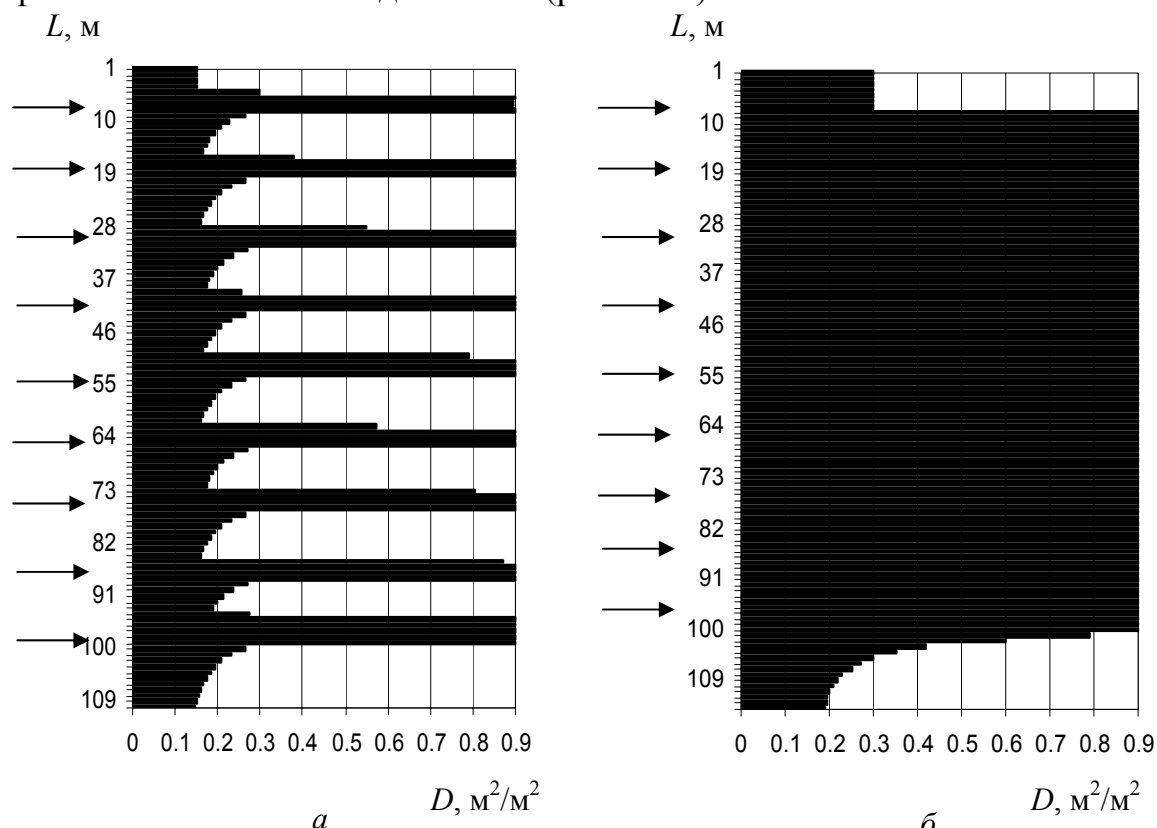


Рис. 3.31. Значения плотностей людских потоков в лестничной клетке. Стрелками показаны места выхода людей с этажа в лестничную клетку:

- а* – скопления происходят в местах выхода людей с этажа;
- б* – продолжительные скопления по всей лестничной клетке

Жизненные ситуации подтверждают эти результаты, давая, к сожалению, «яркие» примеры. Известно, например, что при взрыве в здании Всемирного торгового центра в Нью-Йорке в 1993 г. одновременная эвакуация привела к «затаптыванию» людей в лестничных клетках и продолжалась около 6 ч. Исследования же эвакуации людей из башен Всемирного торгового центра при атаке террористов в 2001 г. позволило прийти к выводу, что «использование лифтов позволило сохранить более 3000 жизней» [107].

Результаты исследования поведения людей при пожарах показывают, что в случае, если лифты при пожаре не были отключены, то большая часть населения, или даже все люди, эвакуируются с помощью лифтов [108]. До 15 % общего количества людей используют их для эвакуации даже в пятиэтажных зданиях [109]. Результаты анкетного опроса, проведенного в Японии [110], также показали, что до 67 % людей при пожаре в 20-этажном здании с апартаментами использовали лифты для эвакуации.

Анализ проектных решений и расчет процесса эвакуации людей из высотных зданий позволяют выявить все те же основные проблемы:

1. Процесс движения в потоке высоткой плотности ($7-8 \text{ чел./м}^2$) является смертельно опасным, так как возможна гибель людей от компрессионной асфиксии.

2. Эвакуация людей с физическими ограничениями представляет собой нерешенную задачу, так как идти по лестнице многие из них не в состоянии, а зоны безопасности проектируются, как правило, только на уровне технических этажей, т. е. до них надо еще дойти.

3. Продолжительность эвакуации: низкая скорость движения ведет к высокому значению времени эвакуации людей (более 2 ч).

4. Высокие требования к физической подготовке людей, не имеющих нарушений функций организма: для выхода людей из здания требуется пройти по лестнице от 150 м до расстояний, превышающих 1 км, в потоке высотной плотности, что является тяжелой нагрузкой на организм. Большинство людей испытывают «ужасную» усталость через 5 мин движения по лестнице вниз [111].

Решением указанных проблем является поэтапная пешеходная и поэтапная комбинированная (с использованием лифтов) эвакуация людей. Поэтому необходимо разработать и реализовать алгоритм поэтапной эвакуации. Рекомендации по его составлению приведены в прил. 3.3.

продолжительность двух первых этапов выражается отрезком of , трех этапов – отрезком og . Эти величины, как и для первого этапа, не должны превышать норм времени, установленных по схеме нормирования. Наибольшая численность скопления людей при эвакуации в пределах второго этапа определяется отрезком ch и для третьего этапа – отрезком di .

Эта же задача может быть разрешена более экономично при максимальном сокращении ширины эвакуационных путей. Такое сокращение допустимо в пределах возрастания продолжительности эвакуации до установленной нормы. При новой схеме (рис. ПЗ.2) границы этапов теряют свою параллельность, и процессы завершения этапов получают различную продолжительность.

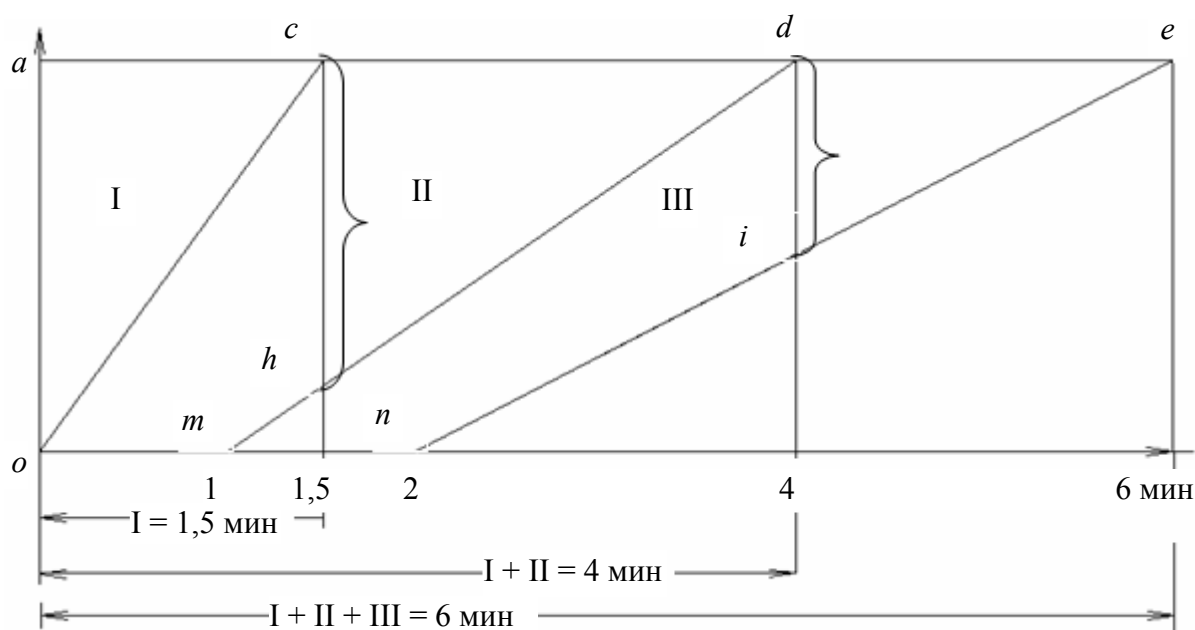


Рис. ПЗ.2. Схема экономического решения той же задачи

В настоящем случае продолжительность первого этапа составляет 1,5 мин, первых двух этапов – 4 мин, всех трех этапов – 6 мин. Длина пути на втором и третьем этапах достигает 16 м, причем путь продолжается 1 мин, что отмечено на схеме отрезками om и mn . Максимумы скопления людей соответственно выражаются отрезками ординат ch и di и совпадают по времени с моментом завершения предшествующего этапа. При эвакуации одной группы процесс завершения данного этапа не может быть короче процесса завершения предшествующего этапа. Это условие вытекает из постоянства скорости движения в пределах каждого этапа. Поэтому наклонные прямые, которыми отмечены на схеме процессы завершения последовательных этапов, могут быть параллельны или же обладать последовательно убывающей крутизной.

При совместной эвакуации нескольких групп продолжительность этого процесса не может быть короче промежутка времени, протекающего между моментами достижения границы этапа первыми рядами ближайшей группы и последними рядами наиболее отстающей группы. Так как расчетная скорость движения принимается постоянной и общей для всех эвакуируемых групп, то процесс завершения этапа при нескольких группах протекает с переменной интенсивностью, в зависимости от количества людей, достигающих границы этапа в различные моменты процесса. Схема изменения интенсивности (рис. ПЗ.3) показывает, что граница этапа выражается при этом не прямой, а ломаной линией.

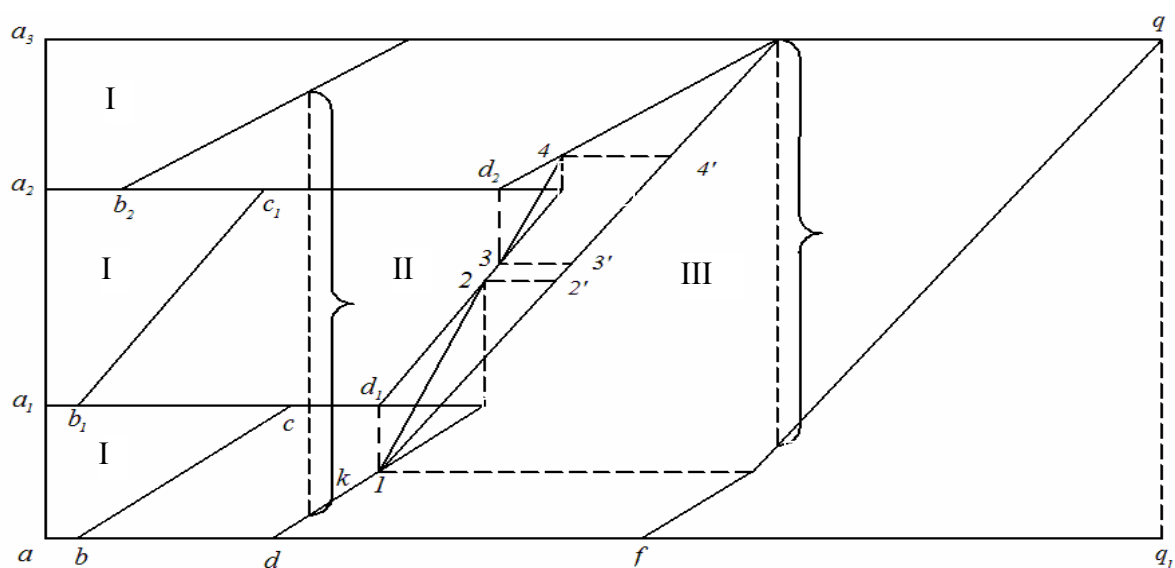


Рис. ПЗ.3. Схема эвакуации нескольких групп

Пример представляет эвакуацию трех групп различной численности, но с одинаковой продолжительностью первого этапа. На втором этапе длина пути этих групп последовательно возрастает и выражается во времени отрезками bd , b_1d_1 , b_2d_2 . Процесс завершения второго этапа ограничивается первой группой до точки 1, где к ней присоединяется вторая группа, повышающая интенсивность эвакуации в пределах отрезка 1, 2, который получает соответственно большую крутизну. Затем в пределах отрезка 2, 3 эвакуируется лишь вторая группа. С присоединением третьей группы в точке 3 интенсивность вторично возрастает до точки 4, начиная с которой процесс ограничивается третьей группой. Таким образом, этап завершается по ломаной линии $d, 1, 2, 3, 4, e_2$ » [2].

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.2

Значение расчетных зависимостей между параметрами людских потоков для людей различных групп мобильности

Таблица ПЗ.1

Расчетные значения параметров для группы мобильности М1 по ГОСТ 12.1.004–91*

D, м ² /м ²	Горизонтальный путь в здании		Дверной проем		Лестница вниз		Лестница вверх		Горизонтальный путь вне здания	
	V, м/мин	q, м ² /м·мин	V, м/мин	q, м ² /м·мин	V, м/мин	q, м ² /м·мин	V, м/мин	q, м ² /м·мин	V, м/мин	q, м ² /м·мин
0,01	100,00	1,00	100,00	1,00	100,00	1,00	60,00	0,60	100,00	1,00
0,02	100,00	2,00	100,00	2,00	100,00	2,00	60,00	1,20	100,00	2,00
0,03	100,00	3,00	100,00	3,00	100,00	3,00	60,00	1,80	100,00	3,00
0,04	100,00	4,00	100,00	4,00	100,00	4,00	60,00	2,40	100,00	4,00
0,05	100,00	5,00	100,00	5,00	100,00	5,00	60,00	3,00	100,00	5,00
0,06	95,21	5,71	100,00	6,00	100,00	6,00	60,00	3,60	100,00	6,00
0,07	90,66	6,35	97,86	6,85	100,00	7,00	59,20	4,14	100,00	7,00
0,08	86,72	6,94	93,88	7,51	100,00	8,00	56,75	4,54	100,00	8,00
0,09	83,24	7,49	90,44	8,14	99,56	8,96	54,60	4,91	100,00	9,00
0,10	80,14	8,01	87,30	8,73	95,30	9,53	52,67	5,27	100,00	10,14
0,11	77,32	8,51	84,45	9,29	91,55	10,07	50,93	5,60	97,55	10,73
0,12	74,76	8,97	81,92	9,83	88,08	10,57	49,33	5,92	94,00	11,28
0,13	72,40	9,41	79,54	10,34	84,85	11,03	47,87	6,22	90,69	11,79
0,14	70,21	9,83	77,36	10,83	81,86	11,46	46,51	6,51	87,71	12,28
0,15	68,18	10,23	75,33	11,30	79,13	11,87	45,25	6,79	84,87	12,73
0,16	66,27	10,60	73,44	11,75	76,56	12,25	44,07	7,05	82,25	13,16
0,17	64,48	10,96	71,65	12,18	74,12	12,60	42,96	7,30	79,82	13,57
0,18	62,80	11,30	69,94	12,59	71,83	12,93	41,91	7,54	77,50	13,95
0,19	61,20	11,63	68,37	12,99	69,68	13,24	40,93	7,78	75,26	14,30
0,20	59,69	11,94	66,85	13,37	67,60	13,52	39,99	8,00	73,20	14,64
0,21	58,25	12,23	65,38	13,73	65,67	13,79	39,09	8,21	71,19	14,95
0,22	56,88	12,51	64,05	14,09	63,82	14,04	38,24	8,41	69,32	15,25
0,23	55,57	12,78	62,74	14,43	62,04	14,27	37,43	8,61	67,52	15,53
0,24	54,31	13,03	61,46	14,75	60,33	14,48	36,65	8,80	65,75	15,78
0,25	53,11	13,28	60,28	15,07	58,68	14,67	35,90	8,98	64,12	16,03
0,26	51,95	13,51	59,12	15,37	57,12	14,85	35,19	9,15	62,50	16,25
0,27	50,84	13,73	58,00	15,66	55,59	15,01	34,49	9,31	60,96	16,46
0,28	49,76	13,93	56,93	15,94	54,14	15,16	33,83	9,47	59,50	16,66
0,29	48,73	14,13	55,90	16,21	52,76	15,30	33,19	9,62	58,07	16,84
0,30	47,73	14,32	54,87	16,46	51,40	15,42	32,57	9,77	56,70	17,01
0,31	46,76	14,50	53,90	16,71	50,10	15,53	31,97	9,91	55,35	17,16
0,32	45,82	14,66	52,97	16,95	48,81	15,62	31,39	10,04	54,06	17,30
0,33	44,92	14,82	52,06	17,18	47,58	15,70	30,82	10,17	52,82	17,43
0,34	44,03	14,97	51,18	17,40	46,38	15,77	30,28	10,29	51,59	17,54
0,35	43,18	15,11	50,34	17,62	45,23	15,83	29,75	10,41	50,40	17,64
0,36	42,35	15,25	49,50	17,82	44,11	15,88	29,23	10,52	49,28	17,74
0,37	41,54	15,37	48,70	18,02	43,00	15,91	28,73	10,63	48,16	17,82
0,38	40,75	15,49	47,92	18,21	41,95	15,94	28,24	10,73	47,05	17,88
0,39	39,99	15,60	47,15	18,39	40,90	15,95	27,77	10,83	46,00	17,94
0,40	39,24	15,70	46,40	18,56	39,88	15,95	27,30	10,92	44,98	17,99
0,41	38,51	15,79	45,66	18,72	38,90	15,95	26,85	11,01	43,98	18,03
0,42	37,80	15,88	44,95	18,88	37,93	15,93	26,41	11,09	43,00	18,06

Окончание табл. ПЗ.1

0,43	37,11	15,96	44,26	19,03	37,00	15,91	25,98	11,17	42,02	18,07
0,44	36,43	16,03	43,59	19,18	36,07	15,87	25,56	11,25	41,09	18,08
0,45	35,77	16,09	42,91	19,31	35,18	15,83	25,15	11,32	40,18	18,08
0,46	35,12	16,15	42,28	19,45	34,30	15,78	24,74	11,38	39,28	18,07
0,47	34,48	16,21	41,64	19,57	33,43	15,71	24,35	11,44	38,40	18,05
0,48	33,86	16,25	41,02	19,69	32,60	15,65	23,97	11,50	37,56	18,03
0,49	33,25	16,29	40,41	19,80	31,78	15,57	23,59	11,56	36,71	17,99
0,50	32,66	16,33	39,82	19,91	30,96	15,48	23,22	11,61	35,90	17,95
0,51	32,07	16,36	38,25	19,51	30,18	15,39	22,86	11,66	35,10	17,90
0,52	31,50	16,38	37,50	19,50	29,38	15,28	22,50	11,70	34,31	17,84
0,53	30,94	16,40	36,75	19,48	28,62	15,17	22,15	11,74	33,53	17,77
0,54	30,39	16,41	36,04	19,46	27,89	15,06	21,81	11,78	32,76	17,69
0,55	29,85	16,42	35,35	19,44	27,15	14,93	21,47	11,81	32,02	17,61
0,56	29,31	16,42	34,64	19,40	26,43	14,80	21,14	11,84	31,29	17,52
0,57	28,79	16,41	33,96	19,36	25,72	14,66	20,82	11,87	30,56	17,42
0,58	28,28	16,40	33,31	19,32	25,02	14,51	20,50	11,89	29,86	17,32
0,59	27,78	16,39	32,66	19,27	24,34	14,36	20,19	11,91	29,15	17,20
0,60	27,28	16,37	32,02	19,21	23,67	14,20	19,88	11,93	28,48	17,09
0,61	26,79	16,34	31,39	19,15	23,00	14,03	19,58	11,94	27,80	16,96
0,62	26,31	16,31	30,79	19,09	22,35	13,86	19,28	11,95	27,15	16,83
0,63	25,84	16,28	30,19	19,02	21,71	13,68	18,99	11,96	26,49	16,69
0,64	25,38	16,24	29,61	18,95	21,09	13,50	18,70	11,97	25,84	16,54
0,65	24,92	16,20	29,03	18,87	20,46	13,30	18,42	11,97	25,22	16,39
0,66	24,47	16,15	28,45	18,78	19,85	13,10	18,14	11,97	24,59	16,23
0,67	24,02	16,10	27,91	18,70	19,25	12,90	17,86	11,97	23,99	16,07
0,68	23,59	16,04	27,37	18,61	18,66	12,69	17,59	11,96	23,38	15,90
0,69	23,16	15,98	26,83	18,51	18,07	12,47	17,32	11,95	22,78	15,72
0,70	22,73	15,91	26,30	18,41	17,50	12,25	17,06	11,94	22,20	15,54
0,71	22,31	15,84	25,79	18,31	16,93	12,02	16,80	11,93	21,62	15,35
0,72	21,90	15,77	25,28	18,20	16,38	11,79	16,55	11,91	21,06	15,16
0,73	21,49	15,69	24,78	18,09	15,82	11,55	16,29	11,89	20,49	14,96
0,74	21,09	15,61	24,30	17,98	15,28	11,31	16,04	11,87	19,95	14,76
0,75	20,70	15,52	23,81	17,86	14,75	11,06	15,80	11,85	19,40	14,55
0,76	20,31	15,43	23,34	17,74	14,21	10,80	15,56	11,82	18,86	14,33
0,77	19,92	15,34	22,88	17,62	13,69	10,54	15,32	11,79	18,32	14,11
0,78	19,54	15,24	22,42	17,49	13,18	10,28	15,08	11,76	17,79	13,88
0,79	19,16	15,14	21,97	17,36	12,66	10,00	14,85	11,73	17,28	13,65
0,80	18,79	15,03	21,54	17,23	12,16	9,73	14,62	11,69	16,76	13,41
0,81	18,43	14,93	21,11	17,10	11,67	9,45	14,39	11,66	16,26	13,17
0,82	18,06	14,81	20,68	16,96	11,17	9,16	14,17	11,62	15,76	12,92
0,83	17,71	14,70	20,27	16,82	10,69	8,87	13,94	11,57	15,27	12,67
0,84	17,35	14,58	19,86	16,68	10,21	8,58	13,72	11,53	14,79	12,42
0,85	17,00	14,45	19,45	16,53	9,74	8,28	13,51	11,48	14,29	12,15
0,86	16,66	14,33	19,05	16,38	9,27	7,97	13,29	11,43	13,83	11,89
0,87	16,32	14,20	18,67	16,24	8,80	7,66	13,08	11,38	13,36	11,62
0,88	15,98	14,06	18,27	16,08	8,35	7,35	12,87	11,33	12,89	11,34
0,89	15,65	13,93	17,90	15,93	7,90	7,03	12,67	11,27	12,43	11,06
0,90	15,32	13,79	9,44	8,50	7,44	6,70	12,46	11,22	11,98	10,78

Расчетные значения параметров для групп мобильности М2-М4 по СНиП 35–01–2001

Группа мобильности	Вид пути										
	D, м ² /м ²	Горизонтальный		Лестница вниз		Лестница вверх		Пандус вниз		Пандус вверх	
		V, м/мин	q, м ² /м·мин	V, м/мин	q, м ² /м·мин	V, м/мин	q, м ² /м·мин	V, м/мин	q, м ² /м·мин	V, м/мин	q, м ² /м·мин
М 2	0,01	30,00	0,30	30,00	0,30	20,00	0,20	45,00	0,45	25,00	0,25
	0,05	30,00	1,50	30,00	1,50	20,00	1,00	45,00	2,25	25,00	1,25
	0,1	30,00	3,00	30,00	3,00	20,00	2,00	45,00	4,50	25,00	2,50
	0,2	26,05	5,21	26,22	5,24	16,78	3,36	41,91	8,38	21,98	4,40
	0,3	21,97	6,59	22,01	6,60	13,96	4,19	33,92	10,18	18,09	5,43
	0,4	19,08	7,63	19,03	7,61	11,96	4,78	28,25	11,30	15,32	6,13
	0,5	16,84	8,42	16,71	8,36	10,41	5,20	23,85	11,93	13,18	6,59
	0,6	15,01	9,01	14,82	8,89	9,14	5,48	20,26	12,16	11,43	6,86
	0,7	13,46	9,42	13,22	9,25	8,07	5,65	17,22	12,05	9,95	6,97
	0,8	12,12	9,69	11,83	9,47	7,14	5,71	14,59	11,67	8,67	6,94
0,9	10,93	9,84	10,61	9,55	6,32	5,68	12,27	11,04	7,54	6,79	
М 3	0,01	70,00	0,70	20,00	0,20	25,00	0,25	105,00	1,05	55,00	0,55
	0,05	70,00	3,50	20,00	1,00	25,00	1,25	105,00	5,25	55,00	2,75
	0,1	70,00	7,00	20,00	2,00	25,00	2,50	105,00	10,50	55,00	5,50
	0,2	53,50	10,70	20,00	4,00	20,57	4,11	83,41	16,68	45,54	9,11
	0,3	43,57	13,07	16,67	5,00	17,05	5,12	65,70	19,71	35,59	10,68
	0,4	36,52	14,61	14,06	5,62	14,56	5,82	53,13	21,25	28,54	11,41
	0,5	31,05	15,53	12,04	6,02	12,62	6,31	43,39	21,69	23,06	11,53
	0,6	26,59	15,95	10,38	6,23	11,04	6,62	35,42	21,25	18,59	11,15
	0,7	22,81	15,97	8,98	6,29	9,70	6,79	28,69	20,08	14,81	10,37
	0,8	19,54	15,63	7,77	6,21	8,54	6,83	22,86	18,28	11,53	9,23
0,9	16,65	14,99	6,70	6,03	7,52	6,77	17,71	15,94	8,64	7,78	
М 4	0,01	60,00	0,60	–	–	–	–	115,00	1,15	40,00	0,40
	0,05	60,00	3,00	–	–	–	–	115,00	5,75	40,00	2,00
	0,1	60,00	6,00	–	–	–	–	115,00	11,50	40,00	4,00
	0,2	50,57	10,11	–	–	–	–	99,65	19,93	35,17	7,03
	0,3	40,84	12,25	–	–	–	–	79,88	23,97	28,36	8,51
	0,4	33,93	13,57	–	–	–	–	65,86	26,34	23,52	9,41
	0,5	28,58	14,29	–	–	–	–	54,98	27,49	19,77	9,89
	0,6	24,20	14,52	–	–	–	–	46,09	27,65	16,71	10,03
	0,7	20,50	14,35	–	–	–	–	38,57	27,00	14,12	9,88
	0,8	17,30	13,84	–	–	–	–	32,06	25,65	11,88	9,50
0,9	14,47	13,02	–	–	–	–	26,32	23,68	9,90	8,91	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.3

Порядок расчета алгоритма поэтапной эвакуации

1. Расчет параметров движения людских потоков.

Определив расчетом необходимость проектирования поэтапной эвакуации (продолжительная по времени эвакуация людей и образование на лестнице высоких травмоопасных плотностей), следует выделить следующие параметры: время выхода людей с этажа, интенсивность выхода с этажа и параметры движения по лестничной клетке.

2. Определяем количество соседних этажей, которые исключают образование скопления в лестничной клетке.

Критерием выбора количества этажей является выполнение условия беспрепятственного движения:

$$\sum P < Q_{\text{лм}},$$

где $\sum P$ – суммарная величина людского потока, подходящего к месту слияния, чел./мин; $Q_{\text{лм}}$ – пропускная способность лестничного марша, чел./мин.

Как правило, количество соседних этажей, которые можно эвакуировать одновременно в высотном здании, составляет от 1 до 3-х.

3. Определяем расстояние между блоками одновременно эвакуируемых этажей.

Определим требуемое расстояние $l_{\text{тр}}$ между этажами (блоками этажей) для исключения их слияния

$$l_{\text{тр}} = t_{\text{р.эт}} V_{\text{г}},$$

где $t_{\text{р.эт}}$ – расчетное время эвакуации людей с этажа, мин.; $V_{\text{г}}$ – скорость движения головной части потока, м/мин.

Тогда, количество этажей $n_{\text{эт}}$, которые должны разделять расчетные блоки этажей для исключения их слияния

$$n_{\text{эт}} = l_{\text{тр}} / l_{\text{эт.л.м}},$$

где $l_{\text{эт.л.м}}$ – длина пути по лестничному маршу между соседними этажами, м.

4. Определяем интервалы подачи сигналов к началу эвакуации для блоков этажей.

Время подачи сигнала к началу эвакуации для следующего расчетного блока этажей $t_{\text{э}}$ определяется из соотношения:

$$t_{\text{эв}} = t_{\text{р.эт}} + t_{\text{дв}},$$

где $t_{\text{эв.эт}}$ – время эвакуации людей с этажа, мин; $t_{\text{дв}}$ – время движения людей, исключая слияния людских потоков из различных блоков (головной части потока с вышележащих этажей и замыкающей части потока с

нижележащих этажей), $t_{дв} = (l_{тр} + dl) / V_3$, где dl – расстояние, необходимое для исключения слияния головной части потока с вышележащих этажей и замыкающей части потока с нижележащих этажей; V_3 – скорость движения замыкающей части потока, м/мин.

5. Разработка концепции алгоритма организации эвакуации.

На основе анализа реальных пожаров, практики тушения пожаров, общей практики организации эвакуации людей из высотных зданий, целесообразно реализовать следующий порядок эвакуации: приоритет отдается эвакуации этажа пожара и вышележащего этажа (если это допустимо исходя из условия беспрепятственности движения), затем вышележащих этажей (этажа), далее нижележащих этажей (этажа), а в дальнейшем – последовательной эвакуации с самых высоких этажей до самых низких этажей здания.

6. Составление алгоритма поэтапной эвакуации.

Пример составленного алгоритма поэтапной эвакуации приведен в табл. ПЗ.3 и ПЗ.4.

Таблица ПЗ.3

Пример алгоритма полной пешеходной поэтапной эвакуации людей

Этаж пожара	Время начала эвакуации людей с этажей, мин											
	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35
46	0	0	5,88	5,88	11,76	11,76	17,64	17,64	23,52	23,52	29,4	29,4
45	0	0	5,88	5,88	11,76	11,76	17,64	17,64	23,52	23,52	29,4	29,4
44	5,4	0	0	5,4	12,0	12,0	17,88	17,88	23,76	23,76	29,64	29,64
43	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	17,88	17,88	23,76	23,76	29,64	29,64
42	17,4	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	17,4	23,28	23,28	29,16	29,16
41	17,4	17,4	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	23,28	23,28	29,16	29,16
40	17,4	17,4	23,28	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	23,28	29,64	29,64
39	17,4	17,4	23,28	23,28	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	29,64	29,64
38	17,4	17,4	23,28	23,28	29,64	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	29,64
37	17,4	17,4	23,28	23,28	29,64	29,64	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0
36	17,4	17,4	23,28	23,28	29,64	29,64	17,4	5,4	5,4	0	0	12,0
35	10,80	10,80	16,68	16,68	22,56	22,56	28,44	28,44	5,4	5,4	0	0

Пояснения. Например, пожар произошел на 40-м этаже. По обнаружению пожара, сигнал о начале эвакуации подается на этажи 40 и 41. Затем, спустя 5,4 мин – на этажи 42 и 43. Спустя 12 мин команда к началу эвакуации подается на этажи 38 и 39. Далее, через 5,4 мин (т. е. спустя 17,4 мин после обнаружения пожара) эвакуация последовательно организуется с самых верхних этажей блоками по два соседних этажа.

**Пример алгоритма полной комбинированной поэтапной эвакуации
с использованием лифтов**

Этаж по- жара	Время начала эвакуации людей с этажей, мин											
	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35
46	0	0	5,88	5,88	11,76	11,76	17,64	17,64	Л2	Л2	Л1	Л1
45	0	0	5,88	5,88	11,76	11,76	17,64	17,64	Л2	Л2	Л1	Л1
44	5,4	0	0	5,4	12,0	12,0	17,88	17,88	Л2	Л2	Л1	Л1
43	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	17,88	17,88	Л2	Л2	Л1	Л1
42	17,4	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	17,4	Л2	Л2	Л1	Л1
41	17,4	17,4	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	Л2	Л2	Л1	Л1
40	17,4	17,4	Л2	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	Л2	Л1	Л1
39	17,4	17,4	Л2	Л2	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	Л1	Л1
38	17,4	17,4	Л2	Л2	Л1	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0	Л1
37	17,4	17,4	Л2	Л2	Л1	Л1	5,4	5,4	0	0	12,0	12,0
36	17,4	17,4	Л2	Л2	Л1	Л1	17,4	5,4	5,4	0	0	12,0
35	10,80	10,80	16,68	16,68	Л2	Л2	Л1	Л1	5,4	5,4	0	0

Примечание. Индекс «Л» означает, что людей с этажа целесообразно эвакуировать с помощью лифтов. Цифры рядом с индексом обозначают очередность эвакуации лифтами. Эвакуация с помощью лифтов продолжается до тех пор, пока время эвакуации с помощью лифтов не будет превышать время ожидания сигнала к началу пешеходной эвакуации.

Пояснение. Рассмотрим схожую ситуацию – пожар произошел на 40-м этаже. По обнаружению пожара сигнал о начале эвакуации подается на этажи 40 и 41. Лифты направляются на этажи 35 и 36. Спустя 5,4 мин организуется эвакуация этажей 42 и 43. После эвакуации населения этажей 35 и 36, лифты направляются на этажи 37 и 44. Спустя 17,4 мин, команда к началу эвакуации подается на этажи 38 и 39.

При полной поэтапной эвакуации людей с использованием лифтов по сравнению с полной одновременной эвакуацией удастся добиться увеличения скорости движения людей в 7 раз (с 7 до 50 м/мин), и уменьшения плотности людских потоков на лестничной клетке в 3 раза (с 9 до 3 чел./м²), что обеспечивает беспрепятственность эвакуации и ведет к снижению ее продолжительности в 3–4 раза.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.4

Основные расчетные ситуации движения людских потоков и примеры их расчета

Пример 1. Пересечение границы смежного участка пути

Схема расчетной ситуации представлена на рис. ПЗ.4. На горизонтальном участке i шириной $b_i = 2$ м находится людской поток с параметрами $D_i = 0,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_i = 68,2 \text{ м/мин}$, $q_i = 10,23 \text{ м/мин}$. Требуется определить параметры движения людского потока q_{i+1} , V_{i+1} , D_{i+1} на последующем горизонтальном участке пути $i+1$ шириной $b_{i+1} = 1,5 \text{ м}$.

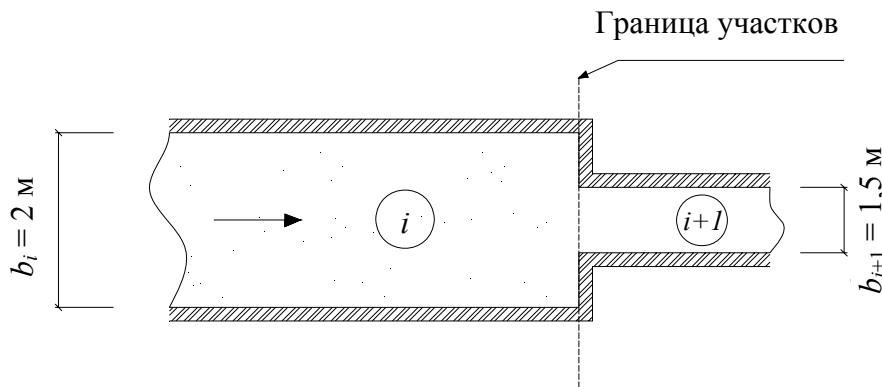


Рис. ПЗ.4. Пересечение границы смежного участка пути

Решение

Интенсивность движения на участке $i + 1$ определяется по формуле:

$$q_{i+1} = \frac{q_i b_i}{b_{i+1}} = \frac{10 \cdot 2}{1,5} = 13,3 \text{ м/мин} < q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин}. \text{ Следовательно, движение}$$

происходит беспрепятственно. Значению $q_{i+1} = 13,3 \text{ м/мин}$ соответствует значение плотности людского потока $D_{i+1} = 0,25 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а ему – значение скорости движения $V_{i+1} = 53,1 \text{ м/мин}$.

Пример 2. Слияние людских потоков

Схема расчетной ситуации представлена на рис. ПЗ.5. К границе участка $i+1$ с предшествующих ему участков i и j одновременно подходят людские потоки, имеющие параметры $q_i = 10,23 \text{ м/мин}$, $V_i = 68,2 \text{ м/мин}$, $D_i = 0,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $q_j = 3 \text{ м/мин}$, $V_j = 100 \text{ м/мин}$, $D_j = 0,03 \text{ м}^2/\text{м}^2$, соответственно. Все участки пути – горизонтальные. Требуется определить параметры движения людского потока q_{i+1} , V_{i+1} , D_{i+1} на последующем участке пути $i+1$.

Решение

Интенсивность движения на участке $i+1$ с учетом слияния людских потоков определяется по формуле:

$$q_{i+1} = \frac{\sum q b}{b_{i+1}} = \frac{q_i b_i + q_j b_j}{b_{i+1}} = \frac{10 \cdot 2 + 3 \cdot 1,5}{2} = 12,25 \text{ м/мин} < q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин}.$$

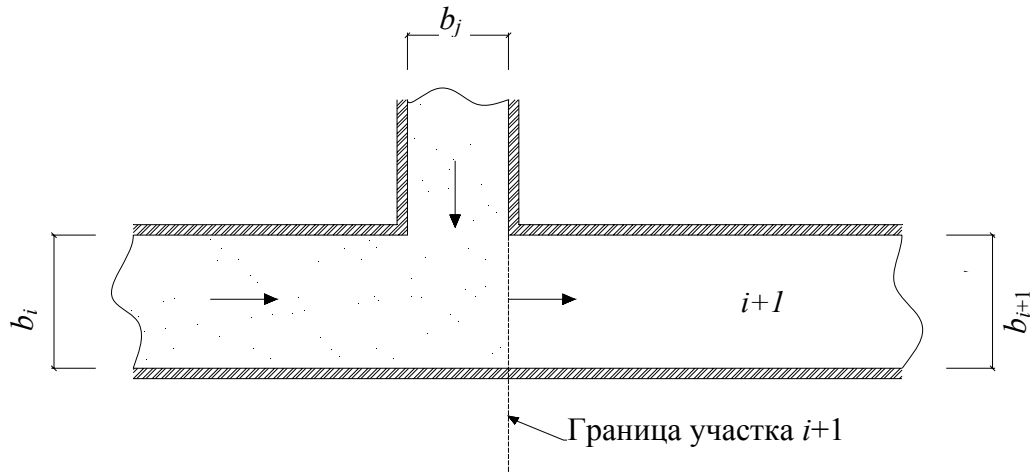


Рис. ПЗ.5. Слияние людских потоков

Следовательно, движение происходит беспрепятственно. Значению интенсивности движения $q_{i+1} = 12,25$ м/мин соответствует значение плотности людского потока $D_{i+1} = 0,21$ м²/м², а ему – значение скорости $V_{i+1} = 58,3$ м/мин.

Пример 3. Проверка слияния людских потоков

Исходная расчетная ситуация изображена на рис. ПЗ.6 а. В начальный момент времени t_0 головные границы людских потоков с боковых направлений по участкам с осями 1 и 2 достигли границ с участком А (соответственно, 1-А и 2-А). Расстояние между осями участков путей эвакуации с боковых направлений L составляет: вариант 1 – $L = 15$ м, вариант 2 – $L = 10$ м.

Требуется определить, будет ли происходить слияние людских потоков с боковых направлений при их движении по общему пути А и как будет развиваться процесс после достижения головной границей потока 1 сечения общего пути А, проходящего по оси 2.

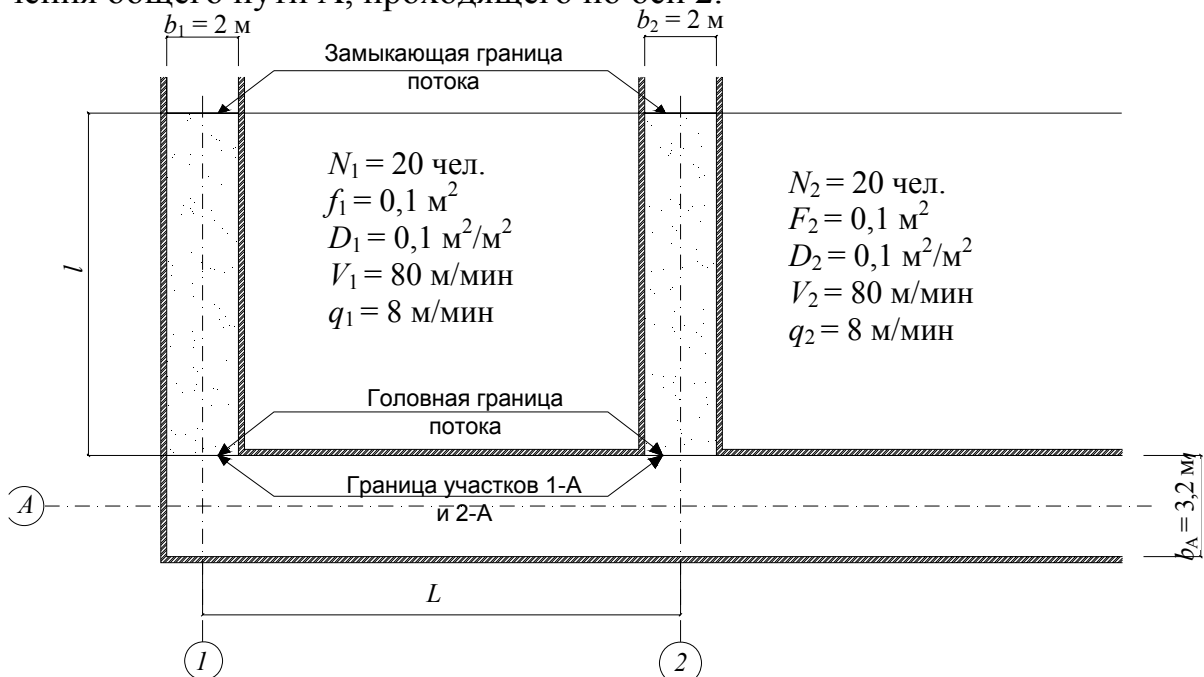


Рис. ПЗ.6 а. Проверка слияния людских потоков

Решение

При переходе людских потоков с боковых проходов, имеющих ширину $b_{\text{п}} = b_1 = b_2 = 2$ м, на общий путь шириной $b_{\text{А}} = 3,2$ м интенсивность их движения $q_{\text{А}}$ изменяется и ее значение составляет

$$q_{\text{А}} = q_1 b_1 / b_{\text{А}} = q_2 b_2 / b_{\text{А}} = 8 \cdot 2 / 3,2 = 5 \text{ м/мин.}$$

По таблице приложения или по формуле определяем, что этому значению интенсивности движения по горизонтальному пути соответствует плотность потока $D_{\text{А}} = 0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и скорость движения $V_{\text{А}} = 100 \text{ м/мин}$. Следовательно, последний человек в потоках с боковых направлений покинет проходы за время $t_{\text{п}} = l_{\text{п}} / V_{\text{п}} = l_{\text{п}} / V_1 = l_{\text{п}} / V_2 = 10 / 80 = 0,125$ мин. (Это время может быть определено и следующим образом: $t_{\text{п}} = l_{\text{п}} / V_{\text{п}} = l_{\text{п}} b_{\text{п}} D_{\text{п}} / V_{\text{п}} D_{\text{п}} b_{\text{п}} = N_{\text{п}} f / q_{\text{п}} b_{\text{п}} = 2 / 8 \cdot 2 = 0,125$ мин). За это время ($\Delta t_{\text{А}} = t_{\text{п}}$) головные границы потоков переместятся по общему пути на расстояние

$$\Delta l_{\text{А}} = V_{\text{А}} \cdot \Delta t_{\text{А}} = 100 \cdot 0,125 = 12,5 \text{ м.}$$

Если расстояние между осями боковых проходов составляет $L = 15$ м (*вариант 1*), то людские потоки в этот момент займут положение, показанное на рис. ПЗ.6 б.

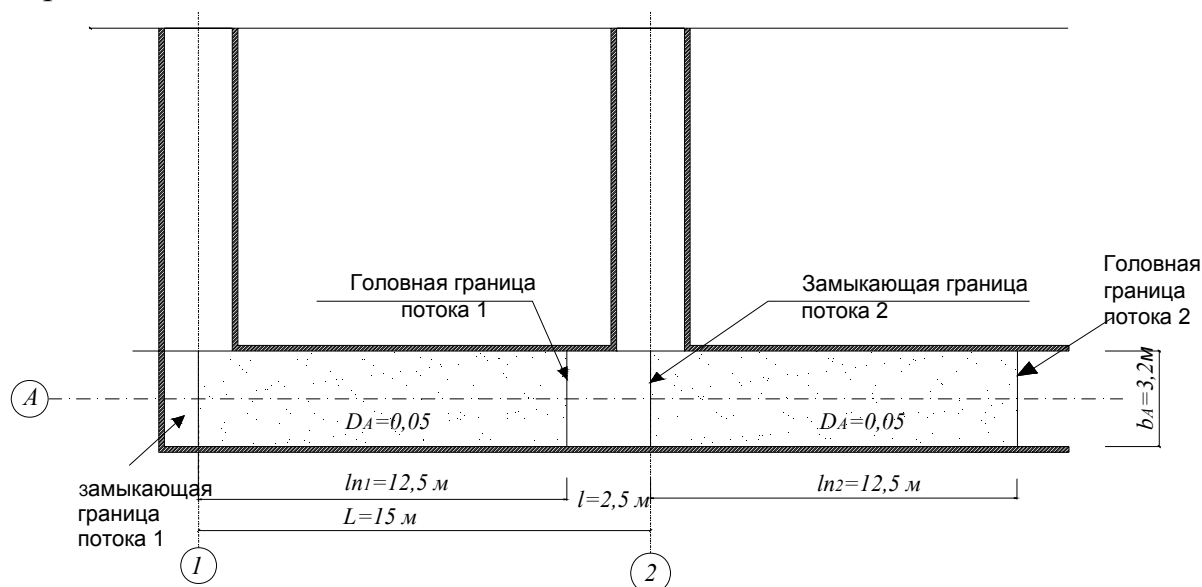


Рис. ПЗ.6 б. Положение людских потоков на общем пути при $L = 15$ м через 0,125 мин

Как видно, слияния людских потоков с боковых направлений на общем пути в данном случае не происходит: головная граница потока 1 не успевает достичь границы возможного слияния (сечение участка А по оси 2) до того как его пройдет замыкающая граница потока 2.

Иное положение складывается при планировочном решении с расстоянием между осями боковых проходов $L = 10$ м (*вариант 2*). В этом случае движение людских потоков по общему пути происходит за время $\Delta t_{\text{А}} = t_{\text{п}} = 0,125$ мин в несколько этапов.

Первый этап

За время $\Delta t_A^* = L / V_A = 10 / 100 = 0,1$ мин головная граница потока 1 достигнет бокового прохода, расположенного по оси 2, из которого выход потока к этому времени еще не успеет закончиться ($t_{\text{п}} = 0,125$ мин). Положение людских потоков в этот момент ($\Delta t_A = 0,1$ мин) показано на рис. ПЗ.6 в.

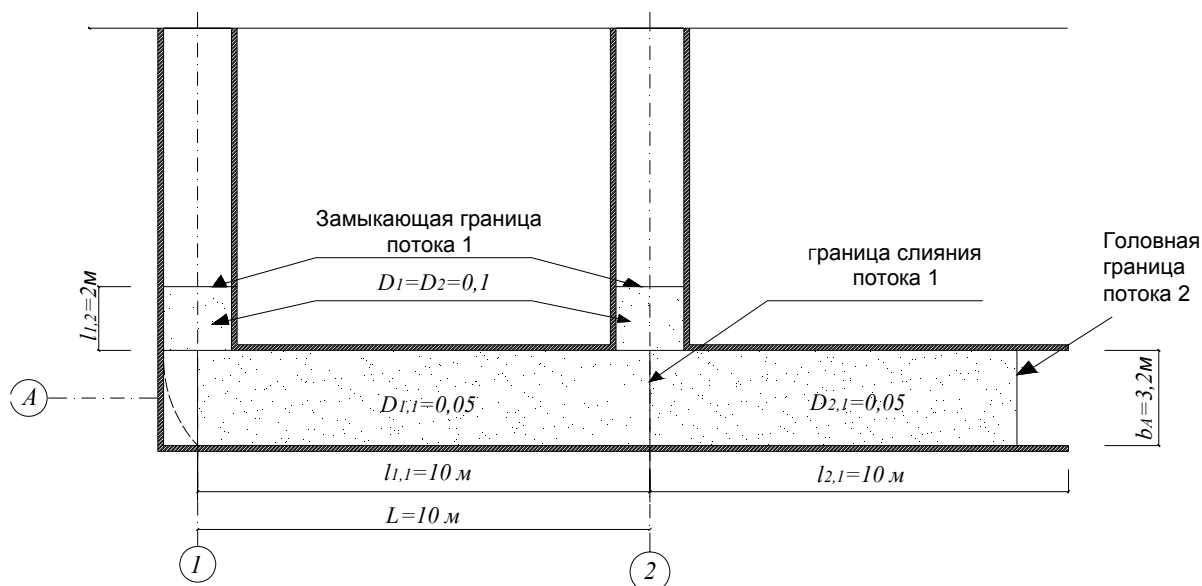


Рис.ПЗ.6 в. Положение людских потоков в момент $\Delta t_A = 0,1$ мин

С этого момента начинается слияние людских потоков: потока 1 и части потока 2, не успевшей выйти к этому времени из бокового прохода 2. Интенсивность движения в этой части $q_A^* = (q_1 b_1 + q_2 b_2) / b_A = (8 \cdot 2 + 8 \cdot 2) / 3,2 = 10$ м/мин. Этому значению интенсивности движения соответствует плотность потока $D_A^* = 0,1455$ м²/м² и скорость движения $V_A^* = 69,2$ м/мин. Поскольку $q_A^* < q_{\text{max}} = 16,5$ м/мин, то выход части людского потока из бокового прохода по оси 2 продолжается беспрепятственно и продолжается еще 0,025 мин. За это время слившаяся часть потока пройдет на расстояние $l_{1+2} = 0,025 V_A^* = 1,7$ м. За это же время замыкающая граница впереди идущей части потока 2, продолжая двигаться со скоростью $V_A = 100$ м/мин, пройдет расстояние 2,5 м. Таким образом, на общем пути между передней частью потока и его слившейся частью образуется разрыв $\Delta l = 0,8$ м. Положение людских потоков в момент $t_A = 0,125$ мин показано на рис. ПЗ.6 з.

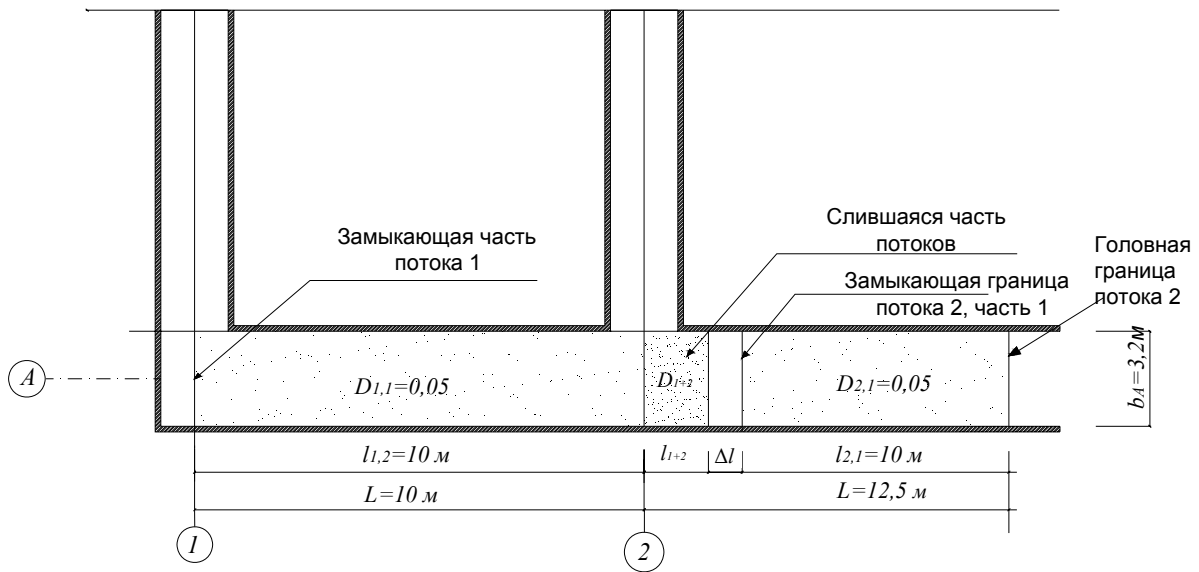


Рис. П3.6 з. Положение людских потоков в момент $t = 0,125$ мин

Пример 4. Образование скоплений людей

Исходная расчетная ситуация приведена на рис. П.3.7 а. Людской поток, состоящий из $N = 50$ человек, имеющих среднюю площадь горизонтальной проекции $f = 0,125 \text{ м}^2/\text{чел.}$, располагается в конце рассматриваемого (первого) участка горизонтального участка пути с плотностью $D_1 = 0,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Этот участок, имеющий длину $L_1 = 18,4 \text{ м}$ и ширину $b_1 = 2 \text{ м}$, заканчивается дверным проемом шириной b_2 (второй участок), за которым находится горизонтальный участок шириной $b_3 = 2 \text{ м}$ (третий участок).

Требуется проанализировать влияние на динамику движения людского потока возможной ширины дверного проема: $b_2 = 1,6 \text{ м}$ (вариант 1) или $b_2 = 1,2 \text{ м}$ (вариант 2).

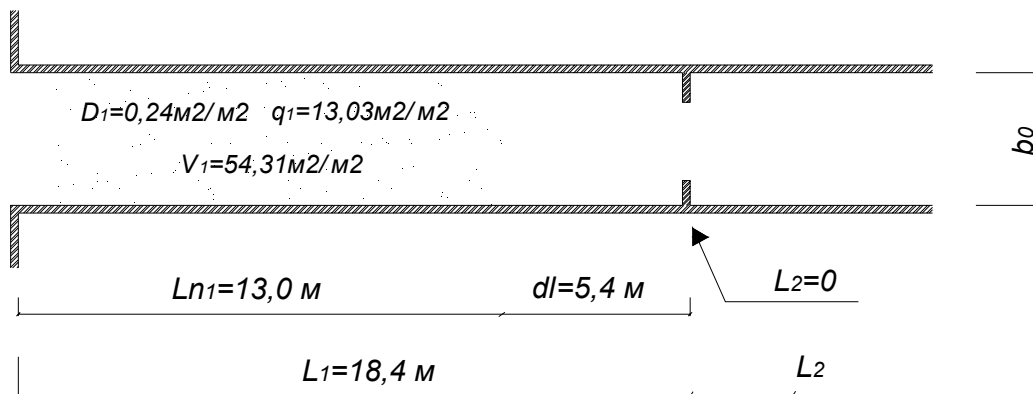


Рис. П3.7 а. Исходная расчетная ситуация

Решение

Поскольку поток имеет плотность $D_1 = 0,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то его длину $l_{п1}$ можно определить по формуле $l_{п1} = Nf / D_1 b_1 = 50 \cdot 0,125 / 0,24 \cdot 2 = 13,0 \text{ м}$.

Следовательно, его головная (передняя, фронтальная) граница находится от дверного проема на расстоянии $\Delta l_1 = L_1 - l_{п1} = 18,4 - 13,0 = 5,4$ м (что и показано на рис. ПЗ.7 а). Скорость движения людского потока плотностью $D_1 = 0,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$ по горизонтальному пути составляет $V_1 = 54,31$ м/мин, интенсивность движения – $q_1 = 13,03$ м/мин. Тогда время движения Δt_1 фронтальной границы потока до дверного проема равно: $\Delta t_1 = \Delta l / V_1 = 5,4 / 54,31 = 0,1$ мин. Положение людского потока в этот момент времени показано на рис. ПЗ.7 б.

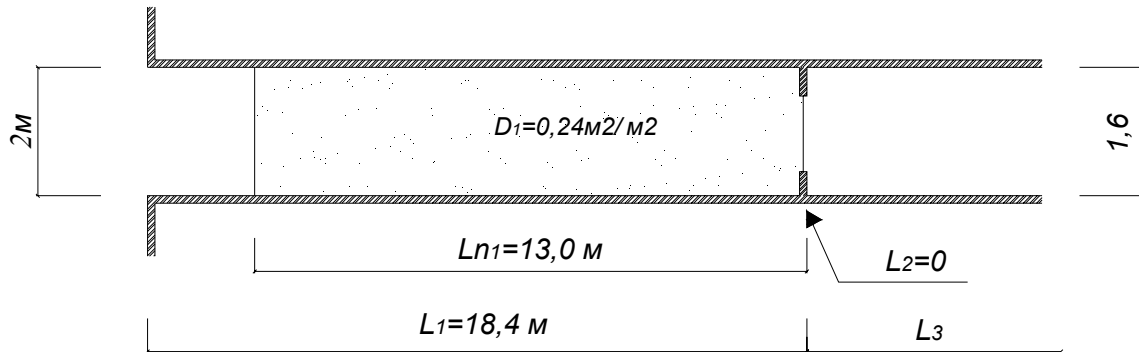


Рис. ПЗ.7 б. Состояние людского потока при подходе к дверному проему

Дальнейшее развитие процесса зависит от принятой ширины последующего участка пути – дверного проема b_2 .

Вариант 1 – $b_2 = 1,6$ м.

Определим интенсивность движения (q_0) людского потока через проем: $q_2 = q_0 = q_1 b_1 / b_0 = 13,03 \cdot 2 / 1,6 = 16,28 < q_{2\max} = 19,6$ м/мин, т. е. соблюдается равенство пропускных способностей смежных участков пути: $q_1 b_1 = q_2 b_2$ и движение через проем происходит беспрепятственно, без образования скопления людей перед ним. Следовательно, время движения людского потока по участку пути длиной L_1 складывается из времени подхода фронтальной границы потока к проему (Δt_1) и времени движения последнего человека в потоке (замыкающей границы потока) до границы проема $t_{п} = l_{п1} / V_1$; время движения через проем t_2 в данном случае равно 0. Таким образом, время движения t_1 людского потока по рассматриваемому участку составит

$$t_1^I = \Delta t_1 + t_{п} = \Delta t_1 + l_{п1} / V_1 = 0,1 + 13 / 54,31 = 0,34 \text{ мин.}$$

Время движения последнего человека в потоке по участку пути, занятому потоком, может быть подсчитано и по формуле

$$t_{п} = \Delta t_1 + N_f / q_1 b_1 = \Delta t_1 + N_f / q_2 b_2 = 0,1 + 6,25 / 16,28 \cdot 1,6 = 0,34 \text{ мин.}$$

Но в данном случае, поскольку людской поток проходит весь участок эвакуационного пути длиной L_1 с постоянной скоростью V_1 , время его движения по нему можно рассчитать и проще:

$$t_1^I = L_1 / V_1 = 18,4 / 54,3 = 0,34 \text{ мин.}$$

Вариант 2 – $b_2 = 1,2$ м.

Определим интенсивность движения (q_2) людского потока через проем: $q_2 = q_0 = q_1 b_1 / b_2 = 13,03 \cdot 2 / 1,2 = 21,72 > q_{0\max} = 19,6$ м/мин, т. е. равенство пропускных способностей смежных участков пути не соблюдается: $q_1 b_1 \neq q_2 b_2$ и

перед проемом образуется скопление людей, через который люди двигаются с интенсивностью $q_{2D_{\max}} = 2,5 + 3,75b = 2,5 + 3,75 \cdot 1,2 = 7$ м/мин. Соответствующая ситуация показана на рис. ПЗ.7 в.

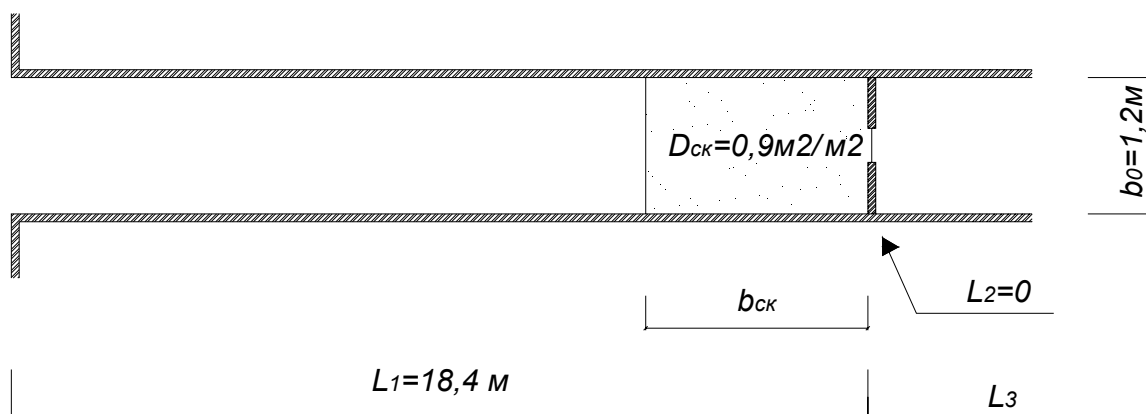


Рис. ПЗ.7 в. Образование скопления перед проемом

Другими словами можно сказать, что величина потока $P_1 = q_1 b_1$, подходящего к проему шириной b_2 , больше пропускной способности проема при этой ширине $Q = b_2 q_{2D_{\max}}$, и время ухода потока с участка 1 определяется временем его движения через проем $t_2 = t_{\text{п}} = N_f / q_2 b_2$, где $q_2 = q_{2D_{\max}}$, т. е. время нахождения людского потока на участке 1 длиной L_1 складывается, как и в варианте 1, из времени подхода его фронтальной границы к проему по участку $\Delta l = 5,4$ м со скоростью $V_1 = 54,31$ м/мин и времени движения всего потока через проем (последнего человека в скоплении, образовавшемся перед проемом):

$$t_{1}^{\text{II}} = \Delta t_1 + t_{\text{п}} = \Delta l / V_1 + N_f / b_2 q_2 D_{\max} = 0,1 + 6,25 / 7 \cdot 1,2 = 0,844 \text{ мин.}$$

Параметры людского потока после проема на участке 3 формируются в зависимости от хода процесса на предшествующих участках пути.

В первом варианте при $b_2 = 1,6$ м параметры потока на участке 3 определяются по значению интенсивности движения $q_3 = q_2 b_2 / b_3 = 16,28 \cdot 1,6 / 2 = 13,03$ м/мин $= q_1$ и, соответственно, $D_3 = D_1 = 0,24$ м²/м², $V_3 = V_1 = 54,31$ м/мин.

Во втором варианте при $b_2 = 1,2$ м параметры потока на участке 3 принимаются, согласно модели, принятой ГОСТ 12.1.004, при значении $q_3 = b_2 / b_3 = 1,2 \cdot 7 / 2 = 4,2$ м/мин, т. е. $D_3 = 0,042$, $V_3 = 100$ м/мин (рис. ПЗ.7 з).

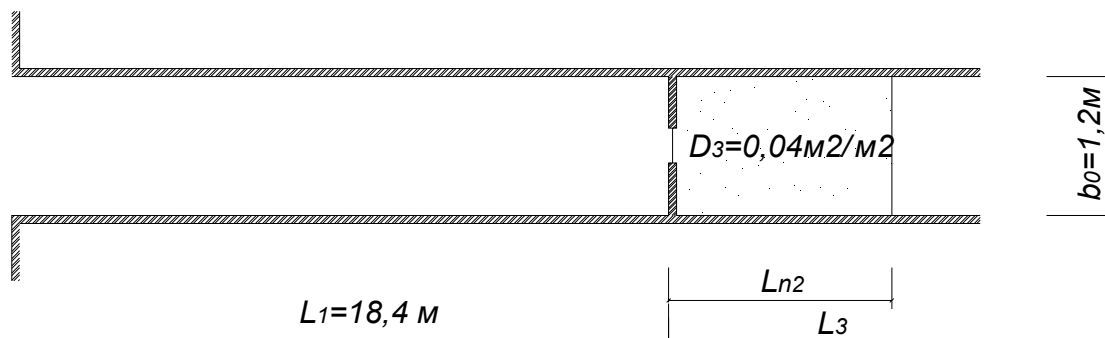


Рис. ПЗ.7 з. Разуплотнение людского потока

Пример 5. Время выхода людей с участка эвакуационного пути при образовании скоплений в месте слияния людских потоков

Требуется определить время выхода людей из коридоров j и i на участок $i+1$ при образовании скопления в месте слияния людских потоков, рис. ПЗ.8. Параметры движения на участке i : $q_i = 12$ м/мин, $N_i = 60$ чел., на участке j : $q_j = 9$ м/мин, $N_j = 30$ чел. Ширина участков: $b_j = 1,5$ м, $b_i = b_{i+1} = 2$ м. Участки пути горизонтальные. Площадь горизонтальной проекции людей $0,125$ м².

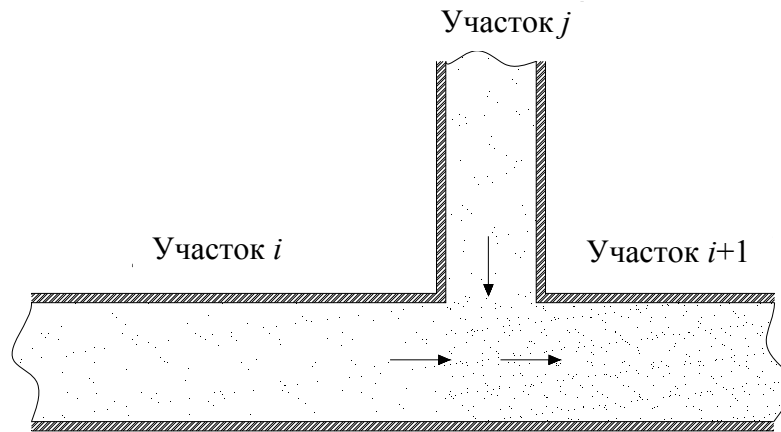


Рис. ПЗ.8. Слияние людских потоков при образовании скопления

Решение

Интенсивность движения на участке $i+1$ в месте слияния людских потоков определяется по формуле:

$$q_{i+1} = \frac{\sum qb}{b_{i+1}} = \frac{q_i b_i + q_j b_j}{b_{i+1}} = \frac{12 \cdot 1,5 + 2 \cdot 9}{2} = 18 \text{ м/мин} > q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин},$$

следовательно, образуется скопление людей и задержка движения.

Для определения времени выхода людей с участков i и j , необходимо установить долю участия сливающихся людских потоков в образовании максимальной плотности.

Поскольку скопление людей происходит на всех участках пути, т. е. все потоки задерживаются в месте слияния, интенсивность их движения оказывается одинаковой, соответствующей плотности скопления D_{\max} , а значения пропускных способностей определяются шириной участков. Следовательно, долю участия γ каждого из сливающихся потоков в образовании объединенного потока максимальной плотности и в скоплении людей можно принимать пропорционально ширине каждого участка:

$$\gamma_i = \frac{b_i}{\sum b}; \quad \gamma_j = \frac{b_j}{\sum b},$$

где $\sum b$ – суммарная ширина участков i и j .

Процесс слияния идет с участием всех потоков до того момента, когда какой-либо из потоков иссякнет, т. е. когда его замыкающая часть выйдет к месту слияния. С этого момента соответственно меняется доля участия потоков, продолжающих слияние, так как Σb становится меньше на ширину участка, поток которого закончил слияние. Процесс таким же образом продолжается до полного завершения.

Доля участия в скоплении потока с участка j :

$$\gamma_j = \frac{1,5}{1,5+2} = 0,43.$$

Доля участия в скоплении потока с участка i :

$$\gamma_i = \frac{2}{1,5+2} = 0,57.$$

Иначе говоря, потоки на участке $i+1$ займут как бы часть ширины прохода, равную:

$$\Delta b_j = b\gamma_j = 2 \cdot 0,43 = 0,86 \text{ м,}$$

а на долю потока,двигающегося в проходе, останется

$$\Delta b_i = b\gamma_i = 2 \cdot 0,57 = 1,14 \text{ м.}$$

Тогда люди с участка j выйдут за время

$$t_j = \frac{N_j f}{q_j^{\text{СК}} \Delta b_j} = \frac{30 \cdot 0,125}{13,5 \cdot 0,86} = 0,32 \text{ мин.}$$

Иными словами, продолжительность скопления составит 0,32 мин, так как прекратится пополнение потока в месте слияния на участке $i+1$.

Для того чтобы определить время выхода людей с участка i необходимо рассчитать количество людей N'_i , которое покинуло указанный участок за время существования скопления людей (0,32 мин).

$$N'_i = q_i^{\text{СК}} \Delta b_i t_i^{\text{СК}} = 13,5 \cdot 1,14 \cdot 0,32 = 0,49 \text{ м}^2 \text{ или } 13,92 \text{ человека.}$$

Время выхода оставшегося количества людей с участка i составит

$$t' = \frac{N_i - N'_i}{q_i \cdot b_i} = \frac{60 \cdot 0,125 - 0,49}{9 \cdot 2} = 0,38 \text{ мин.}$$

Тогда время выхода людей с участка i составит $t_i = t_i^{\text{СК}} + t' = 0,32 + 0,38 = 0,7$ мин, а с участка j , как было установлено ранее, $t_j = 0,32$ мин.

Пример 6. Количество людей, формирующих скопление

Требуется определить количество людей, которые будут формировать скопление людей. Параметры движения людей на этажах следующие: количество людей – $N_{\text{эт}} = 60$ чел., ширина выхода с этажа в лестничную клетку $b_{\text{эт}} = 1,2$ м, интенсивность выхода людей через проем $q_{\text{эт}} = 14$ м/мин. Длина пути по лестнице между этажами $\Delta l_{\text{л}} = 10$ м, ширина лестничного марша $b_{\text{л}} = 1,35$ м (рис. ПЗ.9). Площадь горизонтальной проекции эвакуирующихся $f = 0,125 \text{ м}^2$.

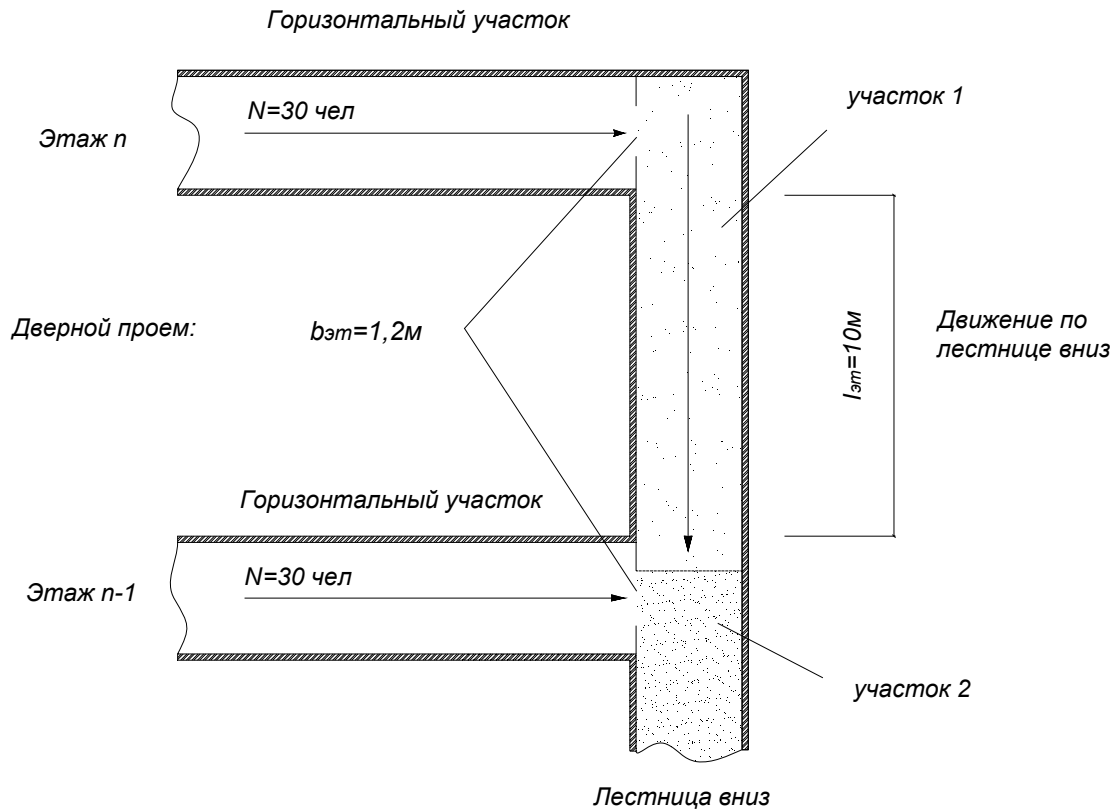


Рис. ПЗ.9. Исходная ситуация

Решение

Параметры движения людей на лестнице.

Участок 1. $q_{л} = \frac{q_{эт} b_{эт}}{b_{л}} = \frac{14 \cdot 1,2}{1,35} = 12,44$ м/мин, скорость движения лю-

дей по лестнице составит $V_{л} = 60,33$ м/мин. Тогда эвакуирующиеся пройдут путь между этажами за время $\Delta t_{л} = \Delta l_{л} / V_{л} = 10 / 60,33 = 0,17$ мин.

Время эвакуации с этажа $t_{эт}$ при беспрепятственном движении потока по лестнице вниз составило бы:

$$t_{эт} = N_{эт} f / b_{эт} q_{эт} = 60 \cdot 0,125 / 1,2 \cdot 14 = 0,446 \text{ мин.}$$

Поскольку $\Delta t_{л} < t_{эт}$, то на лестнице (на границе участка 2) происходит слияние людских потоков.

Участок 2. Происходит слияние людских потоков:

$$q_{л} = \frac{2q_{эт} b_{эт}}{b_{л}} = \frac{2 \cdot 14 \cdot 1,2}{1,35} = 24,9 \text{ м/мин,}$$

что больше максимальной интенсивности движения по лестнице вниз, равной 16 м/мин. Следовательно, в месте слияния людских потоков, выходящих с этажа и спускающихся по лестнице, образуется скопление людей и задержка движения. Количество людей, которые попадут в скопление, определяется исходя из количества людей, которые успеют выйти с этажа $n-1$.

Определим количество людей N' , которое успеет выйти с этажа до момента образования скопления в момент $\Delta t_{\text{л}} = 0,17$ мин.

$$N' = q_{\text{эт}} b_{\text{эт}} \Delta t_{\text{л}} = 14 \cdot 1,2 \cdot 0,17 = 2,86 \text{ м}^2 = 22,8 \text{ чел.}$$

Тогда общее количество людей, которое будет формировать в этот момент скопление на уровне каждого этажа (кроме нижнего), составит

$$N_{\text{ск}} = 2(0,125N_{\text{эт}} - N') = 2(60 \cdot 0,125 - 2,86) = 9,28 \text{ м}^2 = 74,2 \text{ чел.}$$

(принимаем 75 чел.).

При этом следует учитывать долю участия потоков в образовании общего потока с максимальной плотностью: $\gamma_{\text{эт}} = 1,2 / 2,55 = 0,471$; $\gamma_{\text{л}} = 0,529$. Следовательно, время эвакуации ($\Delta t_{\text{эт}}$) оставшихся людей с этажа $\Delta N_{\text{эт}} = f(N_{\text{эт}} - N') = 0,125(60 - 22,8) = 4,65 \text{ м}^2$ или 37,2 чел. при образовании максимальной плотности на лестнице с $q_{D_{\text{max}}} = 7,2 \text{ м/мин}$ составит

$$\Delta t_{\text{эт}} = \Delta N_{\text{эт}} / \gamma_{\text{эт}} b_{\text{эт}} q_{D_{\text{max}}} = 4,65 / (0,471 \cdot 1,2 \cdot 7,2) = 1,14 \text{ мин,}$$

а общее время эвакуации этажа

$$t_{\text{эт}} = \Delta t_{\text{эт}} + \Delta t_{\text{л}} = 1,14 + 0,17 = 1,31 \text{ мин.}$$

Таким образом, время эвакуации людей с этажа увеличилось из-за образования скопления на лестнице на 0,86 мин или в 2,9 раза.

Части потоков с максимальной плотностью, двигаясь по лестнице вниз между этажами со скоростью 8 м/мин, достигнут ниже расположенных этажей через 1,25 мин, т. е. практически догонят замыкающую границу предыдущей части потока с такой же плотностью. Вся лестница (кроме последнего этажа) оказывается заполненной потоком максимальной плотности.

Пример 7. Параметры людского потока на участке пути после образования на его границе скопления людей

Необходимо определить параметры движения людей q_{i+1} , V_{i+1} , D_{i+1} на участке $i+1$ с учетом образовавшегося скопления $D_i = 0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$ на границе между участками i и $i+1$ (рис. ПЗ.10). Участки пути горизонтальные.

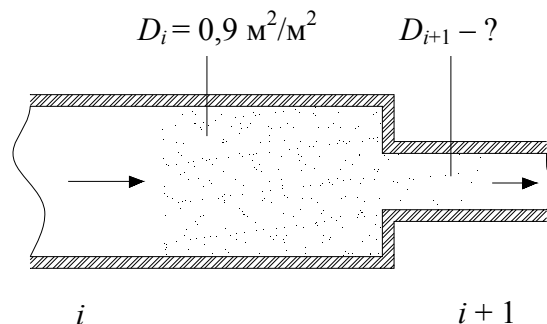


Рис. ПЗ.10. Исходная ситуация

При образовании на границе участков пути скопления людей возможны два варианта дальнейшего развития процесса.

Вариант 1. Переходя на последующий после скопления участок пути, свободный от людей, людской поток сохраняет параметры движения, сформировавшиеся на предшествующем участке, т. е. максимальную плотность – $D_{i+1,max}$ и соответствующие ей скорость $V_{i+1} = V_{Dmax}$ и интенсивность движения $q_{i+1} = q_{Dmax}$. Именно такая модель развития процесса предусматривается ГОСТ 12.1.004–91*: «...интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути $[i+1]$ определяют по табл. 2 при значении $D = 0,9$ и более», т. е. $D_{i+1} = 0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_{i+1} = 15 \text{ м/мин}$ (рис. ПЗ.11).

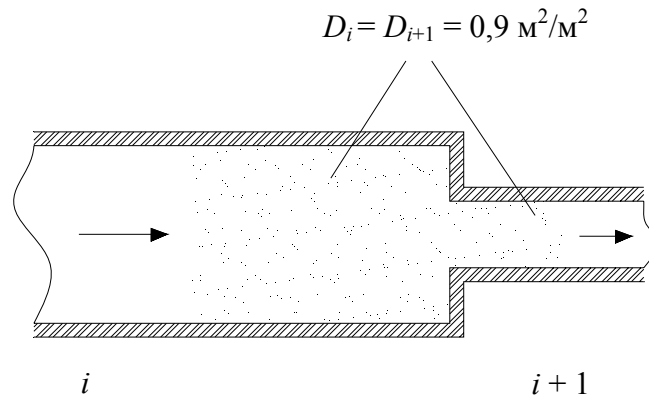


Рис. ПЗ.11. Параметры людского потока на участке пути после образования скопления людей на его границе, согласно положениям ГОСТ 12.1.004–91*

Вариант 2. Переходя на последующий после скопления участок пути, люди, имея перед собой свободное пространство, увеличивают скорость своего движения. Количество людей, которое переходит на участок $i+1$ в единицу времени Δt (в минуту) через каждый метр границы между участками i и $i+1$ определяется интенсивностью движения людского потока, выходящего с участка i . Таким образом, в этом варианте, также как и в первом, $q_{i+1} = q_i = q_{Dmax}$ и количество людей, которое может оказаться на участке $i+1$ за время Δt (величина потока $P_{i+1} = q_{i+1}b_{i+1}$), определяется пропускной способностью границы участка $Q_i = q_i b_{i+1} = D_{i+1}$, $P_{i+1} = Q_i$. Иными словами можно сказать: предшествующий участок является для рассматриваемого участка $i+1$ источником людского потока – $N_{\Delta t} = Q_i \Delta t$. Вопрос состоит в том, как поведут себя эти люди, оказавшись на свободном участке $i+1$? В данном случае рассматривается вариант поведения, при котором люди, имея свободное пространство, могут увеличить скорость своего движения и благодаря этому удаляться от границы участков на расстояние Δl_{i+1} , гораздо большее, чем то, на которое они успели бы уйти, двигаясь с прежней скоростью V_{Dmax} . В результате, плотность размещения людей ($N_{\Delta t}$), успевших перейти за время Δt на участок $i+1$, значительно снизится, до значения $D_{i+1} = N_{\Delta t} / b_{i+1} \Delta l_{i+1}$. Раскроем это соотношение:

$$D_{i+1} = b_{i+1} q_{Dmax} \Delta t / b_{i+1} V_{i+1} \Delta t = q_{Dmax} / V_{i+1}.$$

Отсюда $D_{i+1}V_{i+1} = q_{D\max}$.

Этому соотношению на горизонтальных путях при движении повышенной активности соответствуют (табл. 2 ГОСТ 12.1.004) значения $D_{i+1} = 0,27 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $V_{i+1} = 50,8 \text{ м/мин}$ (см. рис. 2.6), т. е. происходит разуплотнение людского потока (рис. ПЗ.12).

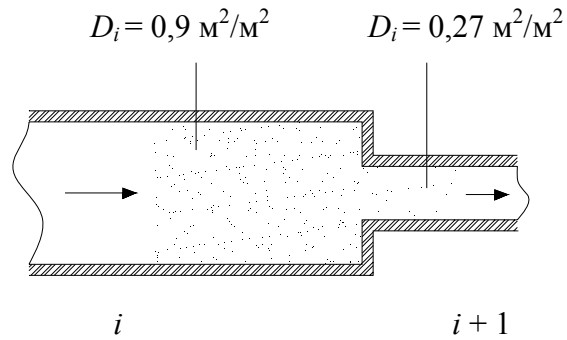


Рис. ПЗ.12. Параметры людского потока на участке пути при его разуплотнении после образования скопления людей на границе смежных участков

Глава 4. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Введение

Эксплуатация зданий, сооружений любого назначения и прилегающей к ним территории должна обеспечивать условия, необходимые для реализации жизненных, духовных и социальных потребностей человека, зависящих от его возраста, психофизиологического состояния и процессов жизнедеятельности, для осуществления которых предназначено каждое конкретное здание или сооружение. Первостепенной жизненной потребностью человека (витальной – от лат. *vitalis*) является обеспечение безопасности его жизни и здоровья. Система возможных угроз жизни и здоровью людей, находящихся в зданиях, показаны [112, 113] на рис. 4.1. Угрозы взаимосвязаны между собой, одна угроза может вызвать другую угрозу или целый их спектр.



Рис. 4.1. Угрозы для людей, находящихся в здании

Природные и антропогенные угрозы могут вызвать техногенные угрозы. Следствием реализации перечисленных угроз могут быть различного рода

опасности. Распространение вредных химических, биологических или радиоактивных веществ через системы воздухообмена или водоснабжения может вызвать, соответственно, химические, биологические и радиационные угрозы жизни и здоровью людей. Аварии в инженерных системах могут быть следствием как природных явлений, так и антропогенных угроз. Аварии инженерных систем, в свою очередь, могут привести к механическим, электрическим угрозам и вызвать пожар. Пожар, который может быть и следствием неосторожного обращения с огнем, короткого замыкания в электропроводке, неисправности электрического прибора, аварии, поджога или взрыва, может привести к химическим и термическим поражениям людей. Он может нарушить несущую способность конструкций здания и привести к обрушению, которое может, в свою очередь, перерасти в прогрессирующее обрушение и полное разрушение всего здания.

Объемно-планировочная структура и конструктивная система здания (сооружения), системы его инженерного оборудования и специальные системы защиты должны обеспечивать безопасность человека в здании (сооружении) в течение всего времени его вероятного нахождения в здании при воздействии опасных факторов чрезвычайных ситуаций. Но ни одна страна мира не имеет таких технических средств и сил, которые могли бы с абсолютной надежностью гарантировать безопасность длительного пребывания людей в зданиях во время этих ситуаций, поэтому нормы всех стран мира предусматривают необходимость эвакуации людей из зданий в чрезвычайных ситуациях.

Проектирование и строительство зданий должны осуществляться таким образом, чтобы обеспечить максимальную вероятность безопасной эвакуации людей из здания в случае неизбежности реализации этих угроз и минимизировать материальные потери. Поэтому возникает необходимость ввести в строительные нормы и правила определенные требования, направленные на достижение этих целей, прежде всего, к эвакуационным путям при пожаре, как наиболее распространенном виде чрезвычайных техногенных ситуаций.

4.1. ИСТОРИЯ НОРМИРОВАНИЯ РАЗМЕРОВ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ И ВЫХОДОВ

Нормативные требования к путям эвакуации формировались на протяжении более 100 лет по мере развития понимания процесса движения людского потока, закономерностей поведения людей, исследований динамики опасных факторов и совершенствования технических систем и средств защиты людей от их воздействия, расширения перечня учитываемых угроз чрезвычайных ситуаций. Первое использование параметров движения людских потоков для нормирования размеров коммуникационных путей

удалось обнаружить [36] в Петербургских строительных правилах 1886 г. и в Лондонских правилах 1892 г. В них устанавливалась норма «количества человек на единицу ширины пути (метр, фут)» или, наоборот, устанавливалась требуемая ширина пути на определенное количество людей, что несколько отличалось по форме, но совершенно идентично по смыслу. Однако количественное выражение такой нормы в этих, как и последующих, документах отличается в несколько раз.

Предельная длина пути нормирована в России впервые Ленинградскими правилами 1928 г. (для зрелищных зданий) и ОСТ 4488. Подобными нормами (количество людей на единицу ширины пути и его предельно допустимая длина) на протяжении многих лет пользовались и другие страны.

Однако после исследований, проведенных институтом архитектуры Всероссийской академии художеств [36], для специалистов стало очевидно, что такие показатели, как «число выходов», «ширина выхода», «расстояние до выхода» и т. п., которые регулируются нормами многих стран, «являются существенными для проектирования средств защиты от пожара, но они не являются фундаментальными принципами. Эти принципы могут быть более полно выражены в терминах «время» и «поведение людей»...[114]. Установлению закономерностей, выражающих эти «фундаментальные принципы», и были посвящены длительные и многотрудные исследования российских ученых (см. предыдущие главы). На их основе была решена [67] впервые поставленная задача: «разработать новые нормы проектирования путей и времени эвакуации людей в случае пожара из жилых, общественных и промышленных зданий с целью повышения безопасности людей и устранения излишних ограничений, вызывающих неоправданное удорожание строительства» [13]. Была принята двухуровневая система нормирования эвакуации людей и размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях при пожаре.

Первый уровень содержал критерии безопасности людей при эвакуации, основные психофизиологические и кинематические закономерности движения людских потоков (см. гл. 1), значения необходимого времени эвакуации (см. гл. 1, прил. 1.1) для ее последовательных этапов в здании (из помещений, с этажа, по лестницам, из всего здания). Эти основные положения (принципы) вошли в приложение 1 «Определение расчетного и необходимого времени эвакуации» СНиП II–2–80 [19].

Поскольку расчетный метод нормирования эвакуации вводился впервые, и существовали сомнения в достаточной подготовленности к необходимым расчетам проектировщиков-архитекторов, то эти основные положения вводились в нормирование в очень сжатой и упрощенной форме: минимум простейших формул, закономерности – только детерминированные и только в табличном виде, вероятные значения необходимого времени – только

однозначные. Такой подход был, по-видимому, оправдан существующими в то время обстоятельствами, но ограничен в возможности полноты воспроизведения сложных процессов реальных ситуаций. Тем не менее, это был прорыв к гибкому нормированию. Наконец появилась возможность проектирования эвакуационных путей и выходов, обоснованного критериями безопасности людей, закономерностями поведения людей и динамики опасных факторов пожара, вместо неизвестно как нормируемых размеров [115, 116].

Документами второго уровня стали строительные нормы и правила проектирования зданий конкретного функционального назначения [51, 52, 53, 117, 118, 119]. В этих нормах приведены максимальные значения расстояний до эвакуационных выходов из помещений, затем – до эвакуационных выходов с этажа, расчетное число людей на 1 м ширины эвакуационного пути и выходов. Приведенные значения зависят от образующихся при эвакуации плотностей людских потоков, степени огнестойкости зданий, объема помещений и их категории по взрывопожарной опасности (для промышленных зданий) и класса конструктивной пожарной опасности зданий. Но в них не приводятся временные параметры ($t_{нб}$), поскольку они содержались в СНиП II–2–80 (см. прил. 4.1).

Однако затем произошли коренные изменения в структуре нормирования:

- определение расчетного времени эвакуации (раздел 1 приложения 1 СНиП II–2–80) полностью перешел во впервые разработанный ГОСТ 12.1.004–91 [5];

- раздел 2 «Необходимое время эвакуации» СНиП II–2–80 (см. прил. 4.1) перестал существовать, поскольку в ГОСТ 12.1.004–91 для описания динамики распространения опасных факторов пожара вместо него были использованы формулы интегральной модели;

- СНиП 21–01–97* [6], лишившись основополагающих закономерностей движения людских потоков, лишь декларирует (п. 6.1) требования своевременной и беспрепятственной эвакуации и не содержит количественных критериев их обеспечения, без чего эти требования превращаются в пустой лозунг, допускающий его ошибочные и превратные толкования;

- нормы размеров эвакуационных путей и выходов в главах на проектирование отдельных видов зданий, установленные в соответствии со значениями необходимого времени эвакуации ликвидированного раздела 2 приложения 1 СНиП II–2–80, продолжают существовать в неизменном виде. Однако без такого обоснования даже форма представления норм становится некорректной: пропускная способность 1 м ширины пути или выхода без указания времени эвакуации через нее становится бессмысленной [36], так же как и нормируемая длина путей эвакуации (см. прил. 4.2);

– значения необходимого времени эвакуации, определенные по формулам приложения 2 ГОСТ 12.1.004, в большинстве случаев не будут совпадать со значениями, приведенными в таблицах СНиП II–2–80, следовательно, и назначаемые в соответствии с ними предельные расстояния будут иными при тех же плотностях людских потоков. Поэтому имеется постоянное скрытое противоречие между ГОСТ 12.1.004 и СНиП на проектирование зданий и сооружений различного назначения.

– основные положения количественного описания закономерностей движения людских потоков, дословно заимствованные ГОСТ 12.1.004 (приложение 2) из СНиП II–2–80, для решения поставленных ГОСТ задач должны быть развиты, чего не было сделано.

В то же время достаточно очевидно выявляются и следующие недостатки ГОСТ 12.1.004:

– отсутствие оценки вариантов поведения людей до начала эвакуации, если пожар возник не в том помещении, где они находятся;

– отсутствие возможности определять своевременность и беспрепятственность эвакуации с учетом возраста и физического состояния людей, чего требует СНиП 21–01–97: «возможность эвакуации людей независимо от их возраста и физического состояния наружу на прилегающую к зданию территорию (далее – наружу) до наступления угрозы их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара»;

– отсутствие учета возможности не только пешеходной эвакуации;

– отсутствие сформировавшихся понятий о составе зон безопасности для людей в здании и требований к ним при поэтапной или частичной эвакуации из зданий;

– отсутствие каких-либо соображений об обеспечении безопасности людей на территории, прилегающей к зданию и отсутствие расчетных параметров движения людских потоков на этой территории;

– отсутствие в этой методологии оценки риска гибели или травматизма людей при пожаре в конкретном здании и отсутствие учета беспрепятственности эвакуации при оценке рисков.

4.2. РАЗВИТИЕ НОРМИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ

Нормирование процесса эвакуации в нормах строительного проектирования выполняло, фактически, вспомогательную, хотя и важнейшую, роль основы для нормирования размеров эвакуационных путей и выходов, обеспечивающих своевременность и беспрепятственность эвакуации людей и проверки выполнения этих требований при отсутствии таких норм для проектируемых зданий. При этом принималось, как отмечалось в гл. 1,

начало распространения опасных факторов в фазе интенсивного пожара, т. е. с момента самоускорения горения (прил. 1.1), а не с момента его начала.

Основное же назначение использования закономерностей процесса эвакуации в ГОСТ 12.1.004 – получение оценки вероятности безопасной эвакуации людей по эвакуационным путям при имеющихся объемно-планировочных решениях. Изменение роли процесса эвакуации требует и более полного использования его закономерностей, чего, однако, не сделано. Единственным новым шагом в этом направлении является впервые введенный в ГОСТ 12.1.004 показатель времени начала эвакуации « $t_{н.э.}$ – интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин». Введением этого показателя переносится точка отсчета времени эвакуации людей $t_{эв.}$. Но определение величины $t_{н.э.}$ оказалось весьма сложной задачей из-за отсутствия необходимых данных.

Структура требований своевременной и беспрепятственной эвакуации людей (гл. 1, формулы (1.8), (1.9)):

- своевременность эвакуации – $t_{н.э.} + \sum t_{р.і} \leq t_{нб.}$,
- беспрепятственность эвакуации – $P_i \leq Q_i$

определяет последовательность анализа имеющихся результатов, необходимых для развития нормирования.

4.3. ВРЕМЯ НАЧАЛА ЭВАКУАЦИИ

Положение ГОСТ 12.1.004: «Значение времени начала эвакуации $t_{н.э.}$ для зданий (сооружений) без систем оповещения вычисляются по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При наличии в здании систем оповещения о пожаре значение $t_{н.э.}$ принимают равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности. При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях (сооружениях) без систем оповещения величину $t_{н.э.}$ следует принимать равной 0,5 мин – для этажа пожара и 2 мин для вышележащих этажей» [6, приложение 2], что, как показывают данные даже первых исследований поведения людей до начала эвакуации (см. гл. 1), следует считать оптимистичным, но необоснованным.

После первых исследований Вуда [24, 120] схожие исследования были проведены в США [121–124], в Великобритании [125, 126], в России [27]. Эти исследования внесли значительный вклад в понимание поведения людей при пожаре. Но они дали количественно различающиеся данные, например, приведенные в табл. 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

**Действия людей при получении сигнала «Пожар!» [24]
в зданиях различного назначения (с преобладанием жилых зданий)**

Характер действий людей при пожарах	Первые действия опрошенных, %
Тушить пожар	14,9
Исследовать ситуацию	12,2
Позвонить в пожарную охрану	10,2
Оповестить окружающих	8,1
Покинуть здание	7,9
Исследовать источник пожара	5,6
Увести членов семьи	5,4
Закрыть двери, оказать помощь окружающим, собрать вещи, выключить газ/электричество, одеться, бездействовать	35,7

Таблица 4.2

Действия людей при получении сигнала «Пожар!» в общественном здании [27]

Характер действий людей при пожарах	Первые действия опрошенных, %
Эвакуация имущества	3
Спасение членов семьи, окружающих	–
Оповещение администрации, других людей	25
Уход, бегство	14
Призыв о помощи	–
Участие в тушении пожара	–
Сообщение о пожаре в пожарную охрану	–
Сбор личных вещей, одевание	20
Сбор материальных ценностей, отключение электроэнергии	20
Пломбирование сейфов, закрытие и открывание окон, дверей	6
Попытка узнать причину пожара	2
Бездействие	10

Очевидность влияния многих факторов на формирование поведения людей в конкретной обстановке определила расширение сферы исследований [127]. На Западе сформировалось направление исследований, посвященных поведению человека при пожаре (Human Behavior in Fires), которое регулярно (ориентировочно – раз в 4 года) проводит международные семинары по этой тематике. В рамках этих исследований было построено несколько моделей поведения людей в начале пожара. Примерами могут служить модели, представленные на рис. 4.2–4.4. Их анализ показывает, прежде всего, различие в исходных позициях авторов. Попытка объединить различные моделируемые аспекты поведения человека привела зарубежных исследователей к формулированию концептуальной модели,

названной «Человек – Среда – Пожар» (рис. 4.5). В рамках концепции утверждается, что «получаемая человеком информация и его действия обусловлены организационными и социальными факторами, а также физическими условиями, в которых он находится в зависимости от размещения в пространстве» [128]. Таким образом, можно говорить о том, что окружающая среда во многом будет обуславливать деятельность человека при пожаре.

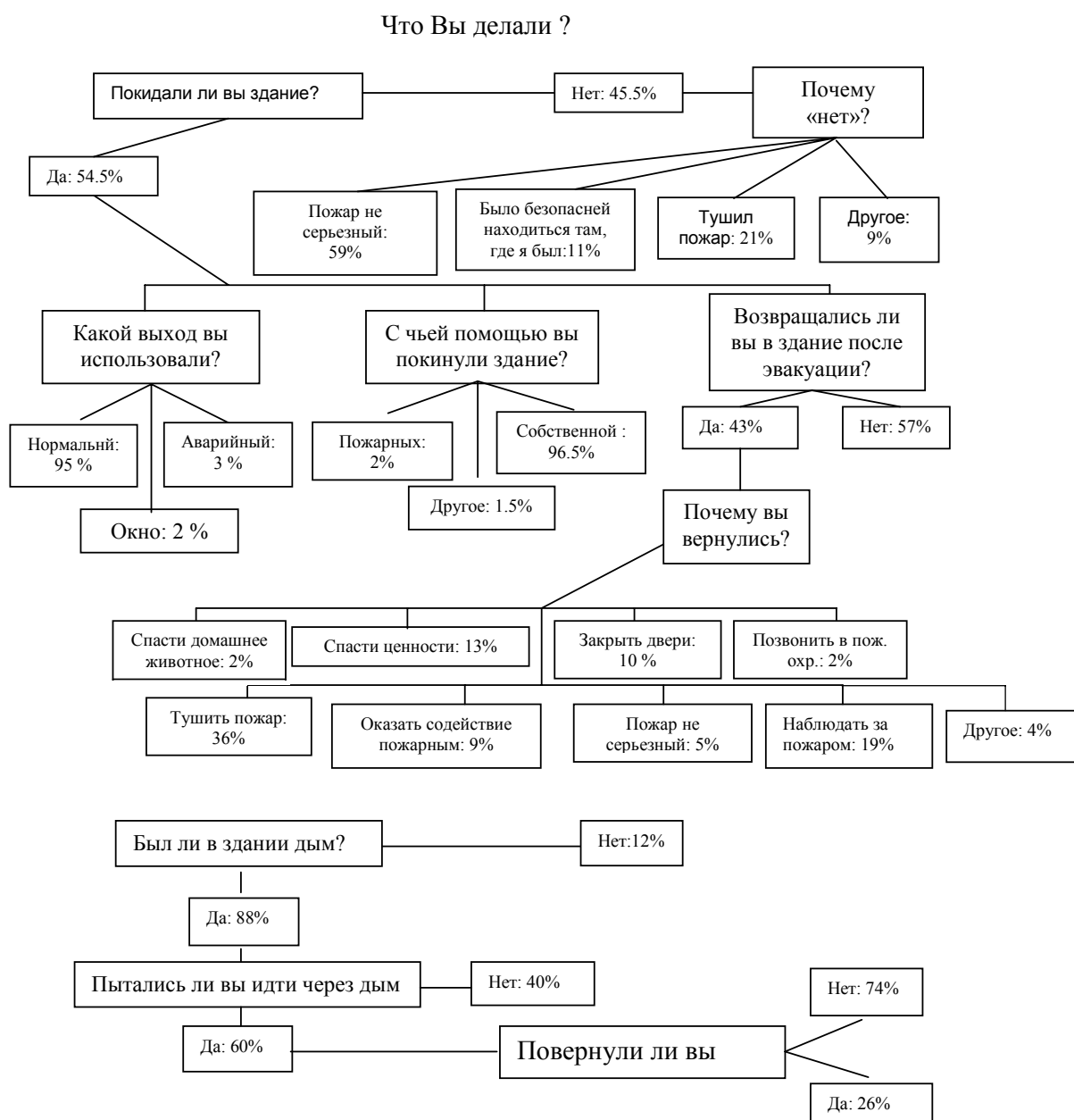


Рис. 4.2. Модель последовательности первых действий людей [24]

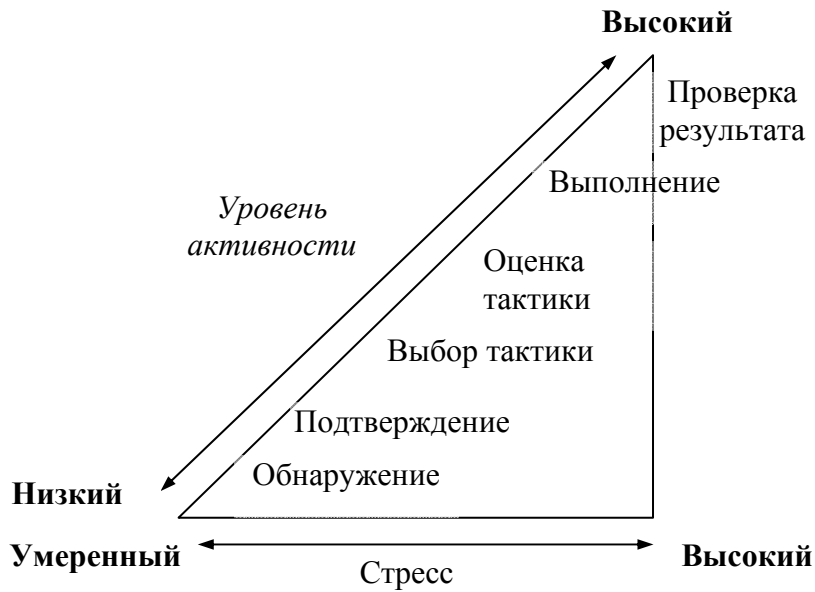


Рис. 4.3. Динамика поведения человека при пожаре, предложенная в [124]



Рис. 4.4. Модель поведения человека при пожаре [127]

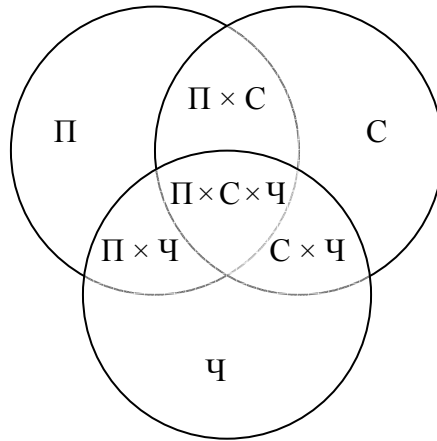


Рис. 4.5. Взаимодействие «Пожар (П) – Среда (С) – Человек (Ч)» [128]

В России подобная концепция была высказана гораздо раньше [129], причем она опиралась на апробированные положения психологии безопасности [130] и была более детализирована (рис. 4.6).

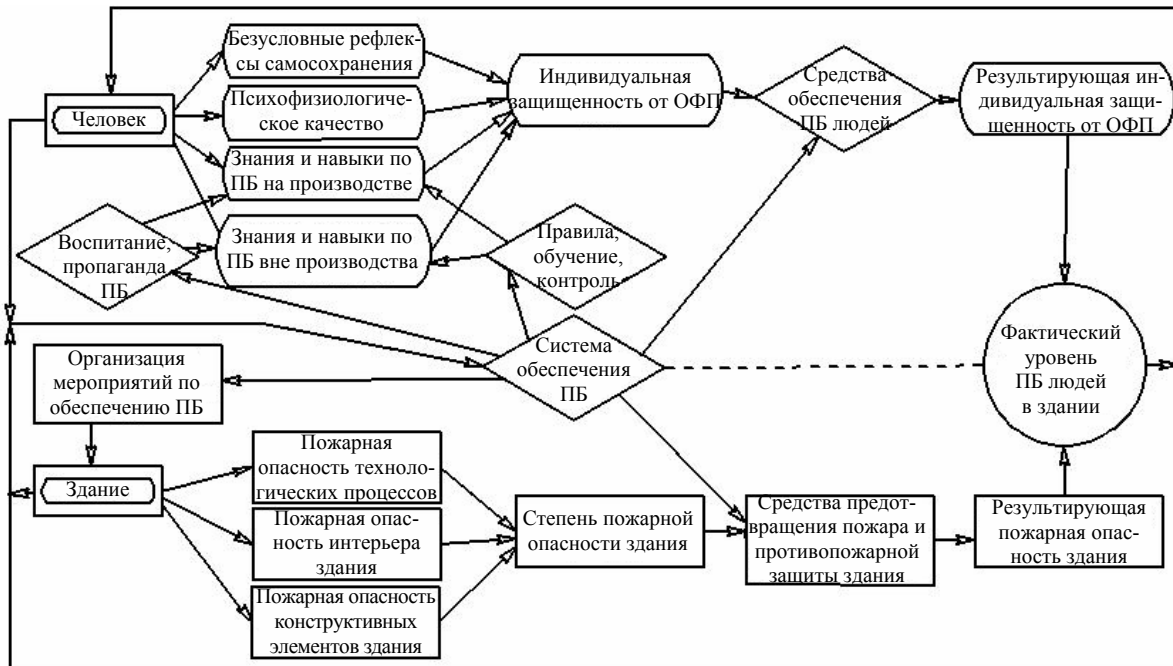


Рис. 4.6. Блок-схема факторов, определяющих безопасность людей при пожаре в здании [130]

«В схеме выделяются, с одной стороны, человек, с другой – внутренняя среда здания. Внутренняя среда в данном случае – обобщенное понятие пространства, в котором возникает пожарная опасность и где человек подвергается воздействию опасных факторов пожара. Но внутренняя среда – это не только геометрическое пространство, но и его оборудование, строительные конструкции и отделка, это и продукты, обращающиеся в производстве, и системы, обеспечивающие производство и параметры искусственно

созданной среды, ограждением которой является здание. Для защиты человека от пожарной опасности, возникающей во внутренней среде, предусмотрена система противопожарной безопасности, включающая в себя целый комплекс воздействий на внутреннюю среду и на человека, направленных на предупреждение возникновения пожаров, борьбу с ними и предупреждение несчастных случаев.

Во взаимодействии этих трех систем складывается фактический уровень пожарной безопасности... Даже в том случае, когда пожарная опасность возникает независимо от деятельности человека, его безопасность не может считаться результатом случая или только стихии пожара, поскольку высокие приспособительные и творческие возможности человека нередко позволяют ему своевременно обнаружить опасность и находить возможности, способы противостоять им в самых, казалось бы, безвыходных ситуациях. Эти способности человека имеют особое значение в начальной стадии развития пожара, когда само загорание и интенсивное развитие опасных для жизни людей факторов пожара при распространении загорания еще не контролируются и не подавляются активными средствами автоматической противопожарной защиты» [129].

Концепция многофакторной обусловленности поведения людей при пожаре, даже с учетом того, что в здании человек является не только защищаемой стороной, но и активной составляющей «причины пожарной опасности, от последствий которой он вынужден защищаться» [129], нашла в России и нормативное воплощение: СНиП 21–01–97* установил классификацию зданий и помещений по функциональной пожарной опасности «в зависимости от способа их использования и от того, в какой мере безопасность людей в них... находится под угрозой, с учетом их возраста, физического состояния, возможности пребывания в состоянии сна, вида основного функционального контингента и его количества» (п. 5.21).

Однако несмотря на все это, количественные показатели, оценивающие влияние на время до начала эвакуации многочисленных факторов, в СНиП отсутствуют; нелегко их обнаружить и в зарубежных публикациях.

В рамках проведенного анализа несомненный интерес представляет «PD 7974–9:2004. Официальный документ. Применение принципов инженерной пожарной безопасности к проектированию пожаробезопасного здания. Часть 6. Человеческий фактор: стратегия обеспечения безопасности людей – эвакуация людей, поведение при пожаре и состояние человека (подсистема 6), 2004 г.» [131]. В нем содержится таблица «Предполагаемое время начала эвакуации для разных сценариев эвакуации, мин», приведенная в прил. 4.3.

Проблемы безопасности людей с различными физическими отклонениями при пожаре впервые были обсуждены на национальной конференции в США в начале 80-х [132, 133]. Исследования времени, которое необходимо таким людям для того, чтобы подготовиться к эвакуации,

подтвердили большую продолжительность периода подготовки к эвакуации людей с физическими ограничениями по сравнению со здоровыми людьми [134–138]. Внимание зарубежных исследований уделялось также и детям [139, 140].

Исследованиями [141–143] влияния различных типов систем оповещения на поведение людей при пожаре показано, что в случае предоставления детальной информации и инструкций можно ожидать более низкое значение времени начала эвакуации и более безопасную эвакуацию. Исследования также показали, что подготовка персонала и лиц, ответственных за пожарную безопасность, существенно влияет на уменьшение времени задержки начала эвакуации, которое, вообще говоря, может варьироваться от 0,5 до 24,0 мин. Установлено, что на это время влияет и наличие социальных связей. Влияние сирены пожарной сигнализации было исследовано в ряде экспериментов [144]. Установлено, что большинство взрослых в нормальном состоянии (не находящихся под действием снотворных и т. п.) способны проснуться под действием сирены громкостью 55–60 дБ; пробуждение детей (особенно 6–10 лет) менее вероятно.

Совершенно очевидно, что сенсорные возможности человека своевременного дистанционного обнаружения пожара весьма ограничены и зависят как от его местоположения относительно возникшего пожара, так и от его физического и психического здоровья и физиологического состояния, прежде всего, от того, спит он или бодрствует. Ранее обнаружение пожара техническими средствами и заблаговременное оповещение являются первостепенной задачей повышения противопожарной безопасности людей в зданиях и сооружениях. В настоящее время большинство зданий должно быть оборудовано автоматическими установками пожарной сигнализации (АУПС) и системами оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ). Рассмотрим, что происходит при возникновении пожара в здании, оснащённом АУПС и СОУЭ, рис. 4.7.

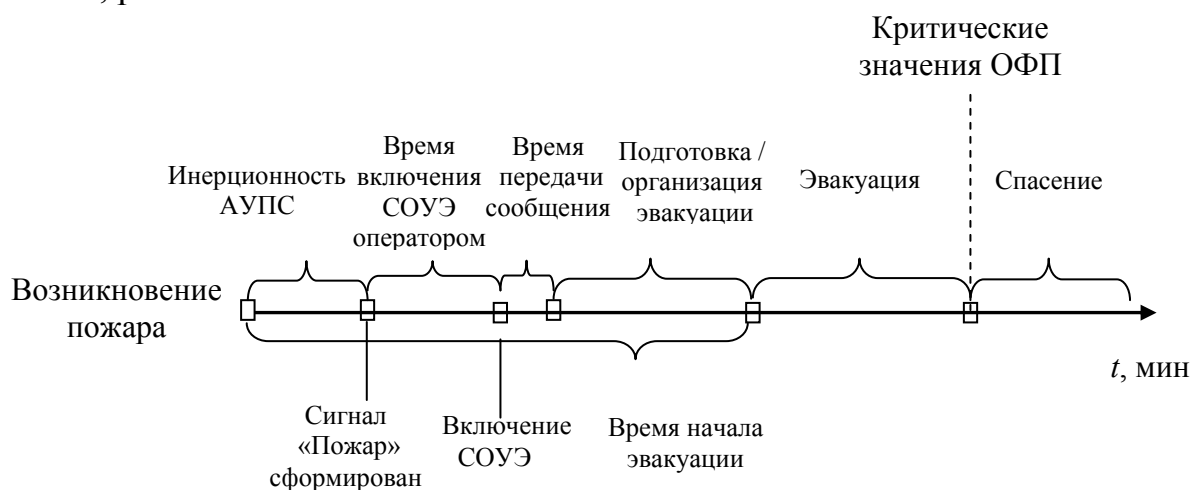


Рис. 4.7. Интервалы затрат времени при возникновении пожара

Схема на рис. 4.7. показывает, что до того, как человек узнает о пожаре, проходит определенное время, которое зависит от технической инерционности системы оповещения и организационных мероприятий на объекте. Инерционность систем оповещения имеет две составляющие: техническую и организационную. Характеристики технической составляющей инерционности приведены (по данным [145]) в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Техническая инерционность пожарных извещателей

Вид пожарного извещателя	Характеристики	Время обнаружения	Время инерционности
Тепловой	Не позволяет обнаружить пожар на ранней стадии	Математические модели пожара	30–180 с
Дымовой	Позволяет обнаружить пожар на ранней стадии. Наиболее эффективны аспирационные	Расчетные формулы приведены в справочных и учебных пособиях	5–10 с
Радиоизотопный Фотоэлектрический Аспирационные		Нет данных	
Извещатели пламени (световые)	Позволяет обнаружить пожар на ранней стадии	Нет данных	> 1 с
Газовый	Позволяет обнаружить пожар на ранней стадии	Математические модели пожара	> 1 с
Комбинированный , наиболее распространены дымо-тепловые	Позволяет обнаружить пожар на ранней стадии	Нет данных	Недостаточно данных

Организационная составляющая инерционности заключается в том, что оператор, получив сигнал «Пожар!» от систем пожарной автоматики, как показывает практика, не будет немедленно включать систему оповещения. Это связано с желанием, а зачастую и с ведомственным требованием, перепроверить сигнал и при его достоверности доложить лицу, принимающему решения, так как сам оператор, как правило, по ряду причин не принимает самостоятельно решение об эвакуации объекта. Причем если это должностное лицо не удастся застать на месте, то такую ситуацию становится невозможно спрогнозировать. Таким образом, суммарная продолжительность организационной составляющей будет зависеть от времени проверки сообщения; времени передачи сообщения принимающему решению; времени, требуемого ему для принятия решения и передачи указания оператору на включение СОУЭ. Затраты времени на передачу сообщения можно оценить по данным (табл. 4.4), приведенным в МГСН 4.16–98 [146].

Время передачи сообщения о пожаре

Устройство связи	Радиа	Селектор	Громкоговорящая связь	Телефон	
				с 3-значным номером	с 7-значным номером
Время передачи сообщения, с	8	16	15	22	24

Следует также учитывать время, затрачиваемое человеком на восприятие текста сообщения. Как правило, длительность сообщения о пожаре составляет около 20–25 с (из которых 6–8 с подается сигнал для привлечения внимания и 14–17 с – собственно текст). При этом, как показывают наблюдения, люди приступают к активным действиям, прослушав сообщение, как минимум, 2 раза.

Многие авторы получили данные, подчеркивающие, что информация о пожаре воспринимается скептически. Так, например, при видеоанализе результатов эвакуации [28] 2644 покупателей в торговых комплексах было установлено, что в подавляющем большинстве случаев, услышав сигналы СОУЭ, покупатели не предпринимали попыток покинуть здание до тех пор, пока им не сказали об этом служащие.

Таким образом, рассматривая инерционность систем АУПС и СОУЭ, очевидно, что время от возникновения пожара до момента начала оповещения людей о пожаре может превышать 5 мин. Среднее значение время задержки начала эвакуации (при наличии системы оповещения) может быть невысоким, но может достигать и относительно высоких значений. Например, значение 8,6 мин было зафиксировано при проведении учебной эвакуации в жилом здании [147], 25,6 мин – в здании Всемирного торгового центра при пожаре в 1993 г. [148].

Оповещение об опасности осуществляется либо специальными сигналами (типы 1 и 2 СОУЭ, согласно НПБ 104–03 [149]), либо словами, текстами (типы 3, 4, 5 СОУЭ). Тексты должны правильно восприниматься теми, кому они предназначены. Слабым местом существующих систем оповещения и управления эвакуацией является интерпретация сигналов, которая становится весьма ненадежной, если и оповещающие и оповещаемые недостаточно компетентны. Во избежание неправильной интерпретации сигналов необходимо, чтобы оповещающие получали информацию о реакции людей на сигнал тревоги, т. е. чтобы существовала своего рода обратная связь. Действительное (а не формальное) руководство действиями эвакуирующихся людей также требует «живой» связи, позволяющей корректировать действия эвакуирующихся. Очевидно, что такой связи не получить, пользуясь заранее написанными текстами. Также очевидно, что для оперативного руководства необходимо включать в СОУЭ (или использовать)

систему видеонаблюдения. Однако ни одна из предусмотренных НПБ 104–03 систем не обладает такими возможностями. Безусловно, человек, управляющий эвакуацией «вживую», должен обладать необходимой квалификацией, предусматривающей, прежде всего, его высокую психоаналитическую подготовку, позволяющую ему влиять на действия людей при различных вариантах развития процесса эвакуации. Анализ содержания текстов, рекомендуемых [27] для использования в автоматическом режиме транслирования, показывает их еще недостаточную психологическую проработанность.

Следует также учитывать, что автоматическое транслирование заранее записанных текстов может вместо пользы принести вред, например, из-за повреждений системы. Так известно, что во время террористического акта в Нью-Йорке 11 сентября 2000 г. система оповещения в одном из зданий Всемирного торгового центра продолжала передавать рекомендации не покидать рабочие места в то время, когда катастрофическая ситуация стремительно развивалась и соседнее здание уже обрушилось.

Рассмотренные результаты исследований поведения людей и влияния на величину времени начала их эвакуации многочисленных факторов (видов деятельности в зданиях различного назначения, возрастного состава находящихся в здании людей, их физического и физиологического состояния, инерционности систем обнаружения и оповещения) показывает, что время начала эвакуации должно нормироваться как случайная величина, поскольку только так становится возможным учет влияния перечисленных факторов на разброс его значений. Для примера на рис. 4.8 приведено распределение времени задержки начала действий по организации эвакуации персоналом торговых комплексов [28].

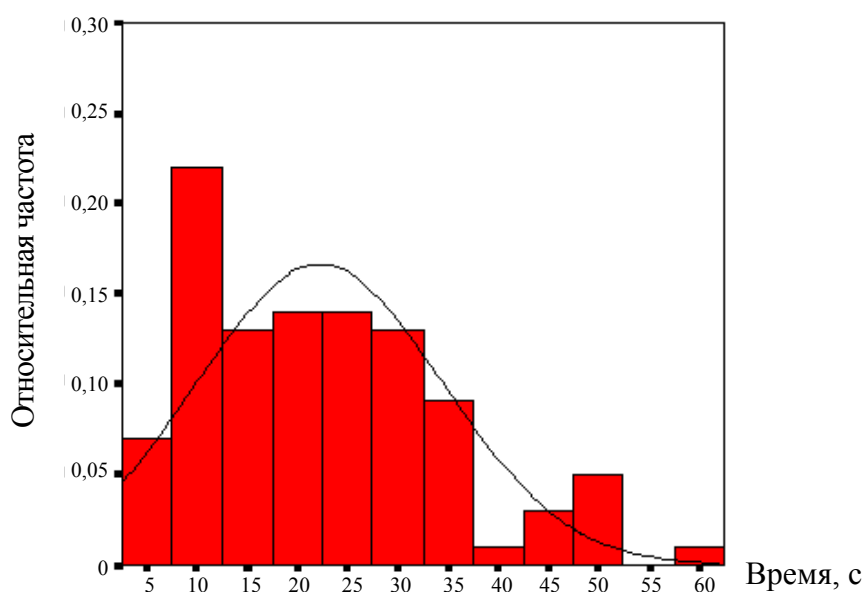


Рис. 4.8. Распределение времени задержки начала действий персонала торгового комплекса по организации эвакуации

Однако в настоящее время единственным документом (и не только в нашей стране), нормирующим время начала эвакуации людей $t_{н.э}$, как случайную величину, являются МГСН 4.19–2005 [102]. Случайная величина времени начала эвакуации характеризуется математическим ожиданием $m(t_{н.э})$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma(t_{н.э})$. В таком случае диапазон вероятных значений $t_{н.э}$ равен $m(t_{н.э}) \pm 3 \sigma(t_{н.э})$. Рекомендуемые значения $m(t_{н.э})$ и $\sigma(t_{н.э})$, впервые опубликованные в [150] и принятые МГСН 4.19 в качестве нормативных, приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Значения $m(t_{н.э})$ и $\sigma(t_{н.э})$ для помещений и зданий различного функционального назначения при известных [149] системах оповещения и управления эвакуацией

Функциональный тип помещений и характеристики населения	IV–V типа		II–III типа		I типа	
	$m(t_{н.э})$, мин	$\sigma(t_{н.э})$, мин	$m(t_{н.э})$, мин	$\sigma(t_{н.э})$, мин	$m(t_{н.э})$, мин	$\sigma(t_{н.э})$, мин
Жилые квартиры (апартаменты) для длительного проживания. Жильцы могут находиться в состоянии сна, но знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	4,0	0,5	5,0	0,5
Номера гостиниц. Жильцы могут находиться в состоянии сна, быть недостаточно знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	4,0	0,5	6,0	0,5
Магазины, выставки, досуговые центры и другие помещения массового посещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы с планировкой здания и структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	2,0	0,5	6,0	0,5
Административные, торговые и другие помещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	1,0	0,3	3,0	0,5	4,0	0,3

Примечание: m – математическое ожидание, σ – среднеквадратическое отклонение. Установлено, что время начала эвакуации подчиняется нормальному (гауссовскому) закону распределения. Тогда, например, для жилых квартир при наличии СОУЭ IV типа время начала эвакуации находится в диапазоне от $2,0 - 3 \cdot 0,5 = 0,5$ мин до $2 + 3 \cdot 0,5 = 3,5$ мин.

Эта таблица охватывает здания и помещения, возможные в комплексах высотных зданий. Для зданий и помещений других классов функциональной пожарной опасности могут быть разработаны по аналогии с этой таблицей свои нормативные значения $t_{н.э}$ как случайной величины, зависящей от комплекса соответствующих факторов.

Приведенные в табл. 4.5 данные позволяют учесть состояние человека (сон, бодрствование), знакомство с планировкой здания и другие факторы, влияющие на время начала эвакуации.

К сожалению, в нашей стране не проводятся целенаправленные исследования поведения людей в период с момента возникновения пожара до начала эвакуации.

4.4. РАСЧЕТНОЕ ВРЕМЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ

Расчетное время эвакуации людей t_p на каждом этапе эвакуации, представляющее собой сумму времени движения людского потока по участкам i маршрута эвакуации $t_p = \sum t_{p,i} = \sum l_i / V_i$ при принятых объемно-планировочных решениях здания зависит, как видно, от длины l_i участков, составляющих маршрут, и скорости движения по ним. Значение расчетной скорости свободного движения должно соответствовать психологическому состоянию людей в начале эвакуации и их физическим возможностям. Анализ эмоционального состояния людей перед началом эвакуации [67] показал корректность выбора категории движения «повышенная активность» (гл. 2) для построения расчетной зависимости между скоростью и плотностью людского потока в чрезвычайных ситуациях (интервал скорости свободного движения 1,5–2,0 м/с). Дополнительным аргументом в пользу такого решения служат данные судебной экспертизы (табл. 4.6), давно используемые при расследованиях дорожных происшествий [151].

Как видно из данных табл. 4.6, большинству людей разных возрастных групп достаточно идти при эвакуации быстрым шагом. Людям старше 60-ти лет необходимо для этого перейти на темп движения «спокойный бег», что на короткое время эвакуации вполне возможно.

Оценивалась и вероятность возникновения паники в начале эвакуации, проанализированная в гл. 1. При этом принимались во внимание и данные [152] о том, что по характеру реакции в опасной ситуации люди могут быть подразделены на следующие категории:

1) обученные или внезапные лидеры (15–20 %), которые быстро схватывают информацию об окружающей обстановке, оценивают ее на основе своего прошлого опыта и принимают решения, выражающиеся в рациональных действиях;

2) легко ведомые (около 50 %) – люди, правильно воспринимающие обстановку, но не способные принимать соответствующих решений; они легко поддаются влиянию и либо подчиняются чьему-либо лидерству, либо присоединяются к массовому бегству других людей;

3) зависимые (10–15 %) – люди, имеющие несовершенное восприятие и затрудненную реакцию, требующие чьего-либо руководства при определении своих реакций и действий;

4) неумелые и ошеломленные (10–20 %) – имеющие ослабленное восприятие и отличающиеся несоответствующими или иррациональными реакциями;

5) далекие от реальности (не более 1 %) – отличающиеся примитивным поведением с нелогичными реакциями или их полным отсутствием. Неспособные справиться с возникшими трудностями; они проявляют полный психологический отказ в реакции на изменяющуюся обстановку.

Таблица 4.6

Скорость людей в зависимости от темпа передвижения

Возрастная группа, годы	Пол	Число замеров	Быстрый шаг, интервал скорости, м/с	Средняя скорость, м/с	Число замеров	Спокойный бег, интервал скорости, м/с	Средняя скорость, м/с
До 7–8	М	23	1,50–1,81	1,63	28	2,00–2,89	2,36
	Ж	29	1,39–1,72	1,47	31	1,94–2,78	2,22
8–10	М	56	1,56–1,86	1,67	62	2,06–2,97	2,47
	Ж	54	1,44–1,78	1,53	53	2,00–2,86	2,33
10–12	М	43	1,58–1,92	1,72	46	2,11–3,08	2,58
	Ж	48	1,50–1,83	1,61	48	2,06–2,97	2,47
12–15	М	76	1,64–1,97	1,81	118	2,17–3,25	2,78
	Ж	78	1,56–1,89	1,69	75	2,14–3,11	2,64
15–20	М	38	1,67–2,17	1,89	12	2,99–3,61	2,86
	Ж	20	1,58–1,92	1,75	11	2,25–3,50	2,78
20–30	М	57	1,75–2,17	1,92	25	2,44–3,61	3,06
	Ж	72	1,67–2,06	1,83	47	2,36–3,56	2,94
30–40	М	51	1,75–2,17	1,89	29	2,28–3,33	2,94
	Ж	53	1,64–2,00	1,81	45	2,25–3,22	2,72
40–50	М	55	1,67–2,00	1,86	25	2,11–3,08	2,67
	Ж	74	1,53–2,00	1,69	41	2,11–2,94	2,47
50–60	М	46	1,50–1,89	1,67	15	1,94–2,78	2,39
	Ж	50	1,44–1,81	1,56	24	1,92–2,50	2,19
60–70	М	33	1,25–1,67	1,42	8	1,72–2,11	1,94
	Ж	42	1,25–1,56	1,36	17	1,72–2,08	1,89
Старше 70	М	19	1,00–1,39	1,17	20	1,42–1,81	1,56
	Ж	71	1,00–1,33	1,14	26	1,36–1,72	1,53
Пешеходы с протезом ноги	М	10	1,11–1,47	1,25	4	1,53–1,86	1,67
В состоянии опьянения	М	19	1,39–1,78	1,5	22	1,94–2,39	2,28
С ребенком за руку	Ж	28	1,31–1,53	1,53	16	1,61–2,31	1,67
	М			1,44			1,92
С ребенком на руках	М	6	1,39–1,53	1,47	2	1,72–2,00	1,86
	Ж			18			1,42
С громоздкими свертками	М	9	1,5–1,75	1,61	–	–	–
	Ж			4			1,53
С детской коляской	Ж	5	1,31–1,58	1,44	2	1,83–2,00	1,92
Идущие под руку	–	22	1,53–1,86	1,67	9	2,08–3,14	2,5

В большинстве случаев при пожаре человек оказывается членом той или иной группы. Внутри группы сильно действует эффект подражания.

Организованность группы в большой степени определяется культурным уровнем и общественным положением ее участников. Наиболее организованы группы служащих, рабочих и учащихся, во главе которых оказываются формальные лидеры. Поэтому необходима соответствующая подготовка таких руководителей. В зданиях же с массовым посещением людей, не объединенных общностью службы, работы, учебы и т. п., такими лидерами – организаторами эвакуации посетителей – должны быть члены обслуживающего персонала, находящиеся в непосредственном контакте с посетителями.

Однако, как выяснилось в результате проведенных позже (2005–2006 гг.) обследований, например, крупнейших торговых зданий Москвы, такая подготовка персонала не ведется вообще. В развитых же зарубежных странах Европы она является неременным условием работы. Очевидно, что подготовку таких лидеров следует рассматривать как эффективное организационное мероприятие системы оповещения и управления эвакуацией. Их подготовка должна быть одной из первоочередных задач не только добровольных пожарных дружин, но и, прежде всего, владельцев организаций, эксплуатирующих здания и сооружения с массовым пребыванием людей.

Первая фраза определения термина «эвакуация» в СНиП 21–01 подчеркивает, что *процесс эвакуации* – это организованный процесс. Функция организация процесса эвакуации возлагается, в основном, на систему оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ). Эффективность влияния элементов СОУЭ показывают данные, полученные в ходе экспериментов [27] и представленные на рис. 4.9. Эти данные показывают, что использование СОУЭ для организации движения людских потоков ведет к увеличению количества людей, выбравших оптимальный (кратчайший) путь и снижению количества людей выбравших критический путь эвакуации.

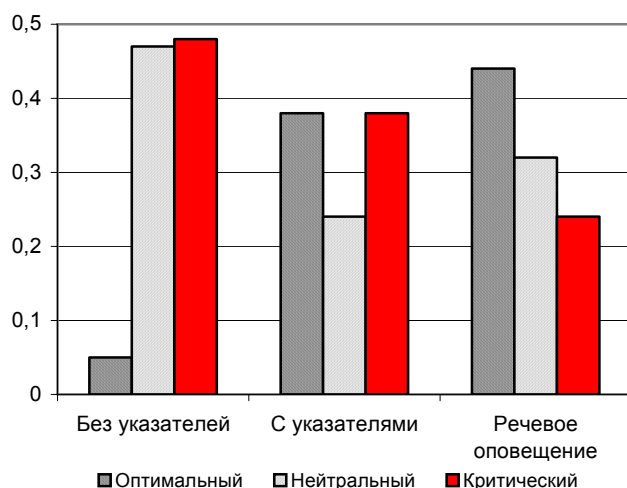


Рис. 4.9. Влияние элементов СОУЭ на выбор маршрута эвакуации: оптимального (кратчайшего пути), нейтрального и критического (наиболее продолжительного и загруженного)

Нормативные требования к организации СОУЭ приведены в НПБ 104–03 «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях». В настоящее время существует 5 типов системы оповещения. Предусмотрены следующие способы оповещения: звуковой (сирена, тонированный сигнал и др.), речевой (передача специальных текстов), световой (световые мигающие указатели «Выход», статические и динамические указатели направления движения). СОУЭ 3–5 типов предусматривают разделение здания на зоны пожарного оповещения, возможность реализации нескольких вариантов организации эвакуации из каждой зоны оповещения и обеспечение координированного управления из одного пожарного поста-диспетчерской всеми системами здания, связанными с обеспечением безопасности людей при пожаре. Важно отметить, что содержание сообщения о пожаре, тональность, тембр и некоторые другие аспекты имеют решающее значение для эффективности оповещения о пожаре. В настоящее время этим вопросам в нашей стране не уделяется достаточного внимания.

При принятых принципах и структуре нормирование расчетной детерминированной зависимости между скоростью и плотностью людского потока приобретало особое значение по следующим соображениям. Использование кинематических закономерностей ограничивалось соотношениями $q_i = q_{i-1} \delta_{i-1} / \delta_i \leq q_{\max}$ и $q_i = \sum q_{i-1} \delta_{i-1} / \delta_i \leq q_{\max}$ при движении по последовательно расположенным участкам пути и при их слиянии на границе участка i , соответственно. Имелось также указание, что при невозможности выполнения этих условий интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути i определяется при значении D_{\max} и более. Таким образом, возможное растекание людского потока и переформирование его части с впереди идущей, менее плотной частью, не учитываются. Это было принято для большей гарантии соответствия расчетного результата возможному пессимистическому варианту развития процесса в действительности. Поэтому установление расчетных детерминированных зависимостей между параметрами людских потоков, дающих значения расчетного времени эвакуации близкого к максимальному при стохастическом моделировании времени завершения эвакуации, должно было, по возможности, компенсировать потери описания случайного по природе процесса его детерминированным представлением в нормировании.

Завышение расчетных скоростей движения может привести к тому, что расчетное время эвакуации окажется меньше фактического. Их занижение ведет к тому, что соответствующие им меньшие значения интенсивности движения приведут к назначению меньшей требуемой ширины эвакуационных путей и выходов, а это особенно опасно, поскольку ведет к образованию скоплений людей с максимальной плотностью. При

этом следовало учитывать, что установленные расчетные зависимости будут использованы в дальнейшем для нормирования размеров эвакуационных путей и выходов, удовлетворяющих критериям обеспечения безопасности эвакуации людей из помещений и зданий различного назначения: *своевременности* $t_p \leq t_{нб}$ и *беспрепятственности* $D_i \leq D_{пр} = D$ при q_{max} (что эквивалентно $q_i \leq q_{max}$) – при известных значениях $t_{нб}$.

Поэтому было принято следующее решение:

- провести стохастическое моделирование людских потоков при их движении по эвакуационным путям, схемы которых имеют применение при массовом гражданском и промышленном строительстве;

- получить по результатам моделирования распределение плотности вероятности времени окончания процесса;

- принять в качестве расчетной зависимости ту реализацию случайной функции $V_D = V_0(1 - a_j \ln(D_i / D_0))$, которая будет давать наиболее близкую аппроксимацию значений максимального времени эвакуации.

Установление расчетных детерминированных зависимостей $V_i = \varphi(D_i)$ при известных схемах путей эвакуации осуществляется достаточно просто [5], хотя и очень трудоемко, если аппроксимирующие формулы при установлении расчетных зависимостей учитывают и кинематические закономерности одновременного слияния и переформирования людских потоков при движении по общей схеме коммуникационных путей (см. гл. 2).

Выполнение первого условия обеспечения безопасности людей при эвакуации, согласно [5], требуют соблюдения условия

$$\sum N_i / q_{i+1} b_{i+1} + \Delta t \leq t_{нб},$$

где $\Delta t = l_i / V_i$ – время движения по начальным (боковым) участкам пути (см. рис. 2.11).

Но $\sum N_i / (q_{i+1} b_{i+1}) = l_{i+1} \sum N_i / (l_{i+1} b_{i+1} D_{i+1} V_{i+1}) = l_{i+1} / V_{i+1}$ и поэтому это условие всегда будет выполняться, если $l_{i+1} / V_{i+1} + l_i / V_i \leq t_{нб}$, а соотношение между шириной смежных участков пути будут устанавливаться в соответствии с формулами:

$$b_i = N_i / D_i l_i \text{ или } b_i = N_i f / D_i l_i,$$

$$q_i = D_i V_i,$$

$$b_i = P_{i-1} / q_{imax} \text{ и } q_i = q_{i-1} b_{i-1} / b_i.$$

Благодаря включению этих соотношений в нормативный документ высшего уровня (в то время – СНиП II-2-80), их выполнение становится нормативным требованием и для назначения размеров эвакуационных путей и выходов во всех видах зданий и помещений.

Вспомним, что анализ схем эвакуационных путей в зданиях разного функционального назначения (гл. 2) показал: несмотря на обилие различных видов и типов зданий и помещений, разнообразие структур эвакуационных

путей в них весьма ограничено (рис. 2.11) и они могут быть представлены общей схемой (рис. 2.11 д), а остальные являются ее модификацией.

Общая расчетная схема представляет собой несколько последовательно расположенных боковых участков, людские потоки с которых выходят на общий путь, состоящий из участков (Δl), соединяющих боковые участки. Геометрические размеры участков общей схемы и параметры людских потоков на них могут различаться, но процесс движения людских потоков по ним будет иметь общий характер – последовательное слияние и перестроение людских потоков с боковых направлений на участках общего пути, давая общую качественную картину формирования параметров движения.

Значения Δl от 1 до 3 м характерны для схем эвакуационных путей в помещениях, от 3 до 9 м – для коридоров, от 9 до 18 м – для лестничных клеток. В каждом конкретном случае применения общей расчетной схемы, значения параметров движения людских потоков в различные моменты времени на ее участках будут различны, но характерным является то, что в любом случае по прошествии некоторого времени происходит стабилизация их величин. Количество источников также может широко варьироваться. Исследование стабилизации параметров процесса показывает, что для его моделирования оно может быть принято не более пяти. Значения плотности людских потоков на участках формирования различны для помещений различного назначения, но не превосходят 4 чел./м² (в рядах зрительских мест), а при эвакуации из помещений и далее по маршруту движения должны быть ограничены по условиям беспрепятственности движения величиной 5 чел./м² для горизонтальных путей и проемов и 4 чел./м² для лестниц вниз (соответствуют максимальному значению интенсивности движения по этим видам путей).

Были построены распределения вероятностей значений времени завершения эвакуации при различных вариантах использования общей расчетной схемы путей для людских потоков со значениями случайной величины V_0 из принятого интервала ее возможных значений. Их анализ показал, что достаточно точную аппроксимацию максимальных значений t_p дает детерминированная зависимость скорости от плотности потока при $V_0 = 100$ м/мин для движения по горизонтальным путям, через проемы, по лестнице вниз и 60 м/мин для движения по лестнице вверх. Они и были приняты в качестве расчетных зависимостей при составлении табл. 4 в СНиП II–2–80, которая затем была заимствована и ГОСТ 12.1.004–91* (табл. 2 прил. 2).

Таким образом, примененный метод установления расчетной зависимости максимально использовал имевшиеся возможности детерминированной аппроксимации случайной функции. Графики расчетных зависимостей приведены на рис. 4.10, а их значения – в табл. ПЗ.1 гл. 3.

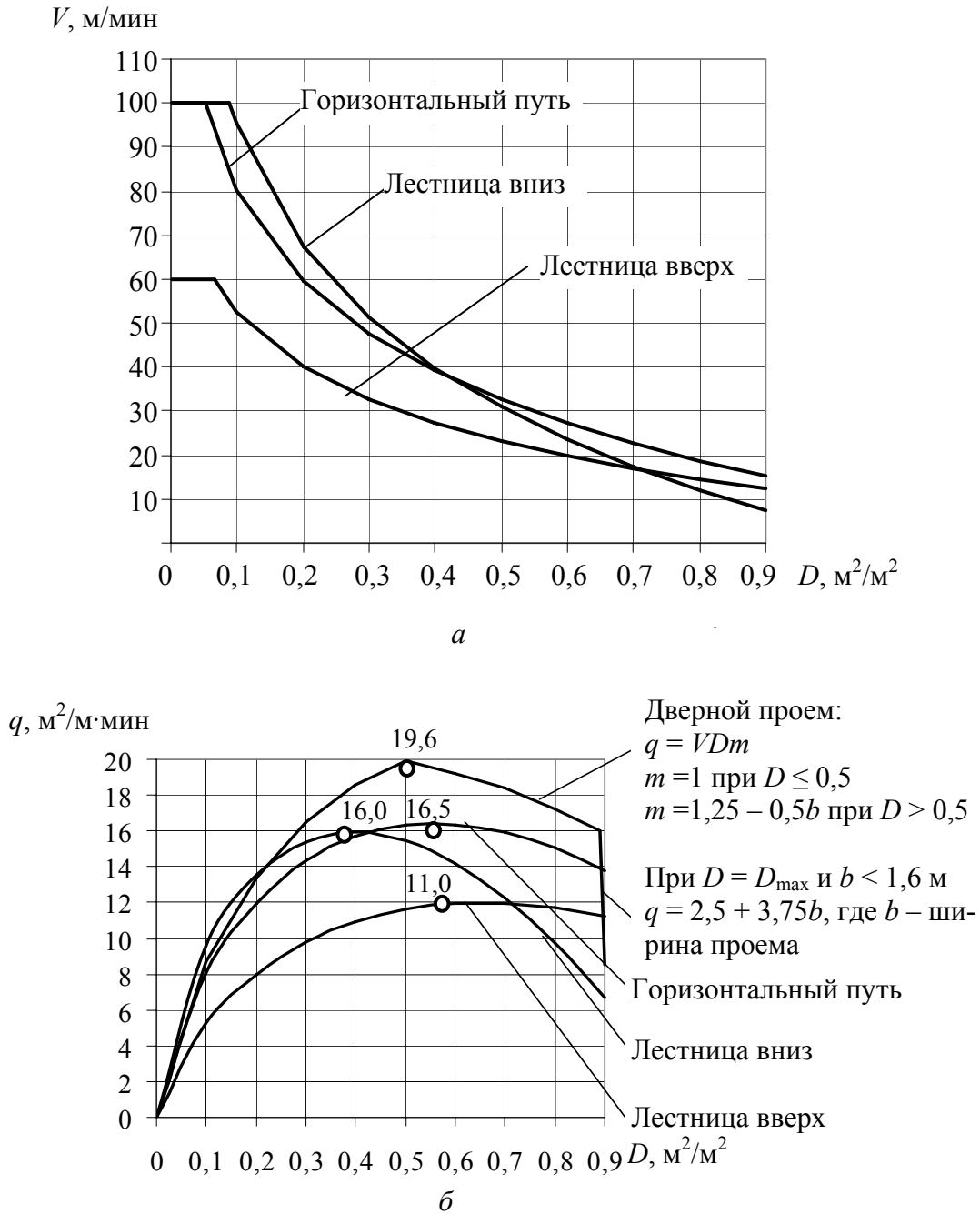


Рис. 4.10. Расчетные зависимости между параметрами людских потоков:
 a – скорость – плотность, b – интенсивность движения – плотность

Однако положение расчетного значения V_0 в интервале вероятных значений скорости свободного движения людей при активном движении (рис. 4.11) показывает, что интервал значений $V_0 \geq 100$ м/мин составляет немногим более 50 % вероятных значений. Интервал V_0 менее 100 м/мин остается вне сферы нормирования, а в этом интервале наиболее вероятны значения скоростей движения людей из маломобильных групп населения.

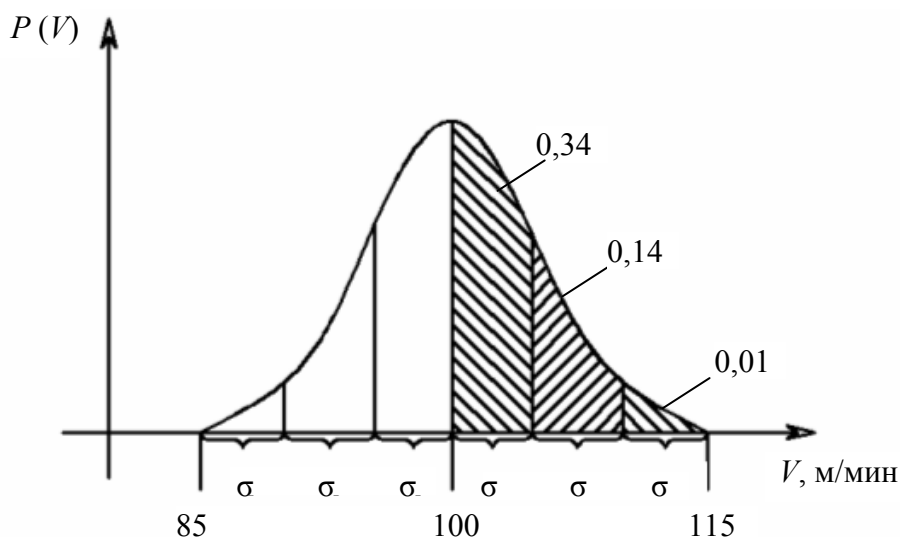


Рис. 4.11. Плотность распределения вероятности значений скорости свободного движения людей при активном движении

Повышение внимания в стране в последнее десятилетие прошлого века к созданию для инвалидов и людей с ослабленным здоровьем более благоприятных условий их быта, отдыха и труда привело к разработке СНиП 35–01–2001: «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» [77], в которых впервые приведены расчетные зависимости между параметрами людских потоков, состоящих при эвакуации из таких людей (гл. 3, прил. 3.2). Базой для них послужили данные проведенных к тому времени натуральных наблюдений (см. гл. 1). Учитывая объекты натуральных наблюдений, следует иметь в виду, что эти зависимости в большей мере корректны для достаточно однородных потоков соответствующих групп населения, которые характерны для специализированных учреждений и для общественных зданий, среди посетителей которых процент таких людей очень велик. Поэтому обеспечение возможности учета вероятности присутствия (определенного процента) таких людей в составе смешанных людских потоков большинства общественных и производственных зданий остается актуальной, тем более что СНиП 21–01 требует: «4.1. В зданиях должны быть предусмотрены конструктивные, объемно-планировочные и инженерно-технические решения, обеспечивающие в случае пожара: «возможность эвакуации людей независимо от их возраста и физического состояния наружу на прилегающую к зданию территорию (далее – наружу) до наступления угрозы их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара».

Учитывая эти факты, МГСН 4.19–2005 [102] впервые нормируют связь между параметрами людского потока в виде случайной функции следующим образом: «Скорость движения людского потока при плотности D_i на i -м отрезке участка пути k -го вида – случайная величина $V_{D,k}$, имеющая числовые характеристики:

– математическое ожидание (среднее значение)

$$V_{D,k} = V_{0,k} [(1 - a_k \ln D_i / D_{0,k})] m \text{ при } D_{i,k} \geq D_{0,k}, \text{ чел./м}^2;$$

– среднее квадратичное отклонение

$$\sigma(V_{D,k}) = \sigma(V_{0,k}) [(1 - a_k \ln D_i / D_{0,k})],$$

где $V_{0,k}$ и $\sigma(V_{0,k})$ математическое ожидание скорости свободного движения людей в потоке (при $D_i \leq D_{0,k}$) и ее среднее квадратическое отклонение, м/мин;

$D_{0,k}$ – предельное значение плотности людского потока, до достижения которого возможно свободное движение людей по k -му виду пути (плотность не влияет на скорость движения людей);

a_k – коэффициент адаптации людей к изменениям плотности потока при движении по k -му виду пути;

D_i – значение плотности людского потока на i -м отрезке (Δl) участка пути шириной b_i , чел./м²;

m – коэффициент влияния проема.

Значения перечисленных параметров приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Значения параметров $D_{0,k}$, a_k и m

Вид пути, k	$V_{0,k}$ м/мин	$\sigma(V_{0,k})$ м/мин	$D_{0,k}$ чел./м ²	a_k	m
Горизонтальный в здании	100	5	0,51	0,295	1
Горизонтальный вне здания	100	5	0,70	0,407	1
Проем*	100	5	0,65	0,295	1,25 – 0,05 D , при $D \geq 5$ чел./м ²
Лестница вниз**	100(80)	5	0,89	0,400	1
Лестница вверх	60	2,5	0,67	0,305	1

* При $D = 9$ чел./м² значения $V_i D_{i,k} = q_i$ определяются по формуле $q_i = 10 (3,75 + 2,5b_i)$, чел.м/мин, где b_i – ширина проема;

** 100 м/мин – при длине пути эвакуации по лестнице не более 50 м, 80 м/мин – более 50 м.

4.5. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРИ НОРМИРОВАНИИ КРИТЕРИЯ БЕСПРЕПЯТСТВЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

При нормировании особое внимание должно быть уделено поиску способов устранения проектных решений эвакуационных путей, которые могут приводить к образованию скоплений перед дверными проемами. Поэтому кроме общего требования $q_i = \sum q_{i-1} \delta_{i-1} / \delta_i \leq q_{\max}$ в нормируемую расчетную зависимость между параметрами движения через проем введено дополнительное ограничение [42, 60]: значение q_i при $D_i \geq 5$ чел./м² (или $D_i \geq 0,5$, если значение D_i выражено через площадь горизонтальной проекции участников потока) корректируется понижающим коэффициентом $m = 10(1,25 - 0,5D_i)$ или $m = 1,25 - 0,5D_i$, соответственно. Дополнительно интенсивность движения

через проем (q_i) при образовании максимальной плотности потока перед ним поставлена в зависимость от его ширины b и определяется по формуле: $q_i = 2,5 + 3,75b$ м/мин. Все эти ограничения введены на тот случай, когда при анализе проектных решений окажется: $q_i \geq q_{\max}$, поскольку это означает, что такое проектное решение ведет к неизбежному образованию скопления с максимальной плотностью людского потока, чреватой для людей компрессионной асфиксией.

Движение людского потока через проем при минимальных значениях параметров, соответствующих D_{\max} , дает максимальное значение времени движения через сечение рассматриваемого участка пути (проем). Оно является и временем существования скопления. «При этом должно учитываться время задержки движения людей из-за образования скопления» – такое условие, введенное приложением 2 ГОСТ 12.1.004–91, обращает внимание проектировщика на то, насколько допущенное образование скопления увеличивает продолжительность эвакуации по сравнению с беспрепятственной эвакуацией. Но эту «задержку» не нужно прибавлять к полученному расчетному значению t_p , поскольку она уже входит в него, хотя некоторые расчетчики так поступают, по-видимому, не понимая физики описываемого процесса.

Следует отметить, что чрезвычайная опасность образования скоплений (см. гл. 1) при эвакуации людей стала, по-видимому, очевидной для специалистов, отвечающих за безопасность. Пример категорического решения этой проблемы дает международный нормативный документ [153]: «существование скоплений людей с плотностью более 4 чел./м², продолжительностью более 10 % от общего времени движения людей в безопасную зону, требует либо изменения проекта путей эвакуации (для строящихся кораблей), либо изменения процедуры эвакуации (для существующих кораблей)».

Необходимо ограничить величину допустимой плотности людского потока значениями: 4 чел./м² – на лестницах, 5 чел./м² – на горизонтальных путях и в проемах.

4.6. ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ

Определенное по ГОСТ 12.1.004 расчетное время эвакуации людей не может соответствовать значению вероятности $P = 0,999$, поскольку расчет ведется по средним значениям скорости потока, т. е. практически при его однородном составе. Учет неоднородности состава потока требует рассматривать скорость как случайную величину. Тогда значение расчетного времени эвакуации, соответствующее значению $P = 0,999$, установленное с учетом влияния людей различного возраста и физического состояния в составе потока, будет гораздо выше (приблизительно в полтора раза, см. рис. 4.12).

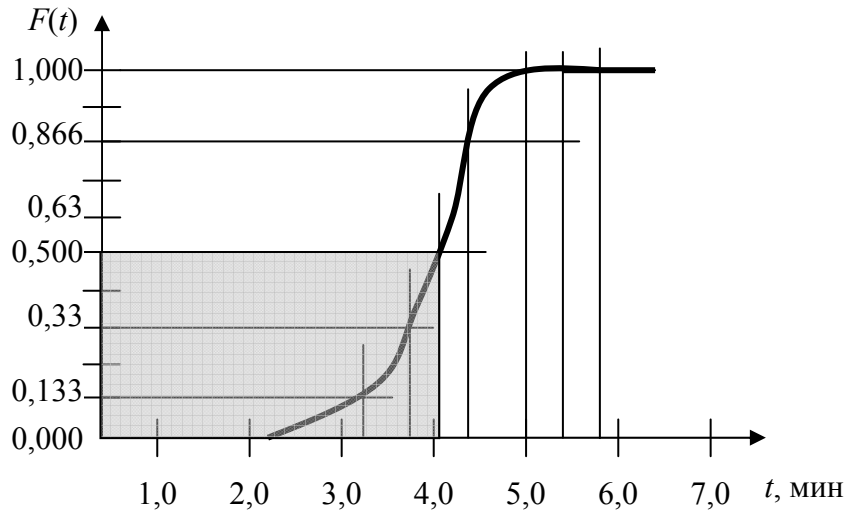


Рис. 4.12. График функции распределения вероятности расчетного времени эвакуации людей в интервале от 2,2 до 6,34 мин. Затененная область – при средних значениях скорости движения людей в потоке (ГОСТ 12.1.004–91*)

Следовательно, методика ГОСТ некорректна и требуемый уровень защиты людей от опасных факторов пожара не обеспечивается. Фактическое соотношение между расчетным и необходимым временем эвакуации при детерминированном описании этих процессов ГОСТ и действительным вероятным распределением их значений иллюстрируется диаграммами на рис. 4.13.

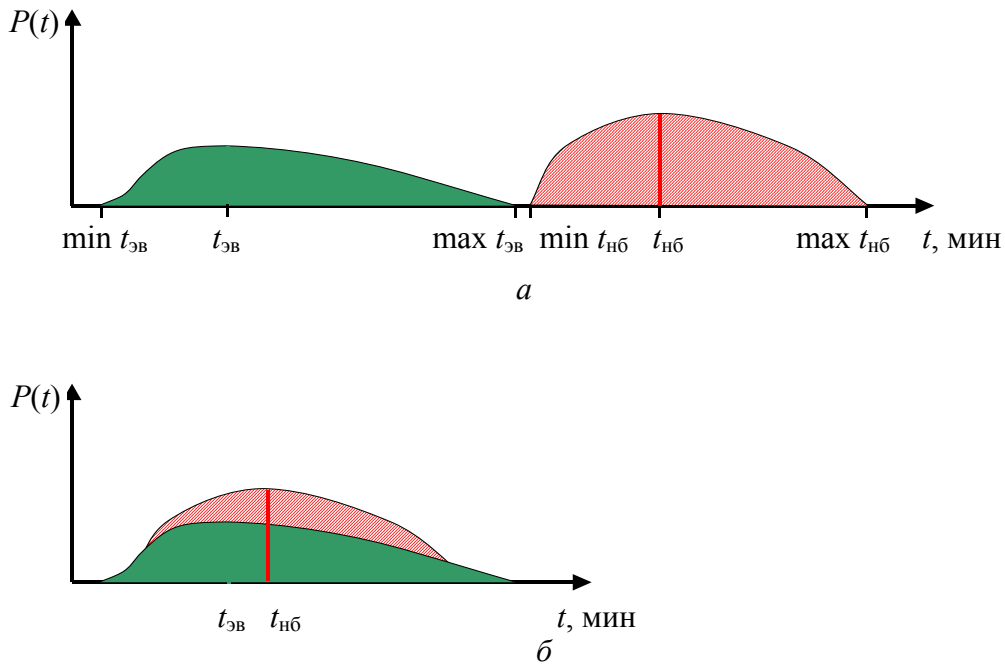


Рис. 4.13. Обеспечение условий своевременной эвакуации людей:
a – при действительном развитии процессов эвакуации ($t_{эв} = t_{н.э} + t_{р.эв}$) и опасных факторов пожара ($t_{нб}$), описываемых плотностями распределения вероятностей времени их достижения $P(t)$; *б* – при детерминированном описании этих процессов (ГОСТ 12.1.004, приложение 2), игнорирующем действительный (вероятностный) характер этих процессов (соотношение только между средними значениями $t_{эв} \leq t_{нб}$)

Однако для обеспечения безопасности людей при эвакуации недостаточно только ее своевременности (своевременно вынести жертвы компрессионной асфиксии – это безопасность?). Используя понятия теории вероятностей для более четкого понимания, можно сказать, что событие «безопасность» состоит в одновременном наступлении двух событий: «своевременность» и «беспрепятственность». Поэтому вероятность события «безопасность» – $P(Б)$ является произведением вероятностей событий «своевременность» – $P(С)$ и «беспрепятственность» – $P(Бп)$, т. е. $P(Б) = P(С) \cdot P(Бп)$. Образование скоплений – такой же опасный фактор ЧС, вызванный или спровоцированный чрезвычайными обстоятельствами (или плохой организацией и управлением эвакуацией), как и другие опасные факторы. Отказ учитывать этот фактор – вклад в «ящик Пандоры», в скопище причин «ужасающих показателей смертности» (гл. 1, введение).

4.7. ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ

Ни СНиП 21–01, ни ГОСТ 12.1.004 не уделяют должного внимания вопросам организации и управления эвакуацией людей. Даже не упоминаются такие ее виды, как частичная и поэтапная эвакуация. В результате, большинство пользователей нормативных документов убеждены, что возможна только полная одновременная эвакуация всего населения зданий или их комплексов. Выходит, что специалисты вынуждены заново открывать [48, 106] высокую эффективность организации поэтапной эвакуации даже из достаточно простых зданий, например гостиниц, относительно небольшой этажности [154].

Еще более высокая эффективность эвакуации достигается при ее поэтапной организации с использованием лифтов, что может быть проиллюстрировано данными об эвакуации людей (около 15 000 чел.) из 46-этажного офисного блока высотного здания (табл. 4.8).

Таблица 4.8

Виды эвакуации и характеризующие ее параметры

Виды эвакуации	Максимальная плотность, чел./м ²	Время эвакуации, мин
Одновременная	9	80
Поэтапная пешеходная	3	42
Поэтапная с использованием лифтов	3	24

Однако п. 6.24 СНиП 21–01 указывает, что эвакуационные пути «не должны включать лифты и эскалаторы». Такое требование противоречит реалиям жизненных ситуаций: многие станции и пересадочные узлы метрополитена, по которым передвигаются миллионы людей ежедневно, в качестве единственно возможного участка эвакуационного пути на поверхность имеют эскалатор, а по данным мировой статистики [26] большинство людей

при эвакуации из высотных зданий во время пожара использовали лифты до тех пор, пока они функционировали; даже во время катастрофы в зданиях всемирного торгового центра в Нью-Йорке при помощи лифтов эвакуировалось около 3000 чел. [107]. Использование лифтов предусматривается и при эвакуации маломобильного населения [77] из-за отсутствия альтернативы такому решению. Но и здоровые люди при движении по лестнице испытывают усталость после 5 минут спуска [111], а при спуске приблизительно с 18 этажа они «страдают от усталости» [108]. Отсюда следует, что требование СНиП 21–01: эвакуационные пути «не должны включать лифты и эскалаторы – «бесчеловечно». Оно не только бесчеловечно, но технически не оправдано, поскольку современные требования к противопожарной защите лифтовых установок в высотных зданиях, как показывают данные табл. 4.9, обеспечивают их безопасность на уровне незадымляемых лестничных клеток и относятся к электроприемникам 1-й особой и 1-й категориям надежности, что гарантирует их бесперебойную работу.

Таблица 4.9

Сопоставление уровней обеспечения пожарной безопасности лестничных клеток типа Н2 и лифтовых установок

Конструктивные и инженерные решения	Лестничная клетка	Нормативы	Лифтовые установки	Нормативы
Несущие конструкции REI	180	МГСН 4.19 п. 4.24	–	–
Конструкции шахт лифтов REI	–	–	120, 180	МГСН 4.19 п. 4.24
Площадки, косяки, марши R	60	МГСН 4.19 п. 4.24	–	–
Внутренние ненесущие конструкции EI	–	–	60, 120	МГСН 4.19 п. 4.24
Двери EI	60, 90	МГСН 4.19 п. 4.29	60, 90 противопожарные, дымогазонепроницаемые	МГСН 4.19 п. 4.29, СНиП 21.01 п. 8.10
Системы приточной противодымной защиты, подпор	Н2	СНиП 21-01 п. 5.15 МГСН 4.19 п. 4.24	Шахты Холлы	СНиП 41-01 п. 8.156 МГСН 4.19 п. 14.60, 14.58
Адресные дымовые извещатели	Да		Да	МГСН 4.19 п. 13.2.43
Системы чрезвычайной оперативной телефонной связи	–	–	В лифтовом холле	МГСН 4.19 п. 13.2.51
Материалы отделки полов	Негорючие	МГСН 4.19 п. 14.33	Негорючие	МГСН 4.19 п. 14.70
Система пожарной сигнализации	–	–	Холлы, шахты	МГСН 4.19 п. 13.2.40

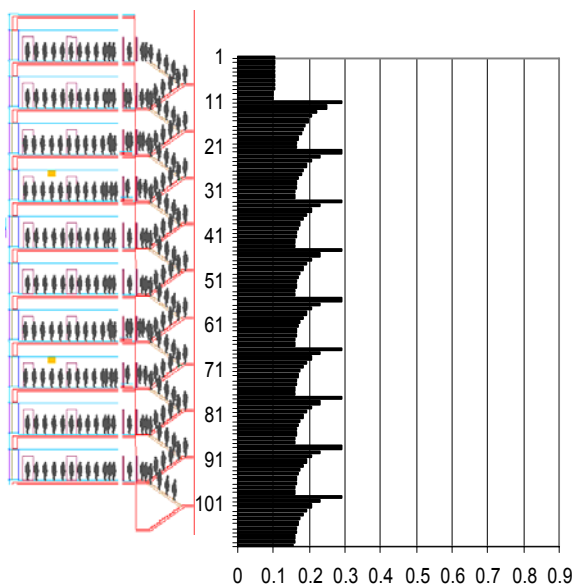
В настоящее время появилась возможность организации поэтапной эвакуации с использованием лифтов из высотных зданий [102]: «п. 16.2.2. Структура и размеры эвакуационных путей и выходов должны обеспечивать беспрепятственную и своевременную, полную или частичную, одновременную или поэтапную, пешеходную и при помощи лифтов, в зависимости от типа чрезвычайной ситуации, эвакуацию людей из любой части высотного здания независимо от их возраста и физического состояния».

Возможное присутствие в составе населения зданий различного функционального назначения значительного процента маломобильного населения и высокая вероятность образования на лестницах больших плотностей людских потоков (рис. 4.14), ведет к многократному увеличению времени эвакуации людей с этажей многоэтажных зданий, заставляют искать решения по увеличению степени противопожарной защиты эвакуирующихся с этажа.

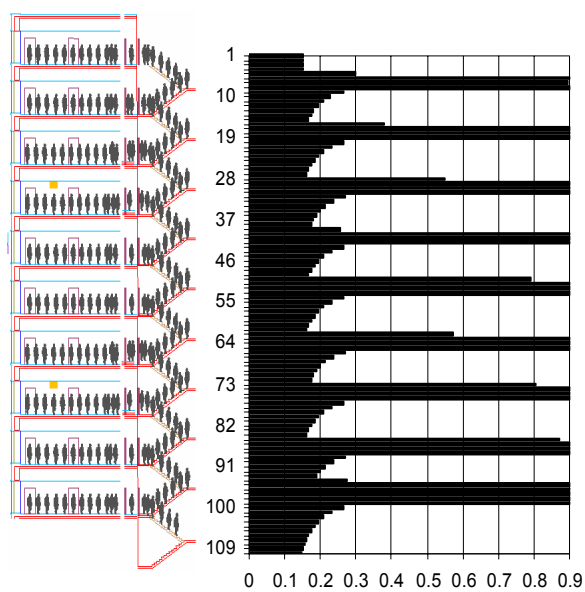
Одним из таких решений является устройство поэтажных зон пожарной безопасности. Впервые требование о создании таких зон введено СНиП 35–01–2001. В состав зоны пожарной безопасности этажа входят:

- лестничная клетка;
- лифтовый холл;
- лифтовая установка;
- эвакуационный переход в соседние здания, если он имеется.

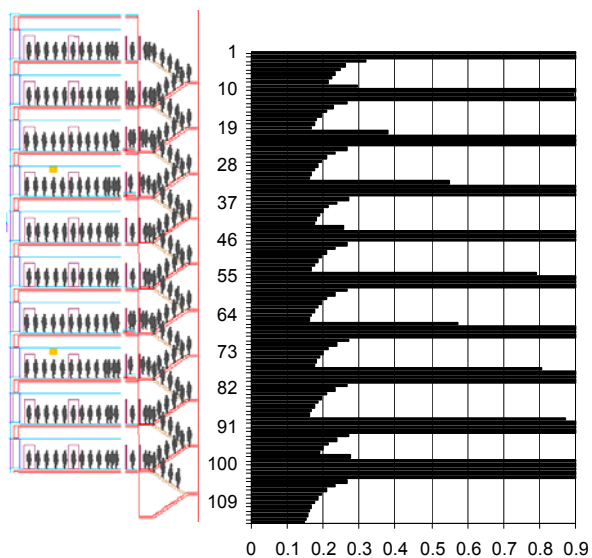
Их следует проектировать как единый транспортно-коммуникационный узел, вход в который осуществляется через тамбур-шлюз первого типа с подпором воздуха в нем. Площадь зоны безопасности в пределах этажа должна назначаться из расчета не менее $0,5 \text{ м}^2$ на каждого эвакуирующегося, но не менее 25 м^2 . Зона пожарной безопасности должна быть незадымляемой. При пожаре должно создаваться в ней избыточное давление 20 Па при открытой двери эвакуационного выхода. Конструкции зон безопасности и эвакуационных путей должны быть класса КО, пределы огнестойкости конструкций и заполнения в них проемов – первого типа, материалы их отделки и покрытия полов – негорючими.



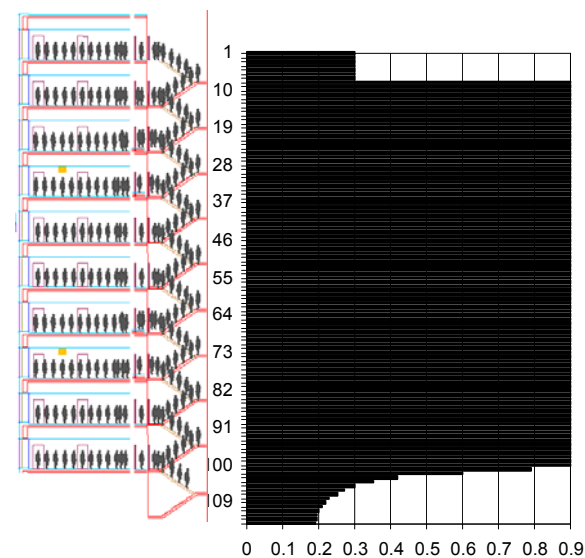
Вариант 1



Вариант 2



Вариант 3



Вариант 4

Рис. 4.14. Возможные варианты образования плотностей людских потоков в лестничной клетке при эвакуации из высотного здания. Вариант 1 характерен для жилых зданий и гостиниц, варианты 2–4 характерны для эвакуации людей из офисных зданий, так как через лестничную клетку с каждого этажа эвакуируется, как правило, более 100 чел.

Заключение

Ретроспективный взгляд на развитие нормирования размеров путей эвакуации в нашей стране показывает, что, начиная с 30-х годов прошлого столетия, оно получает возможность опереться на данные научных исследований процесса движения людских потоков, развиваемых представителями многих организаций, сформировавших научную школу «Теории людских потоков». Создана крупнейшая в мире база данных натуральных наблюдений и экспериментов, установлены закономерности движения людских потоков и психофизически обоснованные закономерности связи между их параметрами, разработаны методы моделирования и расчета, дающие адекватные практике результаты. Начиная с начала 80-х годов XX в., они активно используются в практике нормирования, основывающейся на установленных критериях безопасности людей при эвакуации в чрезвычайных ситуациях.

Практические запросы проектирования усложняющейся структуры современных зданий, их многонаселенность и многофункциональность требуют дальнейшего развития методологии нормирования. Современное нормирование должно более полно отображать поведение и психофизиологические возможности неоднородных по своему составу потоков эвакуирующихся людей, современных средств их перемещения, эффективность систем защиты путей и средств эвакуации, систем обнаружения пожара, оповещения о нем и организации и управления эвакуацией людей. Современное противопожарное нормирование зданий и сооружений должно уделять больше внимания требованиям к инженерным и электронным системам, обеспечивающим защиту людей в чрезвычайных ситуациях пожара, и не только пожара. Современные здания – это не только колонны и балки, а иерархический комплекс сложных систем жизнеобеспечения и защиты. И именно они должны обеспечивать время, необходимое людям для безопасной эвакуации, а не люди должны успевать покинуть здание за необходимое время, диктуемое не регулируемой стихией опасных факторов пожара. Нормы должны реально оценивать достигнутый в зданиях уровень безопасности людей.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.1

Необходимое время эвакуации по СНиП II–2–80, прил. 1, разд. 2. Приводится с сокращениями (без примечаний)

1. Необходимое время эвакуации людей $t_{нб}$ из зальных помещений общественных зданий I и II степени огнестойкости принимается по таблице П4.1.

Таблица П4.1

Необходимое время эвакуации из помещений общественного назначения

Наименование помещений	Необходимое время эвакуации, мин, при объеме помещения, тыс. м ³				
	До 5	10	20	40	60
Зрительные залы в театрах, клубах, домах культуры и других залах с колосниковой сценой	1,5	2	2,5	2,5	–
Зрительные, концертные, лекционные залы и залы собраний, выставочные залы и другие залы без колосниковой сцены (кинотеатры, крытые спортивные сооружения и т. п.) цирки, столовые	2	3	3,5	4	4,5
Торговые залы универсальных магазинов	1,5	2	2,5	2,5	–

2. Необходимое время эвакуации людей из зданий театров, клубов, дворцов культуры и других зданий с колосниковой сценой, также, как и из зданий кинотеатров, киноконцертных зданий, крытых спортивных сооружений, цирков, универмагов и столовых, принимается: для зданий I и II степени огнестойкости – 6 мин, III и IV степени огнестойкости – 4 мин, V степени огнестойкости – 3 мин.

3. Для зрительных залов без колосниковой сцены, объем которых превышает 60 тыс. м³, необходимое время эвакуации людей $t_{нб}$ следует определять по формуле $t_{нб} = 0,115W^{1/3}$, где $t_{нб}$ – необходимое время эвакуации людей из зала на уровне пола зала, мин; W – объем помещения, м³. При этом необходимое время эвакуации людей должно быть не более 6 мин, а число эвакуирующихся на один выход из зала не должно превышать 600 чел.

Необходимое время эвакуации людей из амфитеатров, ярусов или балконов уменьшается в зависимости от высоты зала: на 35 % – при размещении эвакуационных выходов на середине высоты и на 65 % – на отметке, равной 0,8 высоты зала. Максимальная высота размещения

эвакуационных выходов в зале не должна превышать 22 м. Время эвакуации людей из зданий не должно превышать 10 мин.

4. В общественных зданиях и во вспомогательных зданиях (административно-бытовых – по новой классификации) промышленных предприятий I, II и III степеней огнестойкости с коридорами, служащими для эвакуации людей, необходимое время для эвакуации людей $t_{нб}$ от дверей наиболее удаленных помещений до выхода наружу или в ближайшую лестничную клетку принимается:

1 мин – от помещений, расположенных между двумя лестничными клетками или наружными выходами;

0,5 мин – от помещений с выходами в тупиковый коридор, рис. П4.1.

Для зданий IV степени огнестойкости необходимое время эвакуации уменьшается на 30 %, а для зданий V степени огнестойкости – на 50 %.

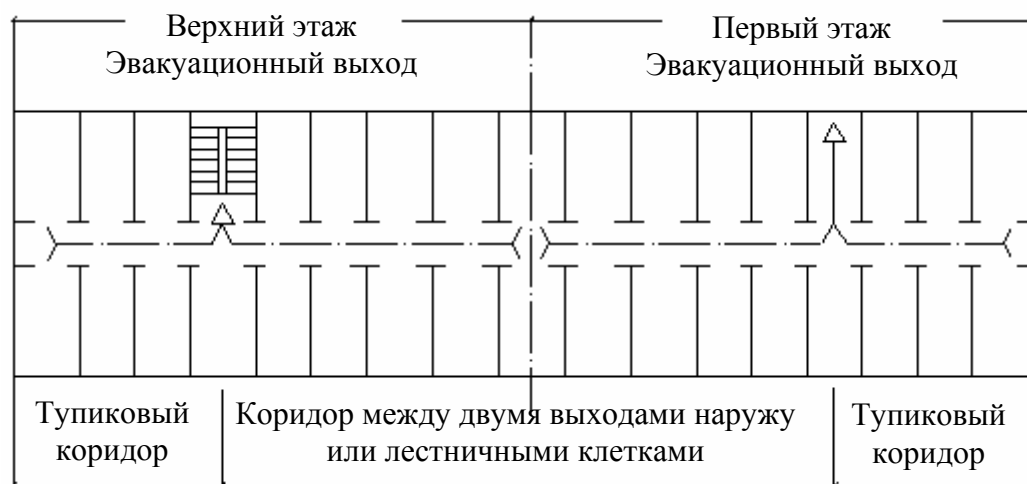


Рис. П4.1. Коридоры для эвакуации людей

5. В общественных зданиях и вспомогательных зданиях промышленных предприятий I, II и III степеней огнестойкости необходимое время эвакуации людей по лестницам следует принимать:

5 мин – для зданий высотой до 5 этажей включительно;

10 мин – для зданий высотой свыше 5 до 9 этажей.

Для зданий IV степени огнестойкости необходимое время эвакуации людей уменьшается на 30 %, а для зданий V степени огнестойкости – на 50 %.

Необходимое время эвакуации людей по незадымляемым лестничным клеткам (с входом через воздушную зону, с подпором воздуха или входом через тамбур-шлюз с подпором воздуха) не нормируется.

6. Необходимое время эвакуации людей из помещений производственных зданий I, II и III степеней огнестойкости принимается по табл. П4.2 в зависимости от категории производства по взрывной, взрыво- и пожарной опасности и объема помещений.

Необходимое время эвакуации из помещений производственного назначения

Категория производства	Необходимое время эвакуации, мин, при объеме помещения, тыс. м ³				
	До 15	30	40	50	60 и более
А, Б, Е	0,5	0,75	1	1,5	1,75
В	1,25	2	2	2,5	3
Г, Д	Не ограничивается				

7. Для производственных зданий промышленных предприятий I, II и III степеней огнестойкости с коридорами, служащими для эвакуации людей, необходимое время эвакуации людей от дверей наиболее удаленных помещений до выхода наружу или в ближайшую лестничную клетку принимается:

а) от помещений, расположенных между двумя лестничными клетками или наружными выходами:

1 мин – для зданий с категориями производств А, Б и Е;

2 мин – для зданий с категорией производств В;

3 мин – для зданий с категориями производств Г и Д;

б) от помещений с выходом в тупиковый коридор – 0,5 мин.

Для зданий IV степени огнестойкости указанное необходимое время эвакуации людей уменьшается на 30 %, а для зданий V степени огнестойкости – на 50 %.

8. Необходимое время эвакуации людей по лестницам из производственных зданий промышленных предприятий I, II и III степеней огнестойкости следует принимать: 5 мин – для зданий высотой до 5 этажей включительно и 10 мин – для зданий с производствами категорий В, Г и Д высотой свыше 5 до 9 этажей.

Для зданий IV степени огнестойкости необходимое время эвакуации уменьшается на 30 %, а для зданий V степени огнестойкости – на 50 %.

Необходимое время эвакуации людей по незадымляемым лестничным клеткам (с входом через воздушную зону, с подпором воздуха или входом через тамбур-шлюз с подпором воздуха) не нормируется.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.2

Рекомендации по корректировке требований нормативных документов в части проектирования эвакуационных выходов на примере СНиП 2.08.02–89*

В таблицах П4.3–П4.6 приведены значения геометрических размеров эвакуационных путей и выходов с учетом значений необходимого времени эвакуации, с помощью которых они определялись. Курсивом и в примечаниях показала необходимая корректировка. При иных значения необходимого времени эвакуации требуется корректировка приведенных в нормах значений.

Таблица П4.3

Длина пути эвакуации в пределах помещения (табл. 8 СНиП 2.08.02–89*)

Назначение залов	Степень огнестойкости здания	Расстояние, м, в залах объемом, тыс. м ³ / при значениях необходимого времени $t_{нб}$ не менее, мин		
		до 5	св. 5 до 10	св. 10
1. Залы ожиданий для посетителей, кассовые, выставочные, танцевальные, отдыха и т. п.	I, II	30/2,0	45/3,0	55/3,5
	III, IIIб, IV	20/1,5	30/2,0	–
	IIIа, IVа, V	15/1,0	–	–
2. Обеденные, читальные при площади каждого основного прохода из расчета не менее 0,2 м ³ на каждого эвакуирующегося по нему человека	I, II	65/2,0	–	–
	III, IIIб, IV	45/1,5	–	–
	IIIа, IVа, V	30/1,0	–	–
3. Торговые при площади основных эвакуационных проходов, % площади зала: не менее 25	I, II	50/1,5	65/2,0	80/2,5
	III, IIIб, IV	35/1,5	45/1,5	–
	IIIа, IVа, V	25/0,8	–	–
менее 25	I, II	25/1,5	30/2,0	35/2,5
	III, IIIб, IV	15/1,0	20/1,0	–
	IIIа, IVа, V	10/0,7	–	–

Таблица П4.4

Ширина эвакуационного выхода из помещений без мест для зрителей (табл. 10 СНиП 2.08.02–89*)

Назначение залов	Степень огнестойкости здания	Число человек на 1 м ширины, мин, эвакуационного выхода (двери) в залах объемом, тыс. м ³ / при значениях необходимого времени $t_{нб}$ не менее, мин		
		до 5	Св. 5 до 10	св. 10
Торговые – при площади основных эвакуационных проходов 25 % более площади зала; обеденные и читальные – при плотности в каждом основном проходе не более 5 чел./м ²	I, II	165/1,5	220/2,0	275/2,5
	III, IIIб, IV	115/1,0	155/1,5	–
	IIIа, IVа, V	80/0,8	–	–
Торговые – при площади основных эвакуационных проходов менее 25 % площади зала, прочие залы	I, II	75/1,5	100/2,0	125/2,5
	III, IIIб, IV	50/1,0	70/1,5	–
	IIIа, IVа, V	40/0,8	–	–

Длина пути эвакуации по коридору (табл. 9 СНиП 2.08.02–89*)

Степень огнестойкости здания	Расстояние, м, при плотности людского потока при эвакуации*, чел./м ²				
	до 2	св. 2 до 3	св. 3 до 4	св. 4 до 5	св. 5
А. Из помещений, расположенных между лестничными клетками или наружными выходами					
I–III	60	50	40	35	20
IIIб, IV	40	35	30	25	15
IIIа, IVа, V	30	25	20	15	10
Б. Из помещений с выходами в тупиковый коридор или холл					
I–III	30	25	20	15	10
IIIб, IV	20	15	15	10	7
IIIа, IVа, V	15	10	10	5	5

*Примечание. Расстояние по путям эвакуации от дверей наиболее удаленных помещений общественных зданий до выхода наружу или на лестничную клетку определялись при значениях необходимого времени $t_{нб}$ не менее: в зданиях степени огнестойкости I–III – 1,0 мин, IV – 0,8 мин, V – 0,5 мин при размещении помещений между двумя выходами в лестничные клетки или наружу; и в два раза меньшем при выходе из помещений в тупиковый коридор.

Ширина выхода из коридора / ширина марша лестницы
(по п. 1.105 СНиП 2.08.02–89*)

Степень огнестойкости здания	Число человек на 1 м ширины эвакуационного выхода из коридора/марша лестницы
I, II	165 чел./мин
III, IV, IIIб	115 чел./мин
V, IIIа, IVа	80 чел./мин

Как видно из приведенных норм проектирования размеров эвакуационных путей и выходов, они являются, можно сказать, «арифметизацией» данных приложения 1 СНиП II–2–80 применительно к конкретным условиям. Не указаны даже временные показатели пропускной способности 1 м ширины путей эвакуации и выходов, потому что они были приведены в разделе 2 «Необходимое время эвакуации» этого приложения. В ином случае (если время использования данного сечения пути неизвестно) такая форма представления нормы является, как известно, ошибочной.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.3

Данные о времени начала эвакуации людей в соответствии с Британским стандартом PD7974–9:2004

Таблица П4.7

Предполагаемое время начала эвакуации для разных сценариев эвакуации, мин [131]

Расчетная характеристика людей	Первый человек dtpre (1st percentile)	Распределение dtpre (99th per- centile)
<p>А: бодрствующий и знакомый с внутренней планировкой здания</p> <p>M1 B1 – B2 A1 – A2 M2 B1 – B2 A1 – A2 M3 B1 – B2 A1 – A3</p> <p>Для B3 добавляется 0,5 мин на поиск пути эвакуации M1 предполагает наличие системы голосового оповещения, если возможно присутствие людей, не знакомых с внутренней планировкой</p>	<p>0,5 1 > 15</p>	<p>1,0 2 > 15</p>
<p>Сi: спящий и знакомый с внутренней планировкой здания (например, в жилом доме)</p> <p>M2 B1 A1 M3 B1 A3</p> <p>Для остальных жильцов в соседних блоках/секциях – не менее 1 часа</p> <p>Сii: Жилые помещения с постоянно присутствующей администрацией (апартаменты, резиденции)</p> <p>M1 B2 A1 – A2 M2 B2 A1 – A2 M3 B2 A1 – A3</p> <p>Сiii: спящий и не знакомый с внутренней планировкой здания (гостиницы, пансионаты)</p> <p>M1 B2 A1 – A2 M2 B2 A1 – A2 M3 B2 A1 – A3</p> <p>Для B3 добавляется 1.0 на поиск пути M1 предполагает наличие системы голосового оповещения</p>	<p>5 10 10 15 > 20 15 20 > 20</p>	<p>5 > 20 20 25 > 20 15 20 > 20</p>
<p>Д: медицинские учреждения</p> <p>Бодрствующий и не знакомый с внутренней планировкой здания (клиники, хирургия, стоматология)</p> <p>M1 B1 A1–A2 M2 B1 A1–A2 M3 B1 A1–A3</p> <p>Для B2 добавляется 0,5 мин на поиск пути Для B3 добавляется 1,0 мин на поиск пути M1 предполагает наличие системы голосового оповещения</p>	<p>0,5 1,0 > 15</p>	<p>2 3 > 15</p>

Расчетная характеристика людей	Первый человек dtpre (1rst percentie)	Распределение dtpre (99th per- centile)
Спящий и не знакомый с внутренней планировкой здания (госпиталь, приют, дом престарелых)		
M1 B2 A1–A2	5b	10b
M2 B2 A1–A2	10b	20b
M3 B2 A1–A3	> 10b	> 20b
Для B3 добавляется 1,0 на поиск пути M1 предполагает наличие системы голосового оповещения		
Е: транспорт (железная дорога, автобусная остановка или аэропорт)		
M1 B3 A1–A2	0,5	4
M2 B3 A1–A2	1,0	5
M3 B3 A1–A3	> 15	> 15
M1 и M2 предполагает наличие системы голосового оповещения		

Примечание. Существует недостаток данных о поведении людей при эвакуации. Следовательно, ограниченность базы данных должна быть учтена при проведении инженерных оценок поведения людей. В частности, база данных нуждается в уточнении за счет предоставления такой информации, как хронометраж эвакуации, видеозаписи эвакуации и данные мониторинга эвакуаций в зданиях различного назначения, включая спальные помещения.

Пояснения к табл. П4.7.

a – общее время задержки начала эвакуации = dtpre (1rst percentile) + dtpre (99th percentile). Величины с высокой степенью неопределенности выделены курсивом;

b – это время зависит от наличия достаточного штата служащих для организации эвакуации людей с нарушениями функций организма.

Уровни менеджмента M1–M3:

M1 – высоко подготовленный к действиям при пожаре персонал в требуемом количестве. Проводится независимый аудит пожарной безопасности;

M2 – высоко подготовленный к действиям при пожаре персонал в количестве меньшем, чем предполагается необходимым. Независимый аудит пожарной безопасности, как правило, проводится;

M3 – выполнение минимальных требований пожарной безопасности. Независимый аудит пожарной безопасности не проводится. При таком уровне менеджмента инженерную оценку пожарной безопасности объекта проводить нецелесообразно.

Характеристика здания В1–В3:

В1 (пример – небольшой магазин) – прямоугольное здание с несколькими внутренними помещениями. Выходы и пути движения к выходам находятся в пределах прямой видимости и ведут непосредственно наружу. Расстояния до выходов минимальны;

В2 (пример – офисное здание) – многоэтажное здание с несложной планировкой этажей. Внутренняя планировка в том числе эвакуационные пути и выходы отвечают требованиям норм;

В3 – (пример – крупный торговый комплекс) многоэтажное многофункциональное здание со сложной планировкой этажей. Предусмотрены помещения большой площади, вызывающие сложности в выборе маршрута эвакуации.

Система оповещения А1–А3:

А1 – автоматическая пожарная сигнализация активирует систему оповещения всех людей в здании;

А2 – автоматическая пожарная сигнализация активирует систему оповещения службы безопасности/администрации и затем (после принятия решения администрацией или по прошествии заданного интервала времени) происходит оповещение всех людей в здании. При включении ручного пожарного извещателя, включается система оповещения для группы помещений, в которых произошел пожар;

А3 – автоматическая пожарная сигнализация активирует систему оповещения о пожаре только для данной зоны оповещения. Включение системы оповещения всех людей в здании осуществляется вручную.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёхин Е. М., Брушлинский Н. Н., Вагнер П., Коломиец Ю. И., Лупанов С. А., Соколов С. В. Пожары в России и в мире. Статистика, анализ, прогнозы. – М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2002.
2. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Проблемы пожаров в мире в начале XXI столетия // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 1.
3. Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М., Кленко Е. А. Динамика пожарных рисков в России в XIX–XXI веках // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 4.
4. Уилмот Т., Пэйш Т. Ужасающие показатели смертности при пожарах в восточной Европе // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 1.
5. ГОСТ 12.1.004–91*. Пожарная безопасность. Общие требования.
6. СНиП 21–01–97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
7. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. – М.: Пожарная безопасность и наука, 2001.
8. Баратов А. Н., Пчелинцев В. А. Пожарная безопасность. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1997.
9. Давыдкин Н. Ф., Копылов Н. П., Кривошеев И. Н. Противодымная защита подземных сооружений и прилегающих к ним территорий, зданий и микрорайонов. – М.: ИИЦ «ТИМР», 1998.
10. Стандарт № 834 ИСО, 1959.
11. Беляев С. В. Принципы планировки зал собраний. – М.–Л.: ОНТИ Госстройиздат, 1934.
12. Обоснование допустимого времени эвакуации из зданий различного назначения / Стрельчук Н. А., Ройтман М. Я., Башкирцев М. П., Кривошеев И. Н., Котов Н. Л.: Отчётная справка. – М.: Высшая школа МВД СССР, 1972.
13. Приложение к постановлению Государственного комитета Совета министров СССР по науке и технике от 14.01.1971.
14. Пчелинцев В. А. Исследование температурного режима пожаров с целью определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций // Огнестойкость строительных конструкций. – М., 1958.
15. Ройтман М. Я. Основы противопожарного нормирования в строительстве. – М., 1969.
16. Башкирцев М. П., Романенко П. Н., Стрельчук Н. А. Исследование температурного режима при пожарах в зданиях на моделях. – М., 1966.
17. Романенко П. Н., Бубырь Н. Ф., Башкирцев М. П. Теплопередача в пожарном деле. – М., 1969.
18. Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительном деле. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1975.
19. СНиП II–2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

20. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2000.
21. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. – М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2005.
22. Кошмаров Ю. А. Развитие пожара в помещении // Горение и проблемы тушения пожаров. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1977.
23. Spehler K. A., Pissard I. G. L'eavacuation d'immeblen en cas d'urfance. – Bullatin Technigue de la Suisse romende, 97 anne'e, 21, 1971, le 16 octobre, Lousanne.
24. Wood P. G. The Behaviour People in Fires. British Note 933, November, 1972.
25. Breax, Canter D., Sime J. Psychological Aspects of Behaviour of People in Fire Situations Sth Int Branschtz- Semin, Karlsruhe, 1976.
26. Marchant E. W. Some Aspects of Human Behaviour and Escape Route Design.: Sth Int / Fire Protection Semin, Karlsruhe, 22–24 September, 1976.
27. Дутов В. Н., Чурсин И. Г. Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре. – М.: Защита, 1992.
28. Samochine D. A. Toward an Understanding of the Concept of Occupancy in Relation to Staff Behaviour in Fire Emergency Evacuation of Retail Stores, PhD Thesis, University of Ulster, 2004 / Самошин Д. А. Применение концепции «Человек–Среда–Пожар» для понимания поведения персонала торговых комплексов при пожаре: Дисс. канд. техн. наук. – М., 2005.
29. Леонов Ю. П. Теория статистических решений и психофизика. – М.: Наука, 1977.
30. Милинский А. И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1951.
31. Quarantelli E. L. Panic Behaviour: Some Empirical Observations // Disaster Research Center. Ohio State University. July, 1975.
32. Барабаиш В. Психология поведения при пожарах // Пожарное дело. – 1982. – № 3.
33. Лэнгдон Томас Дж. Пожарная безопасность в строительстве. – М., 1977.
34. Носуки М. Защита многоэтажных зданий от пожаров и строительные нормы // Кукатаёва то рэто. – 1975. – № 11.
35. Carmark B. I. Human Behavior in Fire // Journal Fire and Flammability. – 1976. – Vol. 7. – № 10.
36. Беляев С. В. Эвакуация зданий массового назначения. – М.: Изд. Всесоюзной академии архитектуры, 1938.
37. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. – М.: Изд. лит. по строительству, 1969; Berlin, 1971; Koln, 1971; Praha, 1972; U.S., New Delhi, 1978. Изд. 2. – М.: Стройиздат, 1979.
38. Pauls J. The Movement of People in Buildings and Design Solutions for Means of Egress // Fire Technology. – 1984. – Vol. 20. – № 3.
39. Fruin J. J. Pedestrian Planning and Design. – Elevator World, 1971.
40. Ерёмченко М. А. Движение людских потоков в школьных зданиях.: Дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1979.

41. Григорьянц Р. Г. Исследование движения длительно существующих людских потоков: Дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1971.
42. Копылов В. А. Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации: Дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М., Ройтман М. Я.). – М.: МИСИ, 1974.
43. Великанова М. Хадж, Хадж, левой! // Московский комсомолец. – 2006. – 28 января. – № 018 (24.081).
44. Интернет-ресурс: www.CrowdDynamics.com
45. Российский энциклопедический словарь. – М.: Эксмо-Пресс, 1994.
46. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: Дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МИСИ, 1983.
47. Овсянников А. Н. Закономерность формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных сооружениях: Дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Холщевников В. В.). – М.: МИСИ, 1983.
48. Холщевников В. В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания. Дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1969.
49. Фёлькель Х. Принципы нормирования эвакуационных путей в производственных зданиях: Дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. Предтеченский В. М., Холщевников В. В.). – М.: МИСИ, 1979.
50. Предтеченский В. М., Холщевников В. В. Психология движения людских потоков и архитектурная композиция / Архитектурная композиция. – М.: Стройиздат, 1970.
51. СНиП 2.08–02–89*. Общие здания.
52. СНиП 31–03–2001. Производственные здания.
53. СНиП 31–01–2001. Здания жилые многоквартирные.
54. Ильченко В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы определения. – СПб., 1993.
55. Архитектурная среда обитания инвалидов и престарелых / Под ред. В. Н. Степанова. – М.: Стройиздат, 1989.
56. Предтеченский В. М. О расчёте движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1958. – № 7.
57. Исследования движения людских потоков в основных помещениях дворца Советов и беспрепятственной видимости в залах / Отчёт по научно-исследовательской работе (науч. рук. Предтеченский В. М., ответств. исп. Меньшиков Н. Г.). – М.: МИСИ, 1962. – № 130.
58. Научная школа. Теория людских потоков / Российская архитектурно-строительная энциклопедия. – 2001. – Т. VII.
59. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966.
60. Холщевников В. В., Копылов В. А. Движение людских потоков через проёмы // Пожарное дело. – 1982. – № 3.

61. *Холщевников В. В., Овсянников А. Н., Голубинский А. П., Швейцер И. С.* Проектирование эвакуационных путей в зрелищных зданиях. – М.: МИСИ. – 1990.
62. *Калинцев В. А.* Проектирование кинотеатров с учетом движения людских потоков: Дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1966.
63. *Дувидзон Р. М.* Проектирование спортивных сооружений с учетом движения людских потоков: Дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1968.
64. *Алексеев Ю. В.* Формирование движения людских потоков в проходах зрелищных сооружений: Дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1978.
65. *Предтеченский В. М., Холщевников В. В.* Расчёт переформирования людских потоков на участках ограниченной длины // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1971. – № 4.
66. *Предтеченский В. М., Холщевников В. В.* Закономерность движения людских потоков и вопросы нормирования коммуникационных путей многоэтажных зданий / Многоэтажные здания. 1-й Международный симпозиум. СІВ / Отчёт № 21. – М., 1971. – Октябрь.
67. *Холщевников В. В.* Исследование людских потоков и методологии нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. – М.: МИПБ МВД РФ, 1999.
68. *Ness M. P., Morrall J. F., Huttchinson B. G.* An Analysis of Central Business District Pedestrian Circulation Patterns. – Highway Res. Rec., 1969.
69. *Kimura K., Ihara S.* Observations of Multitude Current of People in Buildings. Transactions of Architectural Institute of Japan. – 1937. – № 5.
70. *Холщевников В. В.* Статистика зависимостей между параметрами людских потоков // Исследования по основам архитектурного проектирования (Методологические, функциональные, эстетические и физико-технические проблемы архитектуры). – Томск: Томский университет, 1983.
71. *Ольшанский Д. В.* Психология масс. – М., СПб., Воронеж, Киев, Харьков, Минск и др.: Питер, 2002.
72. Социальная психология. Краткий очерк / Под ред. Г. П. Предвечного, Ю. А. Шерковина. – М.: Политиздат, 1975.
73. *Холщевников В. В.* Моделирование зависимостей между параметрами людских потоков // Исследования по основам архитектурного проектирования (Методологические, функциональные, эстетические и физико-технические проблемы архитектуры). – Томск: Томский университет, 1983.
74. *Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.* Психофизиология и психофизика. – М.: Наука, 1977.
75. *Волков П. П., Оксень В. Н.* Информационное моделирование эмоциональных состояний. – Минск: Высшая школа, 1978.
76. *Холщевников В. В.* Закономерность связи между параметрами людских потоков. (Диплом №24-S Открытие в области социальной психологии) // Научные открытия. – М.: РАЕН, МААНОИ, МААНО, 2006.
77. СНиП 35–01–2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.
78. Рубрика «Цифра дня» // Московский комсомолец. – 2006. – 24 января.
79. *Boyce K., Shields T. J.*, Towards the Characterisation of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capability of People with Disabilities to Read and Locate Exit Signs, Fire Technology, 35: 1(1999), pp. 79–85.

80. *Кирюханцев Е. Е., Холщевников В. В., Шурин Е. Т.* Первые экспериментальные исследования движения инвалидов в общем потоке: Сб. Безопасность людей при пожарах. – М.: ВИПТШ МВД РФ, 1999.
81. *Шурин Е. Т., Анаков А. В.* Выделение групп населения по мобильным качествам и индивидуальное движение в людском потоке как основа моделирования движения «смешанных» людских потоков при эвакуации: Сб. Проблемы пожарной безопасности в строительстве. – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2001. – С. 36–42.
82. *Шурин Е. Т., Самошин Д. А.* Результаты экспериментов по определению некоторых параметров эвакуации немобильных людей при пожаре // 10-я научно-техническая конференция «Системы безопасности». – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2001. – С. 114–117.
83. *Eung-Sik Kim, Jeong-Su Lee, Jang-Kyeom Kim.* A study on Evacuation of Patients in a Hospital. 6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 17-20 March. 2004, Daegu, Korea. – pp. 695–701.
84. *Hall J.* Patient Evacuation in Hospitals. In: Fires and Human Behaviour. Canter, D., (Ed), David Fulton Publisher, London, 1980.
85. Norma CSSR CSN 73 0835. Pozarni Vespecnost Staveb. Bodovy Dravotnickych Zarizeny. – 1980 / Пожарная безопасность зданий. Здания учреждений здравоохранения // Всесоюзный центр переводов. – М., 1983.
86. *Холщевников В. В., Никонов С. А., Шамгунов Р. Н.* Моделирование и анализ движения людских потоков в зданиях различного назначения: Учеб. пособие. – М.: МИСИ, 1986.
87. *Холщевников В. В.* Моделирование людских потоков // Моделирование пожаров и взрывов: Колл. монография – М.: Пожнаука, 2000.
88. *Холщевников В. В.* Расчёт оптимальных вариантов пешеходных путей в городских узлах // На стройках России. – 1983. – № 3.
89. *Никонов С. А.* Разработка мероприятий по организации эвакуации при пожарах в зданиях с массовым пребыванием людей на основе моделирования движения людских потоков: Дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. Холщевников В. В.) – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985.
90. *Холщевников В. В., Самошин Д. А., Галушка Н. Н.* Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации людей из зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 5.
91. *Henderson L. F.* On the Fluid Mechanics of Human Crowd Motion // Transportation Research. – 1974. – Vol. 8. – № 6.
92. *Okazaki Shiqevuki.* A Study of Pedestrian Movement in Architectural Space // The U.J.N.R. Panel of Fire Research and Safety, Tokyo, 5–9 February 1979.
93. *Гениев Г. А.* О некоторых закономерностях движения сплошных людских потоков // Исследования по теории и методам расчёта строительных конструкций: Сб. науч. тр. – ЦННИСК, 1984.
94. *Таранцев А. А.* Моделирование параметров людских потоков при эвакуации с использованием теории массового обслуживания // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 6.

95. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978.
96. Sime J. Design for People or Ball Bearing? Design Studies. – 1985. – Vol. 6(3) – pp. 163–168.
97. Грушевский Б. В. и др. Пожарная профилактика в строительстве. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985.
98. Shields T. J., Boyce K. E. A Study of Evacuation From Large Retail Stores. Fire Safety Journal. – 2000. – Vol. 35. – pp. 25–49.
99. Гвоздяков В. С. Закономерности движения людских потоков в транспортно-коммуникационных сооружениях: Дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1978.
100. Холщевников В. В., Гвоздяков В. С. Автоматизация проектирования коммуникационных помещений метрополитена // Функциональные и технические проблемы архитектуры. – М.: МИСИ, 1977.
101. Программный продукт: Анализ Движения Людских Потоков, вероятность. – Версия V 2.0 – «ADLPV-2.0». – Госстандарт России, № РОСС RU.СП05.Н00220.
102. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.
103. Исаевич И. И. Разработка основ многовариантного анализа планировочных решений станций и пересадочных узлов метрополитена на основе моделирования движения людских потоков: Дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. Холщевников В. В.). – М.: МИСИ, 1990.
104. Сопеловская А. А. Формирование транспортных и пешеходных потоков в пересадочных узлах пригородно-городского сообщения: Дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. Самойлов Д. С., Холщевников В. В.). – М.: МИСИ, 1980.
105. Айбуев З.С.-А. Формирование людских потоков на предзаводских территориях крупных промышленных узлов машиностроительного профиля: Дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. Холщевников В. В.). – М.: МИСИ, 1989.
106. Великовский Л. Б., Холщевников В. В. Вопросы эвакуации из высотных зданий // Архитектура СССР. – 1969. – № 1.
107. Отчет NIST «Final Report on Collapse of the World Center Towers» / NIST NCSTAR 1. USA, 2005.
108. Watrou L. D. The Ease for Evacuating High-Rise Buildings // Elevator World. – 1972. – № 11.
109. Proulx G. Evacuation by Elevators: Who Goes First? ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings NEW YORK, Dec. 11, 2003.
110. Sekizawa A., Nakahama S., Notake H. Study on Feasibility of Evacuation using Elevators in a High-rise Building. ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings NEW YORK, Dec. 11, 2003.
111. So A., Lai T., Yu J. Lift Logic / FEJ and FP, August, 2003.
112. ISO/TR 13387-8 Fire Safety Engineering – Part 8: Life Safety – Occupant Behaviour, Location and Condition. – First Edition, 1999-10-15.

113. *Щербина В. И.* Комплексные системы безопасности высотных и многофункциональных зданий и сооружений. – М.: Всемирная академия наук комплексной безопасности, Университет комплексных систем безопасности и инженерного обеспечения, 2006.
114. *Lack K. B.* Means of Escape from Fire in High Building // Municipal Engineer. – 1967. – № 7.
115. *Капустян Е.* Влияние нормативных требований на планировочные решения многоэтажных жилых домов. – СІВ. 1-й Международный симпозиум «Многоэтажные здания», № 21. – М.: ЦНИИЭПжилища, 1972.
116. *Опочинская А.* Влияние действующих нормативов на архитектурно-планировочные решения многоэтажных административных зданий в СССР. – СІВ. 1-й Международный симпозиум «Многоэтажные здания», № 21 – М.: ЦНИИЭПжилища, 1972.
117. СНиП II–40–80. Метрополитены.
118. СНиП II–77–80. Магазины.
119. СНиП II–90–81. Производственные здания промышленных предприятий.
120. *Wood P.* Behaviour Under Stress: People in Fires, PhD thesis, Loughborough University of Technology, 1979.
121. *Bryan J. L.* Smoke as a Determinant of Human Behaviour in Fire Situations. (Project People). Washington, DC, Centre for Fire Research, National Bureau of Standards, 1977.
122. *Bryan J. L., DiNenno P. J., Milke J. A.* The Determination of Behavioral Response Patterns in Fire Situations. Project People II. Final Report – Incident Report. College Park, University of Maryland, 1980.
123. *Bryan J. L., Milke J. A.* The Determination of Behavioral Response Patterns in Fire Situations. Project People II . Final Report – Health Care Report. Washington, DC, Centre for Fire Research, National Bureau of Standards, 1981.
124. *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.
125. *Canter D., Breaux J., Sime J.* Domestic, Multiple Occupancy and Hospital Fire. Fires and Human Behaviour. D. Canter (Ed.), pp.117-136, John Wiley and Sons, London, 1980.
126. *Canter D.* An Overview of Human Behaviour in Fires. Fires and Human Behaviour. D. Canter (Ed.), pp. 205–234, David Fulton Publisher, London, 1990.
127. Human Behaviour in Fire. Proceedings of the First International Symposium, Belfast, UK, University of Ulster, 1998.
128. *Sime J.* Understanding Human Behaviour in Fires – An Emerging Theory of Occupancy. – Inauguration Lecture on 14 October 1999. University of Ulster, 1999.
129. *Холщевников В. В., Никонов С. А.* Проблемы обеспечения безопасности людей при пожарах на стадии проектирования зданий и сооружений //Материалы семинара: Проблемы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений. – М.: Знание, 1989.
130. *Котик М. А.* Психология и безопасность. – Таллин: Валгус,1984.

131. PD 7974–9:2004. Published Document. The Application of Fire Safety Engineering to Fire Safety Design of Buildings. – Part 6. Human Factors: Life Safety Strategies. – Occupant Evacuation (Sub-system 6).
132. *Kennet E. W. E.* Proceedings of the 1980 Conference on Life Safety and Handicapped. National Bureau of Standards, Gaithersburg, 1982.
133. *Levin B. M.* (Ed.) Fire and Life Safety for Handicapped. Conference and Preparatory Workshop Reports. National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, 1980.
134. *Pearson R. G., Joost M. G.* Egress Behaviour Response Times of Handicapped and Elderly Subjects to Simulated Residential Fire Situations. National Bureau of Standards, Washington, 1983.
135. *Proulx G.* Housing Evacuation of Mixed Abilities Occupants – a Case Study. CIW W14 Fire Engineering for People with Mixed Abilities, University of Ulster, 1993.
136. *Shields T. J.* Fire and the Disabled. Report for the Department of Environment. London, 1991.
137. *Rubadiri L.* Evacuation Modelling of Mixed-ability Populations in Fire Emergencies. PhD thesis. University of Central Lancashire, 1994.
138. *Boyce K. E.* Egress Capabilities of People with Disabilities. PhD thesis. University of Ulster, 1996.
139. *Aydn Ozkay.* A Qualitative Approach to Children of Developing Countries from Human Behavior Point of View. Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire. 26–28 of March 2001, Massachusetts, USA, pp.531–538.
140. *Ono R., Tatebe K.* A Study on School Children Attitude Towards Fire Safety in Brazil and the Comparison with Data from Japanese Children. Proceedings of the 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire. 1–3 September 2004, Belfast, UK, pp.327–338.
141. *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.
142. *Proulx G.* The Time Delay to Start Evacuation Upon Hearing a Fire Alarm. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting, 1994.
143. *Brennan P.* Timing Human Response in Real Fires. Proceedings of the Fifth International Symposium on Fire Safety Science, 1997.
144. *Bruck D.* The Who, What, Where and Why of Waking to Fire Alarms: a Review. Fire Safety Journal. – Vol. 36. – 2001.
145. *Фомин В. И.* Перспективные системы пожарной сигнализации. Пожарная безопасность. Специализированный каталог. – М.: Гротек, 2005.
146. МГСН 4.16–98. Гостиницы.
147. *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.
148. *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. Boston, Interscience Communication Ltd, 2001.

149. НПБ 104–03. Системы оповещения и управления эвакуацией при пожарах в зданиях и сооружениях.
150. Любимов М. М., Холщевников В. В. и др. Общие требования к комплексному обеспечению безопасности многофункциональных высотных зданий. Раздел 1 «Противопожарная защита высотных зданий и уникальных комплексов» / Пособие для специалистов проектных и монтажных организаций, заказчиков, страховых компаний, инвесторов и контролирующих органов. – М.: Всемирная академия наук комплексной безопасности, Университет комплексных систем безопасности и инженерного обеспечения, 2004.
151. Бекасов В. А., Боград Г. Я., Зотов Б. Л., Индиченко Г. Г. Автотехническая экспертиза. – М.: Юридическая литература, 1967.
152. Glass A. J. Mass Psychology – the Determinants of Behavior under Emergency Condition // Proc. of Workshop on Mass Burns, National Academy of Sciences, Washington, 1969. – pp. 11–24.
153. MSC/Circ 1033 Interim Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships. International Maritime Organization. – 2002.
154. Танклевский Л. Т., Юн С. П., Таранцев А. А. О возможности оптимизации движения эвакуирующихся из многоэтажных зданий // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. – № 1.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Исходные понятия и определения	3
Введение	3
1.1. Опасные факторы пожара	4
1.2. Поведение людей до начала эвакуации	7
1.3. Людской поток	13
1.4. Эвакуационные пути и выходы	20
Заключение	40
Приложение 1.1. Дополнительные сведения об опасных факторах пожара	42
Приложение 1.2. Требования к составлению планов эвакуации	46
Приложение 1.3. Площади горизонтальной проекции людей	48
Приложение 1.4. Антропометрические и эргономические размеры человека	51
Глава 2. Закономерности движения людских потоков	52
Введение	52
2.1. Кинематические закономерности движения людских потоков	53
2.1.1. Движение через границы смежных участков пути	53
2.1.2. Слияние людских потоков	60
2.1.3. Переформирование и растекание людского потока	62
2.1.4. Одновременное слияние и переформирование людских потоков на участках ограниченной длины	64
2.2. Психофизические закономерности связи между параметрами людских потоков	68
2.2.1. Эмпирические данные и зависимости	68
2.2.2. Стохастичность людского потока	72
2.2.3. Закономерность изменения скорости от плотности	74
2.3.4. Закономерность влияния эмоционального состояния	76
2.3. Особенности эвакуации маломобильных и немобильных людей	81
Заключение	85
Приложение 2.1. Состав пациентов отделений больниц по мобильности	86
Приложение 2.2. Способы и параметры эвакуации немобильных пациентов больниц	88
Глава 3. Моделирование и расчет движения людских потоков	90
Введение	90
3.1. Модели и расчёты при случайной структуре людского потока	91
3.2. Расчетная схема эвакуации	93
3.3. Модель движения (без растекания) людского потока однородного состава	101
3.4. Модель движения людских потоков с растеканием их головных частей	115
3.5. Имитационная модель движения людского потока ADLPV (Анализ Движения Людского Потока, Вероятность)	120
3.6. Моделирование свободного движения людей в потоках	133
Заключение	135
Приложение 3.1. Расчёт движения «элементарного» потока и его графическое представление	138

Приложение 3.2. Значение расчётных зависимостей между параметрами людских потоков для людей различных групп мобильности	141
Приложение 3.3. Порядок расчета алгоритма поэтапной эвакуации	144
Приложение 3.4. Основные расчетные ситуации движения людских потоков и примеры их расчета	147
Глава 4. Нормативные требования обеспечения безопасности эвакуации людей из зданий и сооружений	160
Введение	160
4.1. История нормирования размеров эвакуационных путей и выходов	161
4.2. Развитие нормирования процесса эвакуации людей	164
4.3. Время начала эвакуации	165
4.4. Расчётное время эвакуации людей	176
4.5. Выполнение при нормировании критерия беспрепятственности движения людских потоков	184
4.6. Вероятность безопасной эвакуации	185
4.7. Организация и управление эвакуацией людей	187
Заключение	191
Приложение 4.1. Необходимое время эвакуации по СНиП II–2–80, прил. 1, разд. 2. Приводится с сокращениями (без примечаний)	192
Приложение 4.2. Рекомендации по корректировке требований нормативных документов в части проектирования эвакуационных выходов на примере СНиП 2.08.02–89*	195
Приложение 4.3. Данные о времени начала эвакуации людей в соответствии с Британским стандартом PD7974–9:2004	197
Литература	200

Уважаемые читатели!

Ваши замечания и предложения
просьба отправлять по адресу:

129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4
Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, УНК ППБС

тел.: +7 (495) 617-26-24

эл. почта: info@FireEvacuation.ru