

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия Государственной противопожарной службы

Холщевников В. В., Самошин Д. А.,
Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р.

ЭВАКУАЦИЯ И ПОВЕДЕНИЕ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

Учебное пособие

Допущено Министерством Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий
в качестве учебного пособия для высших образовательных
учреждений МЧС России

Москва
2015

УДК 614.842.65
ББК 38.960.1:38
Э14

Э14 **Эвакуация и поведение людей при пожарах:** учеб. пособие / Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. – 262 с.

ISBN 978-5-9229-0115-4

Второе издание дополнено результатами недавних исследований и отличается структурой изложения, измененной для лучшего восприятия материала. В пособии рассмотрены основные факторы, влияющие на поведение людей при пожарах и время начала эвакуации. Приведены параметры, характеризующие людской поток и закономерности их изменения при движении. Дано математическое описание основных расчетных случаев движения и приведены примеры расчета. Рассмотрены требования пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам. Приведены результаты исследования особенностей процесса эвакуации детей дошкольного и школьного возраста, престарелых людей, а также маломобильных групп населения, имеющих нарушения органов зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата.

Учебное пособие соответствует государственным образовательным стандартам «Пожарная безопасность» и «Техносферная безопасность», а также 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, надзорных и экспертных органов.

УДК 614.842.65
ББК 38.960.1:38

ISBN 978-5-9229-0115-4



© Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2015
© Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р., 2015

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Расчет эвакуации людей в системе расчета пожарных рисков	6
1.1. Безопасность зданий и сооружений	6
1.2. Расчет пожарных рисков	8
1.3. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты	10
1.4. Вероятность эвакуации людей	14
Литература	19
Глава 2. Организация эвакуации и поведение людей при пожарах	21
2.1. Характерные временные этапы процесса эвакуации	21
2.2. Пожарная сигнализация и время обнаружения пожара	22
2.3. Оповещение о пожаре. Типы СОУЭ	24
2.4. Особенности поведения людей при пожарах	29
2.5. Время начала эвакуации	39
2.6. Обучение правилам поведения при пожаре и план эвакуации	42
Литература	46
Глава 3. Людской поток	49
3.1. Особенности движения людей в составе потока	49
3.2. Плотность людского потока	51
3.3. Скорость движения людского потока	59
3.4. Интенсивность движения	64
3.5. Пропускная способность участка пути	67
Литература	69
Глава 4. Закономерности движения людских потоков	70
4.1. Кинематические закономерности движения людских потоков	71
4.1.1. Движение через границы смежных участков пути	71
4.1.2. Слияние людских потоков	77
4.1.3. Переформирование и растекание людского потока	78
4.1.4. Одновременное слияние и переформирование людских потоков на участках ограниченной длины	80
4.1.5. Образование задержек движения и скоплений людей	84
4.2. Психофизические закономерности связи между параметрами людских потоков	86
4.2.1. Эмпирические данные и зависимости	86
4.2.2. Стохастичность людского потока	90
4.2.3. Закономерность изменения скорости от плотности	91
4.2.4. Закономерность влияния эмоционального состояния	94
Литература	97
Глава 5. Моделирование и расчет движения людских потоков	99
5.1. Модели и расчеты при случайной структуре людского потока	99
5.2. Расчетная схема эвакуации	100
5.3. Упрощенная аналитическая модель движения людского потока	109
5.4. Имитационно-стохастическая модель движения людского потока	122
5.5. Индивидуально-поточная модель движения людских потоков	134

5.6. Краткий обзор программных комплексов для моделирования эвакуации людей	138
Литература	142
Глава 6. Нормативные требования к путям эвакуации	144
6.1. История нормирования эвакуационных путей и выходов	144
6.2. Требования к путям эвакуации в системе архитектурно-строительного проектирования	149
6.3. Требования пожарной безопасности к путям эвакуации в пределах помещений	150
6.4. Требования пожарной безопасности к путям эвакуации в пределах этажа (по коридору)	155
6.5. Пути эвакуации по лестницам и пандусам	161
6.6. Требования к путям эвакуации для маломобильных групп населения	174
Литература	181
Глава 7. Особенности процесса эвакуации детей, пожилых людей и людей с ограниченными возможностями	183
7.1. Уязвимые группы населения	183
7.2. Здоровые дети дошкольного возраста и дети с ограниченными возможностями	186
7.3. Параметры движения детей школьного возраста	199
7.4. Люди с поражением опорно-двигательного аппарата, зрения и слуха	204
7.5. Особенности эвакуации престарелых людей при пожаре	214
7.6. Особенности процесса эвакуации немобильных людей	224
7.7. Некоторые особенности процесса эвакуации беременных женщин	229
Литература	231
Заключение.	234
Приложение 1. Дополнительные сведения об опасных факторах пожара	235
Приложение 2. Требования к составлению планов эвакуации	238
Приложение 3. Площади горизонтальной проекции людей	242
Приложение 4. Значение расчетных зависимостей между параметрами людских потоков для людей различных групп мобильности	244
Приложение 5. Основные расчетные ситуации движения людских потоков и примеры их расчета	247
Приложение 6. Порядок расчета алгоритма поэтапной эвакуации	258

Введение

Учебное пособие «Эвакуация и поведение людей при пожарах», опубликованное в 2009 году, было первым за последние 40 лет пособием, в котором систематически изложены современные данные об эвакуации людей при возникновении пожара. В нем рассматривалось поведение людей при пожарах, приводились параметры, характеризующие людской поток, давалось математическое описание основных расчетных случаев движения людей и требования пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам.

Издание вызвало широкий отклик у специалистов и получило высокую оценку у профессиональных сообществ. Решением общего собрания Национальной академии наук пожарной безопасности от 3 декабря 2009 г. учебное пособие «Эвакуация и поведение людей при пожарах» получило первое место в номинации «Учебники и учебные пособия». Пособие рекомендовано учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство», по направлению 270100 «Строительство».

Опыт преподавания, новые научные данные подтолкнули авторов к переработке пособия и подготовке второго издания. Представленная работа отличается иной структурой изложения, измененной для лучшего восприятия материала, и дополнена результатами исследования особенностей процесса эвакуации детей дошкольного и школьного возраста, престарелых людей, а также маломобильных групп населения, имеющих нарушения органов зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата.

Авторы надеются, что подготовленный ими материал будет способствовать более глубокому пониманию проблем обеспечения пожарной безопасности людей, а также разработке более совершенного комплекса мер, позволяющего успешно решить задачи, направленные на защиту людей при пожаре.

Авторы выражают глубокую благодарность всем, кто участвовал в подготовке к выпуску учебного пособия. Особая благодарность – заслуженному работнику высшей школы, доктору технических наук, профессору, начальнику учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России Борису Борисовичу Серкову.

Глава 1

РАСЧЕТ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ В СИСТЕМЕ РАСЧЕТА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ

- 1.1. Безопасность зданий и сооружений
- 1.2. Расчет пожарных рисков
- 1.3. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты
- 1.4. Вероятность эвакуации людей

1.1. Безопасность зданий и сооружений

Любое здание возводится для создания объема пространства с безопасными и удобными условиями жизни и деятельности людей, защищенными от неблагоприятных воздействий окружающей среды (рис. 1.1) и природных или техногенных чрезвычайных ситуаций.

Безопасность – первоочередная жизненная потребность человека. Данное утверждение является обоснованием принятого в нашей стране комплекса федеральных законов (ФЗ) – технических регламентов о безопасности, цель которых:

- «защита жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охрана окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждение действий, вводящих в заблуждение приобретателей» [1].

Общие требования безопасности зданий и сооружений, определяемые главой 2 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений», включают обеспечение:

- «1) механической безопасности;
- 2) пожарной безопасности;
- 3) безопасности при опасных природных процессах и явлениях и (или) техногенных воздействиях;
- 4) безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях;
- 5) безопасности для пользователей зданиями и сооружениями;
- 6) доступности зданий и сооружений для инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения;
- 7) энергетической эффективности зданий и сооружений;
- 8) безопасного уровня воздействия зданий и сооружений на окружающую среду» (ст. 3 [2]).

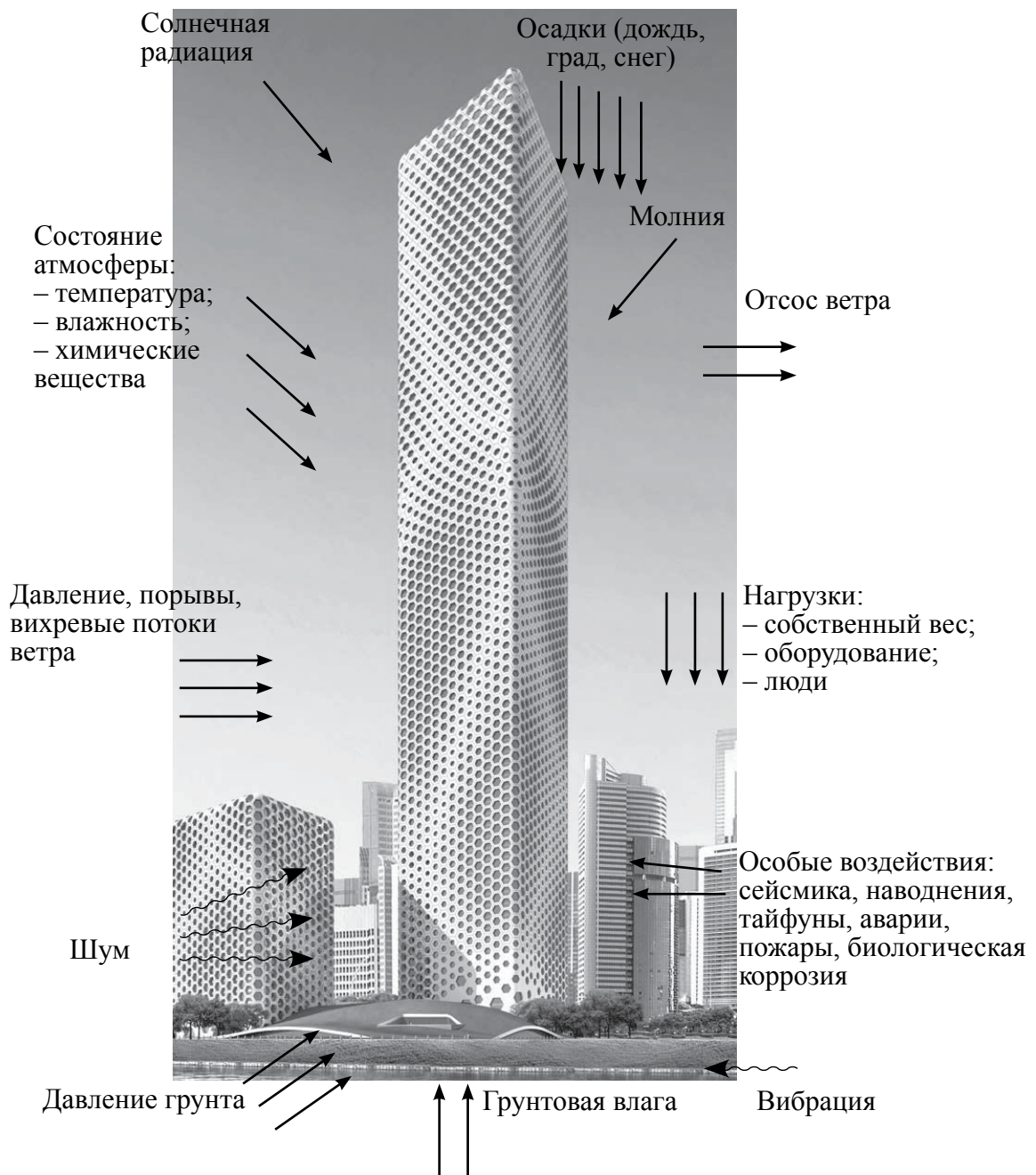


Рис. 1.1. Воздействия на здание

По официальным данным МЧС России [3], в 2012 году произошло 162,9 тыс. пожаров (свыше 400 пожаров в день), на которых погибло 11 652 человека (свыше 30 погибших в день). Основными причинами пожаров являются неосторожное обращение с огнем (56 724 пожара, 7 538 погибших) и нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования (40 891 пожар, 1 974 погибших). Наибольшее количество погибших фиксируется в зимние месяцы и в выходные дни. Следует подчеркнуть, что среди погибших 73 % мужчин и, соответственно, 27 % женщин. Важно отметить, что 113 250 пожаров (69,51 % от общего числа пожаров) произошли

в зданиях жилого назначения (в основном в малоэтажных зданиях V–III степени огнестойкости), в них погибло 10 740 человек (92,17 % от общего числа погибших в 2012 году). Гибель людей в жилом секторе во многом обуславливается социально-экономическими причинами. Поэтому для уменьшения огромного количества пожаров и погибающих на них людей требуется серьезное государственное вмешательство [4].

Статья 8 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» требует, чтобы в случае возникновения пожара в здании обеспечивались:

«1) сохранение устойчивости здания или сооружения, а также прочности несущих строительных конструкций в течение времени, необходимого для эвакуации людей и выполнения других действий, направленных на сокращение ущерба от пожара;

2) ограничение образования и распространения опасных факторов пожара (ОФП) в пределах очага пожара;

3) нераспространение пожара на соседние здания и сооружения;

4) эвакуация людей (с учетом особенностей инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения) в безопасную зону до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара;

5) возможность доступа личного состава подразделений пожарной охраны и доставки средств пожаротушения в любое помещение здания или сооружения;

6) возможность подачи огнетушащих веществ в очаг пожара;

7) возможность проведения мероприятий по спасению людей и сокращению наносимого пожаром ущерба имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений».

1.2. Расчет пожарных рисков

Введение в действие «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [5] установило критерии соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности. В ст. 6 регламента указывается, что пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной, если:

1) в полном объеме выполнены обязательные требования пожарной безопасности, есть отступления от добровольных требований пожарной безопасности и подтверждение на основе расчета пожарных рисков, что такие отступления не угрожают жизни и здоровью людей;

2) в полном объеме выполнены обязательные (технические регламенты) и добровольные (своды правил) требования пожарной безопасности.

Пожарный риск – это мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей. Для того чтобы оценить, превышаются ли допустимые значения, необходимо выполнить расчет пожарного риска. Он представляет собой оценку воздействия на людей поражающих факторов пожара и принятых мер по снижению частоты их возникновения и последствий. Вывод о соответствии делается на основе сопоставления нормативного и расчетного значений.

В основе расчета пожарных рисков лежит принцип сопоставления нормативной величины пожарного риска $Q_{\text{н}}$ и расчетной величины пожарного риска $Q_{\text{в}}$.

$$Q_{\text{в}} \leq Q_{\text{н}}. \quad (1.1)$$

Для гражданских зданий в соответствии со ст. 79 [5] оцениваются значения индивидуального пожарного риска¹. Нормативная величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях не должна превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода точке.

Расчетную величину индивидуального пожарного риска $Q_{\text{в}}$ рассчитывают по формуле:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{п}}(1 - K_{\text{АП}})P_{\text{пр}}(1 - P_{\text{э}})(1 - K_{\text{ПЗ}}),$$

где $Q_{\text{п}}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года; $K_{\text{АП}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие автоматических установок пожаротушения (АУП) требованиям норм; $P_{\text{пр}}$ – вероятность присутствия людей в здании ($P_{\text{пр}} = t_{\text{функц}}/24$, где $t_{\text{функц}}$ – время нахождения людей на объекте, ч.); $P_{\text{э}}$ – вероятность эвакуации людей; $K_{\text{ПЗ}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты требованиям норм (зависит от систем сигнализации, оповещения и управления эвакуацией и противодымной защиты).

Для производственных зданий регламентируются следующие величины пожарных рисков [5, 6]: потенциальный², индивидуальный и социальный³.

Потенциальный пожарный риск определяется посредством наложения зон поражения опасными факторами с учетом частоты реализации сценария развития пожароопасных ситуаций на генеральный и ситуационные планы производственного объекта с привязкой их к соответствующему иницирующему аварии событию с учетом метеорологических условий.

¹ *Индивидуальный пожарный риск* – пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия ОФП.

² *Потенциальный пожарный риск* – частота реализации ОФП в рассматриваемой точке здания либо территории.

³ *Социальный пожарный риск* – степень опасности, ведущей к гибели группы людей (10 человек и более) в результате воздействия ОФП либо взрыва.

Потенциальный пожарный риск определяется для расчета индивидуального пожарного риска. Величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях, строениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год (допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год при реализации мер по обучению персонала действиям при пожаре).

Величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия ОФП на производственном объекте для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну стомиллионную в год. Величина социального пожарного риска в результате воздействия ОФП на производственном объекте для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну десятиллионную в год. Расчет пожарных рисков для производственных зданий производится в соответствии с [6].

1.3. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты

Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» определяет следующее:

«1. Каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности.

2. Целью создания системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре.

3. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

4. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты в обязательном порядке должна содержать комплекс мероприятий, исключающих возможность превышения значений допустимого пожарного риска, установленного настоящим Федеральным законом, и направленных на предотвращение опасности причинения вреда третьим лицам в результате пожара» [5].

Как следует из п. 3 этой статьи, система обеспечения пожарной безопасности включает в себя три взаимосвязанные подсистемы (системы):

- 1) систему предотвращения пожара;
- 2) систему противопожарной защиты;
- 3) комплекс организационно-технических мероприятий.

Порядок перечисления этих подсистем не случаен. Он отражает иерархическую роль и сферу функциональной ответственности каждой из них.

Если первая подсистема «Предотвращение пожара» полностью выполняет свою задачу, то отпадает необходимость во второй подсистеме, ведь пожара нет. Очевидно, что показателем выполнения задачи первой подсистемой является количество (n) пожаров в стране. При полном (100 %) выполнении задачи $n = 0$, то есть вероятность предотвращения пожара $P_{\text{п}} = 1$ или, соответственно, частота (вероятность) пожаров в i -м году – $Q_{\text{п},i} = 0$. При этом для человека вероятность пострадать (погибнуть – индивидуальный пожарный риск) при пожаре $Q_{\text{в},i}$ – также нулевая. В качестве показателя полноты выполнения задачи первой системой примем вероятность пожаров, произошедших в стране в i -м году $Q_{\text{п},i}$. Согласно данным, приведенным в [7], ее значение в настоящее время может быть принято равным $4 \cdot 10^{-4}$.

Статистические данные показывают, что только подсистема «Предотвращение пожара» неспособна полностью выполнить задачу, поставленную перед всей системой «Обеспечение пожарной безопасности». Для ее более успешного решения необходимо подключение и подсистемы «Противопожарной защиты» с применением первичных средств пожаротушения и использованием АУП.

Данные опроса (анкетирования) людей, переживших пожар, показывают, что из 45,5 % людей, остававшихся в здании во время пожара, около 21 % самостоятельно тушили пожар [8]. Однако эффективность таких действий зависит от личных качеств людей, оказавшихся в помещении, где возник очаг пожара, и ограничена «пятном горения» – диаметром и высотой примерно в ступню человека. При большей площади горения в очаге пожара индивидуальная борьба с огнем чревата угрозой для жизни человека.

Статьей 8 [2] требуется «ограничение образования и распространения ОФП в пределах очага пожара». Согласно [5], ОФП являются:

- «1) пламя и искры;
- 2) тепловой поток;
- 3) повышенная температура окружающей среды;
- 4) повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;
- 5) пониженная концентрация кислорода;
- 6) снижение видимости в дыму.

К сопутствующим проявлениям ОФП относятся:

- 1) осколки, части разрушившихся зданий, сооружений, строений, транспортных средств, технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества;
- 2) радиоактивные и токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества;
- 3) вынос высокого напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества;

- 4) опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара;
- 5) воздействие огнетушащих веществ».

Наиболее эффективно защиту людей от ОФП должны осуществлять АУП. Однако как показывают результаты обследований [19], эмпирическая вероятность (частота события) безотказного эффективного срабатывания АУП в настоящее время составляет только около 0,5. Значение вероятности безотказного эффективного срабатывания АУП – $P_{\text{АУП}}$, названной в [4] коэффициентом ($K_{\text{АП},i}$), учитывающим соответствие установок автоматического пожаротушения предъявляемым к ним требованиям, принимается, согласно [4], равным 0,9.

Вероятность несрабатывания, «отказа» системы является вероятностью противоположного события $Q_{\text{АУП}}$ и определяется по формуле:

$$Q_{\text{АУП}} = 1 - P_{\text{АУП}} \quad (1.2)$$

Таким образом, в ситуациях, когда не удастся предотвратить или потушить пожар в его начальной стадии, люди, находящиеся вблизи очага пожара, могут попытаться подавить его при помощи индивидуальных средств пожаротушения или покинуть помещение, то есть эвакуироваться. Те же, кто находится в помещении вне очага пожара, вынуждены или забаррикадироваться любым способом от проникновения в помещение ОФП, или эвакуироваться из него.

В системе противопожарной защиты эвакуация определяется как процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, где возможно воздействие ОФП на людей. Необходимость организации эвакуации людей при пожаре предусматривается и [2], и [5], и нормами всех стран мира.

Защита людей при эвакуации должна осуществляться, прежде всего, системой противодымной защиты (ПДЗ), а ее управление – системой оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ).

Обе эти системы начинают действовать только при условии поступления сигнала от системы обнаружения пожара, поэтому вероятность их действия является условной вероятностью [9] и определяется как произведение вероятности безотказного срабатывания системы обнаружения ($P_{\text{обн}}$) и вероятностей безотказного функционирования системы СОУЭ ($P_{\text{СОУЭ}}$) и ПДЗ ($P_{\text{ПДЗ}}$).

Тогда вероятность отказа при совместном функционировании этих систем ($Q_{\text{ПЗ}}$) может быть определена по формуле:

$$Q_{\text{ПЗ}} = 1 - (1 - P_{\text{обн}} P_{\text{СОУЭ}})(1 - P_{\text{обн}} P_{\text{ПДЗ}}), \quad (1.3)$$

и на сегодняшний день, согласно данным раздела IV [4], она составит:

$$Q_{\text{ПЗ}} = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,8)(1 - 0,8 \cdot 0,8) = 0,87.$$

Вероятность безопасной эвакуации обозначим $P_{э}$, а вероятность ее неудовлетворительной организации $Q_{э}$. Вследствие нарушения закономерностей процесса эвакуации и допущения воздействия на эвакуирующихся людей ОФП, соответственно:

$$Q_{э} = 1 - P_{э}. \quad (1.4)$$

Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [4] рассматривает пожарный риск как неблагоприятное событие, которое наступает при совместном возникновении отказов в функционировании всех подсистем обеспечения пожарной безопасности. Как известно [9], вероятность такого события определяется произведением вероятностей вызывающих его событий. Применительно к данному случаю имеем:

$$Q_{в,i} = Q_{п,i} Q_{АУП,i} Q_{ПЗ,i} Q_{э,i} P_{пр,i} \quad (1.5)$$

$$\text{или в другом виде: } Q_{в,i} = Q_{п,i} (1 - P_{АП,i}) P_{пр,i} (1 - P_{э,i}) (1 - P_{ПЗ,i}). \quad (1.6)$$

Нормативное значение пожарного риска ($Q_{в}^н$) устанавливается ст. 79 [5]:

«1. Индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и строениях не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения и строения точке», то есть:

$$Q_{в} \leq Q_{в}^н = 1 \cdot 10^{-6}. \quad (1.7)$$

«2. Риск гибели людей в результате воздействия ОФП должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений».

Примем значение $P_{пр,i} = 1$ (например, жилые здания – Ф1.3, стационары больниц, дома для престарелых – Ф1.1); значения остальных величин, входящих в (1.6), примем по данным [7]. При этих значениях определим, согласно п. 3.1 прил. 2 [10], обеспечивается ли на требуемом уровне пожарная безопасность людей системой предотвращения пожара и автоматическими системами без проведения эвакуации, то есть при $P_{э,i} = 0$. Имеем:

$$Q_{в} = 0,04 \cdot (1 - 0,9) \cdot 1 \cdot (1 - 0) (1 - 0,87) = 5,2 \cdot 10^{-4}.$$

Это более чем на два порядка выше нормативного значения $Q_{в}^н = 1 \cdot 10^{-6}$. Следовательно, организация эвакуации людей из здания необходима всегда.

Пользуясь этими расчетами, определим значение $P_{э,i}^т$, требуемое для выполнения условия (1.7). Очевидно, что:

$$P_{э,i}^т \geq 1 - 1 \cdot 10^{-6} / 5,2 \cdot 10^{-4} = 0,9981,$$

$$\text{а } Q_{э} = 1 - 0,9981 = 0,0019.$$

Таким образом, вероятность успешной эвакуации $P_{э,i}^r$ должна быть выше вероятности безотказной работы технических систем (обнаружения, СОУЭ, противодымной защиты, пожаротушения) противопожарной защиты $P_{ТС}$ ($P_{э,i}^r / P_{ТС} = 1,1-1,25$ раза). При этом вероятность отказов (гибели людей) при эвакуации $Q_э$ должна быть ниже вероятности отказов в любой из технических систем ($1 - P_{ТС}$) более чем в 400 раз ($0,8/0,0019$). Это накладывает чрезвычайно высокие требования к точности и достоверности закономерностей поведения и движения людей, используемых при расчетах процесса эвакуации, в частности, при определении вероятности эвакуации людей и при проектировании на их основании эвакуационных путей и выходов.

1.4. Вероятность эвакуации людей

«Безопасная эвакуация людей из зданий, сооружений и строений при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре» (ст. 53, п. 3 [5]).

Критериями безопасности людей при эвакуации являются своевременность эвакуации

$$t_э \leq t_{бл}, \quad (1.8)$$

и беспрепятственность эвакуации

$$D_i \leq D_{доп}. \quad (1.9)$$

где $t_э$ – время эвакуации, то есть время выхода последнего человека в безопасную зону, в которой люди защищены от воздействия ОФП (см. Прил. 1) или в которой ОФП отсутствуют; $t_{бл}$ – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин.; D_i – плотность людского потока на i -м участке, то есть количество людей, размещающихся на занимаемом ими участке; $D_{доп}$ – допустимое значение плотности людского потока, по достижении которого интенсивность его движения (q_i – количество людей, проходящих в единицу времени через единицу поперечного сечения пути, например, чел/м·мин) достигает максимального значения (q_{max}); при дальнейшем увеличении плотности ее значение очень быстро (в течении 5–10 с.) достигает максимума D_{max} , что характерно при образовании скоплений людей перед границей участков пути с недостаточной пропускной способностью.

Критерии безопасности в приведенном виде были впервые обозначены в работе [11] как «предельные состояния». Поскольку работа предназначалась

для инженеров-строителей и архитекторов, то ее авторы использовали аналогию с предельными состояниями в расчетах конструкций. Этот труд обобщил результаты ранее проведенных исследований: значение времени как основы нормирования эвакуации людей впервые показано в [12], условия беспрепятственности движения – в [13]. В противопожарном нормировании этот комплекс критериев впервые использован СНиП II–2–80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» [14]. В пункте 4 статьи 53 [5] они выражены в следующей форме: «Методы определения необходимого и расчетного времени, а также условий беспрепятственной и своевременной эвакуации людей определяются нормативными документами по пожарной безопасности». В настоящее время такими документами являются «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [7], ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [10], «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [6].

Вероятность эвакуации людей определяется как числовая характеристика их возможности эвакуироваться без образования высоких плотностей, опасных травматизмом, в безопасную зону до того как пути эвакуации будут заблокированы пожаром. В соответствии с [4], вероятность эвакуации рассчитывают по формуле:

$$P_э = \begin{cases} \frac{0,8t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нэ}}}, & \text{если } t_p < 0,8t_{\text{бл}} < t_p + t_{\text{нэ}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин.} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{\text{нэ}} \leq 0,8t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин.} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин.,} \end{cases} \quad (1.10)$$

где $t_{\text{нэ}}$ – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин.; t_p – расчетное время эвакуации последнего человека (время движения замыкающей части одного или нескольких людских потоков от наиболее удаленных мест размещения людей через ближайшие к ним незаблокированные эвакуационные выходы), мин.; $t_{\text{ск}}$ – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение, равное 4–5 чел/м²), мин.

В зависимости от времени эвакуации [5] регламентирует:

- функционирование систем противопожарной защиты (п. 3 ст. 81);
- прокладку кабелей и проводов систем противопожарной защиты (п. 2 ст. 82);
- установку системы оповещения людей при пожаре (п. 2 ст. 82);
- монтаж элементов противоподымной защиты (п. 6 ст. 85, п. 4 ст. 138);
- исполнение лестниц и лестничных клеток (п. 19 ст. 88);

- проектирование эвакуационных путей и выходов (п. 1 ст. 89);
- прокладку линий связи автоматических установок пожарной сигнализации (п. 2 ст. 103);
- установку электрооборудования систем противопожарной защиты (п. 4 ст. 143).

Продолжительность безопасной эвакуации людей ограничена временем блокирования участков эвакуационных путей ОФП, которое определяется динамикой их распространения. Этот сложный физико-химический процесс начала изучать теория горения – наука, появившаяся в середине XVIII в. Именно она заложила основы моделирования пожаров, практическая реализация которого стала возможной лишь в последние десятилетия, благодаря значительным прогрессам в области вычислительной техники и программного обеспечения.

Зависимость возможностей практического воспроизведения (моделирования) столь сложного природного явления от развития вычислительной техники отразилась на уровне его описания в нормировании. В противопожарном нормировании значения необходимого времени для последовательных этапов эвакуации впервые были приведены в СНиП II–2–80. Они были установлены [15] на основании ограниченного количества данных о произошедших пожарах. В настоящее же время имеется возможность прогнозирования динамики ОФП широким кругом пользователей компьютеров. Для расчета времени блокирования путей эвакуации сегодня используются интегральные, зонные и дифференциальные (полевые) модели пожара.

Описанная ситуация является яркой иллюстрацией того, что уровень технического нормирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений зависит, прежде всего, от полноты теоретических знаний о закономерностях природных и социальных явлений и от имеющихся возможностей их практического использования широким кругом разработчиков и пользователей норм. Чем глубже понимание закономерностей процессов, лежащих в основе норм, тем больше возникает возможностей гибкого реагирования на практическое разнообразие ситуаций. Тогда и нормы будут иметь возможность постепенно перейти от немотивированного «жестко-указательного», однозначного способа к аргументированному «гибкому», расчетному методу. Конечно, такой переход требует изменения методологии нормирования. Становление новых методологических принципов нормирования пожарной безопасности в строительстве происходит не в один момент; это длительный многоэтапный процесс, реализующий постепенное накопление знаний (теории) и возможностей их широкого использования (в масштабах всей страны) практикой проектирования зданий и сооружений.

Первый этап нормирования основывается на описании внешне наблюдаемых признаков явления, без вникания в суть определяющих их закономерностей. В нормировании эвакуационных путей этот этап выразился

в формулировке: «Суммарная ширина лестничных клеток в зависимости от числа людей, находящихся на наиболее населенном этаже, кроме первого, а также ширина дверей, коридоров или проходов на путях эвакуации на всех этажах должны приниматься из расчета не менее 0,6 м на 100 человек...» (п. 4.2 [16]). Как видно, эта норма никак не связана ни с характеристиками пожара, ни с пожарно-техническими характеристиками здания, ни даже с таким, казалось бы, очевидным параметром эвакуации, как скорость движения людей. Просто: 0,6 м ширины пути на 100 человек, независимо от того, в течение какого времени эти 100 человек пользуются данным путем. Это можно назвать не противопожарной, а эргономической нормой, фиксирующей антропометрические данные – приблизительную ширину в плечах двигающегося человека.

Начало этого нормирования можно отнести к 1943 году, когда были приняты «Временные нормы строительного проектирования театров», в которых время эвакуации и первые эмпирически установленные сотрудниками института архитектуры Всероссийской академии художеств (под руководством С. В. Беляева), казалось, минимальные значения параметров людских потоков (скорости движения «элементарного» потока людей и пропускной способности единицы пути) впервые определяли нормируемые размеры эвакуационных путей.

К тому времени отсутствовала развитая теория людских потоков и оперативные методы прогнозирования динамики ОФП. Это было объективной причиной длительной задержки нового принципа нормирования размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях и сооружениях различного назначения. Потребовалось более 35 лет для того, чтобы пройти путь от эмпирической стадии натуральных наблюдений в зданиях различного назначения и теоретических исследований, выполненных под руководством В. М. Предтеченского (МИСИ) представителями различных вузов Высшей школы СССР и организаций противопожарной обороны МВД СССР, к созданию теории людских потоков. Эта теория достаточно достоверно описывает кинематические и психофизические закономерности процесса на всем маршруте эвакуации людей от мест их нахождения до выхода в безопасную зону. Основные положения разработанной теории были использованы СНиП II–2–80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» (прил. I, разд. 1 «Расчетное время эвакуации») [14].

Для нормирования допустимого (необходимого) времени эвакуации сотрудниками кафедры противопожарной безопасности в строительстве ВИПТШ МВД СССР под руководством Н. А. Стрельчука (МИСИ) был разработан комплекс значений необходимого времени эвакуации на последовательных этапах эвакуации из зданий различного назначения ([14], прил. I, разд. 2 «Необходимое время эвакуации»). В соответствии с задачами того этапа развития нормирования, основные положения и данные этого

документа в максимальной степени интегрировали то общее, что могло наблюдаться при организации эвакуации людей во время пожара в зданиях различного назначения. Они применялись затем при разработке на их основе разделов «Эвакуационные пути и выходы» в строительных нормах проектирования различных видов общественных зданий, производственных зданий промышленных предприятий и пешеходных путей станций и пересадочных узлов сооружений метрополитена.

Этот этап развития методологии нормирования элементов (эвакуационных путей и выходов) противопожарной защиты людей в зданиях и сооружениях можно рассматривать как первый этап введения гибкого нормирования. Благодаря учету общих закономерностей движения людских потоков, открытию связи между их параметрами [17] и введению данных о необходимом времени эвакуации была снята догма о единой для всех видов зданий и сооружений нормы пропускной способности единицы пути [16] как показателя достаточности для обеспечения безопасности людей при пожаре; впервые сформулированы критерии безопасности эвакуации людей при пожаре и сформированы методологические основы их практической реализации в нормировании. Однако отображение содержательного описания процессов в нормировании было весьма ограниченным.

Этот этап был необходимым, но недостаточным для более полного использования принципов гибкого нормирования противопожарной защиты людей в зданиях, поскольку им не учитывались ни влияние установок автоматического пожаротушения и противодымной вентиляции на динамику ОФП, ни влияние систем пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией на время ее начала, ни влияние на начало и ход процесса эвакуации разных психофизиологических возможностей основного контингента людей, находящихся в зданиях различного функционального назначения.

В настоящее время содержательное описание процессов, лежащих в основе нормирования, и возможности их воспроизведения значительно расширены. Наиболее представительной в этом отношении является «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [7].

Введение классификации зданий по функциональной пожарной опасности (впервые в СНиП 21–01–97 и далее в [5]), основанной на учете возраста и физического состояния людей, находящихся в здании, требует установления дифференцированных закономерностей связи между параметрами людских потоков различного состава, характерного для зданий каждого из классов функциональной пожарной опасности, и соответствующими зависимостями формирования времени начала эвакуации от этих свойств людей. Такое расширение области практических задач требует и соответствующего расширения использования необходимых для этого теоретических сведений. Это – задачи ближайшего будущего.

Однако и на сегодняшнем этапе развития методологии нормирования остается ряд, что называется, «непрозрачных вопросов». Так, например, условия соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности регламентируются ст. 6 [5]:

«1. Пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной, если:

1) в полном объеме выполнены обязательные требования пожарной безопасности, установленные федеральными законами о технических регламентах;

2) пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом.

2. Пожарная безопасность объектов защиты, для которых федеральными законами о технических регламентах не установлены требования пожарной безопасности, считается обеспеченной, если пожарный риск не превышает соответствующих допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом.

3. При выполнении обязательных требований пожарной безопасности, установленных федеральными законами о технических регламентах, и требований нормативных документов по пожарной безопасности расчет пожарного риска не требуется».

В пункте 3 содержится формулировка, вызывающая вопрос: гарантируют ли требования нормативных документов по пожарной безопасности, снимающих необходимость расчета пожарного риска, что индивидуальный пожарный риск при их выполнении не будет превышать значение одной миллионной в год – обязательного требования технического регламента? Известно, в частности, что в них размеры эвакуационных путей и выходов установлены без учета времени начала эвакуации и при значениях необходимого времени эвакуации по коридорам не более 1 минуты [18].

Литература

1. Федеральный закон РФ от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
2. Федеральный закон РФ от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
3. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году [Текст]: статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2012. – 137 с.
4. Основы теории пожарных рисков и ее приложения: монография / Н. Н. Брушлинский и [др.]. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 192 с.
5. Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 г. № 404, зарег. в Министерстве юстиции РФ (рег. № 14541 от 17.08.2009 г.)).
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (утв. приказом МЧС России № 382 от 30.06.2009 г.).

8. *Wood P. G.* The Behaviour of People in Fires. FRS, Borehamwood, 1972.
9. *Гмурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
10. ГОСТ 12.1.004–94. Пожарная безопасность. Общие требования.
11. *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.
12. *Беляев С. В.* Эвакуация зданий массового назначения. – М., 1938.
13. *Предтеченский В. М.* О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия высших учебных заведений. Серия строительство и архитектура. – 1958. – № 7.
14. СНиП II–2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
15. *Стрельчук Н. А., Ройтман М. Я., Башкирцев М. П. и др.* Обоснование допустимого времени эвакуации из зданий различного назначения: Отчетная справка. – М.: Высшая школа МВД СССР, 1972.
16. СНиП II–А.5–70. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
17. Закономерности связи между параметрами людских потоков. Диплом № 24–S / *Холщевников В. В.* // Научные открытия. – М.: Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, 2006. – С. 63–69.
18. *Холщевников В. В.* Исследование людских потоков и методология нормирования эвакуации людей при пожаре. – М.: МИПБ, 1999.
19. *Васильев М. А., Демехин Ф. В.* Проблемы обеспечения эффективности пожарной автоматики // Системы безопасности – 2005: Сб. мат.-лов 14-й науч.-техн. конф. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005.

Глава 2

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭВАКУАЦИИ И ПОВЕДЕНИЕ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

- 2.1. Характерные временные этапы процесса эвакуации
- 2.2. Пожарная сигнализация и время обнаружения пожара
- 2.3. Оповещение о пожаре. Типы СОУЭ
- 2.4. Особенности поведения людей при пожарах
- 2.5. Время начала эвакуации
- 2.6. Обучение правилам поведения при пожаре и план эвакуации

2.1. Характерные временные этапы процесса эвакуации

В современных условиях процесс эвакуации людей из здания при пожаре нельзя считать обеспеченным без решения трех принципиально важных и взаимосвязанных задач: обнаружение пожара, оповещение о пожаре, организация и управление эвакуацией. Решение первых двух задач требует определенного времени, которое окажет прямое влияние на время начала эвакуации $t_{нэ}$. Третья задача непосредственно влияет на характеристики людских потоков, на психоэмоциональное состояние людей и на их поведение в ходе эвакуации. Опыт показывает, что решение каждой из указанных задач определяется совокупностью различных процессов, происходящих при пожаре (рис. 2.1).

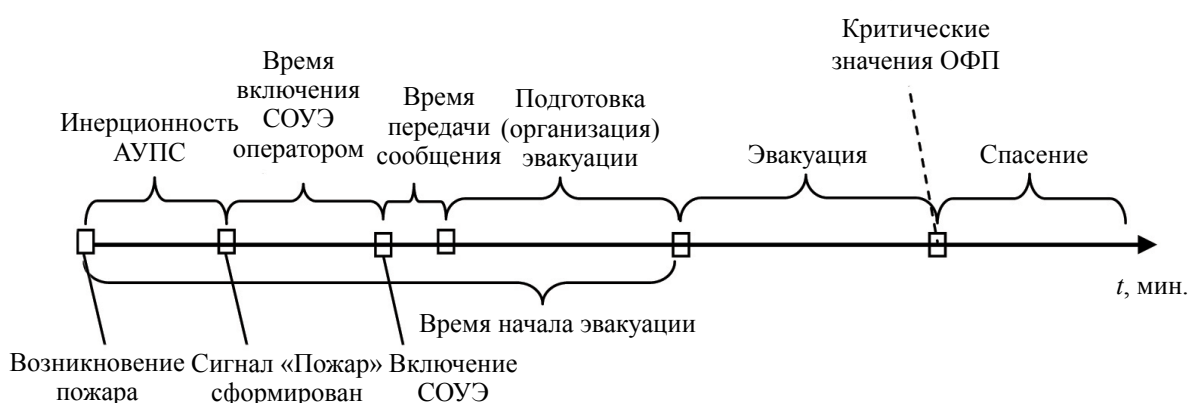


Рис. 2.1. Интервалы затрат времени при возникновении пожара

Инерционность срабатывания автоматического извещателя будет зависеть от характеристик пожарной нагрузки, архитектурных и инженерных особенностей защищаемого помещения и технических характеристик самого извещателя. Например, необходимо некоторое время, чтобы частицы дыма распространились по защищаемому помещению и попали в камеру точечного дымового извещателя. Или, например, чтобы температура воздуха в помещении достигла порогового значения на срабатывание теплового извещателя. Точно также человеку необходимо затратить некоторое время на перемещение к ближайшему доступному ручному извещателю, чтобы привести его в действие после обнаружения признаков пожара.

Как показывает практика, при получении сигнала «Пожар!» от систем пожарной автоматики оператор не стремится к немедленному включению СОУЭ. Это связано с желанием, а зачастую и с ведомственным требованием перепроверить сигнал и при его достоверности доложить об этом лицу, принимающему решения. Сам оператор, как правило, по ряду причин не принимает самостоятельного решения об эвакуации объекта. Причем если должностное лицо не находится на месте, то ситуацию становится невозможно спрогнозировать. Таким образом, суммарная продолжительность организационной составляющей будет зависеть от времени проверки сообщения; времени передачи сообщения лицу, принимающему решение; времени, требуемого ему для принятия решения и передачи указания оператору на включение СОУЭ.

Следует также учитывать время, затрачиваемое человеком на восприятие сообщения о пожаре, которое составляет, как правило, около 20–25 с. (из которых 6–8 с. подается сигнал для привлечения внимания и 14–17 с. осмысливается текст). При этом, как показывают наблюдения, люди приступают к активным действиям, прослушав сообщение как минимум 2 раза.

Подготовка к эвакуации связана с психологическими и физиологическими особенностями оповещаемых людей. Получив сигнал о пожаре человек, за крайне редким исключением, не начнет немедленно эвакуироваться, а постарается завершить деятельность, в которую был вовлечен, обсудить ситуацию с коллегами, перепроверить сигнал, принять меры к тушению пожара и т. п., что может занять минуты и даже десятки минут.

2.2. Пожарная сигнализация и время обнаружения пожара

Системы пожарной сигнализации (ПС) принимают извещения о пожаре от установленных в здании автоматических и ручных пожарных извещателей, регистрируют и обрабатывают эти сигналы, принимают решение о переходе в режим «Пожар» и формируют сигналы управления системами противопожарной защиты. Автоматические пожарные извещатели

реагируют на изменения параметров окружающей среды, а ручные приводятся в действие человеком. Необходимо понимать, что извещение о пожаре не может поступить в систему ПС немедленно после начала возгорания. Сведения об инерционности срабатывания автоматических извещателей представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Техническая инерционность автоматических пожарных извещателей

Вид пожарного извещателя	Определение времени обнаружения	Характеристика	Время инерционности
Тепловой	Математические модели пожара	Не позволяет обнаружить пожар на ранней стадии	30–180 с
Дымовой Радиоизотопный Фотоэлектрический	Расчетные формулы приведены в справочных и учебных пособиях	Позволяет обнаружить пожар на ранней стадии	5–10 с
Аспирационные (наиболее эффективны)	Нет данных		
Извещатели пламени (световые)	Нет данных		> 1 с
Газовый	Математические модели пожара		> 1 с
Комбинированный (наиболее распространены дымотепловые)	Нет данных		Недостаточно данных

В идеале, любая ПС должна обнаруживать пожар на самых ранних стадиях его развития и своевременно выдавать команду на запуск СОУЭ. Система также должна эффективно бороться с ложными тревогами и не формировать команды на запуск СОУЭ в случае таковой. Переход системы ПС в режим «Пожар» и дальнейшее формирование команды на запуск СОУЭ зависит от принятой в системе ПС схемы обработки сигналов от пожарных извещателей. В настоящее время в отечественных нормах предусматриваются две принципиальные схемы формирования сигнала «Пожар». Первая схема (так называемая схема «ИЛИ») допускает формирование сигнала «Пожар» при срабатывании одного пожарного извещателя. Вторая схема (схема «И») направлена на борьбу с ложными срабатываниями пожарной сигнализации и допускает формирование сигнала «Пожар» при одновременном срабатывании не менее двух пожарных извещателей.

Очевидно, что чем меньше времени система ПС будет затрачивать на обнаружение пожара, тем раньше может быть запущена система СОУЭ. Не вдаваясь в технические детали построения систем ПС, подчеркнем, что у любой системы ПС всегда есть некоторая инерционность и этот параметр зависит от характеристик защищаемого объекта, характеристик пожарных извещателей, способов их расстановки и от принятого в системе ПС алгоритма обработки сигналов от пожарных извещателей. Также отметим, что при сокращении времени обнаружения пожара будет уменьшаться время начала эвакуации $t_{нэ}$ и, соответственно, будет увеличиваться вероятность эвакуации людей из здания до наступления критических значений ОФП.

Если в результате ложных тревог происходят частые ложные срабатывания системы ПС и соответствующие запуски системы СОУЭ, то с течением времени эффективность работы СОУЭ будет стремиться к нулю. Объясняется это тем, что люди просто привыкнут к сигналам оповещения и перестанут на них реагировать как на сигналы опасности. В результате, нельзя будет рассчитывать на адекватное поведение людей в условиях реального пожара. Реагирование будет начинаться не с сигналов оповещения, а только после непосредственного столкновения с признаками ОФП.

2.3. Оповещение о пожаре. Типы СОУЭ

Система ПС предназначена для обнаружения пожара, для решения же задач оповещения и управления эвакуацией предназначена система СОУЭ. Требования пожарной безопасности к системам СОУЭ отражены в своде правил [1]. Предусматривается пять типов систем СОУЭ, каждый из которых характеризуется совокупностью обязательных требований к функциональным характеристикам системы (см. табл. 2.2). Увеличение номера типа системы соответствует увеличению требований к ее функциональному составу.

Наиболее простым набором функций должны обладать СОУЭ 1-го и 2-го типов. Подобными системами защищаются относительно небольшие объекты, где время блокирования путей эвакуации при пожаре достаточно невелико. На таких объектах нельзя «затягивать» время принятия решения на запуск СОУЭ, поэтому должно быть полностью исключено влияние человеческого фактора. Связи между системой ПС и системой СОУЭ 1-го или 2-го типа предусматриваются только автоматические без участия человека.

Системами 3-го, 4-го и 5-го типов оснащают уже более масштабные объекты. Такие здания лучше защищены от пожара и эвакуация из них происходит более длительное время. В системе ПС увеличивается количество пожарных извещателей и приборов, усложняется алгоритм их работы и усложняется структура сетей связи, увеличивается и вероятность ложных

тревог. На таких объектах может усложняться и алгоритм эвакуации, например, из-за необходимости поэтапной эвакуации людей из разных частей здания. Это приводит к увеличению количества возможных схем эвакуации и необходимости корректировки алгоритма работы системы СОУЭ уже в ходе эвакуации. Поэтому для систем 3-го, 4-го и 5-го типов предусмотрена возможность появления такого звена управления как человек-оператор, способного влиять на формирование команд на запуск СОУЭ и на работу самой СОУЭ. Следует отметить, что в настоящее время в отечественных нормах нет четкого описания того, как именно должен действовать оператор, и выбор вида управления ложится на плечи проектировщика системы СОУЭ.

Таблица 2.2

Типы систем оповещения и управления эвакуацией [1]

Характеристика СОУЭ	Наличие указанных характеристик у различных типов СОУЭ				
	1	2	3	4	5
Способы оповещения:					
– звуковой (сирена, тонированный сигнал и др.)	+	+	×	×	×
– речевой (передача специальных текстов)	–	–	+	+	+
– световой:					
а) световые мигающие оповещатели;	×	×	×	×	×
б) световые оповещатели «ВЫХОД»;	×	+	+	+	+
в) эвакуационные знаки пожарной безопасности, указывающие направление движения;	–	×	×	+	+
г) световые оповещатели, указывающие направление движения людей, с изменяющимся смысловым значением	–	–	–	×	+
Разделение здания на зоны пожарного оповещения	–	–	×	+	+
Обратная связь зон пожарного оповещения с помещением пожарного поста-диспетчерской	–	–	×	+	+
Возможность реализации нескольких вариантов эвакуации из каждой зоны пожарного оповещения	–	–	–	×	+
Координированное управление из одного поста-диспетчерской всеми системами здания, связанными с обеспечением безопасности людей при пожаре	–	–	–	–	+

Примечания: «+» – требуется; «×» – допускается; «–» – не требуется.

Системы 1-го типа предназначены для оповещения людей, хорошо знакомых с путями эвакуации, в зданиях (частях зданий, помещениях)

с незначительным количеством людей, с образованием при эвакуации людских потоков плотностью 1 чел/м² и ниже. СОУЭ 2-го типа применяются при условии, что на один выход при эвакуации с этажа приходится не более 50 человек.

В общем случае, СОУЭ 3-го типа применяются, если внутри здания находятся группы людей, существенно различающиеся по степени осведомленности об эвакуационных путях (персонал и посетители) и способности самостоятельно эвакуироваться (медперсонал и больные, воспитатели и дошкольники, другие группы), а также в тех случаях, когда в многоэтажном здании при эвакуации на один выход на лестничную клетку приходится более 50 чел. Возможно применение многозонной СОУЭ 3-го типа в случаях, если в крупном здании одновременная эвакуация людей из всего здания не целесообразна (пожар в одной зоне оповещения не представляет угрозы для людей в других зонах) или не допустима (когда на путях эвакуации образуются людские потоки с плотностью 5 чел/м² и более).

СОУЭ 4-го типа используются, если в здании могут находиться одновременно 1 000 и более человек; горизонтальные эвакуационные пути имеют значительную протяженность (90 м и более); планировка помещений здания достаточно сложна, что затрудняет ориентирование в случае эвакуации при пожаре. СОУЭ 5-го типа предназначены для зданий повышенной этажности (высотой более 16 этажей), а также для многофункциональных зданий меньшей этажности, где могут находиться одновременно 2 000 человек и более.

Относительно типов систем СОУЭ можно вывести общее правило – с ростом «масштаба» здания увеличивается и требуемый тип системы СОУЭ. Требования к оснащению системами СОУЭ зданий различных типов и различных масштабов содержатся в [1].

Следует отметить, что влияние элементов СОУЭ на эффективность эвакуации проверялась неоднократно. Например, в работе [2] было показано, что использование СОУЭ для организации движения людских потоков ведет к увеличению количества людей, выбравших оптимальный (кратчайший) путь, и снижению количества выбравших критический путь эвакуации (рис. 2.2).

Исследованиями 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 [3–5].

Существует и способ оповещения людей о пожаре звуком. Вид звукового сигнала аварийной эвакуации должен соответствовать международному стандарту [6], многие страны адаптировали этот документ в качестве национального стандарта. В США, например, с 1996 года требуется, чтобы все новые системы оповещения использовали именно этот звуковой сигнал эвакуации. Целью подобного подхода является применение общего сигнала эвакуации, который бы распознавался каждым человеком именно как сигнал

о необходимости покинуть здание. К сожалению, вплоть до настоящего времени, в отечественных нормах пожарной безопасности отсутствуют прямые ссылки на этот сигнал, как и отсутствуют вообще конкретные требования к виду звукового сигнала эвакуации. Остается надеяться, что в обозримом будущем этот недостаток будет устранен.

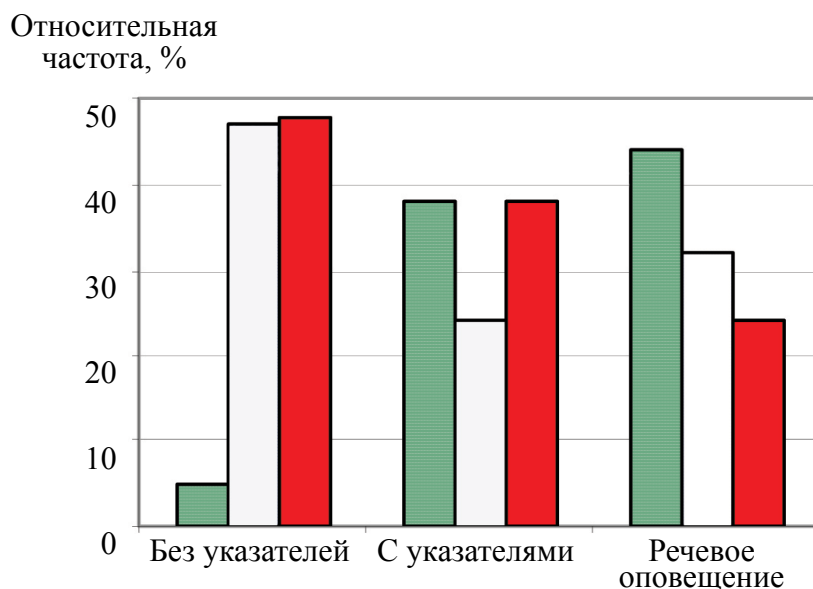


Рис. 2.2. Влияние элементов СОУЭ на выбор маршрута эвакуации:
■ – оптимальный (кратчайший путь); ■ – нейтральный;
 – критический (наиболее продолжительный и загруженный)

Звуковой сигнал эвакуации должен использоваться только в случаях, когда необходима немедленная эвакуация людей из здания. В случае, если плановым действием в условиях пожарной опасности будет не эвакуация, а какие-либо другие действия, нужно использовать звуковой сигнал другого вида, отличного от [6]. Речь идет, например, о перемещении людей в безопасную зону внутри этого здания.

Следует упомянуть о том, что в зарубежных нормах [7] с 2007 года регламентируется применение таких устройств, как звуковые указатели эвакуационных выходов, основанных на эффекте бинаурального слуха. В отличие от традиционных узкополосных звуковых пожарных оповещателей, работающих, как правило, на частотах не более 3 кГц, звуковые указатели излучают сигнал специального вида в широкой полосе частот от 20 Гц до 20 кГц. Подобные устройства позволяют человеку определять точное направление на источник звука и, соответственно, определять направление движения к эвакуационному выходу даже в условиях полной потери видимости на путях эвакуации.

Неизвестно, проводились ли когда-либо исследования и анализ состава реальных сообщений для определения наилучших способов информирования

людей, находящихся в здании. Проблема заключается в том, что каждое здание и каждый пожар уникальны. Речевое оповещение может усложняться из-за необходимости передавать разную информацию разным людям, в зависимости от их местоположения относительно очага пожара, степени их подготовленности, их физического или психического состояния.

Есть некоторые общие рекомендации относительно того, какими должны быть речевые сообщения [8]. Любое сообщение, адресуемое группе людей, оказавшихся в аварийной ситуации, всегда должно быть направлено на организацию их поведения и преследует цель исключения элементов стихийности и паники. Учитывая основные принципы психологического воздействия речевых текстов на людей в условиях сильного эмоционального стресса, сообщения и инструкции должны отвечать следующим требованиям:

- сообщение должно произноситься четким и уверенным голосом;
- содержание и форма текстового материала должны быть направлены на максимальное снижение элементов неожиданности и внезапности;
- при максимальной сжатости текста в инструкции должны быть указания о последовательности действий людей и способы их обращения за помощью;

- в сообщениях и инструкциях следует избегать употребления фраз с частицей «не», так как подобные выражения могут быть неверно истолкованы слушателями. Например, частица «не» может быть пропущена слушателем или он может решить, что частица «не» относится ко всему остальному тексту. Подобным же образом следует с большой осторожностью использовать, например, такие слова как «семь» и «восемь». Звучание этих слов и им подобных может быть очень похожим при плохих акустических свойствах помещения;

- обращения должны быть прямыми и утвердительными типа: «запрещается...», «надо...», «необходимо, чтобы Вы...».

Особо следует выделить тексты обращения диспетчера к лицам, которые оказались заблокированными пожаром в здании. Текст необходимо строить так, чтобы:

- создать у людей уверенность в том, что помощь уже оказывается и что она действенна и оперативна;

- обеспечить возможность диалога с пострадавшими для выяснения пожарной обстановки, в которой они оказались, опасных факторов пожара;

- блокировать неадекватные и ошибочные действия пострадавших;

- указать пострадавшим на конкретные действия по обеспечению личной безопасности и оказанию помощи окружающим.

Обращение к человеку с просьбой успокоить других позволяет переключить его внимание с собственного бедственного состояния на других и, в конечном счете, успокоиться самому.

Примерное содержание текстов:

- «Внимание! Администрация просит Вас покинуть помещение»;
- «Двигайтесь в сторону выхода в направлении, указанном световыми указателями. Пользоваться лифтами запрещается»;
- «Выполняйте распоряжения представителя администрации»;
- «Помогайте двигаться детям, женщинам и престарелым»;
- «С диспетчером можете связаться по телефону у входа в цех»;
- «Поднимайтесь на крышу. Вы будете спасены с помощью пожарного вертолета».

Пример неудачного сообщения: «Звук, который вы сейчас слышите, является сигналом опасности. Если после данного сообщения вы услышите на вашем этаже сигнал эвакуации – не пользуйтесь лифтами, пройдите к ближайшей эвакуационной лестнице и покиньте этаж. Если на вашем этаже не слышен сигнал эвакуации, вы должны оставаться на своих местах и ожидать дальнейших указаний». Такой текст слишком длинный, двусмысленный и будет неверно восприниматься в условиях плохой слышимости.

Состав речевого сообщения должен точно соответствовать принятому в здании плану реагирования, характеристикам здания и людей, находящихся в нем, структуре системы пожарной сигнализации и оповещения, а также проверенной реакции обитателей здания на это сообщение. Особо нужно иметь в виду тот факт, что алгоритмом работы пожарной сигнализации может предусматриваться запуск СОУЭ от удаленных от очага пожара ручного или автоматического пожарных извещателей.

Важно также, на каком языке произносится сообщение. Например, в [9] говорится о том, что экстренные аварийные сообщения должны передаваться на том языке, на котором говорит доминирующее большинство обитателей здания. Следует применять многоязычные сообщения, если есть вероятность, что внутри здания могут быть сосредоточены группы слушателей, не говорящих на этом доминирующем языке. Предполагается, что такие временно присутствующие в здании группы посетителей будут «подхвачены» потоком эвакуирующихся и не будут являться изолированной группой.

2.4. Особенности поведения людей при пожарах

Поведение человека при пожаре – это система осознанных действий незащищенного человека с целью избежать воздействия критических значений ОФП для себя и окружающих.

Как считает ряд специалистов, изучающих особенности поведения людей при пожарах, принятые представления о реагировании на сигналы опасности далеко не согласуются с реальностью. Например, время реагирования на сигнал тревоги по психофизиологическим данным составляет

всего 0,1–0,2 с. [2]. Однако результаты проведенных наблюдений в реальных ситуациях показывают, что реакция на сигнал крайней (смертельной) опасности бывает значительно замедленной и может достигать десятков минут [9].

Многие авторы получили данные, подчеркивающие, что информация о пожаре воспринимается скептически, в результате только 20 % будут эвакуироваться немедленно. Такое поведение проявляется особенно ярко, если люди не видят непосредственных признаков развивающегося пожара. При пожаре в здании у людей также отмечается тенденция к потере чувства времени, которая часто приводит к трагическим последствиям.

Следует иметь в виду, что определенный процент людей (до 45 % в жилых зданиях [10]) не эвакуируются вообще или эвакуируются с существенной задержкой из-за случаев несрабатывания сигнализации или неподготовленности к действиям при пожаре.

Исследования поведения людей при пожаре позволили поставить действия человека при пожаре в зависимость от трех факторов [11]:

- индивидуальных качеств человека (например, физическое состояние, подготовленность к действиям при пожаре),
- его деятельности на момент пожара (например, сон или работа за пультом оператора атомной станции),
- влияния окружающей среды (например, задымление путей эвакуации, эффективность СОУЭ).

В рамках концепции постулируется, что статическая среда (определенное информационное поле) под воздействием пожара становится динамической. Окружающая среда и пожар оказывают влияние на человека, имеющего ряд индивидуальных особенностей. В ходе исследований удалось получить яркое подтверждение данной концепции.

Установленные факторы, влияющие на поведение при пожаре, можно условно разделить на две группы: *устойчивые факторы* (пол, возраст [2, 10], темперамент [12], ограничение органов чувств, физические ограничения [13–15]), и *временные факторы* (сон/бодрствование [16], усталость, стресс [12], состояние опьянения), а также ряд дополнительных обстоятельств:

- система оповещения [3, 18, 19];
- действия персонала [19–21];
- динамика ОФП [12];
- социальные и родственные связи человека [10, 22–24];
- противопожарный тренинг и обучение [19, 20];
- тип здания [10, 11].

Было установлено, что женщины более склонны к оповещению о пожаре, мужчины – к тушению пожара; пожилые люди в целом менее склонны к активным действиям. Экспериментально подтверждена более высокая

вероятность оказаться пострадавшим при пожаре при отсутствии противопожарной подготовки. Видимость пламенного горения, мощность теплового потока, распространение и плотность дыма будут влиять на намерение немедленно покинуть здание, тушить пожар, на выбор направления движения. Например, чем ближе к очагу пожара находится человек, тем ниже вероятность его звонка в пожарную охрану. Если же люди находятся далеко от очага пожара, то они стремятся исследовать ситуацию и разузнать, где произошел пожар.

Поведение людей в значительной мере зависит от типа здания как комплексного показателя отношения человека к окружающей среде. Было также установлено, что в жилых зданиях люди ведут себя иначе, чем во всех других типах зданий. Это связано, как правило, с нежеланием покидать свое жилище, склонностью к защите имущества, продолжительностью сбора вещей и др. Кроме того, поведение людей в такой группе будет отличаться: каждый из членов группы будет стараться переложить ответственность на других.

Интересные данные о характере действий людей при пожарах представлены в табл. 2.3 и 2.4.

Таблица 2.3

**Действия людей при получении сигнала «Пожар!» [10]
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

Как показывают данные таблиц, действия людей при получении сигнала о пожаре имеют разную направленность и не связаны (как это иногда постулируется) с немедленным стремлением людей покинуть здание. Результаты опроса более 2 000 пострадавших при пожарах выявили действия и мотивы поведения людей на последующих этапах эвакуации (рис. 2.3).

Действия людей при получении сигнала «Пожар!» в общественном здании [2]

Характер действий людей при пожарах	Процент от числа опрошенных, %
Эвакуация имущества	3
Спасение членов семьи, окружающих	0
Оповещение администрации, других людей	25
Уход, бегство	14
Призыв о помощи	0
Участие в тушении пожара	0
Сообщение о пожаре в пожарную охрану	0
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

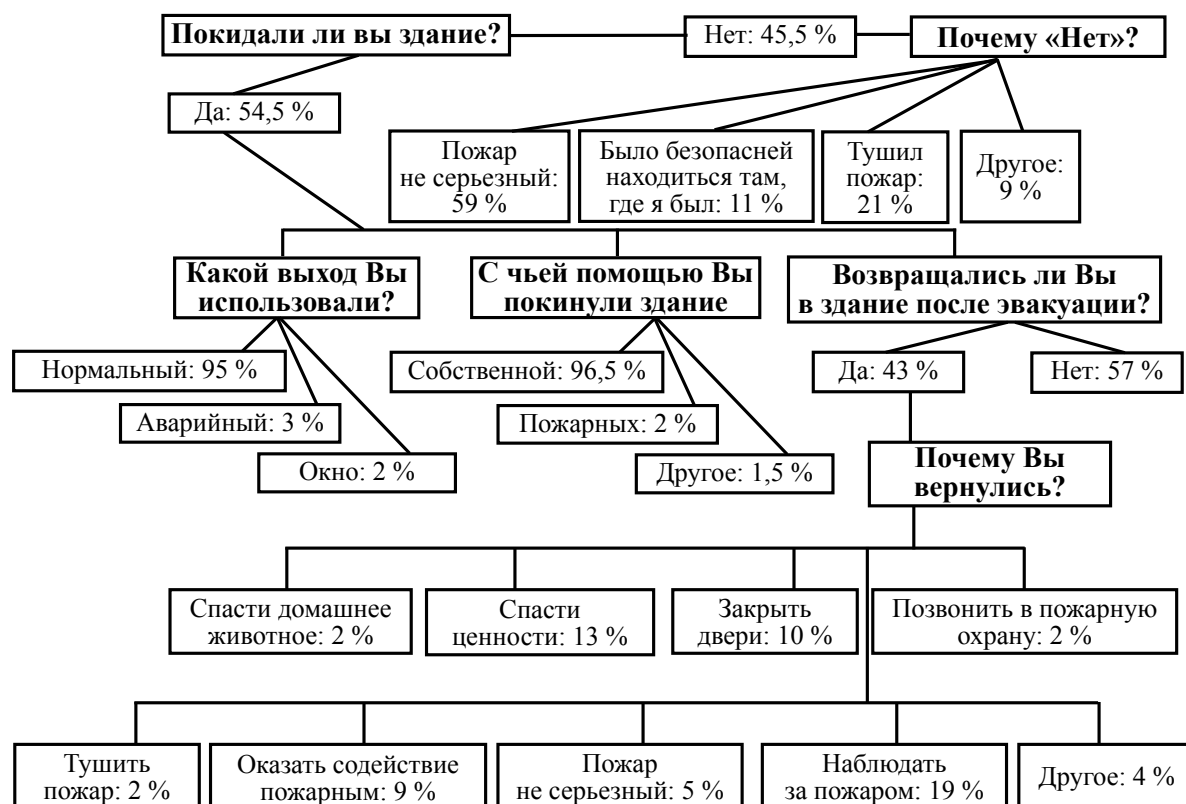


Рис. 2.3. Действия людей при пожарах [10]

Анализ полученных в ходе опроса данных демонстрирует интересные результаты: значительное количество (почти половина) людей при пожаре в жилом здании вообще не покидали здания, более того, успешно эвакуировавшиеся люди возвращаются в горящие помещения, в том числе, например, чтобы понаблюдать за пожаром.

Определенный интерес [2] представляют данные о действиях людей различного пола и возраста в случае угрозы блокирования пожаром путей эвакуации. Для анализа поведения людей в рассматриваемой ситуации, автором были выделены 3 группы характерных действий (активные и пассивные), совершаемых людьми при пожаре:

I группа – действия, направленные на обеспечение безопасности, оказание помощи или оповещение окружающих;

II группа – самостоятельная эвакуация из опасной зоны;

III группа – действия, связанные со сбором вещей, документов, выяснением обстановки или проявлением полного бездействия (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Действия людей в зависимости от пола, возраста и характера развития пожара

Пол	Возраст	Процент людей, совершивших различные действия					
		После обнаружения пожара			При угрозе блокирования		
		I группа действий	II группа действий	III группа действий	I группа действий	II группа действий	III группа действий
Мужчины	< 50	42,9	17,3	39,8	19,1	60,9	20,0
	> 50	38,9	13,9	47,2	16,7	58,3	25,0
Женщины	< 50	41,6	18,7	39,7	23,7	58,9	17,3
	> 50	37,0	17,9	45,1	18,5	51,8	29,6

В результате было установлено, что при установлении угрозы блокирования путей эвакуации резко возрастает количество действий, направленных на самостоятельную эвакуацию. При этом количество людей, вовлеченных в сбор вещей и тому подобные опасные действия, останется достаточно высоким – около 20 %. Данные табл. 2.5 также показывают, что в этой ситуации женщины более склонны к действиям, направленным на оказание помощи окружающим. С увеличением возраста уменьшается количество людей, предпринимающих активные действия (I и II группы) по обеспечению их собственной безопасности в зоне воздействия ОФП и эвакуации и увеличивается количество людей, вовлеченных в пассивную деятельность.

Влияние пола и возраста на поведение при пожаре подтверждается данными [10]. На рис. 2.4 приведены первые действия при пожаре в зависимости от пола, а на рис. 2.5 – в зависимости от возраста.

Очевидность влияния многих факторов на формирование поведения людей в конкретной обстановке определила расширение сферы исследований [25]. На Западе сформировалось направление исследований, посвященных поведению человека при пожаре (Human Behavior in Fires). В рамках этих исследований было построено несколько моделей поведения людей в начале пожара, их примеры представлены на рис. 2.6–2.8. 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. 2.8). 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» [11]. Таким образом, можно говорить о том, что окружающая среда во многом будет обуславливать деятельность человека при пожаре.

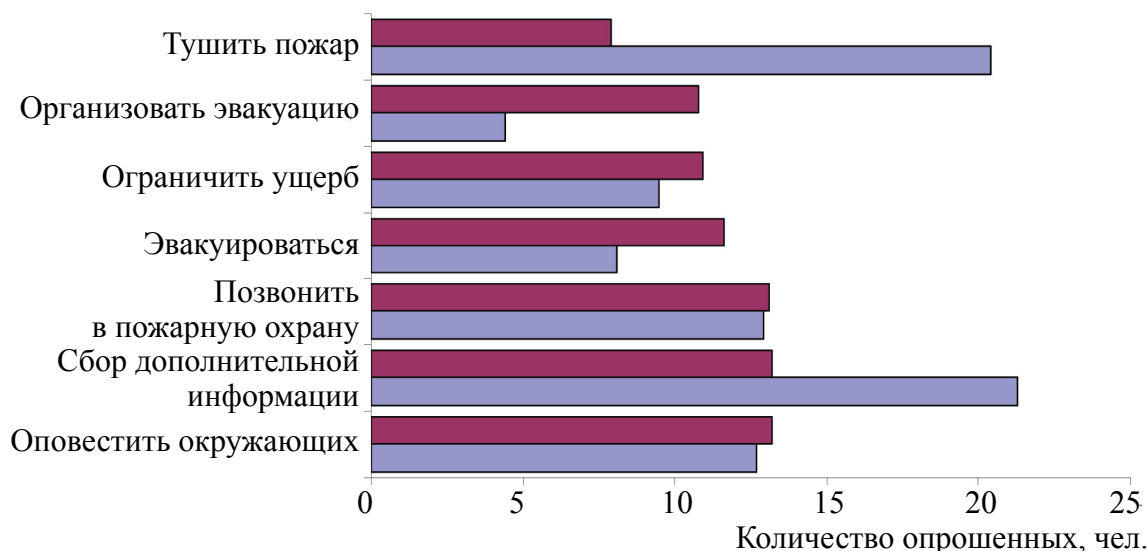


Рис. 2.4. Первые действия людей при пожаре в зависимости от пола:
■ – мужчины; ■ – женщины

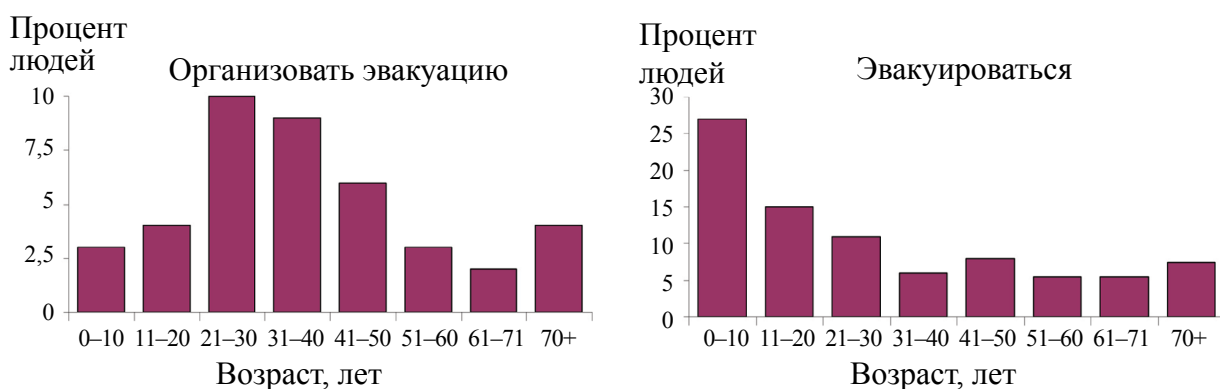


Рис. 2.5. Первые действия при пожаре в зависимости от возраста

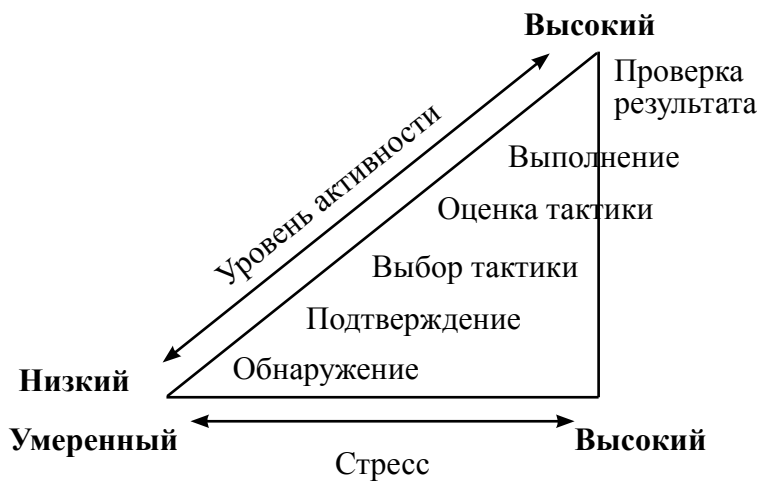


Рис. 2.6. Динамика поведения человека при пожаре, предложенная в [26]

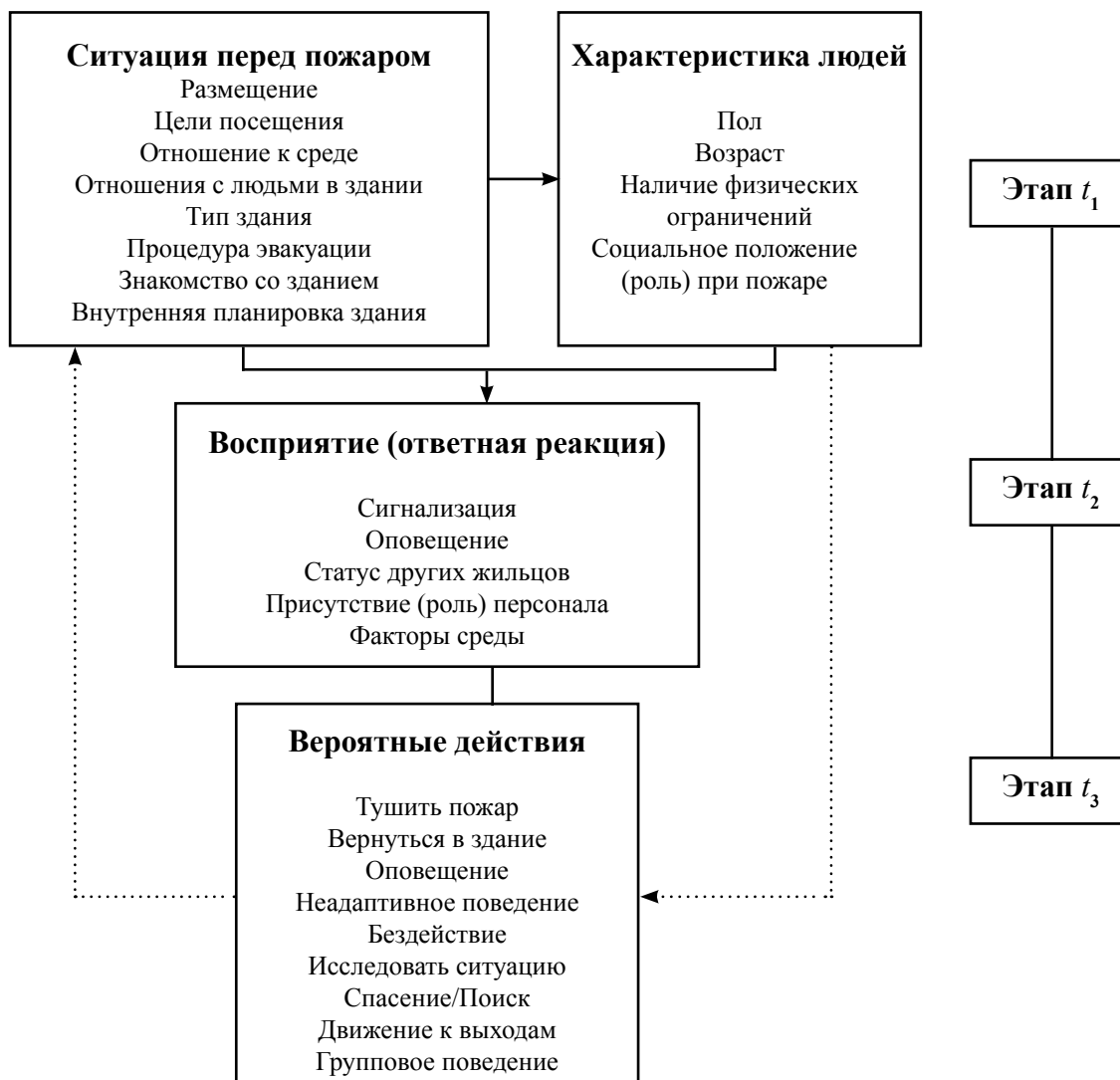


Рис. 2.7. Модель поведения человека при пожаре [27]

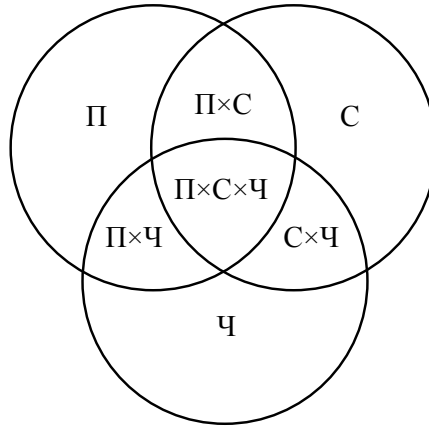


Рис. 2.8. Взаимодействие «Человек (Ч) – Среда (С) – Пожар (П)» [11]

В России подобная концепция была высказана гораздо раньше [28], причем она опиралась на апробированные положения психологии безопасности и была более детализирована (рис. 2.9).

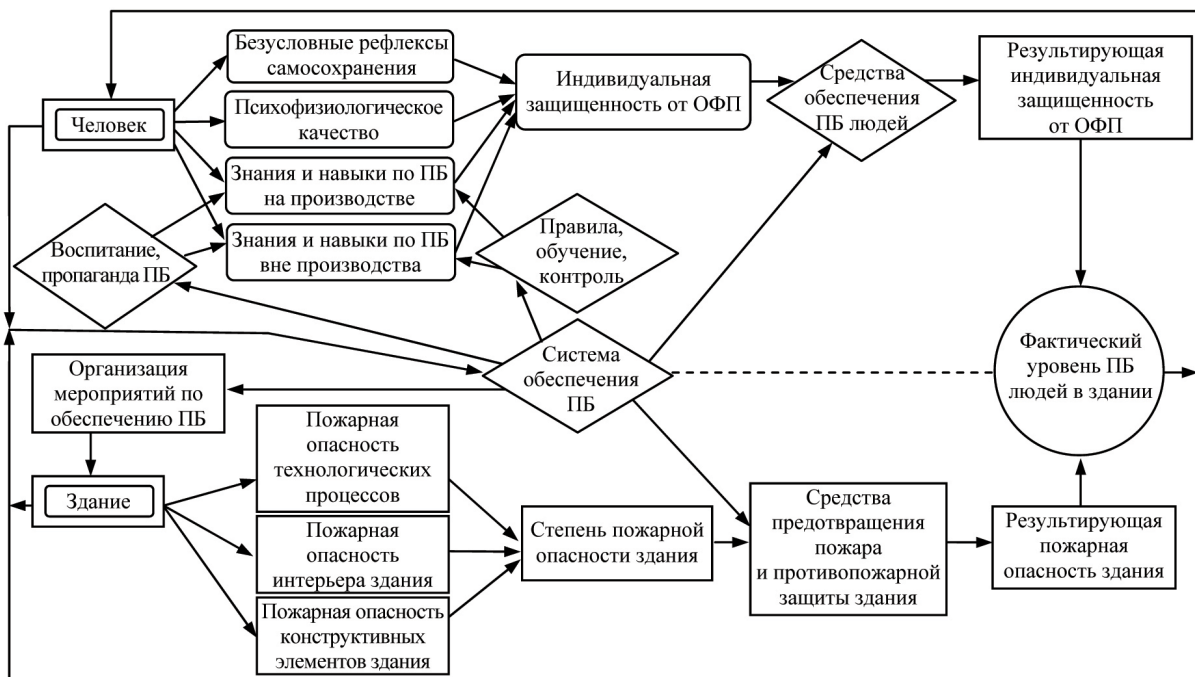


Рис. 2.9. Блок-схема факторов, определяющих безопасность людей при пожаре в здании [12]

«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 зажигания еще не контролируются и не подавляются активными средствами автоматической противопожарной защиты» [28].

Сложность чрезвычайной ситуации обычно заключается не в недостатке времени на реагирование, а в отсутствии времени на исправление допущенных ошибок. Поведение субъекта в опасной ситуации зависит не только от ее объективных условий, но и от того, насколько адекватно эти условия отражаются в его сознании. Степень же адекватности отражения субъектом опасных ситуаций, как показывают исследования, в значительной мере зависит от его индивидуальных качеств. Рассмотрим некоторые особенности поведения людей в условиях экстремальной ситуации [29] (табл. 2.6).

При осознании опасности пожара поведение человека меняется. Как показывают психологические исследования эмоциональных процессов и стрессовых состояний, введение фактора угрозы физическому состоянию человека, угрозы смерти коренным образом меняет природу психических процессов у человека [2]. Поэтому, обсуждая вопросы поведения людей при пожарах, нельзя обойти вниманием термин «паника». Происхождением он обязан греческой мифологии, где бог лесов Пан изображался в виде человека с козлиными рогами, копытами и бородой и внушал людям безотчетный ужас при своем появлении.

В Большой советской энциклопедии указано, что паника (от греческого *panikón* – безотчетный ужас) – психологическое состояние, вызванное угрожающим воздействием внешних условий и выраженное в чувстве острого страха, охватывающего человека или многих людей, неудержимого неконтролируемого стремления избежать опасной ситуации.

Основные характеристики поведения личности в экстремальной ситуации

Психические свойства и процессы	Типичные проявления в экстремальной ситуации
Внимание	Узкое, фиксированное на полученной травме
Аффективные привязанности	Расширенные (зависимость) или суженные (отчуждение)
Аффективные реакции	От глубокой депрессии до ярких проявлений гнева и агрессии
Идентичность (образ Я)	Диффузная, неопределенная
Рольные представления	Распавшиеся, ненадежные, извращенные
Способы поведения	Деформированные или соответствующие более раннему этапу развития личности
Память	Хаотичный доступ к воспоминаниям, порой амнезия
Активные решения и выборы	Неосознанные, могут резко изменяться в соответствии с любой информацией, поступающей извне
Симптомы (проявления личностных нарушений)	Соответствуют представлениям о травматическом стрессе, или психологической травме. Прямые и косвенные просьбы о помощи

С медицинской точки зрения, паника (или паническая атака) – симпатoadреналовый криз (то есть выделение в кровь огромного количества адреналина) с нарушением функции вегетативной нервной системы⁴, запускаемый высшими центрами нервной системы. Психофизиологический механизм паники состоит в индукционном⁵ торможении больших участков коры головного мозга, что предопределяет понижение сознательной активности [29].

Психологические проявления паники заключаются в сужении диапазона восприятия информации, сложности переключения внимания, повышении порогового значения сигналов и повышении двигательной активности.

Психологи выделяют следующие причины паники при пожаре [30, 31]: – чувство безысходности, беспомощности и неспособности влиять на ситуацию. Как правило, это наблюдается в случае, если выходы или

⁴ *Вегетативная нервная система* – часть нервной системы, регулирующая деятельность органов кровообращения, дыхания, пищеварения, выделения, а также обмен веществ. Поддерживает функциональное состояние всех тканей организма («Большая советская энциклопедия»).

⁵ *Индукция* (от лат. *inductio* – введение, наведение) в физиологии – функциональное взаимодействие нервных центров, характеризующееся изменением их возбудимости.

пути эвакуации заблокированы, или имеют недостаточную пропускную способность;

– слабая социальная связь пострадавших. Например, неизвестны случаи паники в жилых домах и в отдельных домах для одной семьи.

На проявление панической реакции также влияют психологическая предрасположенность, отсутствие объективной информации о пожаре, неоптимальное поведение, подрывающее веру человека в себя и др.

В [32] указывается, что люди старше 42 лет проявляют паническую реакцию более часто по сравнению с молодыми людьми. Существуют данные, предполагающие культурологические и национальные отличия реакций людей при панике. Авторы отмечают, что около 35 % людей проявляют желание уберечь себя за счет других.

Практически все исследователи отмечают, что паника является «очень нетипичной реакцией» и что это «статистически несчастный вид поведения». Шокирующие случаи выпрыгивания людей из окон здания при пожаре вызваны призрачной надеждой спастись и (или) избежать мучительной смерти от огня. Возвращение людей в горящее здание вполне может иметь под собой логическую основу, если в здании остались члены семьи. Выбор более удаленного выхода для эвакуации вполне может быть связан с незнанием планировки здания, а не проявлением панической реакции.

Знание особенностей эмоциональных и поведенческих компонентов деятельности людей при пожаре позволит более эффективно и обоснованно подходить к требованиям обеспечения пожарной безопасности людей. В то же время ни одно предложение или конструктивная разработка не могут быть оценены по степени их эффективности в плане обеспечения безопасности, если они не проанализированы с точки зрения их взаимодействия с эвакуирующимися людьми.

2.5. Время начала эвакуации

Время начала эвакуации может достигать до 90 % времени общей эвакуации людей, являясь при этом одним из наименее исследованных этапов в процессе эвакуации людей.

Значительные затраты времени связаны с психологическими особенностями восприятия сигнала о пожаре (восприятие, проверка, сбор дополнительной информации, принятие решения, получение указаний и пр.), в том числе с эффективностью системы оповещения, и действиями, которые совершает человек (тушение пожара и ограничение его распространения, организация эвакуации, выбор маршрута эвакуации).

На сегодняшний день зафиксированный разброс средних значений времени начала эвакуации составляет от 1,7 мин. [33] до 187,8 мин. [9]. Такой

разброс связан с многофакторностью [34] воздействующих на человека обстоятельств, в том числе даже культурологических особенностей [35].

В отличие от остальных исследований процесса эвакуации людей, например, исследований пропускной способности эвакуационных выходов, установления скоростей движения людей в потоке и влияния плотности на скорость движения, исследованию времени начала эвакуации внимание стало уделяться лишь 20–30 лет назад, и, следует отметить, что значительного прогресса не наблюдается. Одна из постановочных работ по этой теме – это исследования [9], в котором автор лишь собрал и обобщил опубликованные данные, не проводя их анализа. В дальнейшем было опубликовано несколько работ, исследующих частные аспекты временных характеристик времени начала эвакуации людей [36–38]. Одной из самых интересных является совместная работа международной группы ученых, исследующих совокупность факторов, повлиявших на эвакуацию людей из башен Всемирного торгового центра [39].

Установление влияния на величину времени начала 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 наблюдаемый разброс его значений.

В настоящий момент время начала эвакуации нормируется при расчете пожарных рисков. В рамках методики [40] используются крайние значения распределения $m(t_{нэ}) + 3\sigma(t_{нэ})$, что ведет к прогнозированию самой пессимистичной ситуации (табл. 2.7). Кроме того, подразумевается, что движение всех эвакуирующихся людей к выходам начинается *одновременно* для всех спустя $t_{нэ}$, таким образом, обуславливается максимальная нагрузка на эвакуационные пути и выходы.

В рассматриваемом документе время начала эвакуации принимается одновременным для всех людей, находящихся в различных помещениях объекта, что для здания в целом невозможно. Во всех ранее проведенных исследованиях [33–39], напротив, указывается, что время начала эвакуации не является одновременным и подчиняется тому или иному закону распределения. Одновременность эвакуации отмечается лишь в зальных помещениях, где пожар может быть обнаружен сразу всеми (например, пожар в ночном клубе «Хромая лошадь» 5 декабря 2009 г.).

Интересно оценить зарубежный опыт. Такой документ как ISO TR 16738 более дифференцированно учитывает влияние различных факторов: не только характеристик здания, например, В1 (небольшой магазин) – В3 (крупный транспортный терминал); системы оповещения А1 (автоматическое оповещение всего здания) – А3 (зонное оповещение с ручным включением),

но и уровень противопожарного менеджмента М1 (высокая культура безопасности) – М3 (выполнение минимальных требований пожарной безопасности). В приложениях к стандарту приводится, по меньшей мере, 15 параметров, которые характеризуют время начала эвакуации. Однако указанные факторы не ранжированы и их влияние на время начала эвакуации количественно не описано, рис. 2.10.

Таблица 2.7

Время начала эвакуации в соответствии с методикой расчета пожарных рисков [40]

Класс функциональной пожарной опасности зданий и характеристика контингента людей	Значение времени начала эвакуации людей $t_{нэ}$, мин.		
	Здания, оборудованные СОУЭ		Здания, не оборудованные СОУЭ
	I–II типа	III–V типа	
Здания детских дошкольных образовательных учреждений, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирные), больницы, спальные корпуса образовательных учреждений интернатного типа и детских учреждений; многоквартирные жилые дома; многоквартирные жилые дома, в том числе блокированные (Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4). Люди могут находиться в состоянии сна, но знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	6,0	4,0	9,0
Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов (Ф1.2). Жильцы могут находиться в состоянии сна и недостаточно знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	3,0	2,0	6,0
Здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений; здания организаций по обслуживанию населения (Ф2, Ф3). Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	3,0	1,0	6,0
Здания научных и образовательных учреждений, научных и проектных организаций, органов управления учреждений (Ф4). Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	3,0	1,5	6,0

Безусловно, качество поддержания противопожарного режима на объекте оказывает существенное влияние на время начала эвакуации, однако, для решения практических задач такой вариант сложно реализуем. Во-первых, его невозможно установить на стадии проектирования здания, а во-вторых, нет методик для оценки уровня менеджмента.

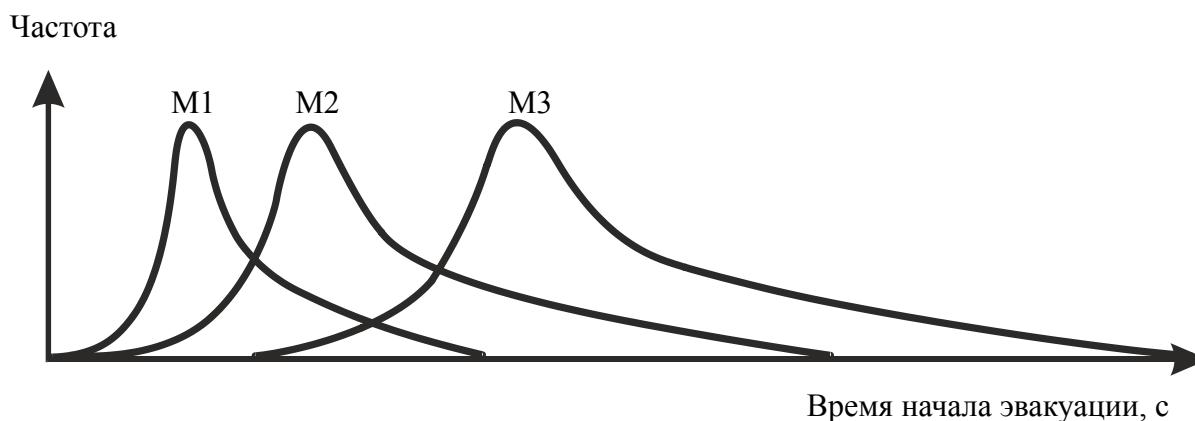


Рис. 2.10. Влияние уровня противопожарного менеджмента на время начала эвакуации людей

Следует подчеркнуть, что в настоящее время продолжаются исследования, направленные на адекватное нормирование значений времени начала эвакуации людей и закона его распределения.

2.6. Обучение правилам поведения при пожаре и план эвакуации

Безопасность людей при пожаре во многом зависит от того, насколько качественно была проведена их противопожарная подготовка. Результаты исследований подтверждают этот, в общем-то, очевидный факт: большинство погибших на пожарах не имели должной противопожарной подготовки. Интересна аналогия со статистикой дорожно-транспортных происшествий: основной причиной гибели людей в ДТП является наезд на пешехода, и большинство пострадавших пешеходов не имели водительского удостоверения. Следовательно, большему риску подвергаются те люди, у которых нет полного представления о процессе, в который они вовлечены.

Для более развернутого исследования влияния уровня поддержания противопожарного режима на время начала эвакуации в административных зданиях одной ведомственной принадлежности был проведен опрос 520 сотрудников по специально разработанной анкете. Она состояла из 18 вопросов: демографические и социальные характеристики респондента, способы и эффективность оповещения о пожаре, оценка процесса эвакуации, противопожарное обучение и характеристика пожарной безопасности здания. В опросе участвовало приблизительно равное количество мужчин и женщин трудоспособного возраста с преобладанием людей в возрасте 31–40 лет (37,2 % от общего числа опрошенных). Среди опрошенных было 20,6 % руководителей и 63,6 % сотрудников-специалистов; остальные являлись сотрудниками службы охраны и других служб здания. В результате анкетирования было установлено, что 31,5 % сотрудников не уверены

в пожарной безопасности здания. Причем сотрудники, работающие на руководящих должностях, были менее уверены в пожарной безопасности здания, чем сотрудники-специалисты. 45,2 % сотрудников не проходили никакого противопожарного обучения, а более трети (36,5 %) из числа прошедших обучение предпочли бы пройти дополнительный тренинг. Более того, технические специалисты, например, электрики, инженеры службы эксплуатации здания вообще оказались не обучены мерам пожарной безопасности.

Опыт оценки уровня подготовленности людей к действиям при пожаре на различных объектах позволяет выявить две основные проблемы: формализм или даже полное игнорирование необходимости противопожарного обучения и использование неэффективных методов проведения занятий. Этот аспект мы рассмотрим более подробно.

Как правило, для обучения мерам пожарной безопасности (за исключением практических занятий) используются стандартные методы проведения занятий: лекции, плакаты и возможно памятки и брошюры. Рассмотрим их эффективность на основе данных [41], показывающих процент информации, усвоенной после обучения:

- печатная информация (чтение) – 10 %;
- лекции, аудиозапись (прослушивание) – 20 %;
- слайды, плакаты, кодограммы (просмотр) – 30 %;
- видеофильмы, телепрограммы (просмотр и прослушивание) – 50 %;
- групповые дискуссии (проговаривание) – 70 %;
- моделирование ситуации, деловые игры (проговаривание выполняемых действий) – 90 %.

Приведенные данные показывают, что наиболее эффективными инструментами подготовки являются видеофильмы, групповые дискуссии и ролевые игры, наименее – чтение инструкции и прослушивание лекций. Интересно оценить и мнение самих обучаемых. Ниже приведены результаты интернет-опроса «Противопожарное обучение»⁶ (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Оценка различных средств противопожарного обучения

Вопрос: Какие наглядные средства противопожарного обучения Вы бы предпочли?	Процент от числа опрошенных
Брошюра	13,0
Плакат	17,4
Видеофильм	33,7
Компьютерный тренажер	35,9

⁶ Опрос проводился на сайте www.FireEvacuation.ru в марте 2011 – феврале 2012 г. Всего проголосовало 537 человек.

Ответы позволяют выявить явных фаворитов среди средств обучения: почти 70 % сделали выбор в пользу видеофильмов и компьютерных тренажеров. Основное преимущество указанных средств заключается в том, что обучаемым удастся глубже погрузиться в проблему и даже попытаться представить себя в такой ситуации. Согласно медицинским данным, 87 % информации человек получает через глаза, 9 % – через уши и 4 % – через остальные органы чувств. А при проведении обучения очень сложно продемонстрировать задымление помещений и тем более воспроизвести пожар на объекте. Именно поэтому 90 % обученных с помощью компьютерного тренажера сочли этот подход крайне действенным средством обучения. Однако следует указать на необходимость участия профессионалов в разработке подобных материалов. Например, в результате небольшого эксперимента с сотрудниками торговой компании, после просмотра учебного видеофильма «Действия при пожаре» 20 опрошенных сотрудников описали 7 (!) различных сценариев необходимых действий, хотя режиссер фильма пытался изложить всего один...

Многие исследователи оперируют сходными понятиями, которые можно условно назвать «расчетные группы людей», то есть группа людей, которая определяет успешность эвакуации. Например, при пожаре в общественных зданиях (в больницах, школах, магазинах, дискотеках) именно персонал будет определять ход эвакуации людей и являться фактически «дирижерами» эвакуации. Очевидно, что обучение действиям при пожаре надо проводить именно для такой группы людей.

Анализ действий персонала при пожаре в различных общественных зданиях выявил на удивление схожий процент сотрудников, выполняющих инструкции о действиях при пожаре – 30–40 %. С одной стороны, вероятно и не следует ожидать хороших результатов от людей, специально не подготовленных к такой деятельности, с другой стороны, такого количества вполне достаточно для обеспечения безопасности людей при правильной организации эвакуации в целом и функционировании систем пожарной автоматики.

Результаты обучения должны быть отражены в плане эвакуации, который представляет собой заранее разработанную схему, где указаны пути эвакуации, эвакуационные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации (см. Прил. 2). Однако план эвакуации будет представлять собой бессмысленный документ, если не проводить его отработку в ходе проведения учебных эвакуаций, замысел которых может варьироваться (табл. 2.9).

Наиболее эффективным мероприятием является неанонсированная эвакуация, именно такой подход позволяет максимально точно диагностировать ситуацию на объекте и разработать комплекс мер по совершенствованию подготовки людей к действиям при пожаре. Более того, как отмечают

физиологи, «сами по себе стрессовые воздействия умеренной силы имеют тренирующий характер и приводят к адаптации к ним функциональных систем человека» [42, С. 48].

Таблица 2.9

Виды учебных эвакуаций (отработок планов эвакуации)

Вид учения	Цель	Описание
Тренировочная эвакуация	Формирование требуемых умений и навыков	Участники предупреждены об учебных целях эвакуации и подготовлены к учению. Наблюдатели и оборудование расставлены открыто
Анонсированная эвакуация	Закрепление (проверка) выработанных навыков и умений в ситуации, приближенной к реальной	Участники предупреждены об учебных целях эвакуации, но, как правило, не информированы о времени и сценарии учения
Неанонсированная эвакуация	Закрепление (проверка) выработанных навыков и умений в ситуации, максимально приближенной к реальной	Никто (кроме высшего руководства) не знает о проведении учения. Учение максимально приближено к реальности

Однако по ряду причин как объективного (сложность проведения, например, в больницах), так и субъективного (низкая культура безопасности) характера, только около 10 %⁷ сотрудников различных организаций принимают участие в учебных эвакуациях, что, конечно, имеет резко отрицательный эффект: «детренированность двигательной системы и функциональных систем организма человека, обеспечивающих мышечную работу энергетическими и пластическими ресурсами, создает предпосылки, при которых неожиданные психоэмоциональные воздействия на человека, и даже не очень большая физическая нагрузка, вызывает сильную стресс-реакцию» [42, С. 48].

Следует отметить, что вопросы организации тренировок по эвакуации персонала при пожаре наиболее подробно изложены в методических указаниях [43]. В частности, рассмотрены вопросы подготовки и проведения тренировок, анализ (разбор) результатов противопожарной тренировки и подведение ее итогов, приведены рекомендуемые варианты поведения при пожаре и многое другое.

⁷ По данным личных опросов, проведенных авторами.



а



б

Рис. 2.11. Иллюстрация низкой культуры безопасности на различных объектах:

а – размещение торгового оборудования на месте эвакуационного выхода;

б – загромождение путей эвакуации в больнице

Подводя итог этому небольшому разделу, хочется подчеркнуть, что качественное обучение действиям при пожаре и повышение культуры безопасности в целом может существенно снизить риск и сохранить множество жизней. На рис. 2.11 приведены примеры, иллюстрирующие безответственность в действии.

Дополним наше изложение некоторыми примерами. При пожаре 18 ноября 1987 года на станции Кингс-Кросс лондонского метрополитена погиб 31 человек [44]. Комиссия по расследованию пожара установила, что основным фактором, повлекшим гибель людей, была задержка начала эвакуации работниками станции метро: сохранился ответ билетного контролера одному из пассажиров, который рассказал о пожаре на станции: «Вы уже третий человек, который говорит мне об этом, наверное, мне следует пойти и посмотреть, в чем дело». Не менее абсурдные высказывания были зафиксированы при проведении анкетных опросов в нашей стране. В результате опроса в одной из больниц выяснилось, что, по мнению персонала, «у нас пожар никогда не произойдет» и «при пожаре в первую очередь надо спасать документацию». Ответы учителей одной из школ также не оставят специалистов равнодушными: «при пожаре надо спустить детей по шторам», «облиться водой и пройти в класс для сбора материальных ценностей». Комментарии, как говорится, излишни...

Литература

1. СП 3.13130.2009. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.
2. Дутов В. Н., Чурсин И. Г. Психологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре. – М.: Защита, 1992.

3. *Proulx G., Sime J. D.* To Prevent “Panic” in an Underground Emergency: Why not Tell People The Truth? Proceed. of the Third Inter. Symp. on Fire Safety Science, 1991, pp. 843–852.
4. *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.
5. *Brennan P.* Timing Human Response in Real Fires. Proceedings of the Fifth International Symposium on Fire Safety Science, 1997.
6. ISO 8201:1987. Acoustic-Audible emergency evacuation signal. International Standard Organisation, 2013.
7. NFPA 72–2013. National Fire Alarm Code. National Fire Protection Organisation, 2013.
8. РНД 73–45–89. Временное руководство по проектированию систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией людей при пожаре объектов народного хозяйства. – Новосибирск: Спецавтоматика, 1989. – 149 с.
9. *Fahy R., Proulx G.* Toward creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modeling. 2nd Inter. Symp. on Human Behaviour in Fire. (Shields et al), MIT, Boston, Interscience Communication Ltd, 2001, pp. 175–184.
10. *Wood P. G.* The Behaviour People in Fires. British Note 933, November, 1972.
11. *Sime J.* Understanding Human Behaviour in Fires: An Emerging Theory of Occupancy / Inauguration Lecture on 14 October, 1999. – University of Ulster, 1999.
12. *Pearson R. G., Joost M. G.* Egress Behaviour Response Times of Handicapped and Elderly Subjects to Simulated Residential Fire Situations. Washington, National Bureau of Standards, 1983.
13. *Boyce K. E.* Egress Capabilities of People with Disabilities. PhD Thesis. University of Ulster, Belfast, 1996.
14. *Proulx G.* Housing Evacuation of Mixed Abilities Occupants – a Case Study. CIW W14 Fire Engineering for People with Mixed Abilities, University of Ulster, 1993, pp. 229–246.
15. *Bruck D.* The who, what, where and why of waking to fire alarms: a review // Fire Safety Journal, vol. 36, pp. 623–639, 2001.
16. *Bellamy L. L., Geyer T. A. W.* Experimental Programme to Investigate Informative Fire Warning Characteristics for Motivation Fast Evacuation. Borehamwood, UK, Fire Research Station, 1990.
17. British Standard BS DD240 Fire Safety Engineering in Buildings Part 1: Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles, British Standards Institution, 1997.
18. *Pauls J. L.* Building Evacuation: Findings and Recommendations. Fires and Human Behaviour. D. Canter, London, John Wiley and Sons: pp. 251–276, 1980.
19. *Brennan P., Tomas I.* Predicting evacuation response and fire fatalities. 2nd Inter. Symp. on Human Behaviour in Fire. (Shields et al), MIT, Boston, Interscience Communication Ltd, 2001, pp. 321–332.
20. *Котик М. А.* Психология и безопасность. – Таллин: Валгус, 1984.
21. *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.
22. *Bryan J. L.* A Phenomenon of Human Behaviour Seen in Selected High-Rise Buildings Fire. Fire Journal November, pp. 27–90, 1985.
23. *Шильдс Т. Дж., Бойс К. Е., Самошин Д. А.* Исследование эвакуации из торговых комплексов // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 6. – С. 57–66.
24. *Jones B. K., Hewitt A.* Leadership and Group Formation in High Rise Building Evacuations. Proceed. Of The 1st Inter. Symp. On Fire Safety Science, New York, 1986.
25. Human Behaviour in Fire. Proceed. of the 1st Inter. Symp., Belfast, UK, University of Ulster, 1998.

26. *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.
27. *Gwynne S., Galea E. R., Owen M., Lawrence P. J.* An investigation of the aspects of occupant behavior required for evacuation modeling. *Journal of Applied Fire Science*, vol. 8(1), 1998–99, pp. 19–59.
28. *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.
29. *Марищук В. Л., Евдокимов В. И.* Поведение и регуляция человека в условиях стресса. – СПб: Издательский дом «Сентябрь», 2001.
30. *Keating J. P.* The Myth of Panic // *Fire Journal*, vol. 26(3), 1982, p. 57–61, 147.
31. *Keating J. P., Loftus E. F., Manber M.* Emergency Evacuation During Fires: Psychological Consideration. 1984.
32. *Wolman B. B.* International Encyclopedia of psychiatry, psychology, psychoanalytic and neurology. New York, Aesculapius Publisher, 1977.
33. *Шильдс Д., Бойс К. Е., Холщевников В. В., Самошин Д. А.* Поведение персонала торговых комплексов при пожаре. Часть 1. Анализ реальных пожаров и видеозаписей неаносированных эвакуаций с целью количественного и качественного описания влияния персонала на ход эвакуации // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2005. – № 1. – С. 44–52.
34. *Самошин Д. А.* Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2004. – № 1. – С. 33–46.
35. *Galea E., Deere S., Sharp G., Filippidis L., Hulse L.* Investigating The Impact Of Culture On Evacuation Behaviour. Proceedings of the 12th International Fire Science & Engineering Conference, Interflam 2010, 5–7th July 2010, University of Nottingham, UK, vol. 1, pp. 879–892.
36. *Spearpoint M. J.* The effect of pre-movement on evacuation times in a simulation model. *Journal of Fire Protection Engineering*, 2004, 14 (1), pp. 33–53.
37. *Chu Guanquan, Sun Jinhua* The Effect of Pre-movement Time and Occupant Density on Evacuation Time. *Journal of Fire Sciences*, may 2006, 24: pp. 237–259.
38. *Machado Tavares R., Gwynne S., Galea E. R.* Collection and Analysis of Pre-Evacuation Time Data Collected from Evacuation Trials Conducted in Library Facilities in Brazil. *Journal of Applied Fire Science*, vol. 15, Number 1 / 2006–2007: pp. 23–40.
39. *McConnell N. C., Boyce K. E., Shields J., Galea E. R., Day R. C. and Hulse L. M.*, “The UK 9/11 evacuation study: Analysis of survivors’ recognition and response phase in WTC1”. *Fire Safety Journal* 45, 2010, pp. 21–34.
40. Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
41. *Goldstein I. L.* Training in organisation: Needs Assessment, Development and Evaluation. 3rd edn, Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, 1999.
42. *Захаров Е., Карасев А., Сафонов А.* Энциклопедия физической подготовки. – М.: Лептос, 1994.
43. *Кириллов Г. Н., Ненашев Ю. П., Хондожко Ю. П.* Организация тренировок по эвакуации персонала предприятий и учреждений при пожаре и иных чрезвычайных ситуациях. – М., 2007.
44. *Donald I., Canter D.* Behavioural Aspects of the King’s Cross Disaster. Fires and Human Behaviour. D. Canter (Ed.), David Fulton Publisher, London, 1990, pp. 15–30.

Глава 3

ЛЮДСКОЙ ПОТОК

- 3.1. Особенности движения людей в составе потока
- 3.2. Плотность людского потока
- 3.3. Скорость движения людского потока
- 3.4. Интенсивность движения
- 3.5. Пропускная способность участка пути

3.1. Особенности движения людей в составе потока

Приняв решение об эвакуации, человек 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, то есть 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.). Вероятно, именно эти различия и объясняют 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» [1]. 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 [2] и теоретические исследования, основанные на их результатах, прежде чем сформировалось современное представление

о структуре и характеристиках людского потока, отражающее его суть в технических параметрах процесса. Имеющиеся методы фиксации параметров людского потока приведены на рис. 3.1.

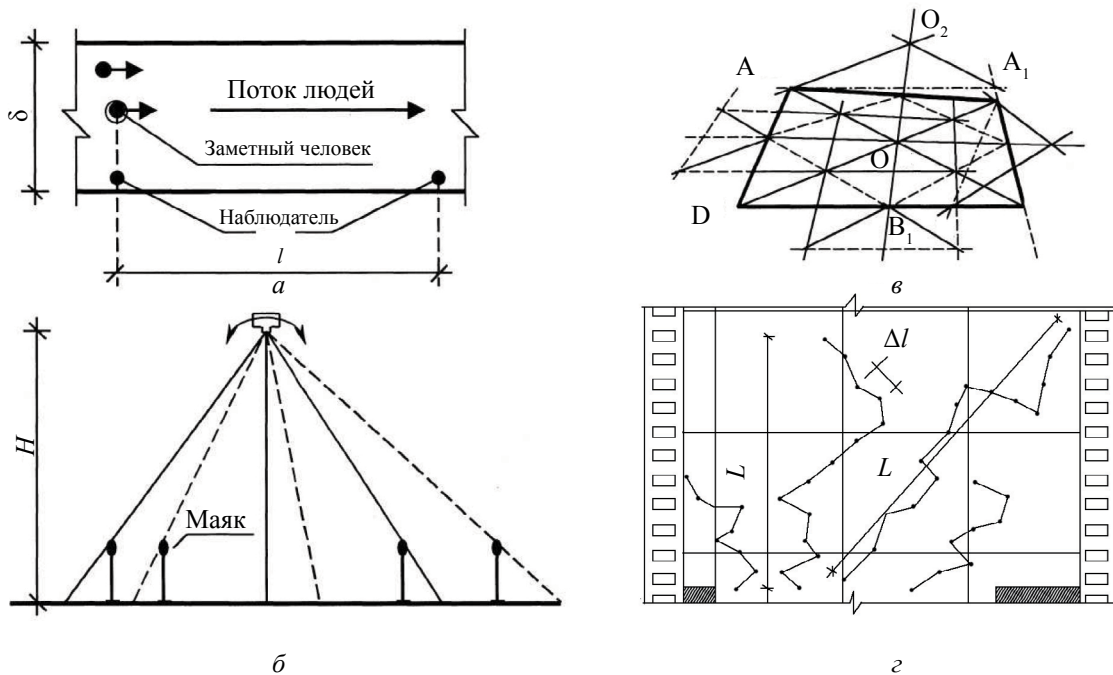


Рис. 3.1. Методы фиксации данных в натуральных наблюдениях и экспериментах:
a – визуальный; *б* – кино-фотосъемка; *в* – учет перспективных искажений;
г – пример кинограммы движения людей

Натурные наблюдения показывают, что людской поток обычно имеет вытянутую сигарообразную форму (рис. 3.2).

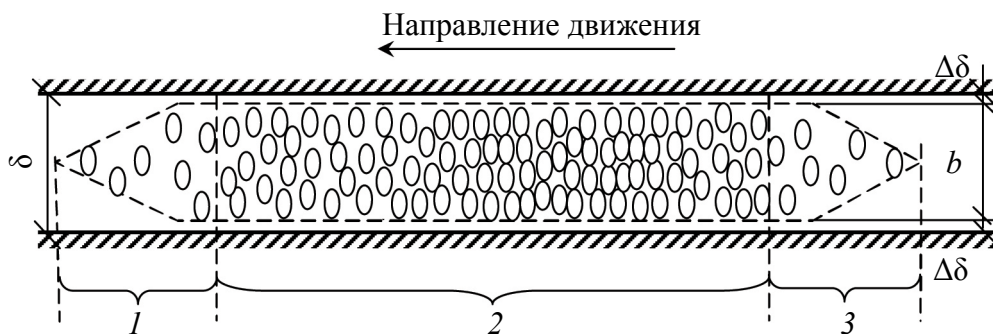


Рис. 3.2. Схема людского потока:
1 – головная часть; *2* – основная; *3* – замыкающая

«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...» [3]. Следовательно, на участке, занимаемом потоком, могут образовываться части с различными параметрами. При этом головная

и замыкающая части состоят из небольшого числа людей, двигающихся, 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 потоком 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 его краям. Ширина пространства, которое людской поток использует для движения, называют шириной потока или эффективной шириной участка пути [4]. Величины зазора, на которые уменьшается эффективная ширина участков различных видов пути в свету, приведены в табл. 3.1. Однако в дальнейшем, для упрощения изложения материала, ширину потока будем принимать равной ширине участка.

Таблица 3.1

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. 3.1 з.

Наблюдаемыми параметрами людского потока являются: количество людей в потоке N ; плотность D ; скорость V ; величина потока P .

3.2. Плотность людского потока

Плотность людского потока D , чел/м², – отношение количества людей в потоке N к площади занимаемого им участка, имеющего ширину b (для простоты вычислений ширину потока принимают равной ширине участка) и длину l :

$$D = \frac{N}{bl}. \quad (3.1)$$

Диапазон возможных плотностей проиллюстрирован на рис. 3.3.

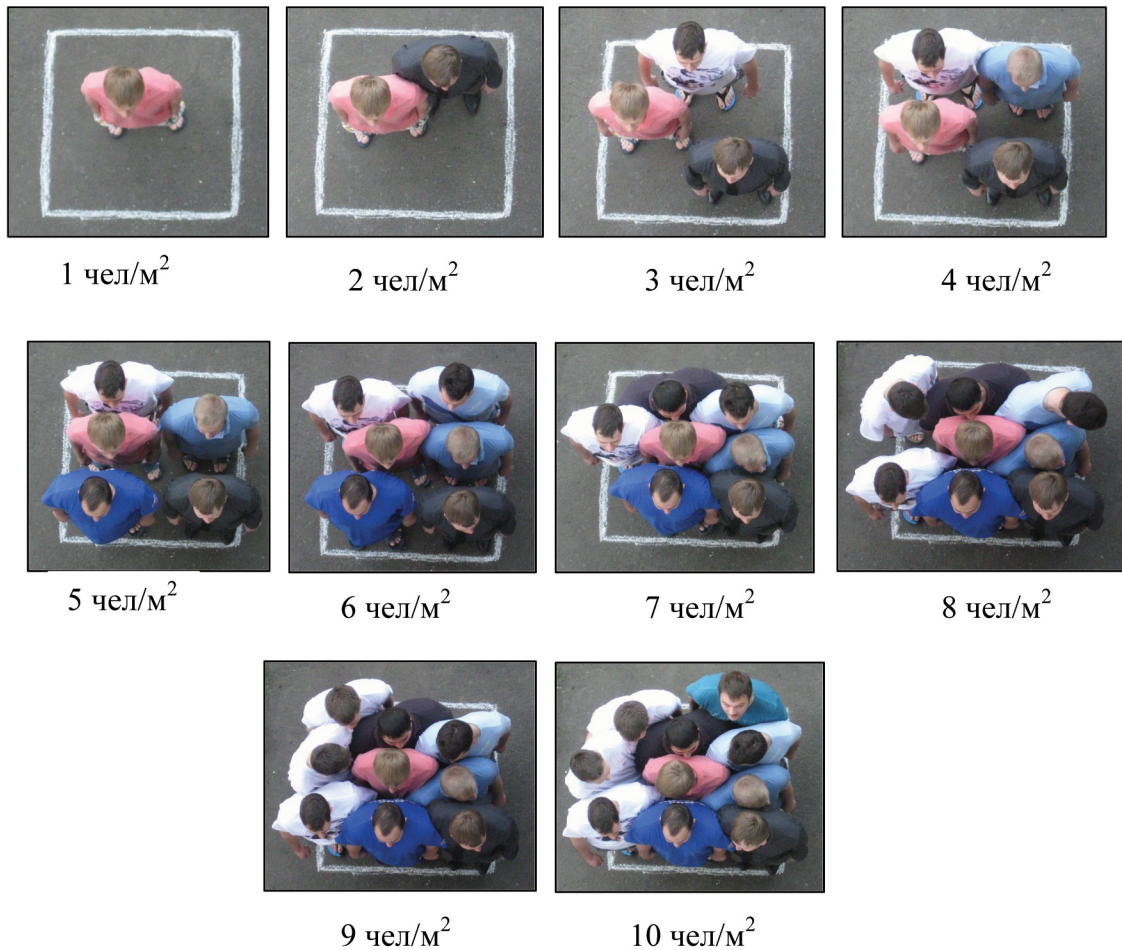


Рис. 3.3. Иллюстрация значений плотностей людского потока

Плотность потока определяет свободу движения людей в нем, и, как следствие, соответствующий уровень комфорта людей. В зависимости от значений плотности предложено различать несколько уровней комфорта людей в потоке (табл. 3.2) [5].

Свободное пространство в потоке зависит не только от количества человек, но и от площади, занимаемой каждым из них, поэтому определенную роль играют габариты людей, рис. 3.4.

Для учета габаритов людей было предложено вводить в расчет плотности потока площадь, занимаемую человеком (его горизонтальную проекцию f , м², см. Прил. 3) [3]:

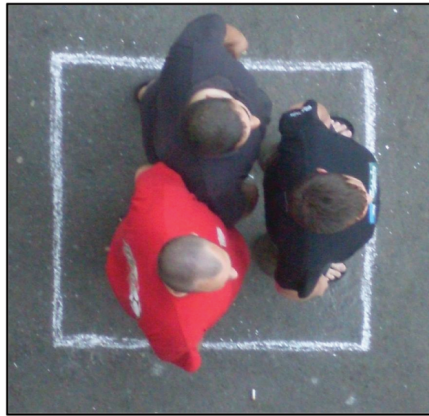
$$D = \frac{Nf}{bl}, \text{ м}^2/\text{м}^2. \quad (3.2)$$

Формой горизонтальной проекции человека принят эллипс, диаметры которого соответствуют ширине и толщине тела человека (рис. 3.5 а). Площадь эллипса $f = 0,25\pi ac$.

Таблица 3.2

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



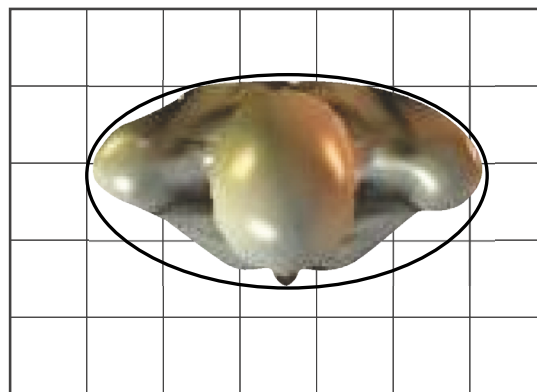
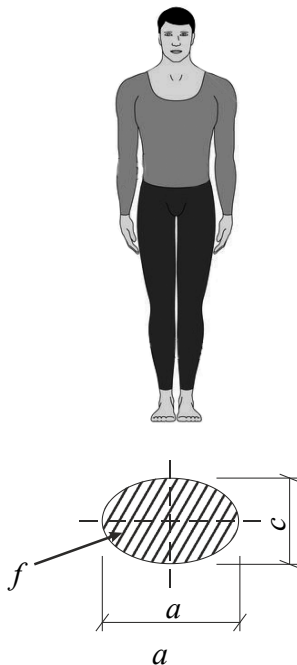
a



б

Рис. 3.4. Плотность 3 чел/м²:

a – взрослые люди (занимают 37,5 % площади участка);
б – дети (занимают 10,5 % площади участка)



б

Рис. 3.5. Площадь горизонтальной проекции человека:

a – расчетная; *б* – действительная

Следует отметить, что действительная форма горизонтальной проекции человека несколько отличается от эллипса (рис. 3.5 *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. 3 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 [6] позволили установить физический предел плотности для неподвижной группы людей, который составляет 14 чел/м² при средней площади горизонтальной проекции людей, участвовавших в эксперименте, равной 0,09 м²/чел, то есть $D_{ф.п}$ составляет 1,12–1,13 м²/м². При этом первоначальная площадь горизонтальной проекции людей уменьшается приблизительно на 15 % за счет деформирования тела и одежды. Результаты натуральных наблюдений показали, что максимальное значение плотности движущегося потока не превышало $D_{max} = 0,92$ м²/м².

Расчеты давления людей друг на друга показывают, что силовые воздействия в скоплении могут превышать 120 кг. 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» [5].

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, повреждение костей скелета и внутренних органов – разрывы печени, легких, селезенки, кровоизлияния в полости тела.

Наиболее трагичные случаи, в которых причиной гибели стала компрессионная асфиксия, приведены в табл. 3.3.

Другой случай можно рассмотреть более подробно. Не так давно состоялось торжественное открытие большого торгового комплекса в одном из городов России. Рекламная компания, обещавшая большие скидки, привлекла большое количество людей. Однако администрация не продумала вопросы обеспечения безопасности больших масс людей, и уже в первые минуты после открытия людской поток заполнил площади входной группы здания как снаружи, так и изнутри (рис. 3.6). Из-за недостаточной пропускной способности эскалатора, ведущего наверх, люди стали скапливаться на нем, что привело к его дальнейшей поломке. На площади в 380 м² собралось более двух тысяч человек, в результате чего плотность

в фойе достигла критических значений 5,3 чел/м², а в некоторых местах и до 7 чел/м².

В рассмотренном случае никто не пострадал. Однако при возникновении чрезвычайной ситуации (или даже просто слухов о ней), он мог бы иметь трагические последствия. Безусловно, такие массовые мероприятия необходимо планировать заблаговременно.

Таблица 3.3

Инциденты с гибелью людей от компрессионной асфиксии

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	200/–
2001, 9 мая	Западная Африка, Хана, стадион	100/–
2004, январь	Мекка, хадж	244/–
2005, 25 января	Индия, Вай, религиозное мероприятие	150/–
2005, 31 января	Багдад, религиозное мероприятие	1030/–
2006, январь	Мекка, хадж	345/–
2006, февраль	Филиппины, Манила, стадион	80/322
2008, 30 сентября	Индия, Раджастан, индуистский храм	140/–
2009, 22 марта	Россия, Первоуральск, дискотека	4/–
2009, 30 марта	Кот-д-Ивуар, футбольный матч	22/–
2009, сентябрь	Нью-Дели, школа	5/30
2009, 8 декабря	Китай, провинция Хунань, школа	8/26



Рис. 3.6. Неудовлетворительная организация открытия магазина – давка в вестибюле торгового комплекса

Следует заметить, что нормативные документы некоторых стран, например США, в частности, п. 20.1.4.6 NFPA 1 Uniform Fire Code, требуют присутствия на массовых мероприятиях одного крауд-менеджера⁸ на каждые 250 человек. Более того, существуют специальные курсы для их подготовки. Тем не менее, для таких случаев должна быть проведена работа по следующим направлениям:

- определение общего максимально допустимого числа людей на объекте;
- определение площади, необходимой для размещения ожидаемого количества людей;
- определение и исключение мест образования высоких травмоопасных плотностей (более 5 чел/м²);
- определение оптимальных интервалов подхода групп людей с учетом пропускной способности участков пути;
- оптимизация путей движения людей, исключая пересечение, слияние и движение встречных людских потоков;
- определение времени заполнения помещений (территории) и время выхода (эвакуация при возникновении ЧС);
- предложение комплекса организационных мероприятий, исключающих образование паники.

Изменения плотности оказывают сильнейшее влияние и на характер движения людей в потоке, меняя его от свободного, при котором человек

⁸ От англ. *crowd* – толпа.

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. 3.4).

Таблица 3.4

Вид движения людей в интервалах плотности потоков [3]

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		
					Слитное	Деформация тел	Сдавливание тел

Очевидно, что ограничение возможностей движения человека в потоке при увеличении его плотности ведет к снижению скорости, которая определяет и расчетное время движения по рассматриваемому участку пути. Изменение скорости движения людей в потоке в зависимости от его плотности, изображенное графически, обнаруживается впервые в работе С. В. Беляева [1].

Состав людей в потоке, как правило, неоднородный, как по их индивидуальному физическому, так и психическому состоянию (рис. 3.7).

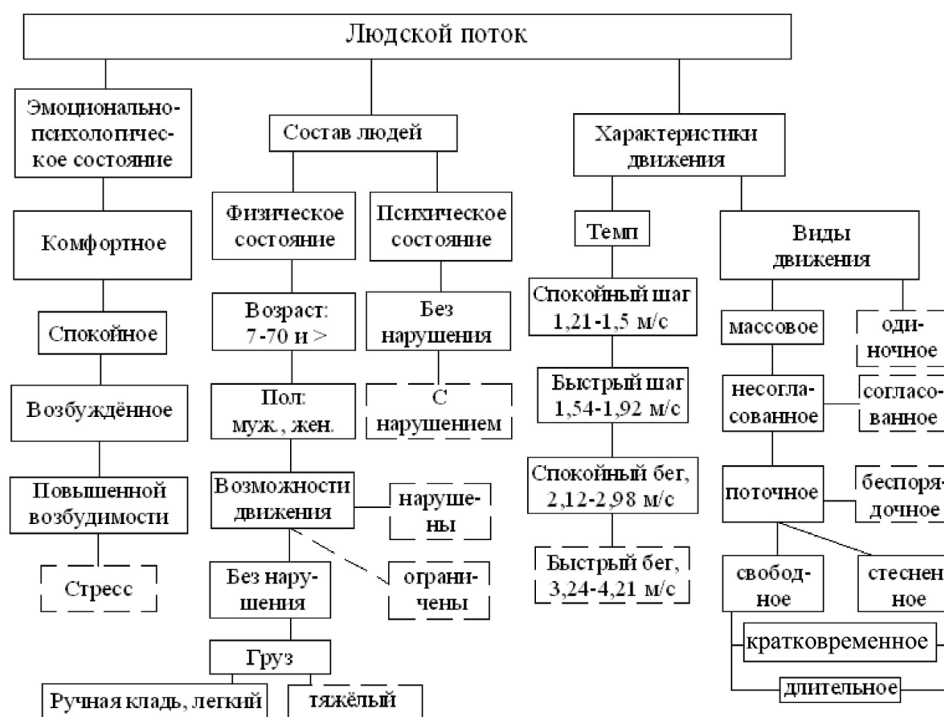


Рис. 3.7. Психофизиологические характеристики людского потока [7]

Неодинаково люди реагируют и на изменения условий окружающей среды, меняющие соответственно общее эмоционально-психологическое состояние людей в потоке. Физической реакцией человека на условия окружающей среды и имеющуюся свободу движения будет его скорость, он меняет темп движения в соответствии со своими физическими возможностями. Вполне понятно, что скорость движения разных людей в потоке будет различна, что и фиксируется при натуральных наблюдениях.

3.3. Скорость движения людского потока

С ростом плотности потока скорость движения людей в нем падает. Интересно проанализировать, как именно плотность потока влияет на скорость движения человека. Скорость движения зависит от двух факторов: длины шага и частоты шагов (темп движения). Высокая плотность потока (окружающие люди), с этой точки зрения, лишает пешехода пространства, необходимого для полношагового движения.

Однако если проанализировать расстояние между людьми и плотность потока, то видно, что при плотности до 2–2,5 чел/м² физически расстояние для полношагового движения есть (при среднем шаге 0,7 м), но человек идет со скоростью меньшей скорости свободного движения. В этом диапазоне расстояние между людьми влияет на скорость с точки зрения комфорта движения, маневренности и желания избежать физических контактов с окружающими людьми. Пешеход уменьшает скорость во избежание нежелательного сближения с другими участниками движения.

Ведущие ученые своего времени В. М. Предтеченский и А. И. Милинский [3] установили важнейшую для нормирования и расчетов связь между скоростью движения и плотностью потока с помощью «механической» аппроксимации результатов серий экспериментов на основе полинома четвертой степени. Такой подход, конечно, не отражал причинно-следственной связи между раздражающим сенсорную систему фактором (плотность) и реакцией на него организма (скорость). В связи с этим, к концу 1970-х годов возникла необходимость разработки системы теоретически аргументированных методов построения зависимостей между параметрами людского потока, без которых невозможно нормирование процесса эвакуации.

К тому времени общий объем данных статистического анализа [7] составил 24478 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. В настоящее время этот объем превышает 50 тысяч замеров.

Большая исследовательская работа [7, 8] показала, что связь между скоростью движения людей в потоке и его плотностью определяется по формуле:

$$V = V_0 \left(1 - a \ln \frac{D}{D_0} \right), \quad (3.3)$$

где V_0 – случайная величина скорости свободного движения (при отсутствии влияния окружающих людей), зависящая от вида пути и эмоционального состояния людей; a – коэффициент, определяющий степень влияния плотности потока при движении по j -му виду пути; D – текущее значение плотности потока; D_0 – пороговое значение плотности потока, по достижении которого плотность становится фактором, влияющим на скорость движения.

Оказывается, второй член формулы (3.3) соответствует всеобщему психофизическому закону Вебера – Фехнера, описывающему изменения интенсивности ощущения в сенсорной системе человека в зависимости от величины воспринимаемых внешних воздействий. Математическое выражение (3.3) является элементарной случайной функцией, представляющей собой произведение случайной величины на неслучайную функцию. Эта закономерность справедлива при разных уровнях эмоционального состояния, определяющих категорию движения людей. Уровень эмоционального состояния людей определяет скорость их свободного движения (табл. 3.5). Значения коэффициентов a и D_0 для потока здоровых людей смешанного состава приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.5

Значения скоростей свободного движения людей в потоке при различных категориях движения

Категории движения	Скорость свободного движения V_0 , м/мин, по видам пути	
	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

Таблица 3.6

Значения коэффициентов a и D_0 в зависимости от вида пути

Вид пути	a	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

Установленная закономерность скорости людей в потоке в зависимости от его плотности признана международным научным открытием в области социальной психологии [9].

Выбор значения скорости движения при эвакуации для целей нормирования являлся сложной задачей. Завышение значений расчетных скоростей движения людских потоков могло привести к тому, что расчетное время эвакуации окажется меньше фактического. Однако и занижение этих значений недопустимо, ведь соответствующие им меньшие значения интенсивности движения обусловят назначение меньшей требуемой для обеспечения беспрепятственной эвакуации ширины путей эвакуации. Это особенно опасно в местах слияния людских потоков, поскольку ведет к задержке движения и образованию максимальной плотности скопления людей. Кроме того, общая площадь коммуникационных путей в здании может достигать 30 %, что подчеркивает тесную связь вопросов пожарной безопасности с экономикой строительства.

Очевидность повышения психологической напряженности ситуации при возникновении пожара предопределяет выбор категории движения «повышенная активность» (табл. 3.5) в качестве интервала ожидаемых скоростей движения людей в этой ситуации. Анализ результатов моделирования процесса эвакуации из различных зданий и сооружений показал, что достаточную точность дает аппроксимация, построенная на детерминированной зависимости скорости движения при значении $V_0 = 100$ м/мин, при движении по горизонтальным путям, через проемы и по лестнице вниз и $V_0 = 60$ м/мин при движении по лестнице вверх. Указанные значения приняты для нормирования (рис. 3.8), см. Прил. 4, табл. П4.1.

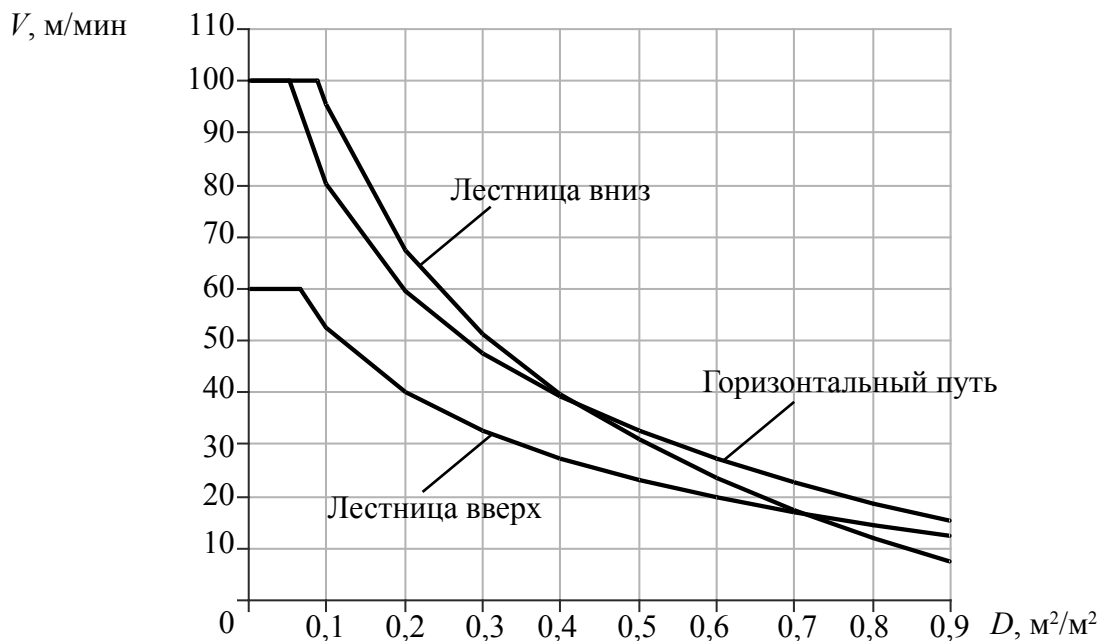


Рис. 3.8. Средние значения скорости движения в зависимости от плотности людского потока в категории движения «повышенная активность»

Из графика видно, что скорость движения людей в диапазоне до D_0 не зависит от плотности людского потока, в этом диапазоне наблюдается так называемая *скорость свободного движения*.

При движении потока плотностью $0-0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ по лестницам вниз скорость выше, чем по горизонтальным путям. Это связано с тем, что при движении по лестнице в этом диапазоне плотности следующая ступень свободна от впереди идущего человека. В этих пределах скорость движения превышает скорость по горизонтальным путям (см. рис. 3.7), то есть движение протекает нормально, ритмично и в известной степени согласованно, поскольку из-за наличия ступеней длина шага у всех людей одинакова, что при меньшей затрате энергии обуславливает повышенную скорость.

При большей плотности ступень оказывается занятой впереди идущим человеком, и ритмичность движения прекращается, поскольку нарушается нормальный шаг, и на каждую нижнюю проступь сначала ставится одна, а затем другая нога. Кроме того, люди перестают видеть и «чувствовать» путь, поэтому двигаются осторожно, ожидая грани проступи и опасаясь падения. При плотности выше $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ скорость движения падает в результате не только общего увеличения плотности, но и указанных причин.

Скорость движения по лестницам вверх меньше, чем по горизонтальным путям и лестнице вниз, что обуславливается повышенными затратами энергии. Однако при плотности потока выше $0,7$ она больше, чем по лестницам вниз. Это связано с тем, что при движении вверх движение становится менее опасным: при таких плотностяхдвигающиеся вниз по лестнице люди не видят ступеней, боятся упасть и замедляют движение; при движении вверх опасность падения значительно меньше и поток движется более уверенно, и, как следствие, быстро.

Важно понимать, что при одной и той же плотности потока скорость движения неодинакова. Причина колебаний скорости зависит от эмоционального состояния людей, их физического состояния, а также наличия локальных уплотнений и разуплотнений потока. С ростом плотности потока колебания скорости людей уменьшаются. Среднее значение V (математическое ожидание) вычисляется по формуле (3.3), а дисперсия $S_{V_0}^2$ – по формуле

$$S_V^2 = S_{V_0}^2 \left(1 - a \ln \frac{D}{D_0} \right). \quad (3.4)$$

Представленные формулы позволяют определить минимальные и максимальные скорости движения в зависимости от плотности и состава людского потока. Пример построения диапазона отклонений для горизонтального пути от средних значений представлен на рис. 3.9.

Горизонтальный путь в зданиях

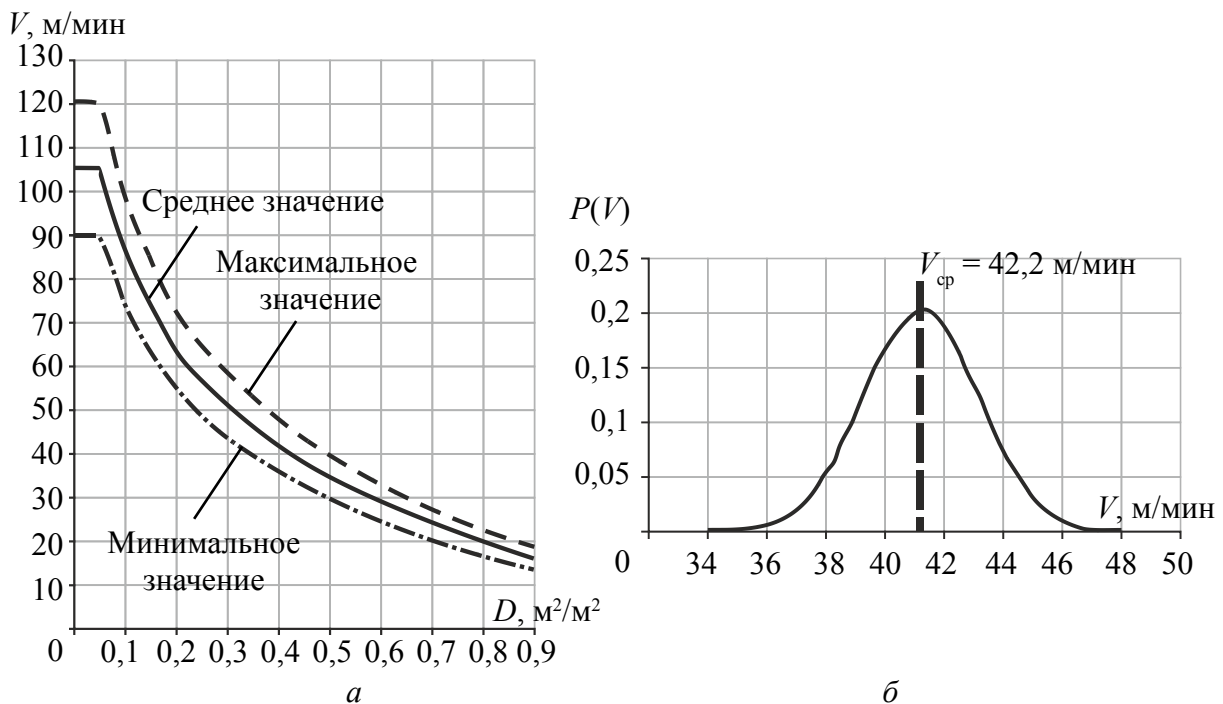


Рис. 3.9. Распределение вероятных значений скорости людей в потоке при категории движения «повышенная активность» по горизонтальному участку пути:

а – при изменении плотности людского потока;

б – при фиксированном значении плотности потока, например, $D = 0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$

Помимо влияния физических данных человека, вида пути, плотности потока и эмоционального состояния, скорость движения зависит также от следующих факторов. Во-первых, 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. При 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, п. 7.1.6.4*) определяют состояние поверхности эвакуационного пути. Большое внимание этой проблеме также уделялось в работе [2].

Во-вторых, следует иметь в виду, что при эвакуации, например, спортивных учреждений, из-за 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 реализации элементов двигательного акта. *Зона восприятия* – информационное пространство, необходимое для движения. Пешеход

визуально отслеживает скорости и траектории движения окружающих людей, оценивает расстояния до объектов и предметов и корректирует скорость, избегая столкновений и выполняя маневры. 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 вентиляции, 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.

3.4. Интенсивность движения

Интенсивность движения q в теории движения людских потоков – количество человек N , проходящих в единицу времени t через 1 м пути шириной b :

$$Q = N/tb, \text{ чел/м} \cdot \text{мин}, \quad (3.5)$$

$$q = Nf/tb, \text{ м}^2/\text{мин} \quad (3.6)$$

$$\text{или } q = V D, \text{ чел/м} \cdot \text{мин (или м/мин)}. \quad (3.7)$$

Для иллюстрации этой ключевой величины рассмотрим самый простой пример. По участку шириной 1 м движется людской поток. Была проведена линия условного сечения и подсчитано, что за 1 минуту линию пересекло 100 чел. (рис. 3.10).

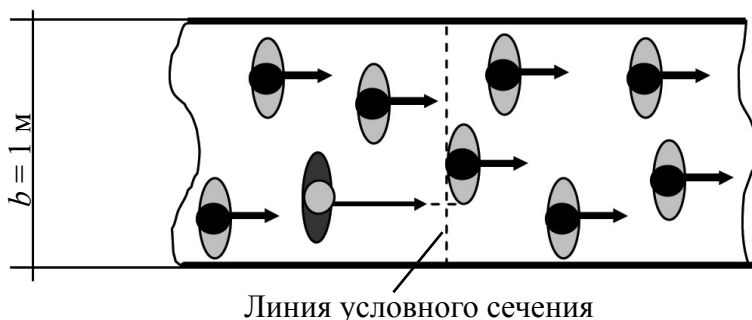


Рис. 3.10. Иллюстрация к определению термина «интенсивность движения»

В таком случае интенсивность движения составит 100 чел/(м·мин) или $100 \times 0,1 \text{ м}^2/(\text{м} \cdot \text{мин})$ при учете площади горизонтальной проекции (взрослый в летней одежде). После сокращения м^2 в числителе и м в знаменателе, получим величину, имеющую нормативную размерность: 10 м/мин.

При определенной плотности, различной для каждого вида пути, q достигает максимума q_{max} , а затем падает. Для различных категорий движения значения q_{max} различны, но соответствующие значения $D_{q_{\text{max}}}$ приблизительно одни и те же. На рис. 3.11 приведены графики изменения средних значений интенсивности движения для категории повышенной активности, использованные в нормативных документах.

Отсюда следует важный вывод, что горизонтальные и наклонные пути движения, а также проемы имеют предел пропускной способности q_{max} , определяемой плотностью $D_{q_{\text{max}}}$.

Значения максимальной интенсивности движения q_{max} являются нормированными значениями и зависят от вида пути:

- 16,5 м/мин (или 165 чел/(м·мин) при $f = 0,1 \text{ м}^2$) – для горизонтальных путей;
- 19,6 м/мин (или 196 чел/(м·мин) при $f = 0,1 \text{ м}^2$) – для дверных проемов;
- 16,0 м/мин (или 160 чел/(м·мин) при $f = 0,1 \text{ м}^2$) – для лестниц вниз;
- 11,0 м/мин (или 110 чел/(м·мин) при $f = 0,1 \text{ м}^2$) – для лестниц вверх.

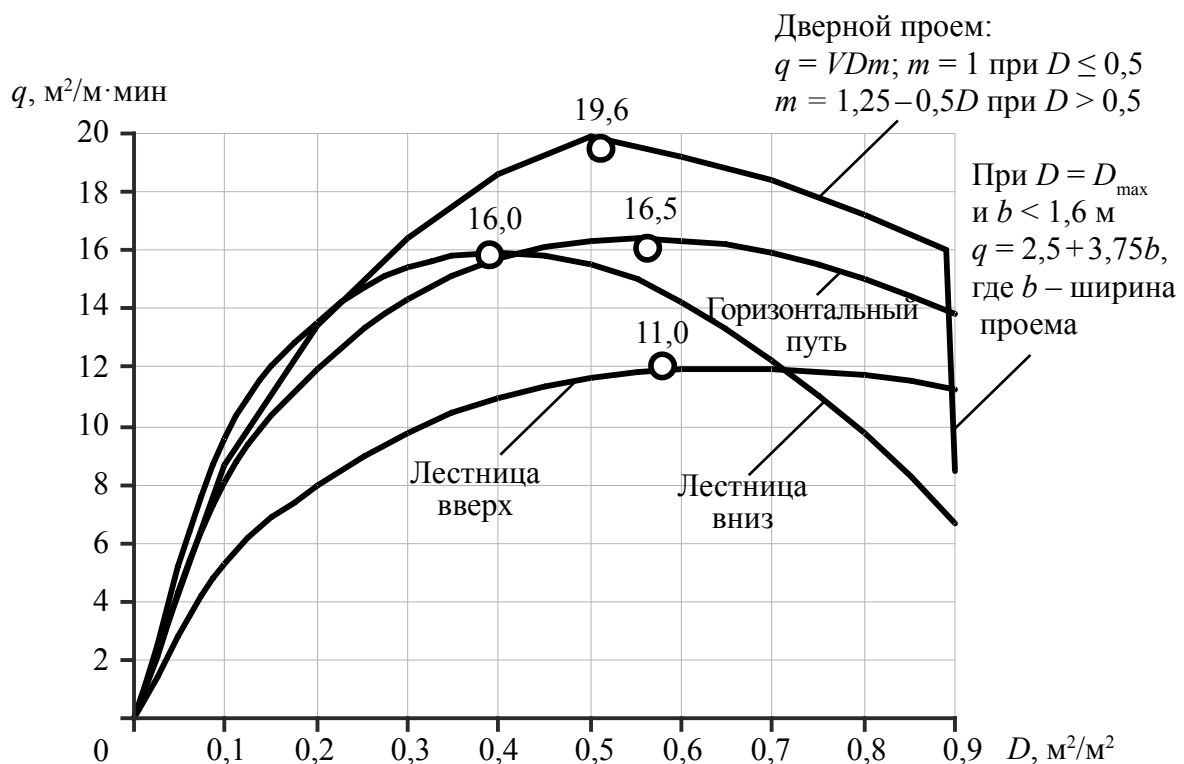


Рис. 3.11. Нормированные значения интенсивности людского потока в зависимости от плотности

Приведенные на рис. 3.11 данные показывают, что интенсивность движения людей в проеме несколько выше, чем на равновеликих горизонтальных путях. Это связано с тем, что движение людей у проемов становится более согласованным, благодаря чему достигается бóльшая скорость при той же плотности потока. Согласованность движения связана с тем, что люди стараются быстрее миновать более узкий (дверные проемы, как правило, уже участка пути) и, следовательно, менее комфортный участок пути.

При эвакуации в чрезвычайной ситуации через дверной проем и превышении пропускной способности проема может образоваться скопление людей и даже приостановка движения людей в проеме то есть «пробка».

Закупорка происходит в том случае, когда в проеме люди образуют своего рода арку, пяты которой упираются в дверную коробку, причем выпуклость арки направлена в сторону, противоположную направлению движения, рис. 3.12 а.

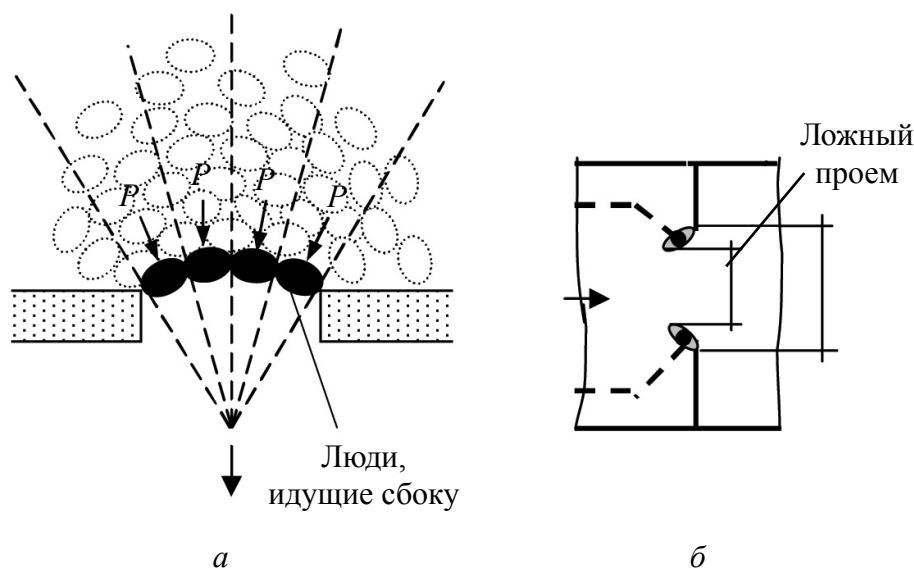


Рис. 3.12. Движение через проемы:
а – схема образования арки; б – эффект «ложного проема»

Люди, ставшие звеньями арки, оказываются сильно сжатыми. В таких условиях человеку бывает сложно высвободиться. Существование арки носит пульсирующий характер, устойчивое ее положение – явление редкое.

Как показали специальные исследования [6], 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 указанный выше эффект «ложного проема» (рис. 3.12 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. Причем арки редко возникают в проемах шириной 1,2 м и практически не образуются в проемах шириной 1,6 м [6].

С учетом вышеизложенного, для расчета параметров движения через проем при плотностях людских потоков более 5 чел/м² введен безразмерный понижающий коэффициент m замедления движения в проеме в результате сужения проема, полученный на основе экспериментальных исследований [6]:

$$m = 1,25 - 0,5 D, \quad (3.6)$$

то есть

$$q_i = q m, \quad (3.7)$$

а при максимальной плотности людского потока интенсивность движения через проем при ширине проема менее 1,6 м поставлена в зависимость от ширины проема b и определяется по формуле

$$q = 2,5 + 3,75 b, \text{ м/мин}, \quad (3.8)$$

установленной по минимальным значениям интенсивности движения через проем в натуральных наблюдениях.

Еще одной характеристикой является величина людского потока. Величина людского потока P – количество человек N , подходящих к сечению пути в единицу времени:

$$P = N/t, \text{ чел/мин}, \quad (3.9)$$

$$P = Nf/t, \text{ м}^2/\text{мин}. \quad (3.10)$$

Аналитически величина людского потока определяется произведением интенсивности q на ширину участка b или произведением плотности D , скорости V и ширины участка b :

$$P = qb, \text{ чел/мин (или м}^2/\text{мин)}, \quad (3.11)$$

$$P = DVb, \text{ чел/мин (или м}^2/\text{мин)}. \quad (3.12)$$

3.5. Пропускная способность участка пути

Пропускная способность Q – количество человек, которое может пропустить поперечное сечение пути шириной b в единицу времени:

$$Q = N/t, \text{ чел/мин}, \quad (3.13)$$

$$Q = Nf/t, \text{ м}^2/\text{мин}. \quad (3.14)$$

Величина пропускной способности участка пути аналитически может быть определена так же, как и величина людского потока, но при этом следует иметь в виду, что ширина потока в определенном диапазоне плотностей меньше ширины участка пути.

Максимальная пропускная способность участка пути наблюдается при движении людского потока при q_{\max} . В случае, если величина подходящего людского потока $P \leq Q$, то движение людей происходит беспрепятственно. Если $P > Q$, то это означает, что к границе участка пути в единицу времени подходит больше людей, чем он может пропустить за это же время. В таком случае образуется скопление людей, в котором плотность потока в чрезвычайной ситуации достигает максимальных значений. Движение будет происходить с минимальной интенсивностью $q_{D_{\max}}$.

В более благоприятных ситуациях люди останавливаются, но не уплотняют скопления до предельной величины, а размещаются с плотностью, соответствующей уровню комфорта.

Максимальные (движение при q_{\max}) и минимальные (движение при $q_{D_{\max}}$) значения пропускной способности различных участков пути приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Минимальные (при образовании скопления) и максимальные (при плотности около 0,4–0,5 м²/м²) значения пропускной способности участков пути

Ширина участка, м	Пропускная способность участка пути, чел/мин (при $f = 0,125 \text{ м}^2$)							
	Дверной проем		Горизонтальный путь		Лестница вниз		Лестница вверх	
	min	max	min	max	min	max	min	max
0,8	44	125	86	106	46	102	63	70
0,9	47	141	97	119	52	115	71	79
1,0	50	157	108	132	58	128	79	88
1,1	53	172	119	145	63	141	87	97
1,2	56	188	130	158	69	154	95	106
1,3	59	204	140	172	75	166	103	114
1,35	61	212	146	178	78	173	107	119
1,4	62	220	151	185	81	179	111	123
1,5	65	235	162	198	86	192	119	132
1,6	109	251	173	211	92	205	127	141
1,7	116	267	184	224	98	218	135	150
1,8	122	282	194	238	104	230	143	158
1,9	129	298	205	251	109	243	150	167
2,0	136	314	216	264	115	256	158	176

Приведенные в табл. 3.7 данные показывают, что, например, дверной проем шириной 1 м максимально может пропустить 157 человек в минуту.

В случае, если к дверному проему подходит большее количество людей, то образуется скопление людей с высокой плотностью (давка), и пропускная способность падает до значений 50 чел/мин.

Литература

1. *Беляев С. В.* Эвакуация зданий массового назначения. – М.: Изд. Всесоюзной академии архитектуры, 1938.
2. *Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И.* Натурные наблюдения людских потоков: Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 191 с.
3. *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.
4. *Pauls J.* The Movement of People in Buildings and Design Solutions for Means of Egress // *Fire Technology*, 1984, vol. 20, № 3.
5. *Fruin J. J.* Pedestrian Planning and Design. – *Elevator World*, 1971.
6. *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.
7. *Холщевников В. В.* Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1983.
8. *Холщевников В. В.* Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. – М.: МИНБ МВД России, 1999. – 93 с.
9. *Холщевников В. В.* Закономерность связи между параметрами людских потоков: диплом № 24–S на открытие в области социальной психологии. – М.: Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.

Глава 4

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

- 4.1. Кинематические закономерности движения людских потоков
 - 4.1.1. Движение через границы смежных участков пути
 - 4.1.2. Слияние людских потоков
 - 4.1.3. Переформирование и растекание людского потока
 - 4.1.4. Одновременное слияние и переформирование людских потоков на участках ограниченной длины
 - 4.1.5. Образование задержек движения и скоплений людей
- 4.2. Психофизические закономерности связи между параметрами людских потоков
 - 4.2.1. Эмпирические данные и зависимости
 - 4.2.2. Стохастичность людского потока
 - 4.2.3. Закономерность изменения скорости от плотности
 - 4.2.4. Закономерность влияния эмоционального состояния

Сформулированные в заключительной части предыдущей главы критерии безопасности людей при эвакуации явились итогом длительных исследований С. В. Беляева [1], А. И. Милинского [2], В. М. Предтеченского [3]. В нормировании они впервые были применены в 1980 г. [4].

Однако для их практической реализации потребовались еще более длительные исследования коллектива научной школы «Теория людских потоков» [5]. 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 натуральных наблюдений и специально организованных экспериментов. Эмпирическая база данных составляет в настоящее время более 50 тысяч 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 норматив-

ные 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.

4.1. Кинематические закономерности движения людских потоков

4.1.1. 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 первых же обширных натурных наблюдений (рис. 4.1) [2].

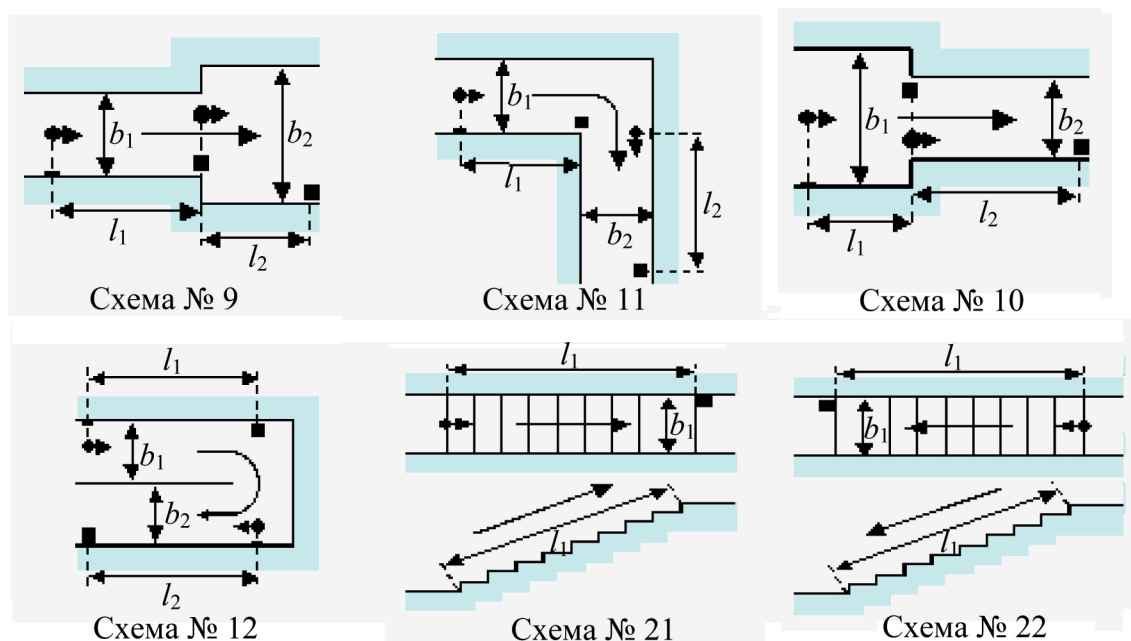


Рис. 4.1. Схемы движения одного людского потока через границы смежных участков коммуникационных путей. Квадратами обозначены наблюдатели, кругами – наблюдаемые в потоке люди

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» [3]. (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» [3]). Размещение людей в потоке на занятом им участке Δl_{i+1} принимается равномерным, а ширина потока b равной ширине участков, по которым он перемещается, то есть, соответственно, δ_i и δ_{i+1} . При этих упрощениях рассматриваемая ситуация изображена на рис. 4.2.

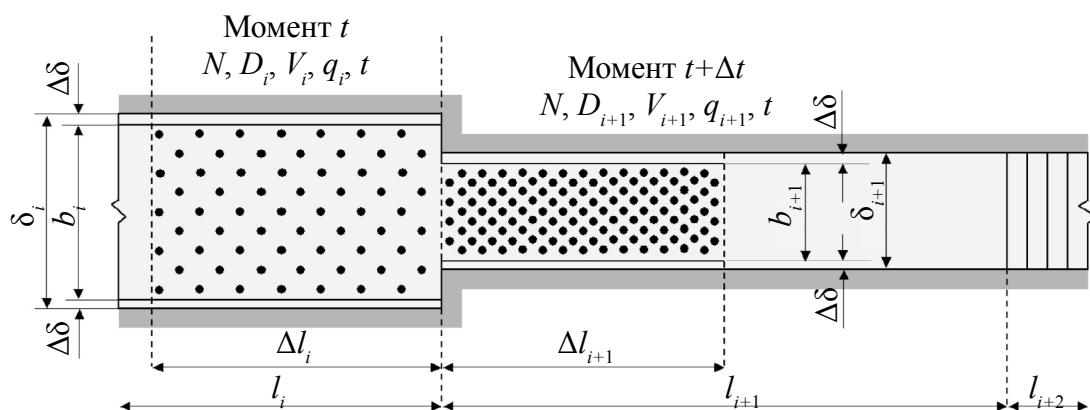


Рис. 4.2. Движение людского потока через границу смежных участков пути

Впервые этот вопрос было предложено решить следующим образом [4, 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

$$D_2 = D_1 \delta_1 / \delta_2. \quad (4.1)$$

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 (4.1) следует признать «неточной» [6].

Вернемся к схеме на рис. 4.2. Возможны два случая: первый – поток переходит через границу участков без задержки; второй – перед границей следующего участка происходит задержка людей.

В первом случае, если задержка 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

$$t_i = \Delta l_i / V_i = N / V_i D_i \delta_i. \quad (4.2)$$

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:

$$q_{i+1} = q_i \delta_i / \delta_{i+1}. \quad (4.3)$$

Это соотношение впервые было установлено (иным способом) лишь в 1957 г. [6]. 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» [3].

Каждому значению интенсивности движения соответствует определенное значение плотности потока, поэтому по найденному (4.3) 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} .

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, равна

$$P = qb. \quad (4.4)$$

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, 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 (4.3), 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 (4.3), 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 человеческий организм не может выдержать 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 [7], 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 [2, 7, 8]. Схемы проведенных натурных наблюдений приведены на рис. 4.3.

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. На рис. 3.12 а (см. Гл. 3) буквой P обозначена сила, сообщаемая звену арки толпой людей.

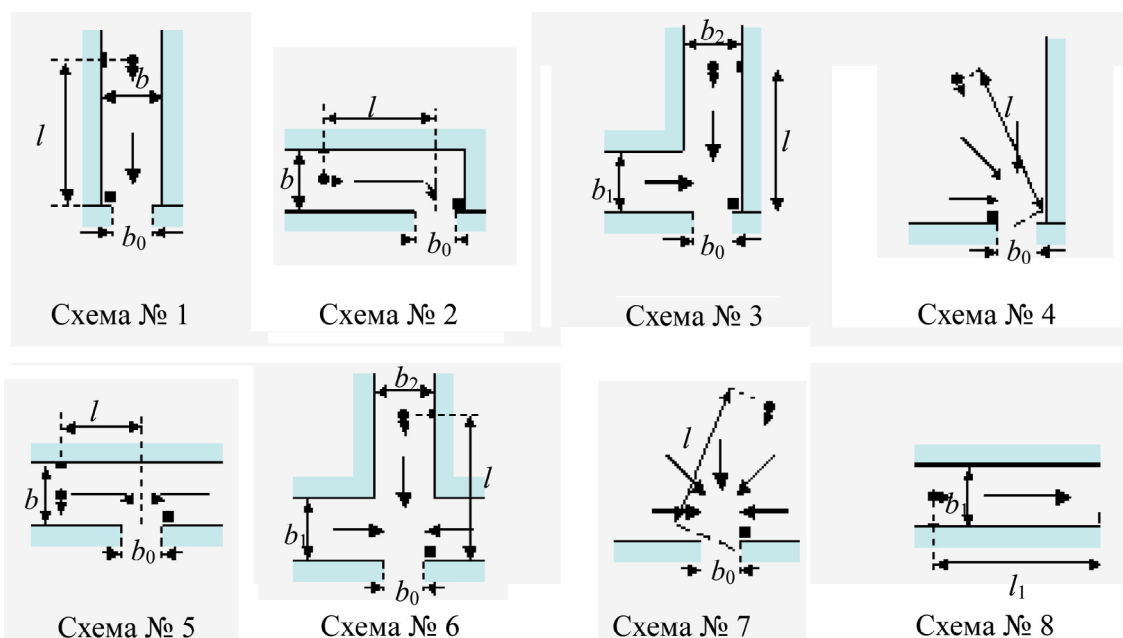


Рис. 4.3. Схемы проведенных натуральных наблюдений движения людских потоков через проем

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 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. 3). Известно множество печальных последствий их практического подтверждения.

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, то есть 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} (рис. 4.4).

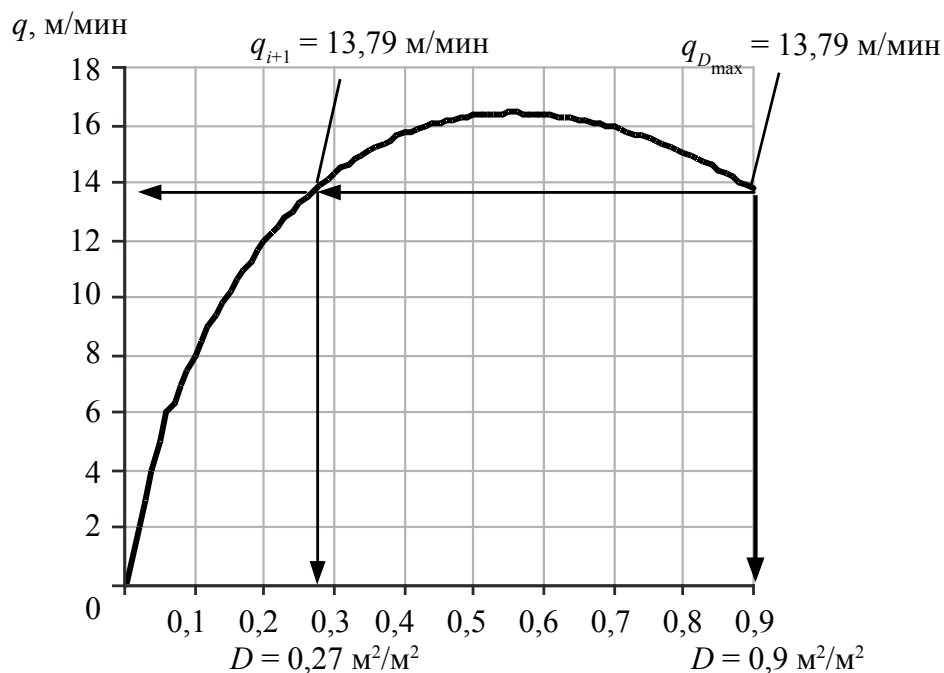


Рис. 4.4. Пример определения плотности потока на последующем участке пути

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» [9].

4.1.2. 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. 4.5).

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 также возможны два случая: беспрепятственное движение через границу смежных участков пути или образование скопления людей перед границей участка $i+1$.

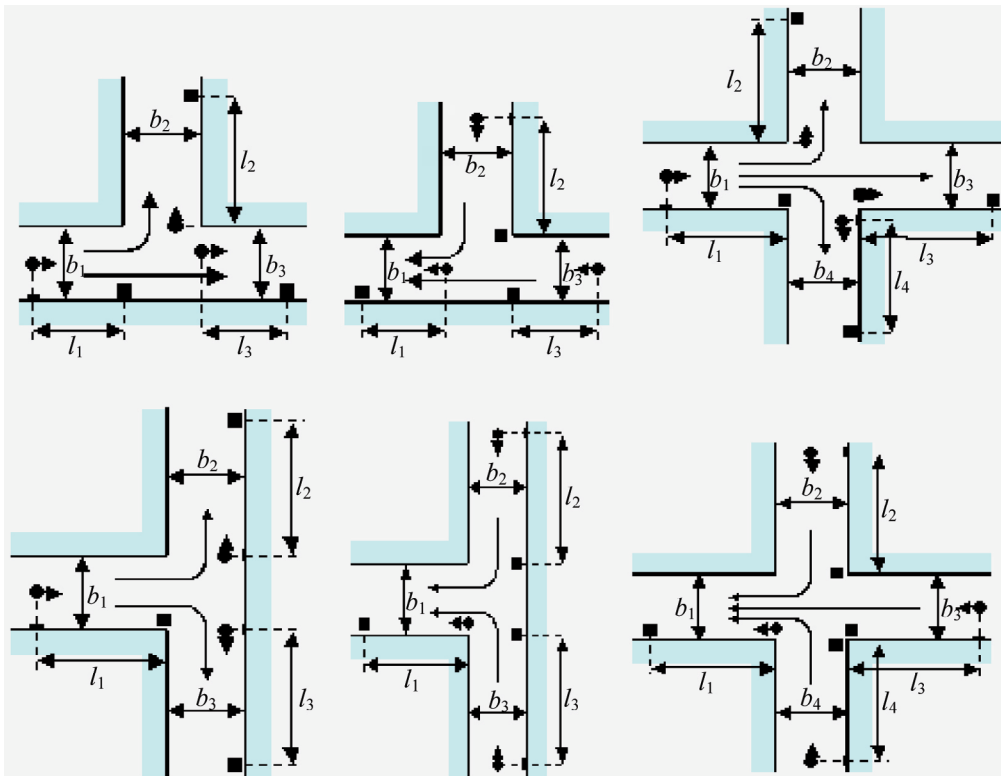


Рис. 4.5. Схемы проведенных натуральных наблюдений слияния и разделения людских потоков

Очевидно, что одновременный подход головных частей потоков к месту слияния в практике встречается редко. Как правило, люди из боковых проходов выходят в общий проход без слияния, либо вклиниваясь в поток идущих людей (рис. 4.6). 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, то есть:

$$t_{i_1} \leq t_{i_2}. \quad (4.5)$$

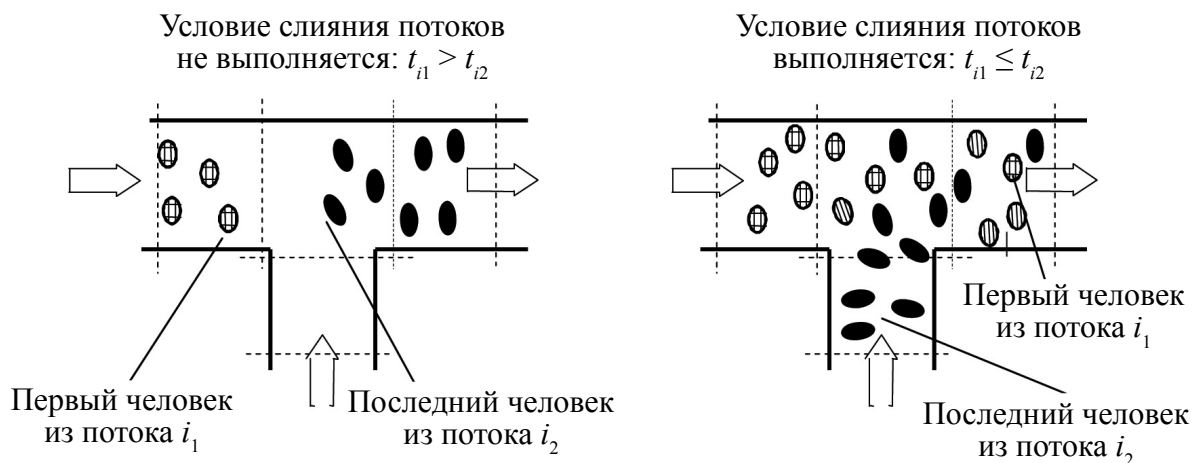


Рис. 4.6. Слияние людских потоков

Если слияние потоков происходит, то величина объединенного потока равна сумме величин сливающихся потоков при достаточной для его беспрепятственного движения ширине участка, на границе которого они сливаются, то есть соблюдается условие, аналогичное (4.3):

$$q_{i+1} = \sum q_i \delta_i / \delta_{i+1}. \quad (4.6)$$

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} .

4.1.3. 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. 4.7). Например, при одновременном 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.

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 Δl_{n1} с плотностью D_1 в конце впереди идущей части, образуя единый поток с этой плотностью D_1 . Если $D_1 \geq D_2$, то $\Delta l_{n1} \leq l_{n2}$ и $\Delta l_{n1} = l_{n2} D_2 / D_1$.

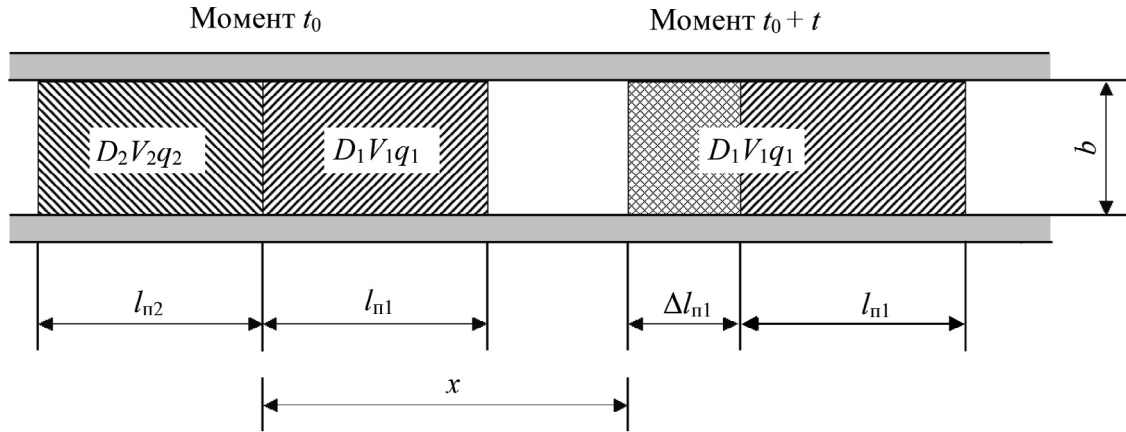


Рис. 4.7. Схема процесса переформирования людского потока

Из рис. 4.7 видно, что за время t люди, замыкающие первую часть потока, а вместе с ними и люди из примыкающего арьергарда второй части проходят расстояние $x + \Delta l_{n1} = V_1 t$. Люди же из замыкающей части второго потока проходят расстояние $x + l_{n2} = V_2 t$. Исходя из приведенных соотношений, можно записать: $(x + l_{n1} D_2 / D_1) / V_1 = (x + l_{n2}) / V_2$. Преобразовав выражение, получим:

$$x (1 - V_1 / V_2) = \Delta l_{n1} (q_1 / q_2 - 1). \quad (4.7)$$

Поскольку скорость переформирования потока, то есть скорость приобретения второй частью потока плотности первой части, неизвестна, то обозначим ее V^1 . Тогда можно записать $x = V^1 t$. Но: $x + l_{n2} D_2 / D_1 = V_1 t$, поэтому после алгебраических преобразований имеем

$$V^1 = (q_1 - q_2) / (D_1 - D_2). \quad (4.8)$$

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

$$t^1 = \Delta l_{n1} (D_1 - D_2) / D_2 (V_2 - V_1) = l_{n2} (D_1 - D_2) / D_1 (V_2 - V_1). \quad (4.9)$$

Мы рассматривали ситуацию, в которой плотность людского потока в его впереди расположенной части выше плотности сзади расположенной части, и, следовательно, $V_1 \leq V_2$. Считается [1], 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, то есть с максимальной при данном уровне эмоционального состояния людей. Происходит *растекание потока*.

Расчет процесса растекания потока производится по формулам (4.7)–(4.9), принимая $V_1 = V_0$ и $D_1 = D_0$, то есть 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. 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...»

$$V^1 = (q_c - q_2) / (D_c - D_2) \gg [3]. \quad (4.8a)$$

Тогда, соответственно, и

$$\begin{aligned} t^1 &= \Delta l_{n2} (D_c - D_2) / D_2 (V_2 - V_c) = \\ &= l_{n2} (D_c - D_2) / D_1 (V_2 - V_c). \end{aligned} \quad (4.9a)$$

4.1.4. 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 обширные из которых выполнены в МИСИ (МГСУ) в 1965–1985 гг. [10–14].

Установлено, что при формировании и движении людских потоков в магистральных проходах зрелищных помещений (рис. 4.8) 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.

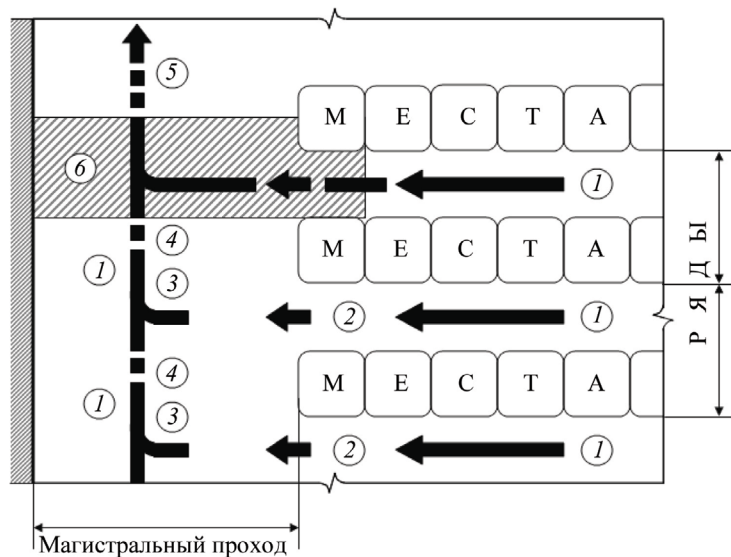


Рис. 4.8. Элементы процесса формирования и движения людских потоков в проходах зрелищных помещений:
 1 – движение; 2 – переход через границы; 3 – слияние; 4 – переформирование;
 5 – растекание и разуплотнение; 6 – скопление

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:

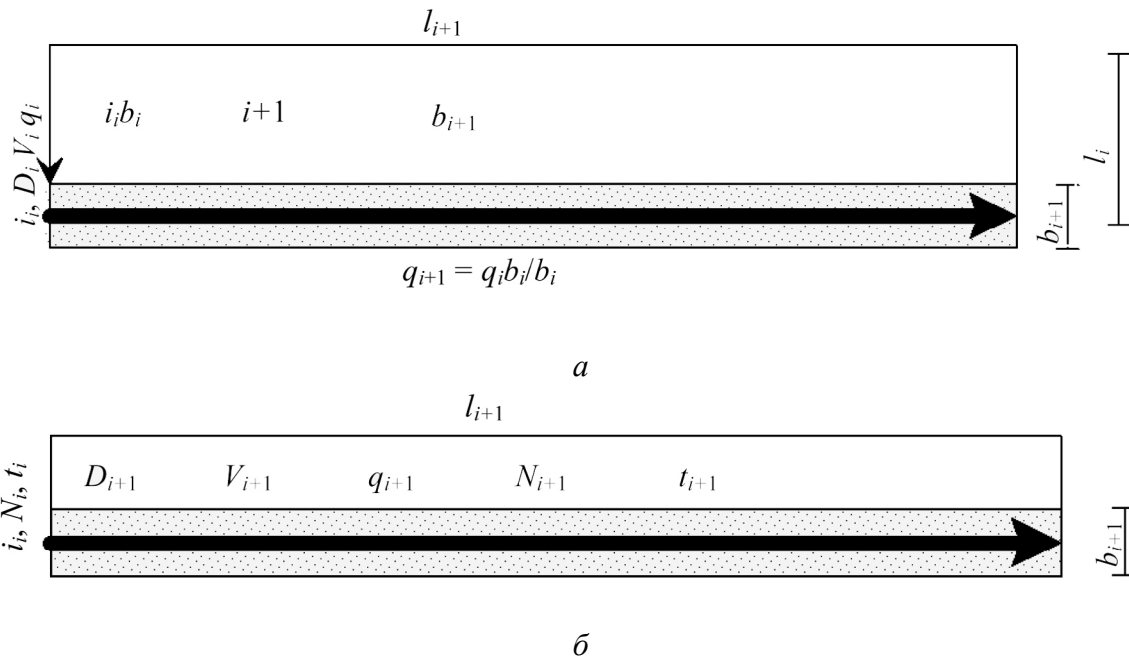
$$t = l / q_{cp} [D_i(q_{cp} - q_{i-1}) / \Delta q +] + N / \delta q_{cp}. \quad (4.10)$$

Пользоваться этими выражениями весьма трудно, поскольку необходимо определять параметры потока в магистральном проходе на уровне каждого ряда. Поэтому установлена более простая расчетная формула [14]:

$$t = mn / \delta q_{cp} + l D_1 (k + 1)(2k + 1) / 6q_1, \quad (4.11)$$

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_{cp} – интенсивность движения на выходе из магистрального прохода после момента стабилизации, принимается равной $q_{cp} = mP_p / \delta$, если она меньше q_{max} ; q_{cp} равна интенсивности движения при $D_{cp} = P_p t_p / l \delta$, если она больше q_{max} , а $D_{cp} \leq D_c$ (при скоплении), q_{cp} равна интенсивности движения при плотности скопления D_c , если она больше q_{max} и $D_{cp} \geq D_c$; k – целая часть от деления q_{cp} на q_1 .

Рассматриваемый процесс не является спецификой зрелищных помещений. Они фактически стали «полигоном» изучения этого общего процесса, соответствующего наиболее общей схеме РЭП (рис. 4.9). А эта схема включает в себя и коридор, и лестницу. Большая населенность многоэтажных и, особенно, высотных общественных зданий определяет аналогичное развитие процесса, несмотря на, казалось бы, большое расстояние между выходами с этажей [15].



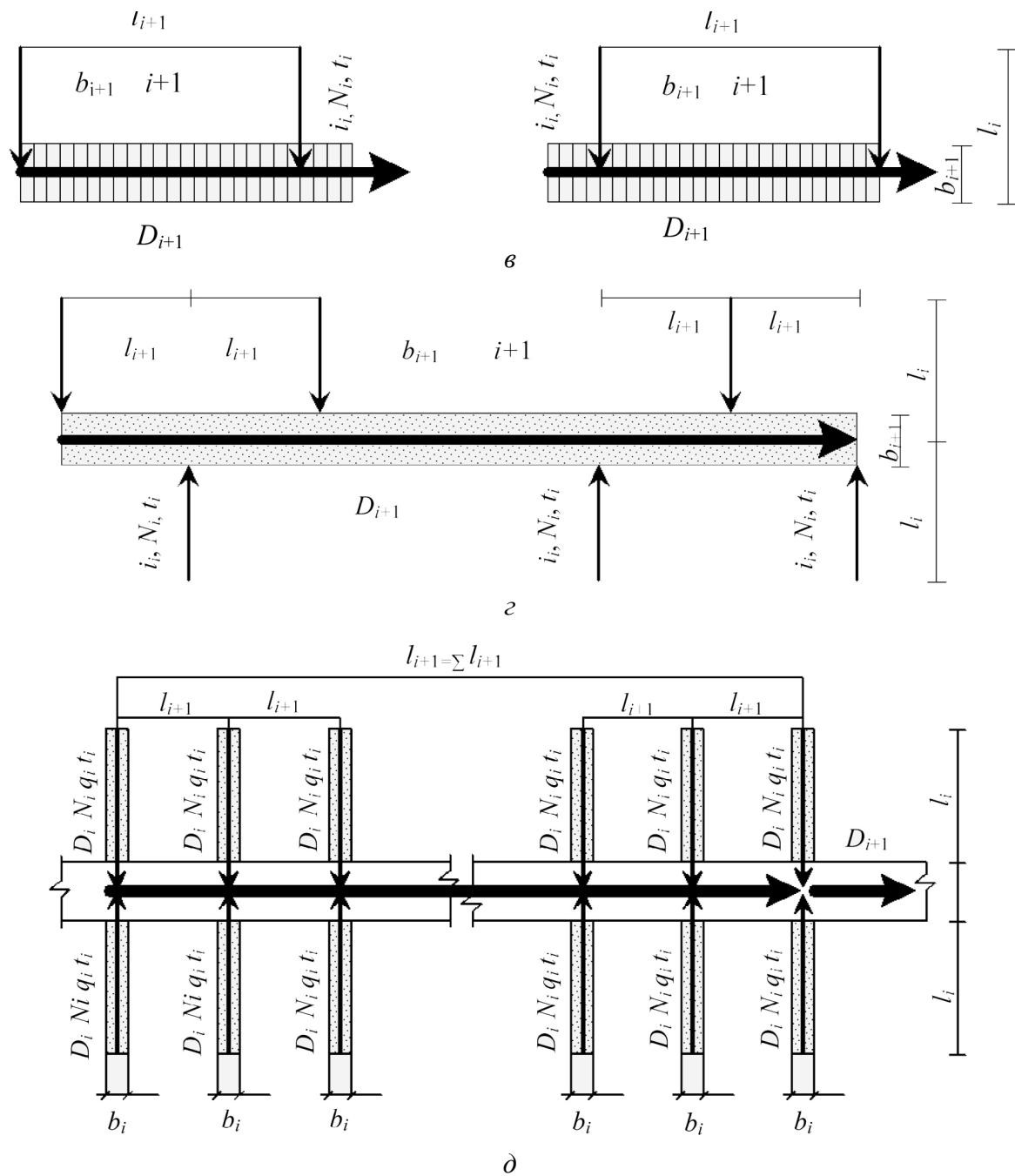


Рис. 4.9. Общая расчетная схема путей движения людских потоков и ее модификации:
 а – один источник; б – поток на общем участке; в – одностороннее расположение источников;
 г – двустороннее несимметричное расположение источников;
 д – двустороннее симметричное расположение источников (общая расчетная схема)

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. Примеры расчетов приведены в Прил. 5.

4.1.5. Образование задержек движения и скоплений людей

Максимальные плотности на участках движения возникают в случае, если величина подходящего людского потока P_i больше пропускной способности участка Q_{i+1} . Это означает, что к границе участка $i+1$ в единицу времени подходит больше людей, чем он может пропустить за это же время:

$$P_i > Q_{i+1}. \quad (4.12)$$

Естественно, часть людей задерживается на участке i перед границей с участком $i+1$, образуется скопление людей, в котором плотность потока в чрезвычайной ситуации достигает максимальных значений.

При выполнении расчетов индикатором образования скопления является превышение расчетным значением q_i максимального q_{\max} для данного вида пути (см. Гл. 3, раздел 3.4):

$$q_i > q_{\max}. \quad (4.13)$$

Иными словами, в таком случае расчет показывает, что для пересечения границы смежного участка пути, интенсивность должна быть больше предельной. Очевидно, что это невозможно, поэтому на границе участков образуется скопление людей и задержка движения.

Время задержки движения представляет собой разность между временем прохождения потока через сечения смежных участков пути i и $i+1$ (рис. 4.10):

$$t_3 = t_{i+1} - t_i = \frac{Nf}{q_{i+1}\delta_{i+1}} - \frac{Nf}{q_i\delta_i}. \quad (4.14)$$

где N – количество человек, участвующих в скоплении; f – площадь их горизонтальной проекции, $\text{м}^2/\text{чел}$; q_{i+1} и δ_{i+1} – интенсивность, $\text{м}/\text{мин}$, и ширина, м , участка $i+1$, м ; q_i и δ_i – интенсивность, $\text{м}/\text{мин}$, и ширина, м , участка i .

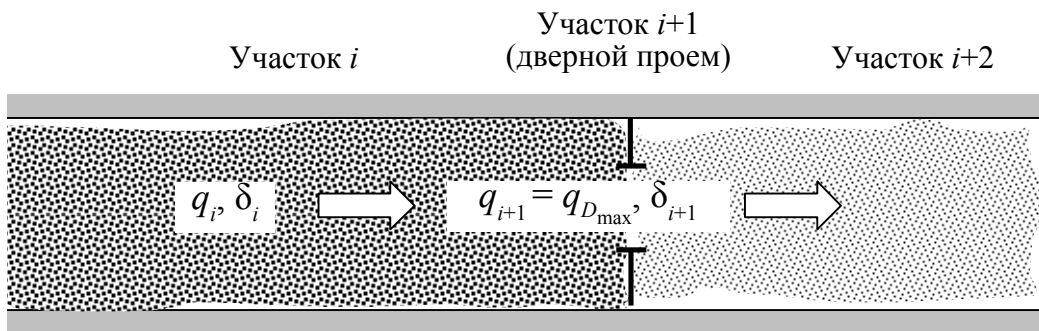


Рис. 4.10. Образование скопления при движении людского потока

Так как при образовании скоплений людей плотность потока в рамках упрощенной аналитической модели мгновенно (а на самом деле по данным [7] за 5–7 секунд) достигает предельных значений, то значения интенсивности q_{i+1} следует принимать равными значениям интенсивности при максимальной плотности, то есть $q_{i+1} = q_{D_{\max}}$.

Тогда время задержки определяется из соотношения (4.15) и прибавляется к расчетному времени эвакуации людей:

$$t_3 = Nf \left(\frac{1}{q_{D_{\max}} \delta_{i+1}} - \frac{1}{q_i \delta_i} \right). \quad (4.15)$$

Следует помнить, что при образовании задержек движения перед дверным проемом, «табличное» значение интенсивности $q_{D_{\max}}$ равно 8,5 м/мин только в случае, если ширина проема больше или равна 1,6 м. В случае если ширина проема меньше, то значение интенсивности определяется по формуле $q = 2,5 + 3,75b$, где b – ширина проема. Параметры на участке $i+2$ определяются процессом разуплотнения людского потока (см. раздел 4.1.1).

В настоящее время Приказ МЧС № 382 устанавливает четкий критерий беспрепятственности эвакуации – время скопления не должно превышать 6 мин. Иными словами, максимальное время нахождения человека в давке (именно так можно назвать скопление людей) не должно превышать указанного выше времени. Время существования скопления всегда больше времени задержки и рассчитывается по выражению:

$$t_{\text{ск}} = \frac{N \cdot f}{q_{D_{\max}} \cdot \delta_{i+1}} \leq 6 \text{ мин.} \quad (4.16)$$

Для понимания разницы между временем задержки и временем скопления можно рассмотреть такой пример. По пути на работу пешеходу необходимо пройти по участку пути, на преодоление которого он обычно затрачивает 2 минуты. Однако из-за реконструкции дороги образовалось скопление людей и на преодоления этого участка у него ушло 5 минут. В таком случае время задержки составило 3 минуты, а время, в течение которого он находился в скоплении, 5 минут.

Превышение максимального времени нахождения в скоплении, равного 6 мин., может вести к гибели людей в результате компрессионной асфиксии. Для уменьшения времени скопления, как правило, надо либо изменять маршруты эвакуации людей, либо увеличивать ширину эвакуационных выходов.

Образование скоплений людей является основным признаком нарушения беспрепятственности движения. В чрезвычайной ситуации воздействие людей друг на друга в скоплении и на ограждающие конструкции эвакуационных путей достигает уровней давления, способных к компрессионной асфиксии организма человека со смертельным исходом.

4.2. Психофизические закономерности связи между параметрами людских потоков

4.2.1. 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. 3.8 (Гл. 3). Факт общей качественной зависимости скорости от плотности общеизвестен: при увеличении плотности скорость снижается. Однако это лишь подтверждает подмеченный исследователями парадокс: «Этот факт не получил научного объяснения потому, что он слишком известен» [24]. Существование зависимости скорости людского потока от его плотности, как имеющей какой-то закономерный характер, впервые установлено лишь в начале 30-х гг. прошлого столетия [1]. Результаты подобных исследований на горизонтальных путях, выполненных сотрудниками одного из университетов Японии под руководством К. Кимура и С. Ихара, опубликованы в университетском издании приблизительно в то же время [17]. Эти исследования были неизвестны СССР, Европе и Америке в течение почти 50 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 [20, 21] составил 24478 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. 4.11–4.13). В настоящее время этот объем достиг более 50 тысяч замеров.

Скорость движения людей в потоке и потока в целом зависит не только от его плотности, но и от вида пути, физических возможностей людей, составляющих поток, 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 [18, 19].

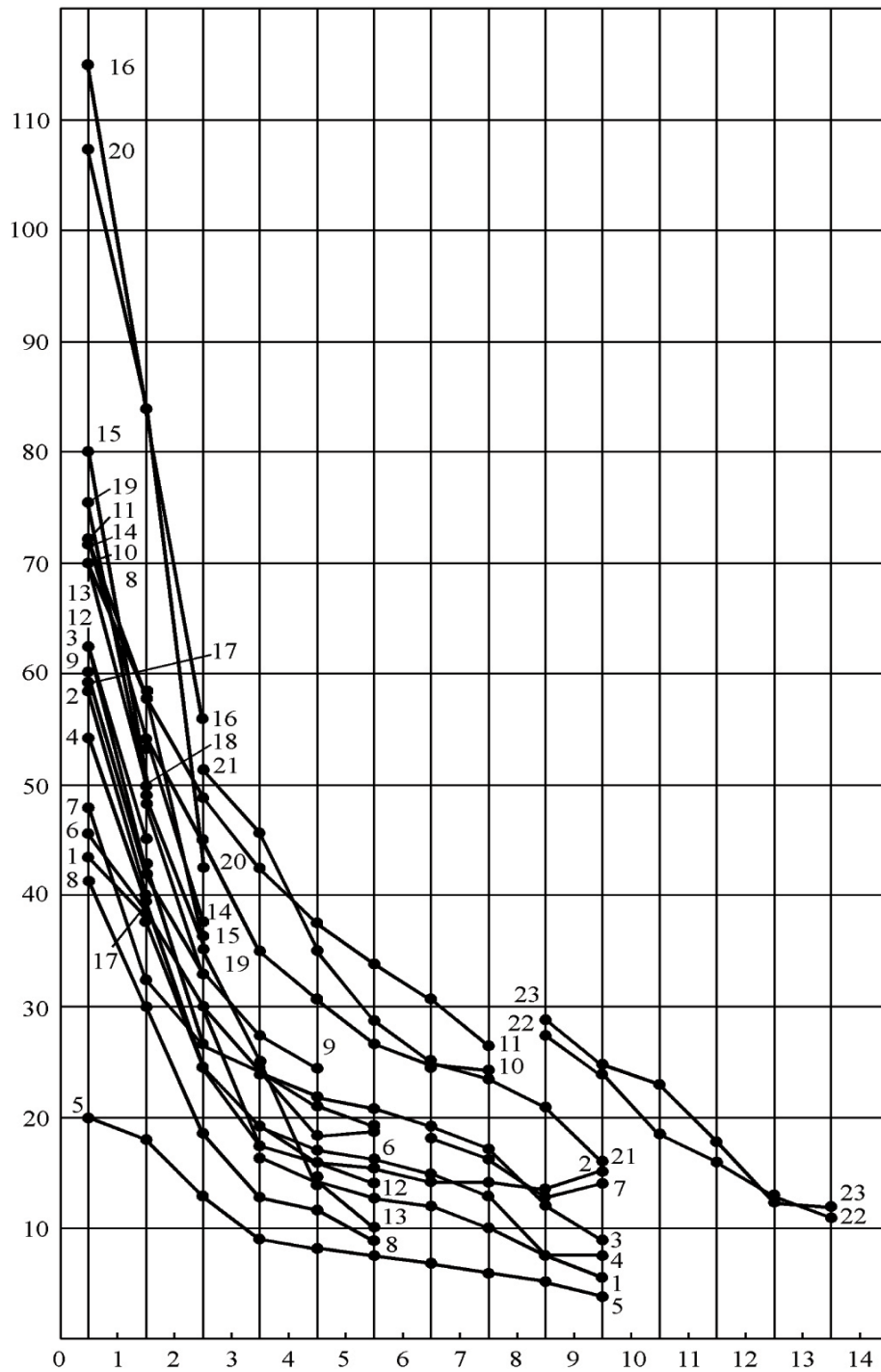


Рис. 4.11. Эмпирические зависимости скорости людского потока от его плотности при движении по горизонтальным путям здания:
 1, 5 – театры, кинотеатры, 2 – университеты, 3 – промышленные, 4, 13, 14 – транспортные, 6 – спортивно-зрелищные, 7 – различные, 8 – торговые; школы: 9 – старшая группа, 10 – средняя, 11 – младшая; улицы: 12 – торговый центр, 15, 16, 18 – транспортный узел, 19 – промышленный узел, 20, 21 – метрополитен, 22, 23 – эксперимент

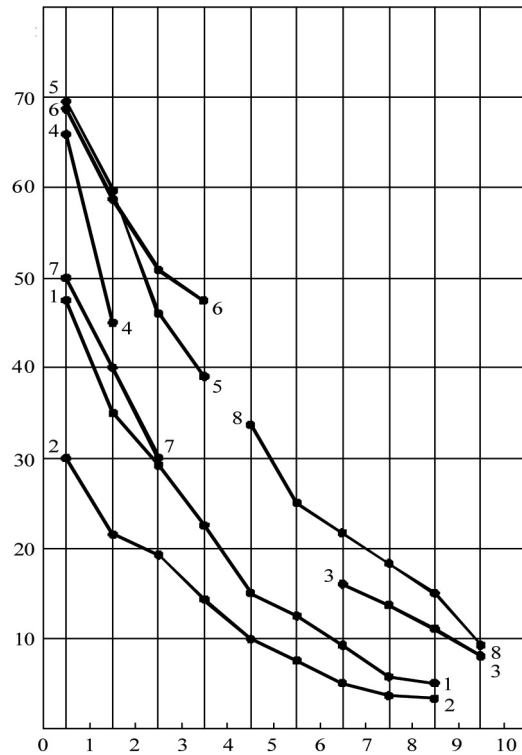


Рис. 4.12. Эмпирические зависимости скорости людского потока от его плотности при движении по лестнице вниз:
 1 – здания различного назначения, 2, 3 – спортивно-зрелищные, 4 – университет; школы: 5 – средняя группа, 6 – младшая; 7 – транспортный узел; 8 – эксперимент

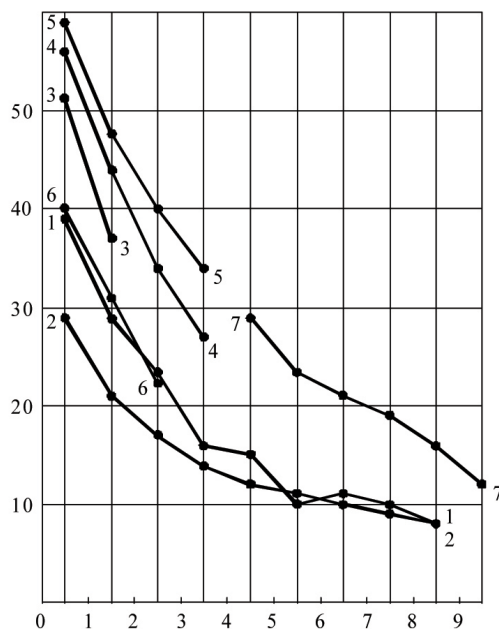


Рис. 4.13. Эмпирические зависимости скорости людского потока от его плотности при движении по лестнице вверх: здания: 1 – здания различного назначения, 2, 3 – спортивно-зрелищные, 3 – университет; школы: 4 – средняя группа, 5 – младшая; 6 – транспортный узел; 7 – эксперимент

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 [3]. 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.

Как говорилось ранее, физическое достижение той или иной скорости движения человека зависит от длины шага и частоты шагов (темпа движения). Плотность потока влияет на возможность полношагового движения пешехода (при среднем шаге 0,7 м).

Если проанализировать расстояние между людьми и плотность потока, то становится видно, что при плотности до 2–2,5 чел/м² физическое расстояние для полношагового движения есть, а человек идет со скоростью меньшей скорости свободного движения. В этом интервале плотности на снижение скорости влияет ограниченная возможность 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 пешеходу 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» [3]. Этот общий психологический настрой теоретиками психологии масс формулируется как «взаимное усиление эмоций, взаимное заражение» [18].

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» [22]. 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» [19].

4.2.2. 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 всех окружения, 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. 4.14), 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 П–2–80: «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений». Его результаты опубликованы позже.

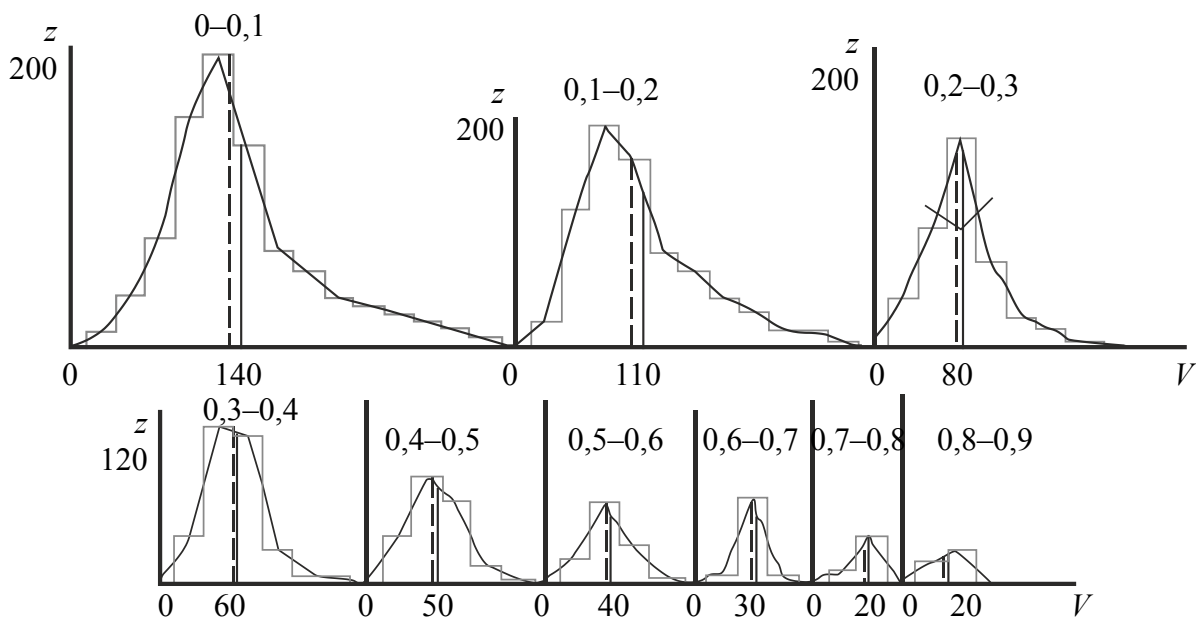


Рис. 4.14. Гистограммы и полигоны распределения значений скорости людей в потоке при движении по горизонтальным путям для различных интервалов плотности потока: V – скорость движения, м/мин; z – количество замеров

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.

4.2.3. 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 интервал⁹ индивидуального, свободного движения. Точные значения порога D_0 , при достижении

⁹ Интервал плотности, не оказывающей влияния на скорость движения (Гл. 3, табл. 3.6).

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 :

$$\Delta V_D = V_0 - V_D. \quad (4.17)$$

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 , то есть построим функцию

$$R = (\Delta V_D / V_0) = \varphi(D). \quad (4.18)$$

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. 4.11–4.13, в которых имелись значения V_0 . Они были объединены по видам пути. Полученные значения R приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

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 потока и реакцией на него человека, выражающейся в изменении скорости его движения.

В психофизике известно несколько законов, описывающих отображение внешних воздействий в сенсорном пространстве человека [20]. Их анализ показал [20, 24], 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. 4.15.

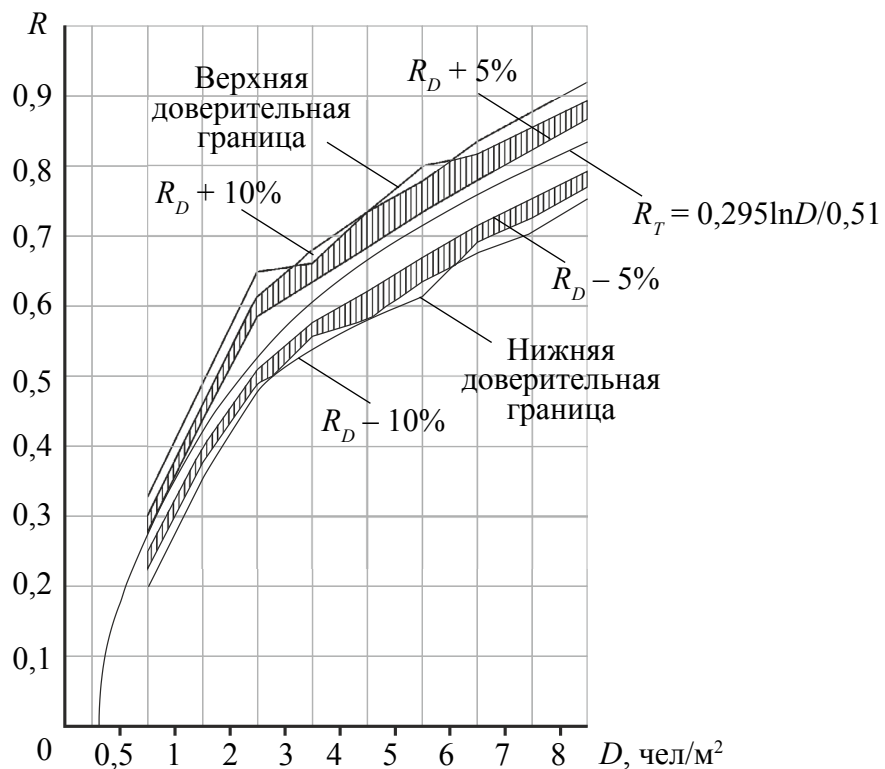


Рис. 4.15. Пример аппроксимации зависимости R_T для горизонтальных путей в зданиях:
 — — установленная теоретическая функция $R_T = f(D)$;
 ▨ — область допустимых отклонений от R_D

Из найденного соотношения $R_D = (V_0^3 - V_D^3) / V_0^3$ следует формула для определения скорости движения людского потока (Гл. 3, разд. 3.3). Поскольку в этой формуле величина R_D не зависит от уровня эмоционального состояния, то его влияние отображается величиной скорости свободного движения V_0^3 . 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.

4.2.4. 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 [26]. 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 ко 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 удастся 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. 4.16 [21].

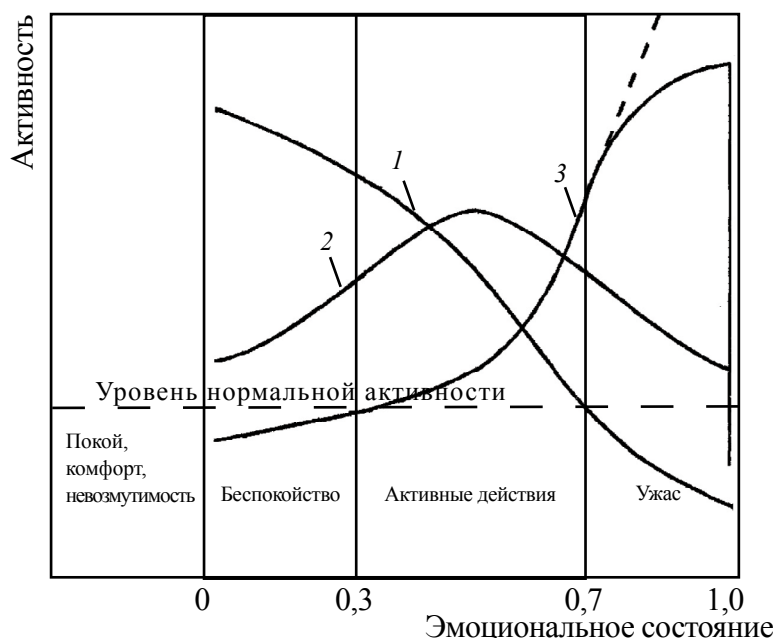


Рис. 4.16. Влияние эмоционального состояния на уровень активности:

1 – внимания; 2 – управления; 3 – движения

Как видно, двигательная активность возрастает при увеличении уровня эмоционального состояния. 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. 4.17.

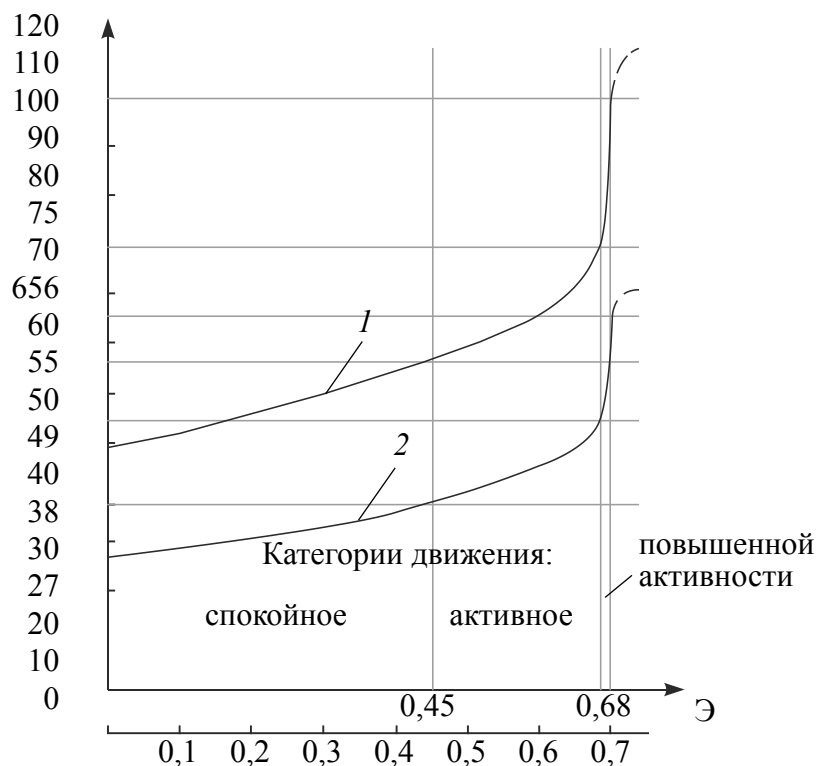


Рис. 4.17. Зависимость скорости свободного движения людей в потоке от уровня эмоционального состояния при движении:
 1 – по горизонтальному пути, через проем, по лестнице вниз; 2 – по лестнице вверх

Таким образом, по данным статистической совокупности всех серий проведенных натурных наблюдений и экспериментов была получена возможность определить конкретные значения всех членов формулы (3.3), описывающей закономерность связи между параметрами людских потоков (см. табл. 3.5–3.6).

Теперь все части общего выражения закономерностей (3.3) изменения скорости движения людского потока определены для всех видов пути 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 натурных наблюдений (рис. 4.14). Среднее значение V (математическое ожидание) вычисляется по формуле (3.3), а дисперсия S_V^2 по формуле (3.4) (Гл. 3).

Данные 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 в Гл. 3 (рис. 3.9).

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

$$D_{q_{\max}} = e^{(1/a - 1 + \ln D_0)}, \quad (4.19)$$

поскольку при этом значении первая производная функция $q = DV_0(1 - a \ln(D / D_0))$ 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 [33].

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

В заключение следует отметить следующее.

1. Первые научные исследования 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» [1].

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. Основополагающим 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.

Литература

1. *Беляев С. В.* Эвакуация зданий массового назначения. – М.: Изд. Всесоюзной академии архитектуры, 1938.

2. *Милинский А. И.* Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1951.

3. *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.

4. СНиП II–2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

5. Ведущие научные школы новейшие технологии и научные достижения в архитектуре, строительстве и жилищно-коммунальной сфере России: Российская архитектурно-строительная энциклопедия. – М.: ВНИИТЭПИ, 2001. – Т. VII. – С. 88–95.

6. *Предтеченский В. М.* О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1958. – № 7.

7. *Копылов В. А.* Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1974.

8. *Холщевников В. В., Копылов В. А.* Движение людских потоков через проемы // Пожарное дело. – 1982. – № 3.

9. ГОСТ 12.1.004–91*. Пожарная безопасность. Общие требования.

10. *Овсянников А. Н.* Закономерность формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных сооружениях: дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Холщевников В. В.). – М.: МИСИ, 1983.

11. *Калинцев В. А.* Проектирование кинотеатров с учетом движения людских потоков: дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1966.

12. *Дувидзон Р. М.* Проектирование спортивных сооружений с учетом движения людских потоков: дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1968.

13. *Алексеев Ю. В.* Формирование движения людских потоков в проходах зрелищных сооружений: дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1978.

14. *Предтеченский В. М., Холщевников В. В.* Расчет переформирования людских потоков на участках ограниченной длины // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1971. – № 4.

15. *Холщевников В. В.* Исследование людских потоков и методологии нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. – М.: МИПБ МВД РФ, 1999.
16. *Ness M. P., Morrall J. F., Huttchinson B. G.* An Analysis of Central Business District Pedestrian Circulation Patterns. – Highway Res. Rec., 1969.
17. *Kimura K., Ihara S.* Observations of Multitude Current of People in Buildings. Transactions of Architectural Institute of Japan. – 1937. – № 5.
18. *Ольшанский Д. В.* Психология масс. – М., СПб., Воронеж, Киев, Харьков, Минск и др.: Питер, 2002.
19. Социальная психология. Краткий очерк / Под ред. Г. П. Предвечного, Ю. А. Шерковина. – М.: Политиздат, 1975.
20. *Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.* Психофизиология и психофизика. – М.: Наука, 1977.
21. *Волков П. П., Оксень В. Н.* Информационное моделирование эмоциональных состояний. – Минск: Высшая школа, 1978.
22. *Холщевников В. В.* Закономерность связи между параметрами людских потоков (Диплом № 24-S Открытие в области социальной психологии) // Научные открытия. – М.: РАЕН, МААНОИ, МААНО, 2006.

Глава 5

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

- 5.1. Модели и расчеты при случайной структуре людского потока
- 5.2. Расчетная схема эвакуации
- 5.3. Упрощенная аналитическая модель движения людского потока
- 5.4. Имитационно-стохастическая модель движения людского потока
- 5.5. Индивидуально-поточная модель движения людских потоков
- 5.6. Краткий обзор программных комплексов для моделирования эвакуации людей

5.1. 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 [1], 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 [2] и затем ГОСТ 12.1.004–91* [3] 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 движения без растекания 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 [4, 5]. 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 [4, 6] и различными способами их реализации (или путем многократной их реализации при случайном выборе значений случайной величины V_0 , или случайным выбором значений V 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 [7]; эвакуация людей с малонаселенных этажей зданий [8] и т. п.). В этих случаях может быть наиболее просто проверена достоверность широко разрабатываемых за рубежом моделей индивидуального движения [9], которые используют весьма ограниченную базу исходных эмпирических данных и потому их адекватность реальным ситуациям всегда должна контролироваться. Разработанная модель «Свободное движение людских потоков» [4] 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 [10–12]. Такой подход – не новость для методологии моделирования и он давно получил свою оценку [13]: «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».

5.2. 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.

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. 5.1.

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;
- 2) исключение путей движения, проходящих рядом с зоной горения, хотя люди могут эвакуироваться через задымленные участки пути;
- 3) выполнение указаний персонала (в общественных зданиях, как правило, посетители при пожаре следуют указаниям персонала, даже если эти указания не соответствуют оптимальным);
- 4) при эвакуации с первого этажа – движение к открытому выходу, в проем которого видна уличная территория;
- 5) сложная логистическая зависимость, описывающая выбор выхода из зрительного зала.

б) при прочих равных условиях – движение к ближайшему выходу.

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. 5.2.

Таблица 5.1

Количество людей в помещениях различного назначения

Наименование помещения	Количество людей либо норма площади	Ссылка
Магазины	3 м ² площади зала на одного человека, включая площадь, занятую оборудованием	п. 7.2.5 СП 1.13130
Рынки	1,6 м ² площади зала на одного человека, включая площадь, занятую оборудованием	
Офисные помещения	6 м ² площади на одного человека	п. 8.3.7 СП 1.13130
Автостоянки	1 человек на каждое машиноместо	п. 9.4.7 СП 1.13130
Танцевальные площадки	2 м ² площади зала на одного человека, включая площадь, занятую оборудованием	п. 7.3.5 СП 1.13130
Предприятия бытового обслуживания (почта, банки, агентства, ателье, салоны и т. п.)	На одного человека 1,35 м ² площади помещения для посетителей, включая площадь, занятую оборудованием	п. 7.6.1 СП 1.13130
Многоквартирные жилые дома	Количество жилых комнат плюс 1 человек в каждой квартире	Оценочно
Гостиницы, общежития	Расчетное количество мест	Оценочно
Выставки, музеи	3 м ² площади, не занятой оборудованием, на 1 человека	Оценочно
Здания высотой свыше 75 м	1,25 от расчетного количества людей	п. 14.21 МГСН 4.19–2005

Примечания.

1) Натурные наблюдения, выполненные сотрудниками Академии ГПС МЧС России, показали, что 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).

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. 5.2 и нормирования протяженности эвакуационных путей при составлении расчетных схем становится возможным учитывать влияние расстояния до ближайшего эвакуационного выхода на выбор направления движения.

Пример. Необходимо определить величину людских потоков, образовавшихся после расчленения общего потока величиной $P_{n-1} = q_{n-1} \cdot b_{n-1} = 15 \cdot 2 = 30$ м²/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 $b_{n1} = 2$ м, $b_{n2} = 1,5$ м, $b_{n3} = 1,2$ 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:

$$R_{n1} = 1,32, R_{n2} = 1,1, R_{n3} = 1,08. \quad (5.1)$$

Определяем среднюю интенсивность движения

$$q_n = \frac{q_{n-1} b_{n-1}}{b_{n1} R_{n1} + b_{n2} R_{n2} + b_{n3} R_{n3}} = \frac{15 \cdot 2}{2 \cdot 1,32 + 1,5 \cdot 1,1 + 1,2 \cdot 1,08} = 5,37 \text{ м/мин} \quad (5.2)$$

и далее интенсивности движения по возможным направлениям:

$$\begin{aligned} q_{n1} &= q_n R_{n1} = 5,37 \cdot 1,32 = 7,09 \text{ м/мин}, \\ q_{n2} &= q_n R_{n2} = 5,37 \cdot 1,1 = 5,91 \text{ м/мин}, \\ q_{n3} &= q_n R_{n3} = 5,37 \cdot 1,08 = 5,80 \text{ м/мин}. \end{aligned} \quad (5.3)$$

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. Участками формирования людских потоков в зрительных залах являются проходы между рядами зрительских мест. В офисных помещениях такими участками являются общие (магистральные) проходы между мебелью рабочих мест, в производственных помещениях промышленных предприятий – проходы между оборудованием и т. п.

Пространство участков формирования людских потоков определяется антропометрическими размерами человека и эргономикой его движений при осуществлении основного функционального процесса, 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, 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/м², несмотря на то, что ширина участка считается по плечам выходящего человека, 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. Как показали исследования [14], 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.

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 [1], 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. 5.1).

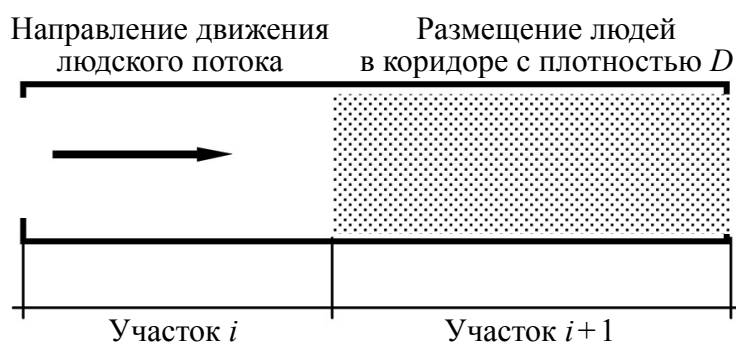


Рис. 5.1. Введение в расчетную схему участка обусловлено наличием людей в коридоре (например, студентов, ожидающих вызова на экзамен)

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. 5.2) 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 30–32°, то есть $\cos\alpha$ 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 [1]:

– для двухмаршевых лестниц $L = L'/\cos\alpha$, 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 , то есть $L = 3H$;

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

Исследования [27] показывают, что на длину пути движения по лестнице существенное влияние оказывает образующаяся на ней плотность людского потока. Так, при достижении значения плотности $0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и более, спускающиеся по лестничному маршу начинают занимать всю его ширину, что увеличивает (до 30 %) длину траектории движения людей, движущихся в дальнем от центра лестницы ряду.

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.

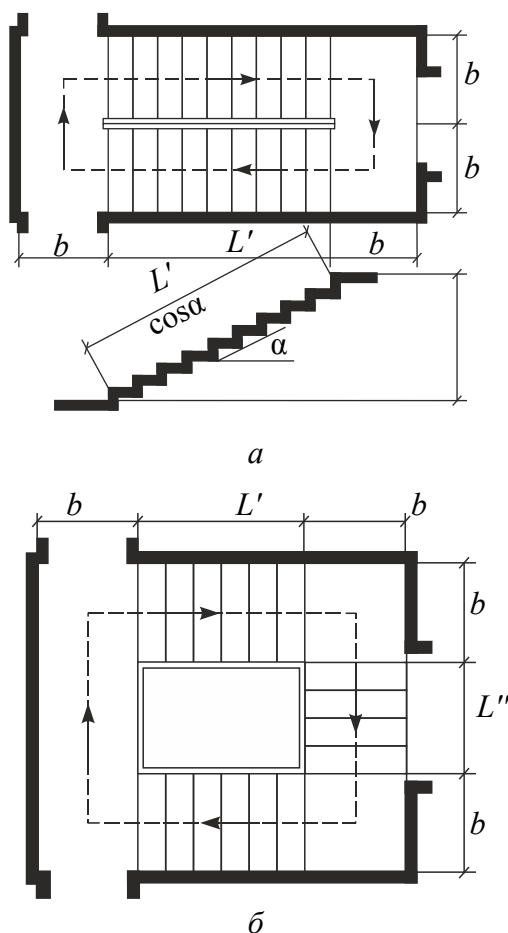


Рис. 5.2. Расчетная длина пути по лестнице:
 a – двухмаршевая лестница; $б$ – трехмаршевая лестница

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 $0,7 \text{ м}$, то есть 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. 5.3). На такой участок выходят и другие аналогичные участки коммуникационных путей, объединяющие первичные источники и являются, в свою очередь, источниками людских потоков. Их можно назвать вторичными источниками.

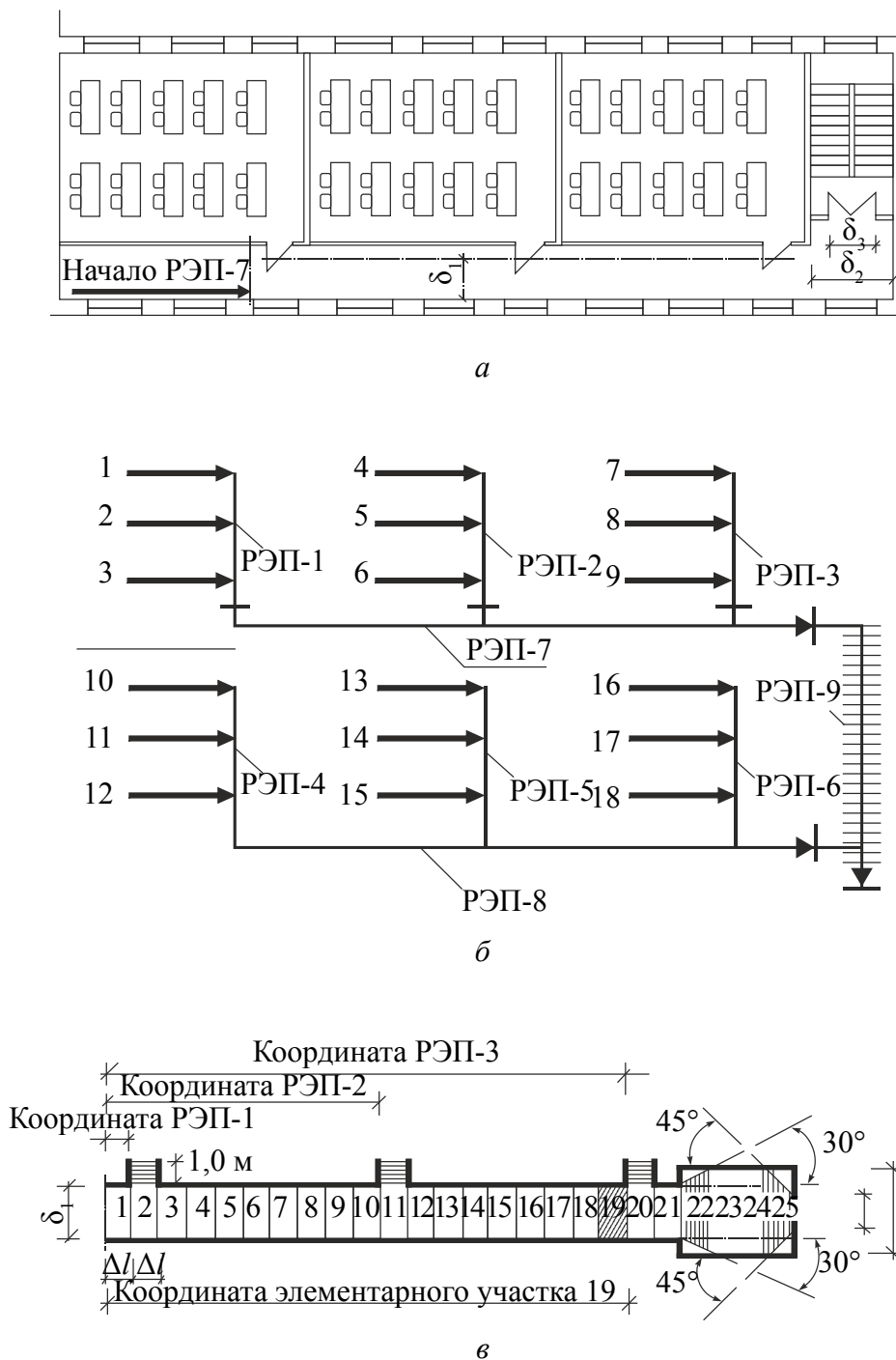


Рис. 5.3. Формализация схемы путей движения на примере двухэтажного здания:
 а – схема фрагмента плана 2-го этажа; б – источники (1–18) и расчетные эвакуационные пути; в – разбивка РЭП-7 на элементарные участки

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 [4] весьма ограничено (см. Гл. 4, рис. 4.9).

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. 4.1, 4.3.

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. 5.4 приведен пример представления расчетной схемы эвакуационных путей.

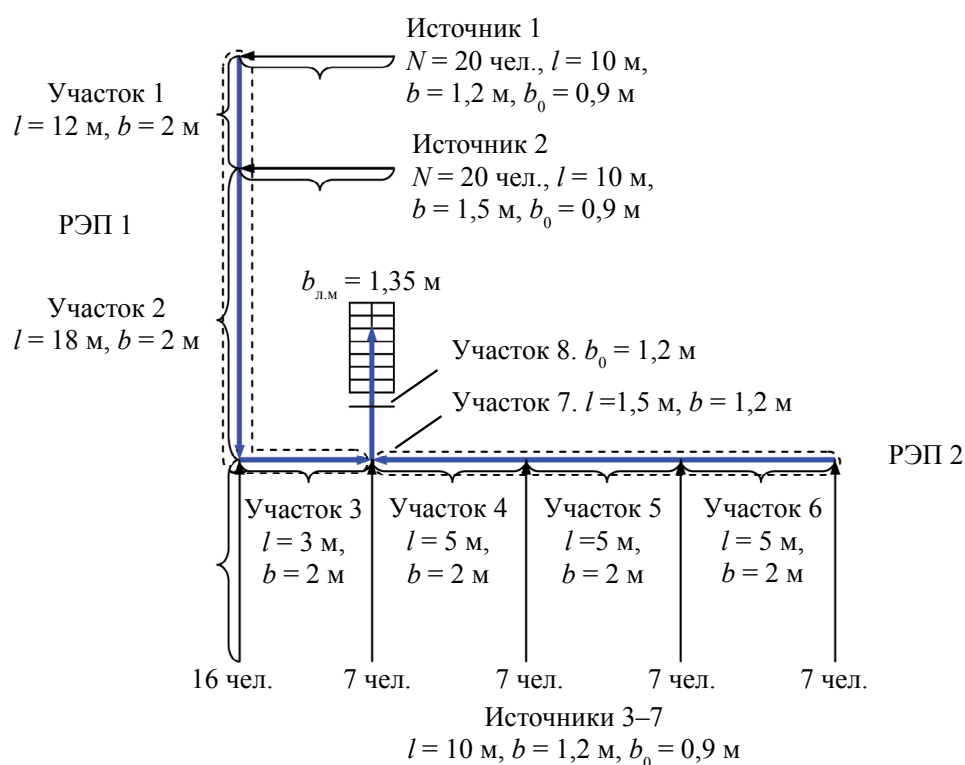


Рис. 5.4. Пример составления расчетной схемы эвакуации людей по части этажа до входа в лестничную клетку:

N – количество людей; b – ширина; l – длина; b_0 – ширина проема

5.3. Упрощенная аналитическая модель движения людского потока

Эта модель имеет большое практическое значение, поскольку именно она реализована СНиП II–2–80 [2] и затем ГОСТ 12.1.004–91* [3]. Как уже отмечалось, время эвакуации, определенное в результате расчетов, используется для выявления значения вероятности своевременной эвакуации. 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» [1, С. 42]. «Следует иметь в виду, что под плотностью потока по его ширине b и длине (в пределах l) понимается ее средняя величина» [1, 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» [3].

Расчетная техника применения данной модели демонстрируется на конкретном примере. Схема РЭП приведена на рис. 5.5. Там же показано расположение людских потоков на момент начала эвакуации $t_{\text{эв}}^0 = t_{\text{нэ}}$. 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 $l_{\text{кi}}$ 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 $D_{\text{п}} = 0,12$ м²/м² (при $f = 0,125$ м²/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,

$$D_{\text{п}} = N_{\text{п}} f / l_{\text{п}} b_{\text{п}} = 28 \cdot 0,125 / 18 \cdot 1,65 = 0,12 \text{ м}^2/\text{м}^2. \quad (5.4)$$

По формуле или по табл. П4.1 (Прил. 4) определяем соответствующие $D_{\pi} = 0,12 \text{ м}^2/\text{м}^2$ значения скорости и интенсивности движения в проходах: $V_{\pi} = 74,76 \text{ м/мин}$ и $q_{\pi} = 8,97 \text{ м/мин}$. Можем определить величину людского потока, сформировавшегося в проходе:

$$P_{\pi} = q_{\pi} \cdot b_{\pi} = 8,97 \cdot 1,65 = 14,8 \text{ м}^2/\text{мин}. \quad (5.5)$$

При таких параметрах потоки могут покинуть проходы за время

$$t_{\pi} = l_{\pi} / V_{\pi} = l_{\pi} b_{\pi} D_{\pi} / V_{\pi} b_{\pi} D_{\pi} = N_{\pi} f / P_{\pi} = 0,24 \text{ мин}. \quad (5.6)$$

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

$$q_{\kappa}^0 = q_{\pi} b_{\pi} / b_{\kappa} = P_{\pi} / b_{\kappa} = 14,8 / 2 = 7,4 \text{ м/мин}. \quad (5.7)$$

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

Двигаясь по коридору, через какой-то интервал времени Δt_{κ}^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 это значение

$$\Delta t_{\kappa}^1 = l_{\kappa i} / V_{\kappa}^0 = 10 / 83,24 = 0,12 \text{ мин}. \quad (5.8)$$

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

$$P_{\kappa}^{0,12} = 2P_{\kappa}^0. \quad (5.9)$$

Тогда интенсивность движения в коридоре:

$$q_{\kappa}^{0,12} = (q_{\pi} b_{\pi} + q_{\kappa}^0 b_{\kappa}) / b_{\kappa} = 2P_{\kappa}^0 / b_{\kappa} = 2 \cdot 14,98 / 2 = 14,98 \text{ м/мин} \quad (5.10)$$

с соответствующими значениями $D_{\kappa}^{0,12} = 0,34$ и $V_{\kappa}^{0,12} = 44,03 \text{ м/мин}$. К этому моменту из боковых проходов выйдет половина людей ($t_{\kappa}^{0,12} = 0,5t_{\pi}$). Эти части потоков, продолжая пополняться людьми из боковых проходов и из коридора, двигаются к общему выходу (рис. 5.5). Люди из четвертого бокового прохода за время $t_{\kappa}^{0,24}$ пройдут расстояние $l_{4\phi}^{0,12} = V_{\kappa}^{0,12} t_{\kappa}^{0,12} = 83,24 \cdot 0,12 = 10 \text{ м}$. Но по прошествии времени $\Delta t_{\kappa}^2 = t_{\pi} - \Delta t_{\kappa}^1 = 0,24 - 0,12 = 0,12 \text{ мин}$ все люди покинут боковые проходы. Это второй характерный момент развития процесса $t_{\kappa}^{0,24}$.

Ситуация на момент $t_{\kappa}^{0,24}$ показана на рис. 5.6: все люди находятся в коридоре, где образовалось несколько частей потока.

Первая часть, образовавшаяся в коридоре из людей, успевших выйти в него из четвертого прохода, имеет плотность $D_{\kappa 4}^0 = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и движется со скоростью $V_{\kappa 4} = 83,24 \text{ м/мин}$; ее фронтальная граница переместилась за это время вперед на расстояние $l_{4\phi}^{0,24} = V_{\kappa 4} \cdot t_{\kappa}^{0,24} = 83,24 \cdot 0,24 = 20 \text{ м}$, а замыкающая

$l_{43}^{0,24}$ – на 10 м ($l_{4ф}^{0,24}$ минус длина этой части потока из $N_1 = 14$ чел., которые ушли при плотности $D_{к4} = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ до начала слияния).

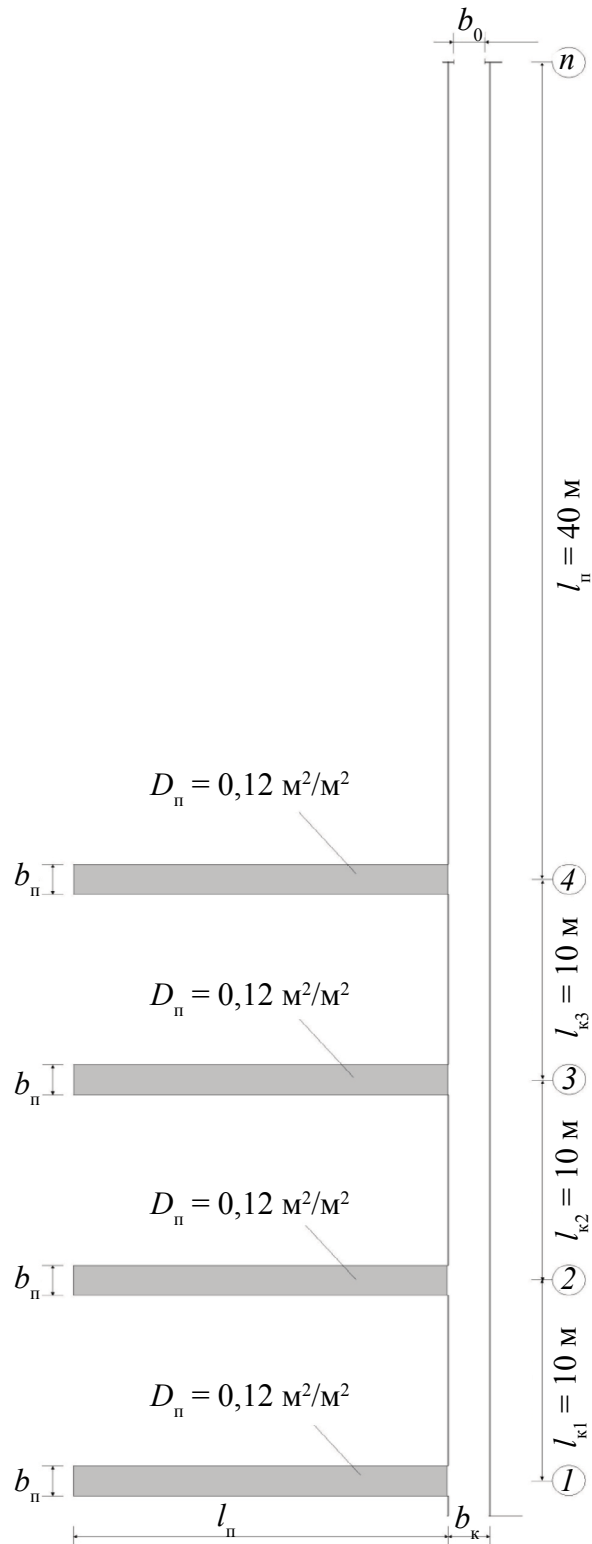


Рис. 5.5. Состояние потока в момент $t_{\text{эВ}}^0 = t_{\text{н.э}}$

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 $\Delta t_k^2 = t_k^{0,24} - t_k^{0,12}$ до момента слияния, образовали с людьми из боковых проходов общие части слившегося потока с параметрами $D_{ki}^{0,12} = 0,34$ и $V^{0,12} = 44,03 \text{ м/мин}$, которые к моменту $t_k^{0,24}$ прошли вперед на расстояние $l_2^{0,24} = l_3^{0,24} = l_{43}^{0,24} = V^{0,12} \cdot \Delta t_k^2 = 44,03 \cdot 0,12 = 5,3 \text{ м}$.

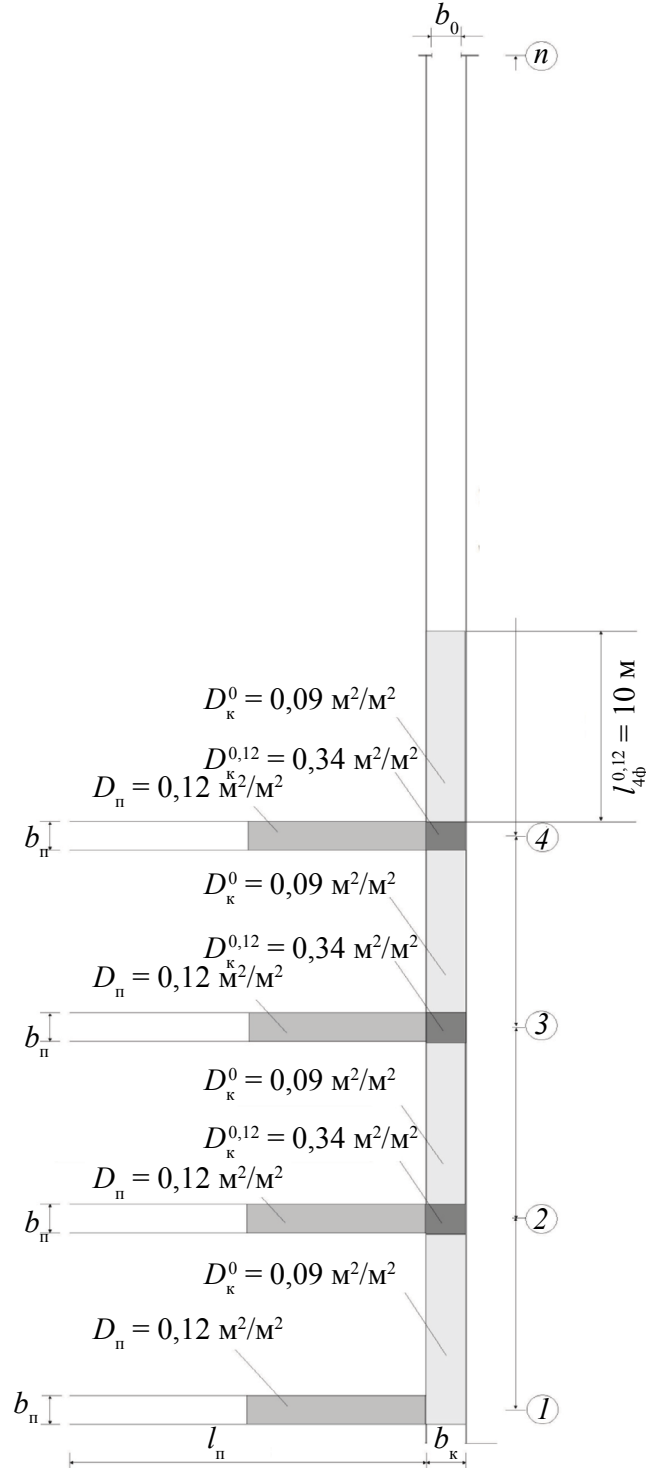


Рис. 5.6. Состояние потока в момент $t_k^{0,12}$

Таким образом, к моменту времени $t_k^{0,24}$ между замыкающей границей первой части ($D_k^0 = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $V_k^0 = 83,24 \text{ м/мин}$) 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 $l_x^{0,24} = 10 \text{ м}$, 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 ($t_k^{0,12}$) 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 ($D_k^{0,12} = 0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $V_k^{0,12} = 44,03 \text{ м/мин}$), то есть наблюдается частный случай общего при слиянии людских потоков процесса: переформирование замыкающей части потока, сформировавшейся 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 $V_{\text{пер}}^1$ – 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

$$V^1 = (q_1 - q_2) / (D_1 - D_2); \quad (5.11)$$

время переформирования

$$t^1 = \Delta l (D_1 - D_2) / D_2 (V_2 - V_1) = \Delta l (D_1 - D_2) / D_1 (V_2 - V_1). \quad (5.12)$$

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 $t_k^{0,43}$ в коридоре будет существовать только часть потока с плотностью $D_k^{0,43} = D_k^0 = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (первая часть) и последующие с плотностью $D_k^{0,43} = D_k^{0,24} = D_k^{0,12} = 0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При этом $V^1 = (7,49 - 14,97) / (0,09 - 0,34) = 29,92 \text{ м/мин}$.

Фронтальная граница первой части за этот промежуток времени (t^1) переместится по направлению к выходу из коридора еще на $0,19 \cdot 83,24 = 15,8 \text{ м}$. Фронтальная граница второй части – только на $0,19 \cdot 44,03 = 8,4 \text{ м}$. 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 продвнутся 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. 5.8.

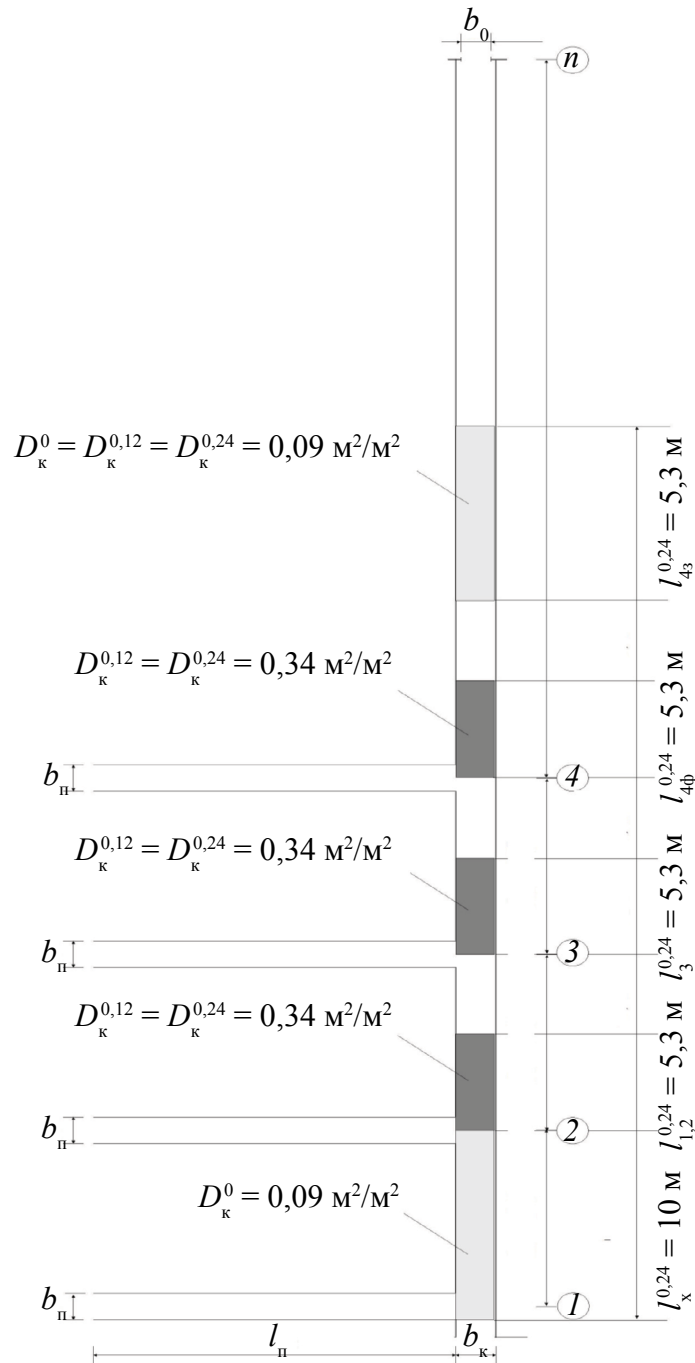


Рис. 5.7. Состояние потока в момент $t_k^{0,24}$

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 $t_{к}^{0,48}$ положение, показанное на рис. 5.9.

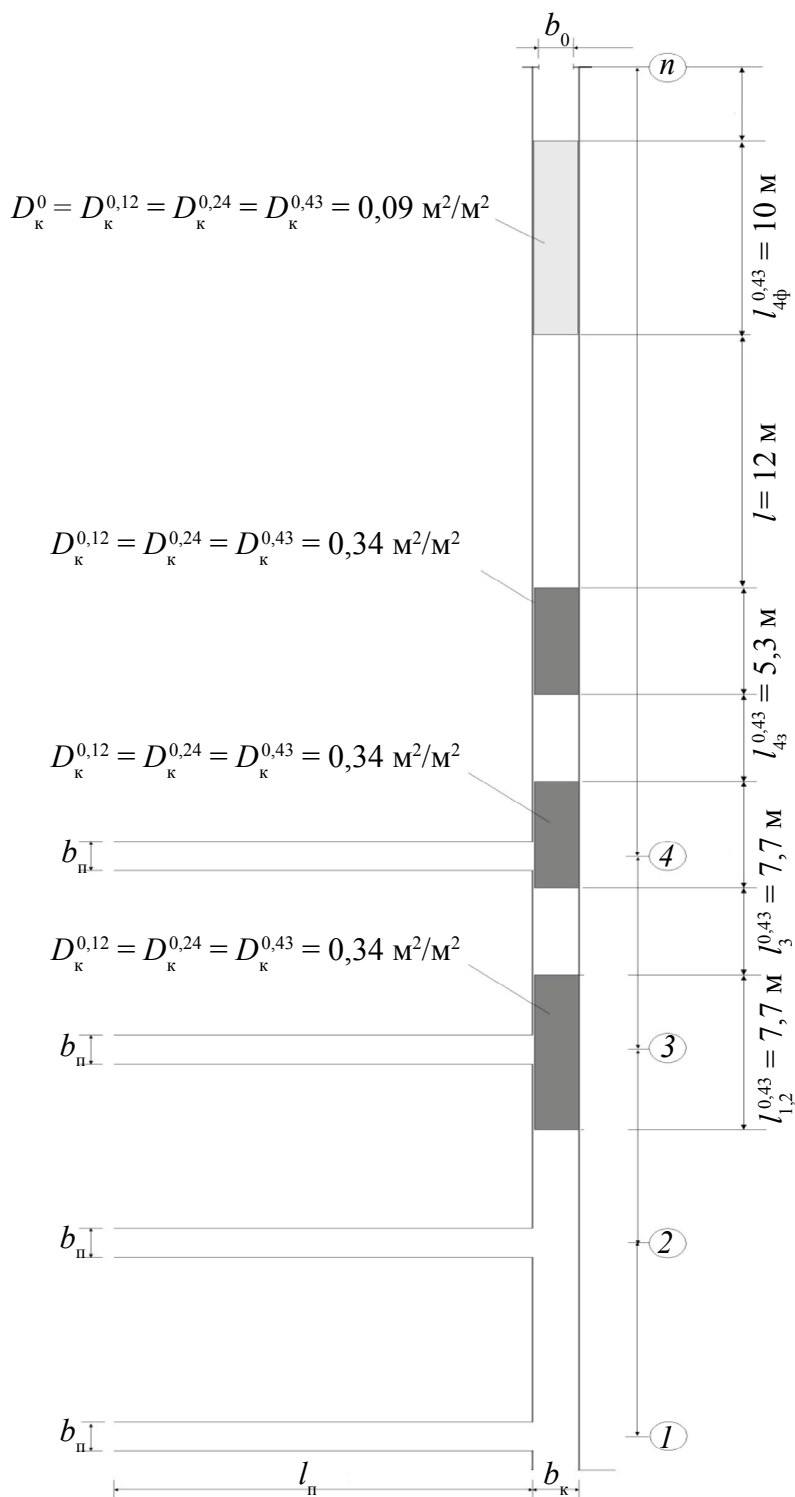


Рис. 5.8. Состояние потока в момент $t_{к}^{0,43}$

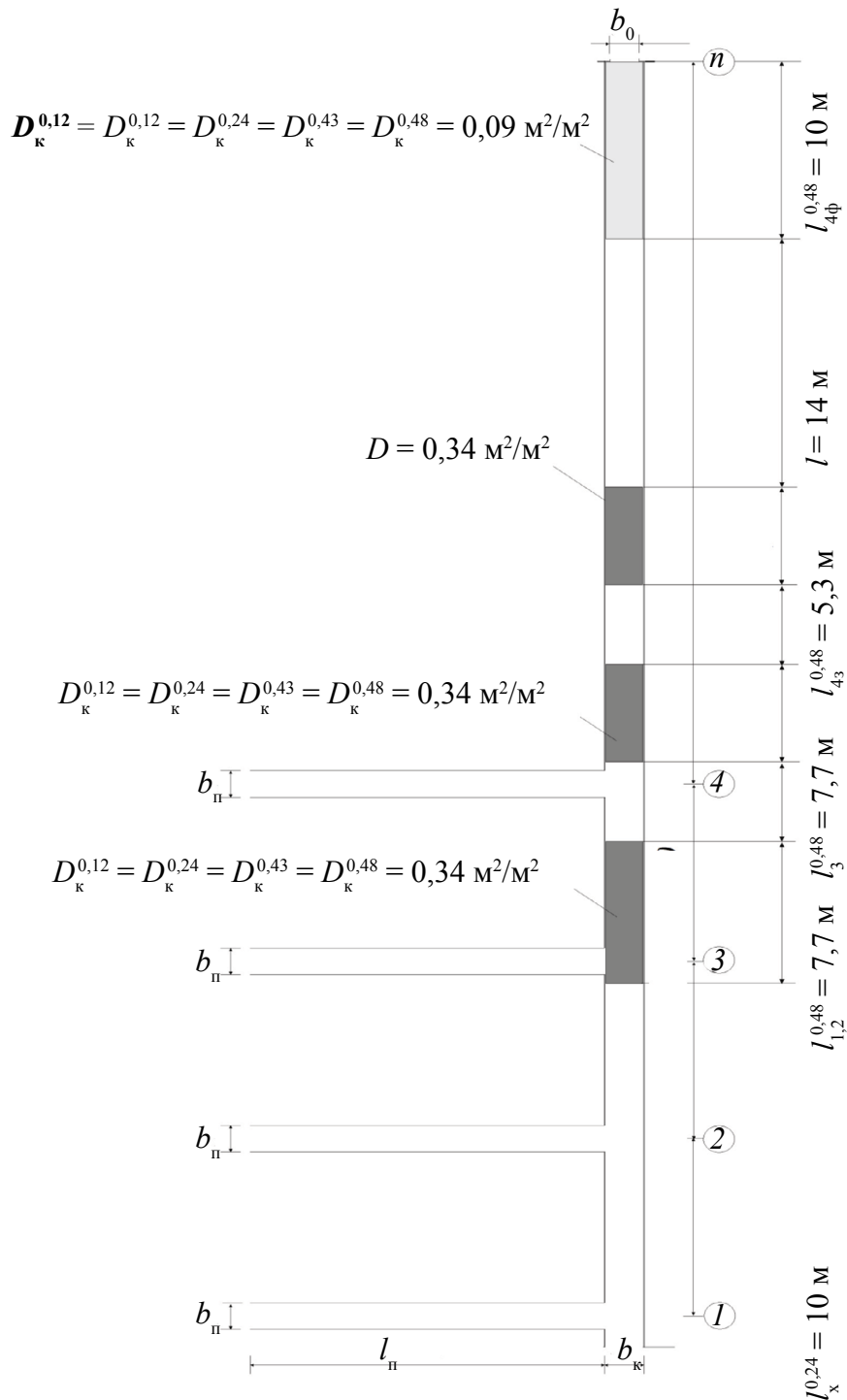


Рис. 5.9. Состояние потока в момент $t_k^{0,48}$

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

При ширине $b_0 = 1,6 \text{ м}$ и первая и последующие части потока проходят через проем беспрепятственно, поскольку $q_0 = q_k b_k / b_0 \leq q_{0\text{max}}$ 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 $\Delta t_0 = t_k = \Delta l_k / V_k = \Delta l_k D_k b_k / D_k b_k V_k = N_k f / P_k = N_k f / P_0$, поскольку время задержки людей перед проемом равно 0, в цифрах: $t_k = \Delta l_k / V_k = 10 / 83,24 = 0,12$ мин; либо $t_k = N_k f / P_0 = 14 \cdot 0,125 / 14,97 = 0,12$ мин. Результаты расчетов времени выхода $t_{\text{вых}}$ людей через проем на последующий участок пути сведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

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_k , 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 $P_k = q_k b_k$, $m^2/\text{мин}$	14,97	29,94	29,94	29,94
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_n , мин.	0,48	1,03	1,26	1,48
Время движения через проем Δt_0 , 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 $t_{\text{р.эв}} = 1,66$ мин.

Представим ход расчета в координатах: время – расстояние (рис. 5.10). 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. 5.10 показаны длины частей потока в моменты достижения выхода головной частью потока.

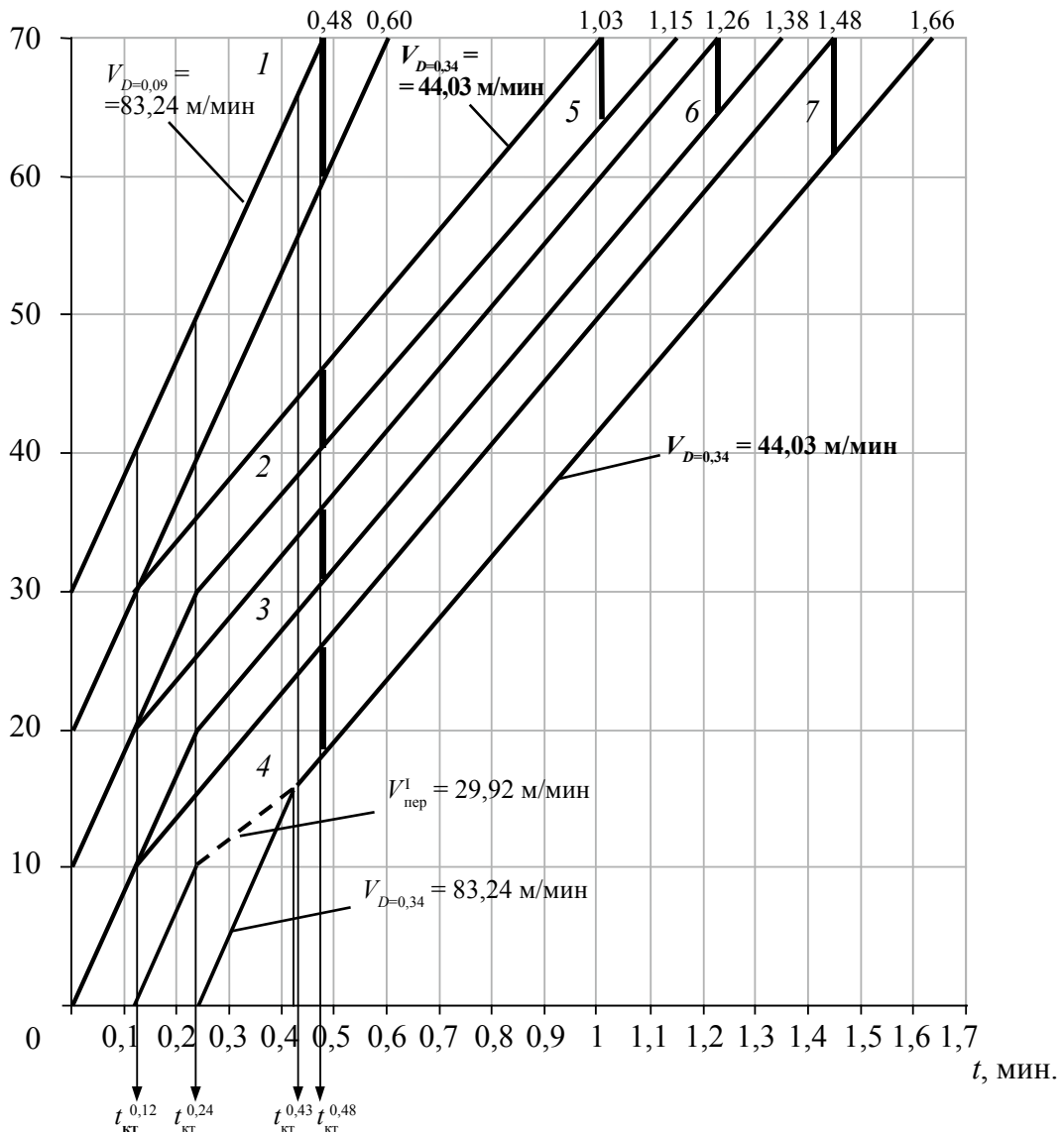


Рис. 5.10. Графоаналитическое представление расчета примера:

1-4 – длины частей потока в момент времени $t_{кт}^{0,48}$
 5-7 – в момент начала их выхода через проем

По другому будет происходить движение людских потоков при ширине проема $b_0 = 1,4$ м. В этом случае 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 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 $q_{0max} = 19,6$ м/мин, то есть в данном случае $Q_0 \leq P_{i-1}$ – количество людей, которое подходит к границе с проемом в каждый интервал времени, больше, чем то, которое может пройти через него за этот же интервал времени. Из-за этого перед проемом часть людей задерживается и пополняется 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:

$$q_{0,9} = 2,5 + 3,75b_0. \quad (5.13)$$

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. 5.4, аналогичную табл. 5.3.

Таблица 5.4

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_p , 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_n , мин.	0,48	1,03	–	–
Время движения через проем Δt_0 , мин.	0,12	0,32	0,32	0,48
Время выхода с участка, $t_n + \Delta t_0$, 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 для 28 человек 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 $D = 0,9$ м²/м², а к ней примыкает часть с параметрами при $D_k = 0,34$ м²/м². Скорость переформирования имеет в этом случае значение (5.11): $V^1 = (q_1 - q_2) / (D_1 - D_2) = (7,75 - 14,97) / (0,9 - 0,34) = -12,89$ м/мин. Значение времени переформирования составляет (3.12): $t^1 = l_{n2} (D_1 - D_2) / D_1 (V_2 - V_1) = 5,3 \cdot (0,9 - 0,34) / 0,9 (44,03 - 8,61) = 0,09$ мин. Изобразим эти расчеты построениями на графике, фрагмент которого представлен на рис. 5.11.

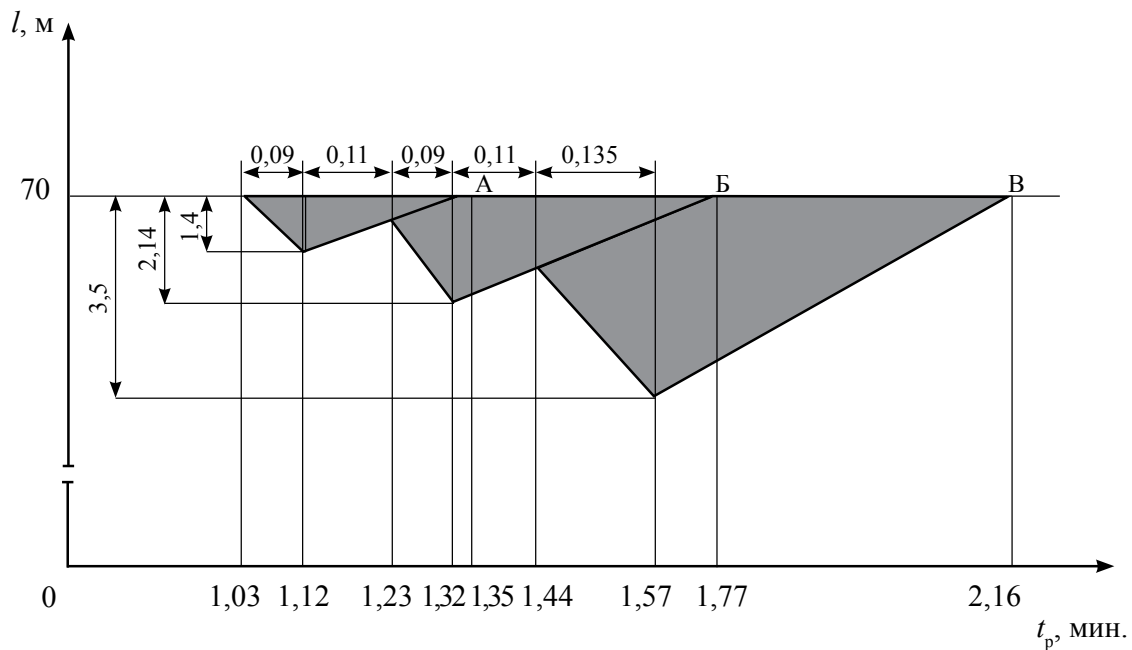


Рис. 5.11. Графоаналитическое изображение образования скопления людей перед проемом шириной 1,4 м

К моменту окончания переформирования этих частей потока из образовавшегося скопления через проем уйдет часть людей, равная $\Delta N_{\text{ск}}^1 = Q_0 \cdot t^1 = 10,85 \cdot 0,09 = 0,98 \text{ м}^2$. Оставшиеся к этому моменту люди образуют перед проемом скопление длиной $\Delta l_{\text{ск}} = (N_2 - \Delta N_{\text{ск}}^1) / D_1 b_{\text{к}} = (3,5 - 0,98) / 0,9 \cdot 2 = 1,4 \text{ м}$, что и видно из построений на рис. 5.11.

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, $V_{\text{пер}}^1 = -12,89 \text{ м/мин}$. Той же останется и продолжительность переформирования с момента ее начала (1,23 мин): $t^1 = 0,09 \text{ мин.}$, то есть оно закончится в момент $t_{\text{к}} = 1,32 \text{ мин}$.

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: $N_{\text{ск}} = 1,33 + 3,5 - 10,85 \cdot 0,09 = 3,85 \text{ м}^2$ и оно имеет длину $\Delta l_{\text{ск}} = 3,85 / 1,8 = 2,14 \text{ м}$. На переход этих $4,83 \text{ м}^2$ ($3,5 + 1,33$) через проем потребовалось бы $\Delta t_0 = N_{\text{ск}} / Q_0 = 4,83 / 10,85 = 0,445 \text{ мин}$. 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 $t^1 = l_{п2}(D_1 - D_2) / D_1(V_2 - V_1) = 7,7 \cdot (0,9 - 0,34) / 0,9(44,03 - 8,61) = 0,135$ мин. В этот момент в скоплении находится количество людей, равное $N_{ск} = 3,85 - 10,85(0,11 + 0,135) + 5,25 = 6,44$ м², которые при плотности 0,9 занимают перед проемом участок длиной $\Delta l_{ск} = N_{ск} / 0,9 \cdot b_k = 3,6$ м.

В скоплении перед проемом участвуют люди из второй, третьей и четвертой частей потока в количестве $N = 3,5 + 3,5 + 5,25 = 12,25$ м². При пропускной способности проема $Q_0 = 10,85$ м²/мин время их движения через проем составит

$$t_0 = \Sigma N / Q_0 = 12,25 / 10,85 = 1,13 \text{ мин.}, \quad (5.14)$$

то есть время эвакуации людей в данном случае $t_{р.эв} = 2,16$ мин. (точка В).

Таким образом, сравнение значений $t_{р.эв}$, 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. 5.11 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, то есть время движения людей через проем, определяемое формулой (5.14). 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 (5.13): $q_{0,9} = 2,5 + 3,75b_0 = 2,5 + 3,75 \cdot 1,2 = 7,0$ м/мин. Пропускная способность проема при этом $Q_0 = q_{0,9} \cdot b_0 = 7,0 \cdot 1,2 = 8,4$ м²/мин. Значение $t_0 = \Sigma N / Q_0 = 12,25 / 8,4 = 1,46$ мин. Общее расчетное время эвакуации по РЭП составит: $t_{р.эв} = 1,03 + 1,26 = 2,29$ мин., то есть 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 $Q_0 = 5,875 \cdot 0,9 = 5,29$ м²/мин., тогда $t_0 = 12,25 / 5,29 = 2,32$ мин., $t_{р.эв} = 1,03 + 2,32 = 3,35$ мин., то есть возрастет по сравнению со временем беспрепятственной эвакуации более чем в 2 раза. Столь длительное (более 2 минут) существование скопления людей с максимальной плотностью угрожает высокой вероятностью компрессионной асфиксии.

Учитывая крайнюю опасность нарушения условий беспрепятственности эвакуации, действующие нормы настойчиво требуют не допускать планировочных решений эвакуационных путей, ведущих к образованию скоплений людей и 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 (5.13), и требование оценивать «время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления» [3]. Это и сама использованная модель, не учитывающая растекание образующихся частей людских потоков для получения пессимистичного прогноза.

5.4. Имитационно-стохастическая модель движения людского потока

Расчет графоаналитическим методом, хотя и «достаточно элементарен по своему существу, но трудоемок» [1, 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 [14–16], которые создали необходимые предпосылки для разработки в последующем алгоритма [4] и соответствующих ему программных комплексов имитационного моделирования [5, 17].

Идея имитационного моделирования людских потоков состоит в том, чтобы, придав малым совокупностям людей ($N_i = D_i b_i \Delta l_i$) естественные, не зависящие от их сознания, закономерности связи между их скоростью движения и ощущаемыми ими плотностью потока и видом пути [6], 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...» [1, 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 $N_i = \sum N_i f_i$. Значение D_i определяет соответствующее ему (при данной категории 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. 5.12).

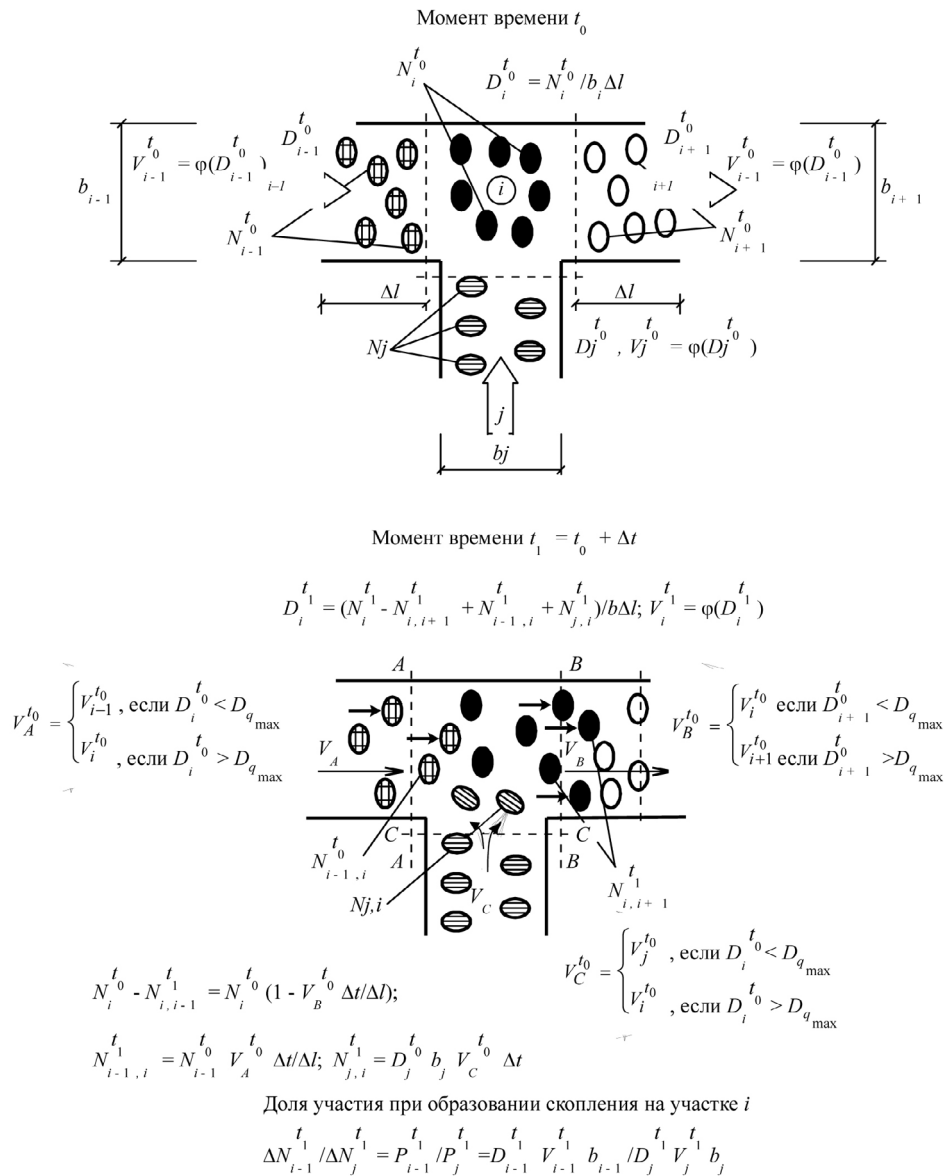


Рис. 5.12. Изменения состояния потока в последовательные моменты времени

Напомним, 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)

$$V_{D,k} = V_{0,k} \text{ при } D_i \leq D_{0,k} \quad (5.15)$$

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

- среднее квадратическое отклонение

$$\sigma(V_{D,k}) = \sigma(V_{0,k}) (1 - a_k \ln D_i / D_{0,k}). \quad (5.16)$$

Значения указанных величин приведены в МГСН 4.19–2005 [20].

При любом возможном значении $V_{0,k}$ люди в количестве $N_i^{t_0}$ 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 .

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

$$D_i^{t_1} = N_i^{t_0} - N_{i,i+1}^{t_0} + N_{i-1,i}^{t_0} + N_{j,i}^{t_0} / b_i \Delta l. \quad (5.17)$$

Скорость движения людей, оказавшихся на участке i в момент t_1 , определяется как функция сформировавшейся на нем плотности потока, то есть

$$V_i^{t_1} = V_{0,k} (1 - a_k \ln D_i^{t_1} / D_{0,k}). \quad (5.18)$$

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

$$N_{i,i+1}^{t_1} = D_i^{t_0} b_i V_{\text{пер}} \Delta t, \quad (5.19)$$

то есть 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:

$$V_{\text{пер}} = \begin{cases} V_i^{t_0}, & \text{если } D_{i+1}^{t_0} \leq D \text{ при } \max V_{iDk} \cdot D = q_{\text{max}} \\ V_{i+1}^{t_0}, & \text{если } D_{i+1}^{t_0} > D \text{ при } \max V_{iDk} \cdot D = q_{\text{max}}. \end{cases} \quad (5.20)$$

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

$$t_{\text{пер}} = \Delta l / V_i^{t_0}. \quad (5.21)$$

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

$$N_{i,i+1}^{t_0} = N_i^{t_0} V_i^{t_0} \Delta t / \Delta l. \quad (5.22)$$

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

$$N_i^{t_0} - N_{i,i+1}^{t_0} = N_i^{t_0} (1 - V_i^{t_0} \Delta t / \Delta l). \quad (5.23)$$

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 $V_{i+1}^{t_0}$, то есть 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 предыдущего 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 $t_{\text{п}+1}$ 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 $t_{\text{п}+1}$ определяется соотношением:

$$\Delta N_{i-1}^{t_{\text{п}+1}} / \Delta N_{j,i}^{t_{\text{п}+1}} = D_{i-1}^{t_{\text{п}+1}} V_{i-1}^{t_{\text{п}+1}} b_{i-1} / D_j^{t_{\text{п}+1}} V_j^{t_{\text{п}+1}} b_j \quad (5.24)$$

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 $t_{\text{п}}$. Это распределение позволяет рассчитать по правилам математической статистики значение времени завершения эвакуации, соответствующее вероятности $P(t_{\text{п.эв}}) = 0,999$.

Адекватность имитационной модели реальному процессу движения людского потока неоднократно проверялась натурными наблюдениями. Один из примеров сопоставления результатов [18] приведен на рис. 5.13.

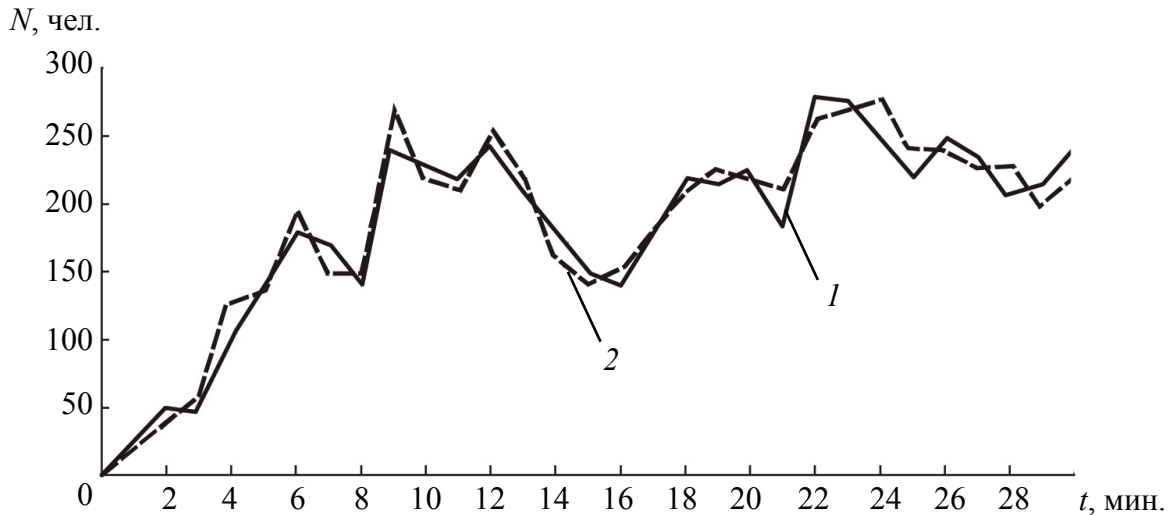


Рис. 5.13. Изменение количества людей, проходящих через поперечное сечение пути в последовательные моменты времени на примере пассажирского зала метрополитена:
1 – эксперимент; 2 – моделирование

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, уплотнение 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 натурных наблюдений.

В табл. 5.5 обобщены результаты расчетов с помощью описанных выше моделей при ширине выхода из коридора $b_0 = 1,6$ м. Как видно из данных таблицы, 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. 5.14–5.19 представлены графики значений плотностей людского потока в коридоре в моменты времени 0,12, 0,24, 0,43 и 0,48 минут соответственно.

**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} , м ² /м ²	0,34	0,34	0,29

Модель ADLPV дает картину динамики плотности потока в коридоре (рис. 5.14), качественно идентичную результатам расчета на основе модели движения людского потока без растекания головной части (см. рис. 5.6): люди, выходящие из боковых проходов в коридор идут с плотностью 0,09 м²/м²; в местах слияния потоков плотность возрастает. Однако, плотность возрастает только до значения 0,22 м²/м² против 0,34 м²/м² в рамках более грубой модели. Это объясняется тем, что происходит слияние головной (а не основной) части потока, идущей по коридору с параметрами свободного движения: $D_0 = 0,05$ м²/м², $V_0 = 100$ м/мин, $q_0 = 5$ м/мин. Она сливается с частью потока, выходящей из бокового прохода с параметрами $D_{\Pi} = 0,12$ м²/м², $V_{\Pi} = 74,76$ м/мин и $q_{\Pi} = 8,97$ м/мин. Тогда, интенсивность q объединенного потока составит $q = (q_0 b_{\kappa} + q_{\Pi} b_{\Pi}) / b_{\kappa} = (5 \cdot 2 + 8,97 \cdot 1,65) / 2 = 12,4$ м/мин. Это соответствует плотности 0,22 м²/м², что и наблюдается на графике.

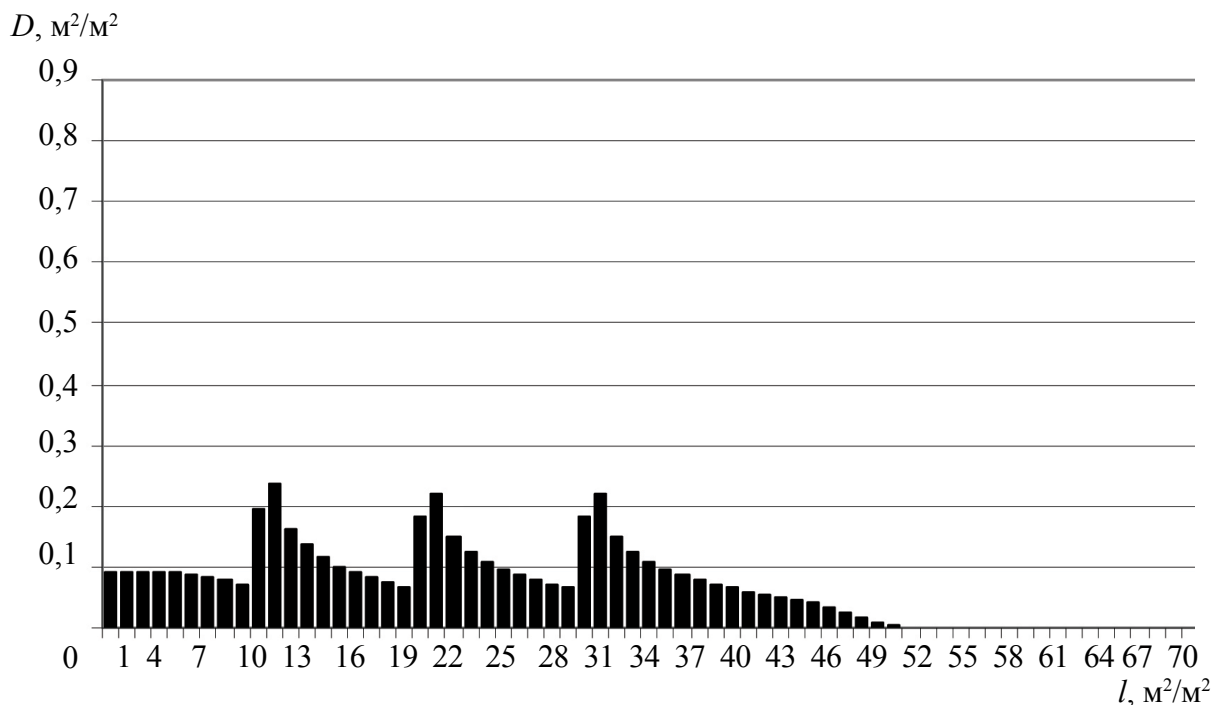


Рис. 5.14. График максимальных значений плотностей людского потока в коридоре спустя 0,12 мин после начала движения

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

Спустя 0,24 мин все люди вышли в коридор (см. рис. 5.15). Последовательное переформирование 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. 5.7). 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 $0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Результаты моделирования, представленные на рис. 5.16, 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. 5.8). За счет переформирования людского потока, плотность слившихся частей потока уменьшается до $0,19 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Диаграмма плотности людского потока на участках пути в коридоре в момент времени 0,48 мин представлена на рис. 5.17. Ситуация схожая с представленной на рис. 5.16. 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 $0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то, возможно, при определенной ширине выхода из коридора произойдет образование скопления.

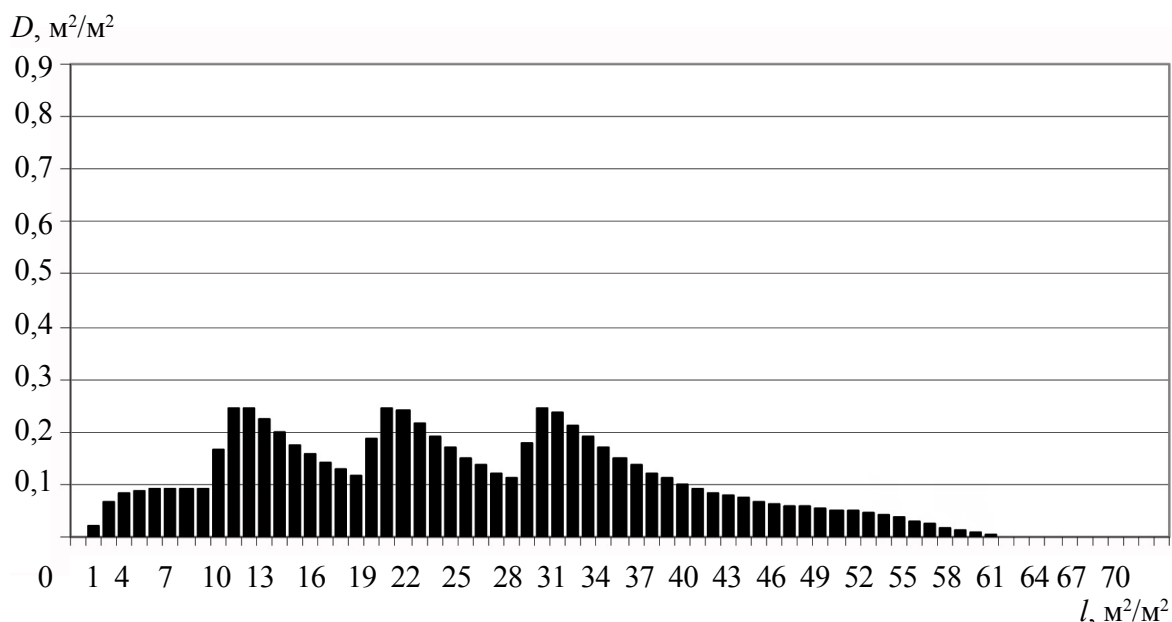


Рис. 5.15. График максимальных значений плотностей людского потока в коридоре спустя 0,24 мин. после начала движения

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 $0,19 \text{ м}^2/\text{м}^2$ через дверной проем шириной менее $1,18$ м (например, $0,9$ м), образуются скопления людей и задержка движения. При большей ширине 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. 5.18). Однако, ввиду того, что в скопление попадет небольшое количество людей (около 29 чел.), то ее продолжительность будет незначительна – $0,68$ мин. Расчетное время эвакуации составит – $1,52$ мин.

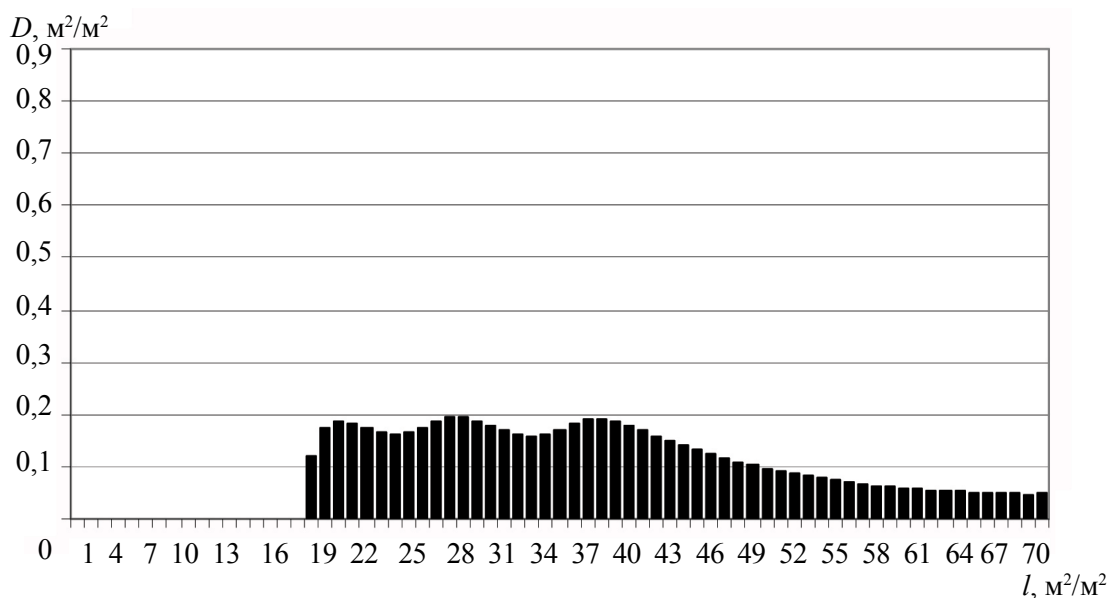


Рис. 5.16. График максимальных значений плотностей людского потока в коридоре спустя $0,43$ мин. после начала движения

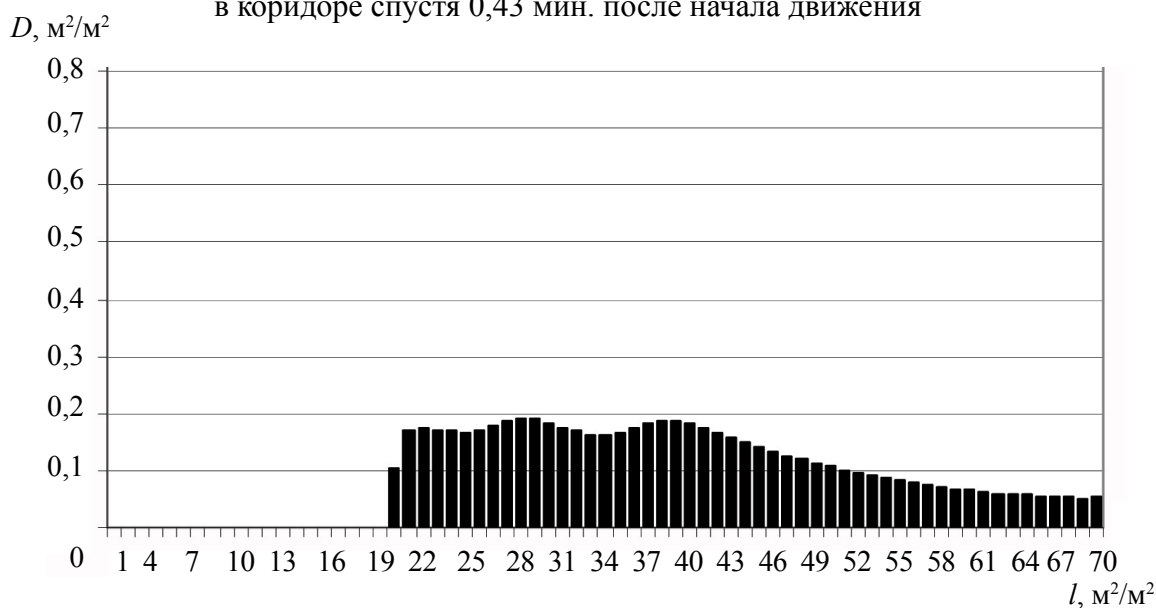


Рис. 5.17. График максимальных значений плотностей людского потока в коридоре спустя $0,48$ мин. после начала движения

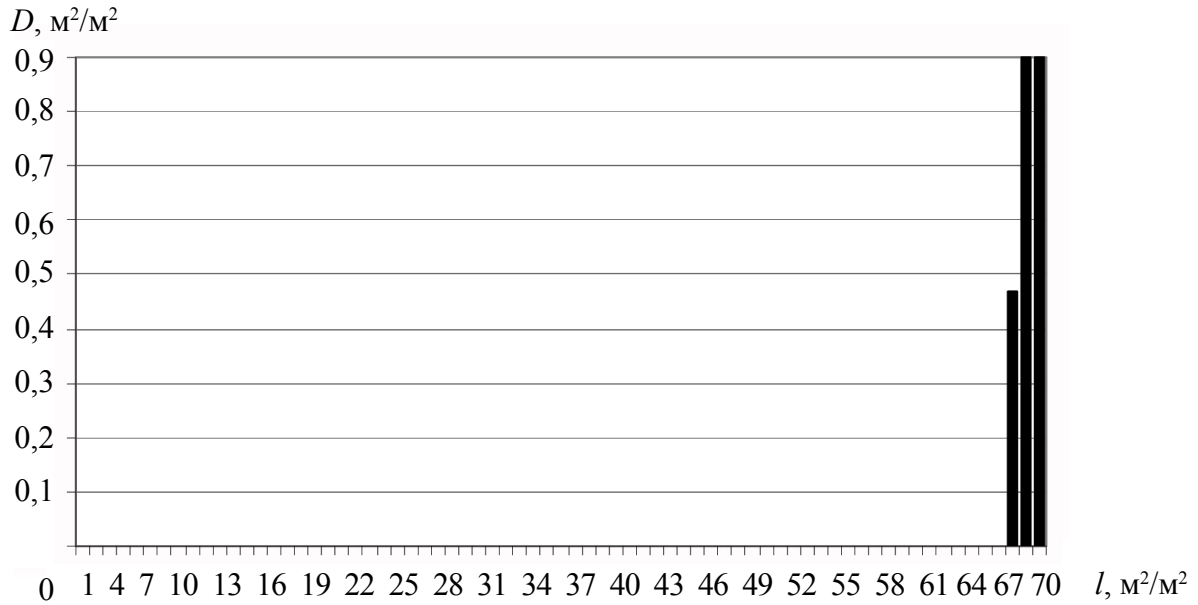


Рис. 5.18. График формирования максимальных плотностей людского потока при образовании скопления перед дверным проемом шириной 0,9 м

График зафиксированных максимальных плотностей за весь интервал времени движения людского потока по коридору представлен на рис. 5.19.

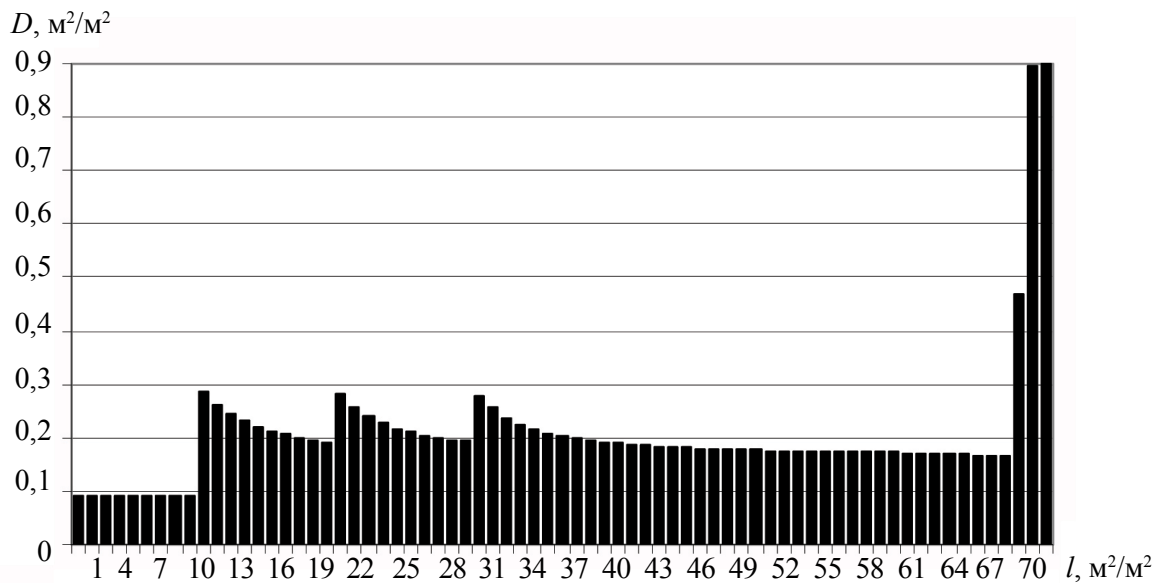


Рис. 5.19. График максимальных значений плотности людского потока в коридоре

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» [1, 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 натуральных 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 равной 80 м/мин . с учетом вероятной усталости людей. Расчетная схема движения людских потоков при эвакуации представлена на рис. 5.20. Результаты моделирования показывают, что плотности людского потока на этаже будут иметь значения, приведенные на рис. 5.21. Динамика выхода людей с этажа приведена на рис. 5.22.

Расчетное время эвакуации из пожарного отсека составляет $27,14 \text{ мин}$. (при расчете детерминированным способом; результаты вероятностного расчета будут представлены ниже). Максимально достигнутые значения плотности людского потока на лестнице представлены на рис. 5.23.

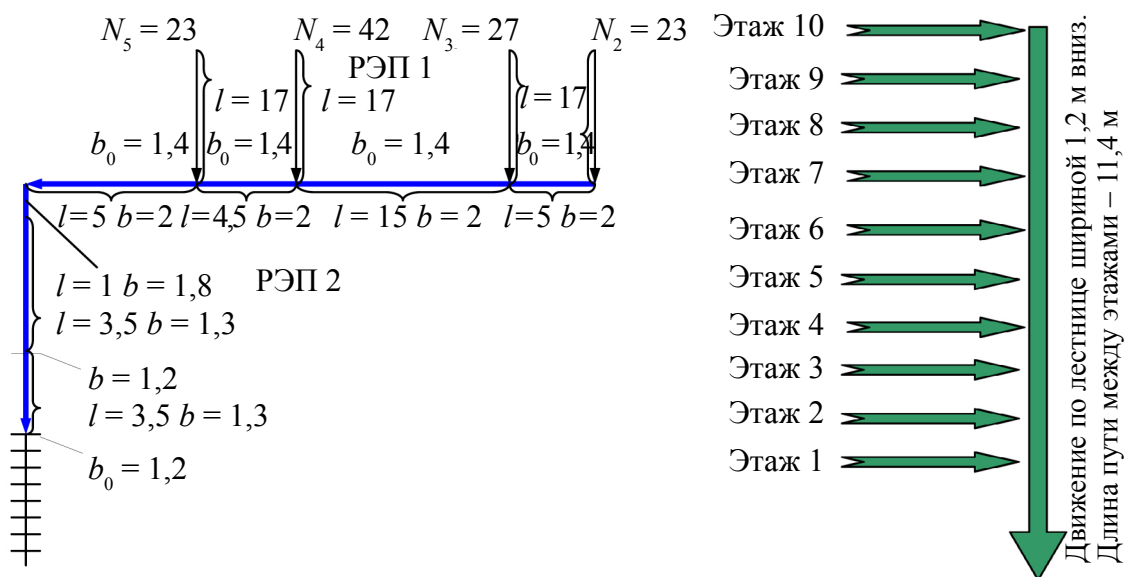


Рис. 5.20. Расчетные схемы движения людского потока:
 a – в пределах типового этажа; \bar{b} – по лестничной клетке шириной 1,2 м;
 N – количество людей в источнике; b – ширина пути (в случае, если это не указано, равная 2 м), м; b_0 – ширина дверного проема, м; l – длина пути, м

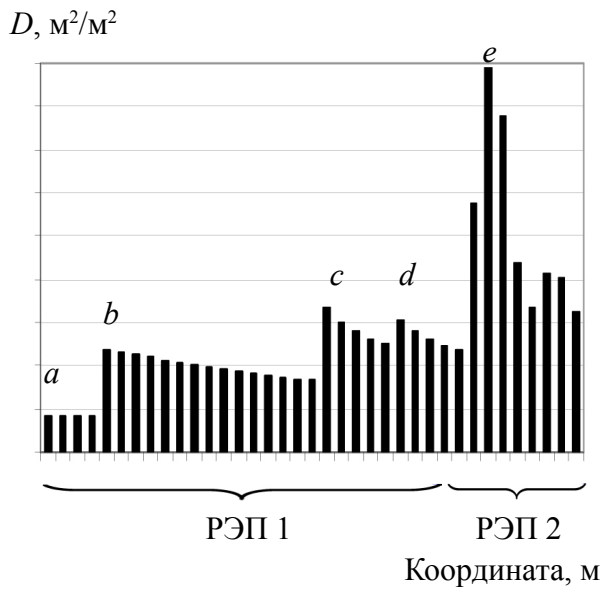


Рис. 5.21. Максимальные значения плотности людского потока в коридоре этажа здания.

Буквами обозначены места роста значений плотности (см. рис. 5.20):
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. 5.22. Динамика выхода людей с этажа здания (при отсутствии скопления на лестнице)

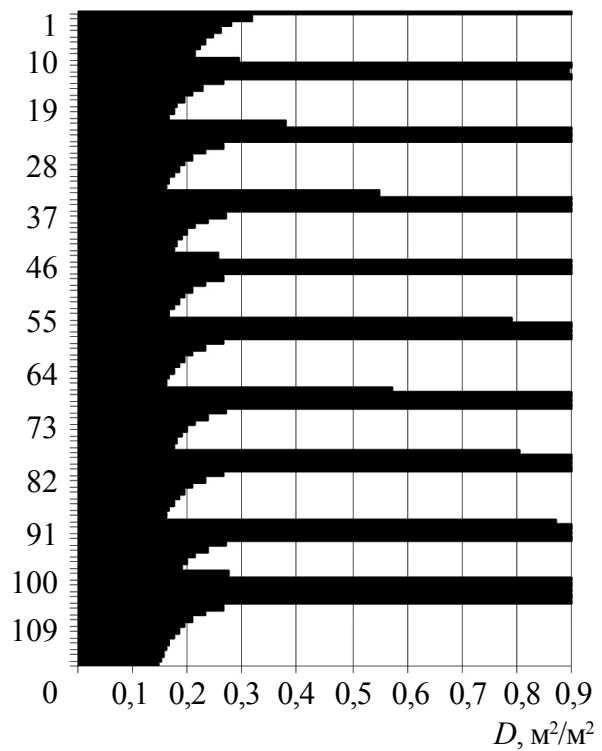
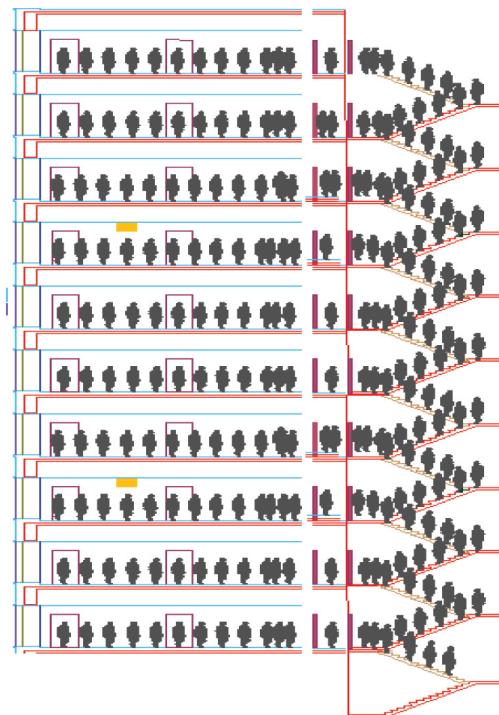


Рис. 5.23. Максимальные значения плотности людского потока на лестнице

Результаты, приведенные на рис. 5.23, 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. 5.24, 5.25).

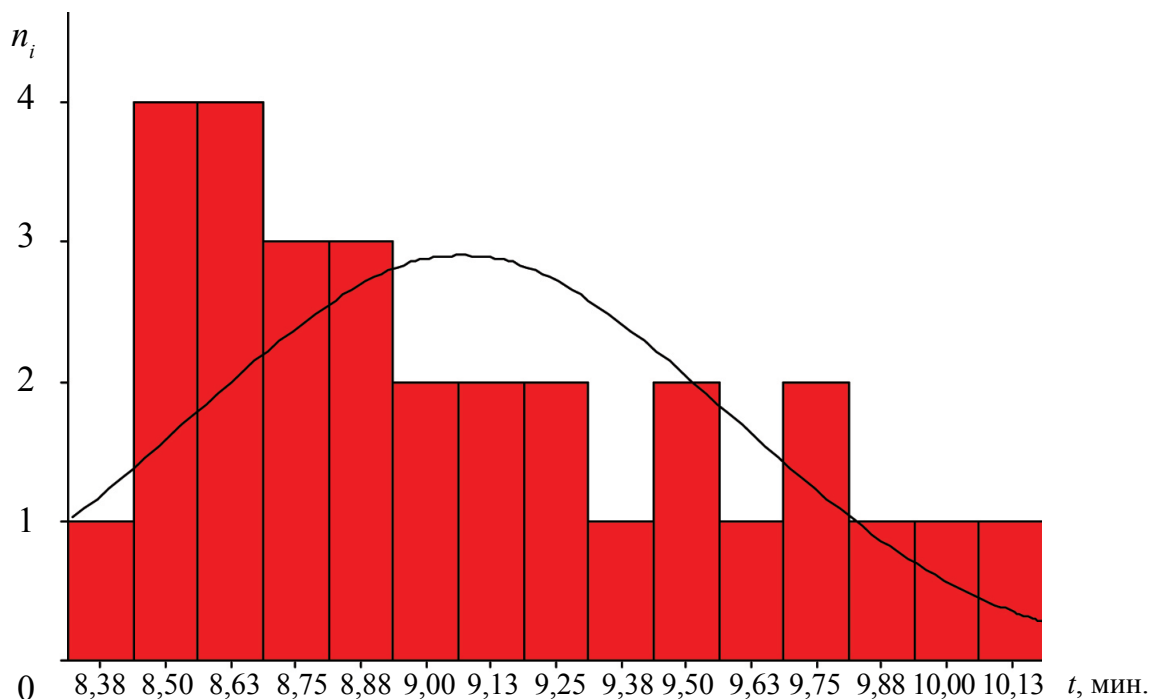


Рис. 5.24. Гистограмма распределения вероятности времени выхода людей из лестничной клетки. Среднее значение 9,07 мин., среднее квадратичное отклонение 0,51; 95 % доверительный интервал: нижняя граница 8,86, верхняя 9,27 мин.

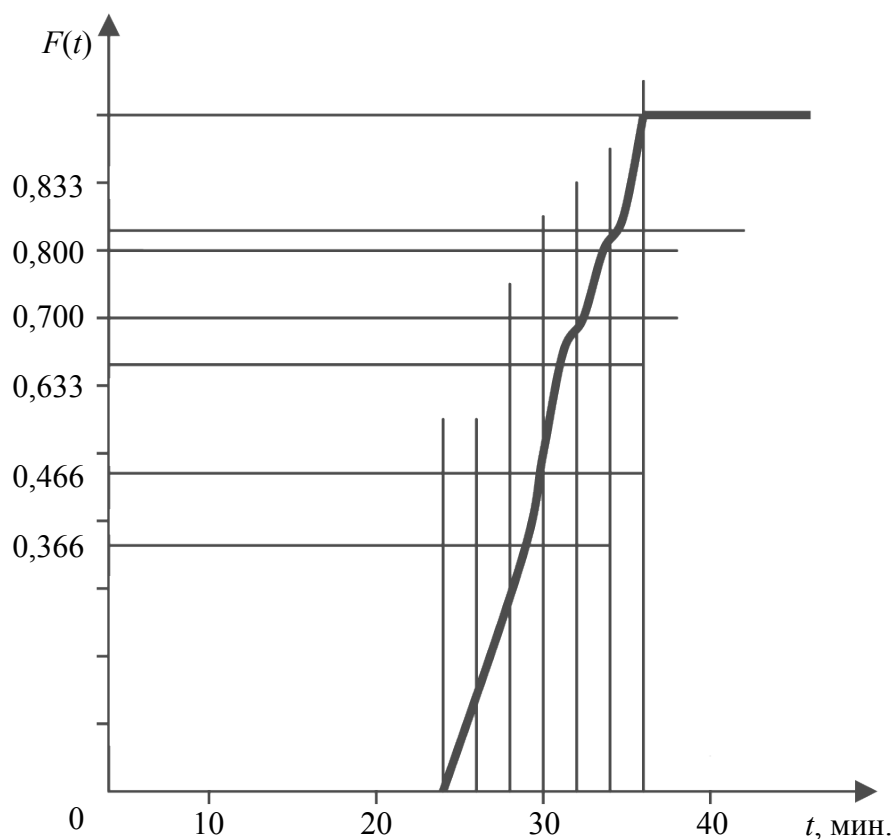


Рис. 5.25. График функции $F(t)$ распределения вероятности расчетного времени в интервале от 22,2 до 36,93 мин.: $m_t = 26,27$ мин.; $\sigma_t = 2,90$ мин.; $t_{\max} = 36,93$ мин.; $t_{\min} = 22,2$ мин.

Как видно из графика (рис. 5.25), 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.

5.5. Индивидуально-поточная модель движения людских потоков

Объектом моделирования в упрощенной аналитической модели и имитационно-стохастической модели является людской поток, точнее, как правило, часть потока. В моделях индивидуально-поточного движения объектом моделирования является человек, что позволяет более точно воспроизводить многообразие факторов, определяющих движения человека. Однако разработка указанного класса моделей стала возможна лишь с ростом мощности ЭВМ. За рубежом они появились в начале 90-х годов прошлого века, в нашей стране такие разработки ведутся в последние

несколько лет. Результатами работы стали модели «Эватек» [18] и модель, разработанная ФГУ ВНИИПО МЧС России [19], ее мы рассмотрим ниже.

Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной a и шириной b . Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных – по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус).

За габариты человека в плане принимается эллипс с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). Задаются координаты каждого человека x_i – расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится (рис. 5.26). Если разность координат некоторых людей, находящихся на эвакуационном участке, составляет менее 0,25 м, то принимается, что люди с этими координатами расположены рядом друг с другом – сбоку один от другого (условно: «в ряд»). При этом, исходя из габаритов человека в плане и размеров эвакуационного участка (длина и ширина), для каждого эвакуационного участка определяются: максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга и максимально возможное количество людей на участке.

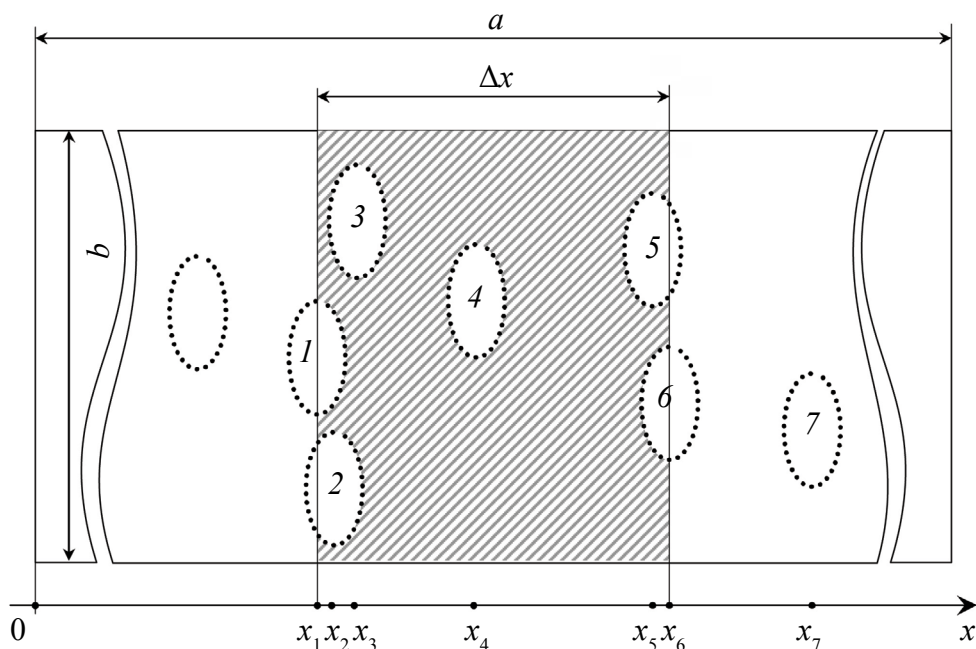


Рис. 5.26. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

Координаты каждого человека x_i в начальный момент времени задаются в соответствии со схемой расстановки людей в помещениях (рабочие места, места для зрителей, спальные места и т. п.). В случае отсутствия таких данных, например для магазинов, выставочных залов и др., допускается размещать людей равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования.

Координата каждого человека в момент времени t определяется по формуле:

$$x_i(t) = x_i(t - \Delta t) - V_i(t)\Delta t, \text{ м}, \quad (5.25)$$

где $x_i(t - \Delta t)$ – координата i -го человека в предыдущий момент времени, м; $V_i(t)$ – скорость i -го человека в момент времени t , м/с; Δt – промежуток времени, с.

Скорость i -го человека $V_i(t)$ в момент времени t определяется в зависимости от локальной плотности потока, в котором он движется, $D_i(t)$ и типа эвакуационного участка.

Локальная плотность $D_i(t)$ вычисляется по группе, состоящей из n человек, по формуле:

$$D_i(t) = (n(t) - 1)f / (b\Delta x), \text{ м}^2/\text{м}^2, \quad (5.26)$$

где n – количество людей в группе, чел.; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, $\text{м}^2/\text{м}^2$; b – ширина эвакуационного участка, м; Δx – разность координат последнего и первого человека в группе, м.

Если в момент времени t координата человека $x_i(t)$, определенная по формуле (5.25), станет отрицательной – это означает, что человек достиг границы текущего эвакуационного участка и должен перейти на следующий эвакуационный участок.

В этом случае координата этого человека на следующем эвакуационном участке определяется:

$$x_i(t) = [x_i(t - dt) - V_i(t)dt] + a_j - l_j, \text{ м}, \quad (5.27)$$

где $x_i(t - dt)$ – координата i -го человека в предыдущий момент времени на $(j-1)$ эвакуационном участке, м; $V_i(t)$ – скорость i -го человека на $(j-1)$ -м эвакуационном участке в момент времени t , м/с; a_j – длина j -го эвакуационного участка, м; l_j – координата места слияния j -го и $(j-1)$ -го эвакуационных участков – расстояние от начала j -го эвакуационного участка до места слияния его с $(j-1)$ -м эвакуационным участком, м.

Количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой в единицу времени, определяется пропускной способностью выхода с участка $Q_j(t)$:

$$Q_j(t) = q_j(t)c_j dt / (60f), \text{ чел.}, \quad (5.28)$$

где $q_j(t)$ – интенсивность движения на выходе с j -го эвакуационного участка в момент времени t , м/мин; c_j – ширина выхода с j -го эвакуационного участка, м; dt – промежуток времени, с; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м².

Интенсивность движения на выходе с j -го эвакуационного участка $q_j(t)$ в момент времени t определяется в зависимости от плотности людского потока на этом участке $Dv_j(t)$.

Плотность людского потока на j -м эвакуационном участке $Dv_j(t)$ в момент времени t определяется по формуле:

$$Dv_j(t) = (N_j f dt) / (a_j b_j), \text{ м}^2/\text{м}^2, \quad (5.29)$$

где N_j – число людей на j -м эвакуационном участке, чел.; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м²; a_j – длина j -го эвакуационного участка, м; b_j – ширина j -го эвакуационного участка, м; dt – промежуток времени, с.

В момент времени t определяется количество людей m с отрицательными координатами $x_i(t)$, определенными по формуле (5.25). Если значение $m \leq Q_j(t)$, то все m человек переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (5.27). Если значение $m > Q_j(t)$, то количество человек, равное значению $Q_j(t)$, переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (5.27), а количество человек, равное значению $(m - Q_j(t))$, не переходят на следующий эвакуационный участок (остаются на данном эвакуационном участке) и их координатам присваиваются значения $x_i(t) = k0,25 + 0,25$, где k – номер ряда, в котором будут находиться люди (максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга для каждого эвакуационного участка определяется перед началом расчетов). Таким образом, возникает скопление людей перед выходом с эвакуационного участка.

На основании заданных начальных условий (начальных координат людей, параметров эвакуационных участков) определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов с эвакуационных участков. Далее, в момент времени $t = t + dt$ определяется наличие ОФП на путях эвакуации. В зависимости от этого выбирается направление движения каждого человека и вычисляется новая координата каждого человека. После этого снова определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов. Вновь дается приращение по времени dt и определяются новые координаты людей с учетом наличия ОФП на путях эвакуации в этот момент времени. После этого процесс повторяется.

Расчеты проводятся до тех пор, пока все люди не будут эвакуированы из здания.

5.6. Краткий обзор программных комплексов для моделирования эвакуации людей

На сегодняшний день в мире насчитывается несколько десятков моделей, которые используют различные способы представления внутренней среды здания (точная либо грубая сеть), моделирования движения людей (индивидуальное, групповое (поточное)), по-разному учитывают психологические аспекты поведения человека (действия при получении сигнала о пожаре, выбор маршрута), влияние опасных факторов пожара [9, 20].

Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 [19] допускает использование для расчетов трех моделей людского потока: упрощенной аналитической, имитационно-стохастической и индивидуально-поточной.

Упрощенная аналитическая модель «пришла» в методику [19] из ГОСТ 12.1.004–91* «Пожарная безопасность. Общие требования», а в него, в свою очередь, из СНиП II–2–80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений». Следует отметить, что для рассматриваемой предметной области именно данный этап ознаменовал переход к гибкому нормированию — до этого согласно СНиП II–А.5–70 все расчеты сводились к требованию: 0,6 м ширины выхода или прохода на 100 эвакуирующихся. Отдавая дань сложившимся стереотипам, ограниченный набор формул мы называем «моделью», хотя на самом деле это лишь основные расчетные зависимости между параметрами и закономерностями движения людских потоков. Сказанное обуславливает область их применения: расчеты простейших ситуаций движения людских потоков, оценочные и приближенные расчеты, которые также допустимо использовать в комбинации с более точными методами.

В начале 80-х годов прошлого века профессором В. В. Холщевниковым была разработана модель ADLPV [4], которая в рамках современной терминологии называется имитационно-стохастической. Эта модель стала значительно точнее за счет деления здания на элементарные участки шириной около 1 м и выполнения нескольких расчетных операций в секунду для каждого участка. Например, для двухэтажного здания с площадью этажа около 1 000 м² потребуются почти 40 тысяч операций машинного счета. Тем не менее, использование данной модели затруднено для анализа индивидуальных особенностей эвакуации человека.

Для реализации рассмотренных моделей (упрощенной аналитической и имитационно-стохастической) разработано программное обеспечение, реализованное в модели «Флоутек». В этих моделях объектом моделирования является людской поток, в индивидуально-поточных – отдельный человек (индивид), что открывает большие возможности, ограниченные лишь профессионализмом разработчиков и пользователей. Сравнение математического аппарата моделей приведено в табл. 5.6.

Сравнение математического аппарата различных моделей

Параметр	Модель		
	Упрощенная	Имитационно-стохастическая	Индивидуально-поточная
Пересечение границы смежного участка пути	+	+	+
Переформирование	–	+	+
Растекание	–	+	+
Расчленение	+	+	+
Слияние	+	+	+
Неодновременность слияния	–	+	+
Образование и рассасывание скоплений	–	+	+
Разуплотнение	–	+	+
Вариабельность физического и эмоционального состояния людей в потоке	–	*	+

Примечание: «+» — описывается точно; «–» — не учитывается; «*» — описывается неточно по сравнению с процессом, происходящим в реальности.

Широкое распространение во всем мире получили именно модели класса *индивидуально-поточное движение*. Наиболее известными, прошедшими проверку практикой (официально использовались при проектировании зданий и сооружений с массовым пребыванием людей), являются модели SIMULEX [21], Pathfinder [22], STEPS [23], BuildingExodus [24].

SIMULEX предназначена в основном для моделирования пешеходного движения людей при эвакуации (рис. 5.27). Для каждого человека можно задавать время реакции на сигнал тревоги и скорость движения. Эвакуирующихся можно объединять в группы, которые будут передвигаться со скоростью самого медленного ее члена.

В модели Pathfinder (рис. 5.28) реализован более точный алгоритм движения, учитывающий маневрирование людей в потоке (например, ускорение при наличии свободного пространства либо уклонение от столкновений с другими пешеходами).

Программный комплекс STEPS (рис. 5.29) имеет два режима моделирования: *нормальный* и *эвакуация*. Режим *эвакуация* принципиально не отличается от описанных выше программ, за исключением возможности учитывать лифты для эвакуации. В *нормальном* режиме можно моделировать,

например, целые транспортные узлы: пешеходные потоки с учетом прибытия общественного транспорта, покупку пассажирами билетов, проход через турникеты, движение по распределительному залу станции метрополитена и убытие с учетом движения поездов.

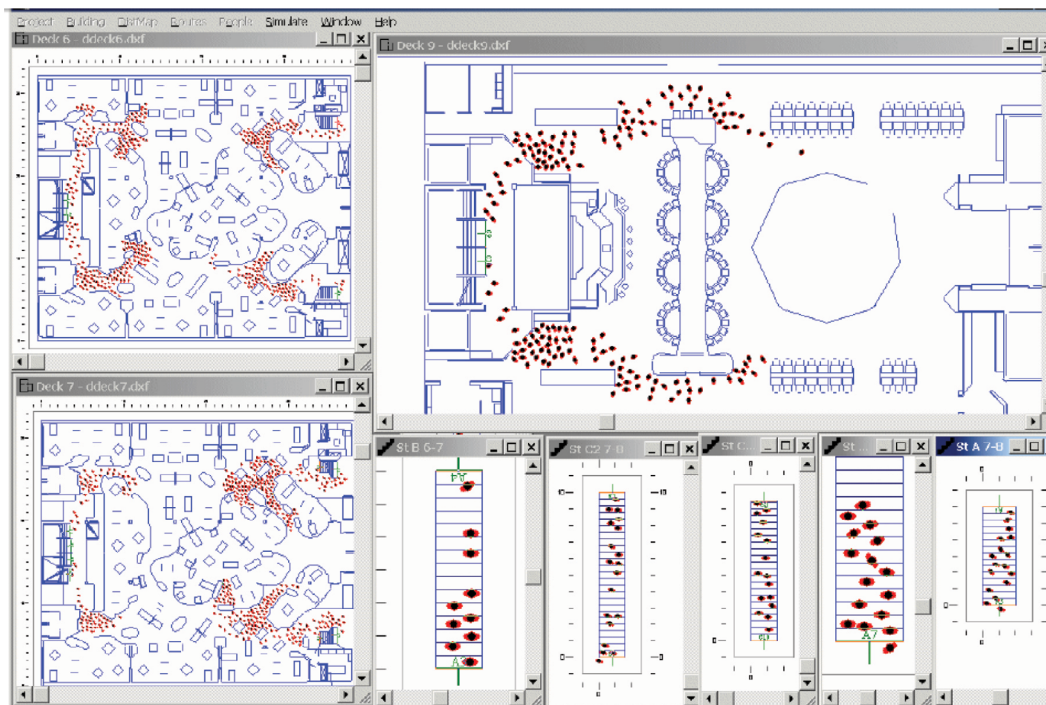


Рис. 5.27. Рабочие окна программы моделирования эвакуации из здания SIMULEX: видны участки здания, заданные пользователем для визуального контроля (зальные помещения и лестничные клетки)

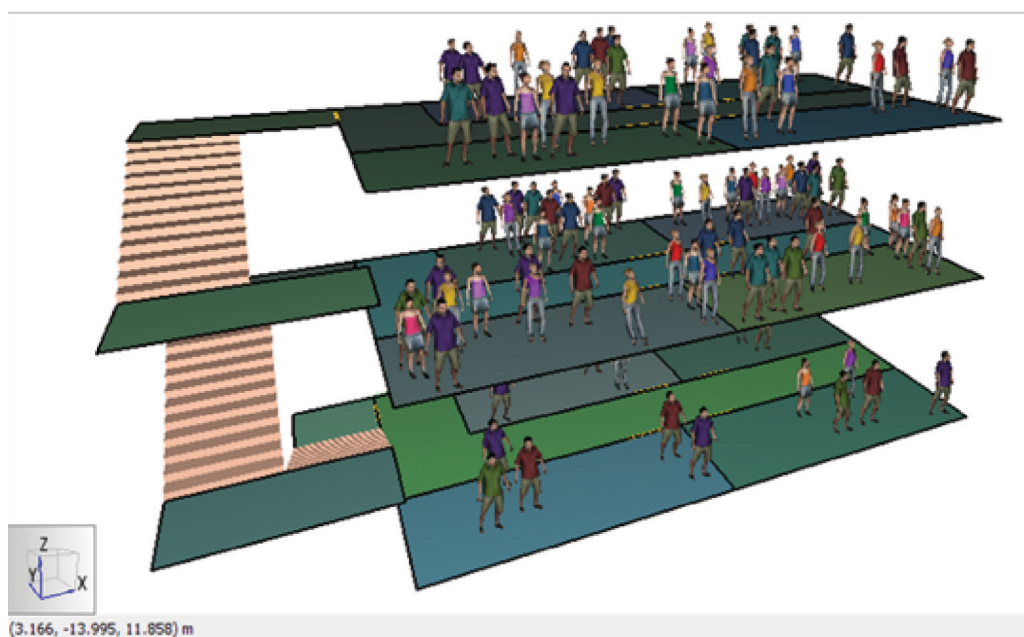


Рис. 5.28. Визуализация результатов расчетов в модели Pathfinder

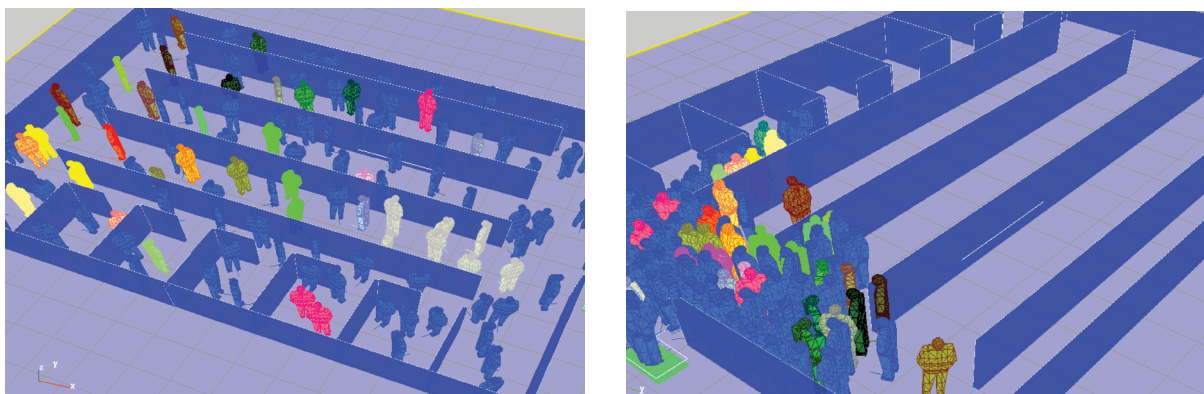


Рис. 5.29. Пример моделирования в программном комплексе STEPS

Возвращаясь к моделированию эвакуации, назовем самую интересную модель – Building Exodus (рис. 5.30). С ее помощью можно учитывать массу психологических особенностей человека – влияние системы управления эвакуацией, дополнительных обязанностей (например, членство в добровольной пожарной дружине) и даже такого параметра, как «резвость», что находит свое отражение в поведении людей при движении в составе потока. Одна из последних работ по совершенствованию этой модели была направлена на учет культурологических отличий [24]. Как правило, BuildingExodus используется совместно с моделью для расчета пожара SmartFire, поэтому эвакуирующиеся дополнительно характеризуются ростом и массой тела. Более того, в случае опускания припотолочного слоя дыма запрограммирована возможность эвакуации людей на четвереньках с целью снижения уровня воздействия на них ОФП.

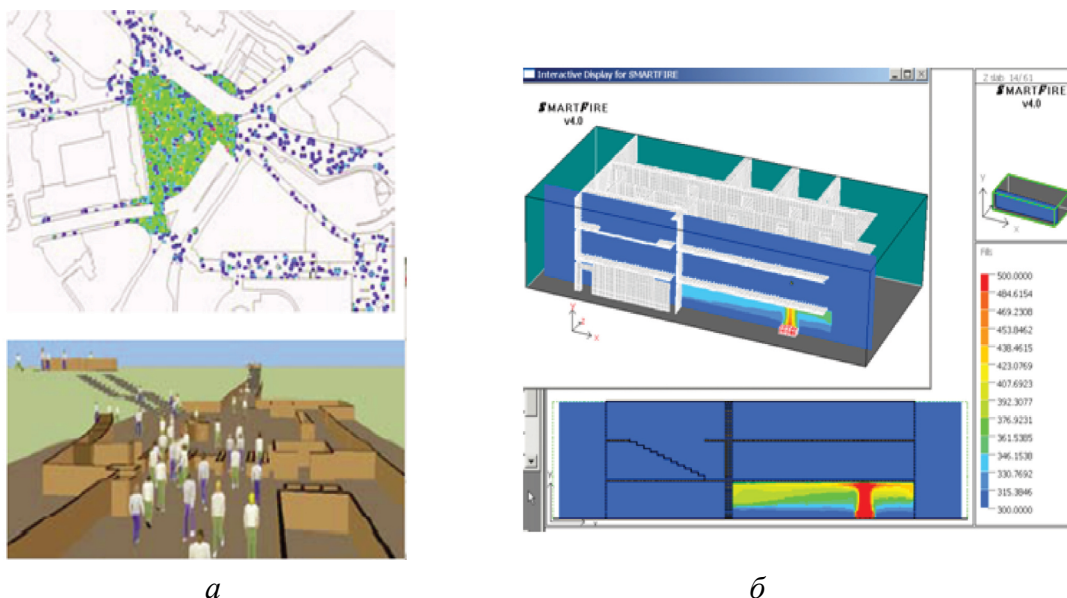


Рис. 5.30. Модель BuildingExodus функционирует и обменивается данными в процессе моделирования с дифференциальной моделью SmartFire (а), учитывает взаимное влияние динамики распространения ОФП и эвакуации людей (б)

Для решения большинства инженерных задач имитационно-стохастическая модель является наиболее эффективным инструментом. Однако в случае необходимости учесть сложные сценарии организации эвакуации людей, а также движения людских потоков, состоящих из людей различной степени мобильности, более того, немобильных людей, например, при эвакуации больничных комплексов, то более точно отражающими реальность выступают модели индивидуально-поточного движения. В нашей стране работа над такими моделями ведется и уже можно говорить о результатах. Речь идет о разработке модели «Эватек» [29, 30] (рис. 5.31), позволяющей учитывать индивидуальные особенности эвакуирующихся.

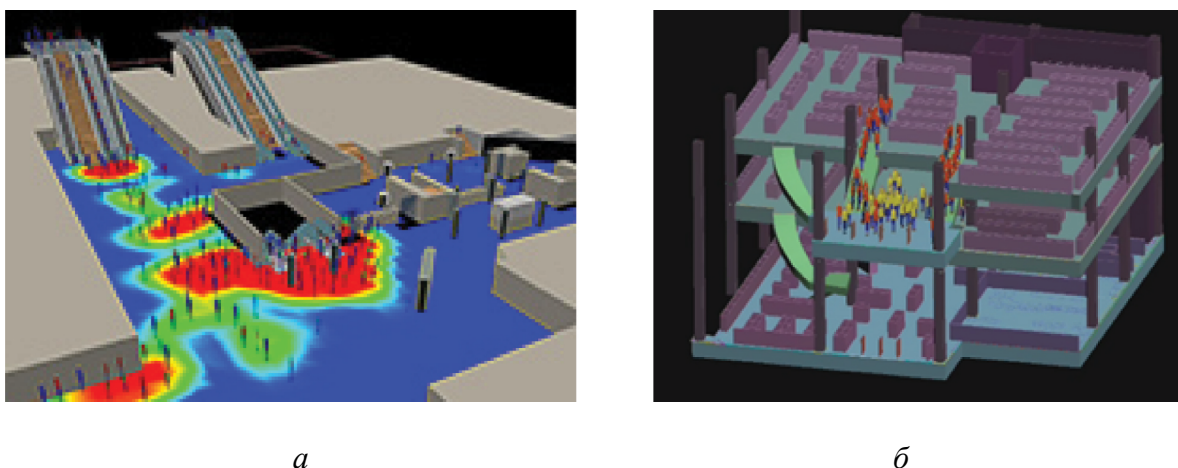


Рис. 5.31. Модель «Эватек»:

а – места начального размещения людей (источники); *б* – движение людей к выходам

Литература

1. 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.
2. СНиП II–2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
3. ГОСТ 12.1.004–91*. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МИСИ, 1983.
5. Холщевников В. В., Никонов С. А., Шамгунов Р. Н. Моделирование и анализ движения людских потоков в зданиях различного назначения: Учеб. пособие. – М.: МИСИ, 1986.
6. Холщевников В. В. Закономерность связи между параметрами людских потоков. (Диплом №24-S Открытие в области социальной психологии) // Научные открытия. – М.: РАЕН, МААНОИ, МААНО, 2006.
7. Холщевников В. В. Расчет оптимальных вариантов пешеходных путей в городских узлах // На стройках России. – 1983. – № 3.
8. 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.

9. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Галушка Н. Н. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации людей из зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 5.
10. Henderson L. F. On the Fluid Mechanics of Human Crowd Motion // Transportation Research. – 1974. – Vol. 8. – № 6.
11. 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.
12. Гениев Г. А. О некоторых закономерностях движения сплошных людских потоков // Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций: Сб. науч. тр. – ЦННИСК, 1984.
13. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М., 1978.
14. Дувидзон Р. М. Проектирование спортивных сооружений с учетом движения людских потоков: дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1968.
15. Гвоздяков В. С. Закономерности движения людских потоков в транспортно-коммуникационных сооружениях: дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1978.
16. Холщевников В. В., Гвоздяков В. С. Автоматизация проектирования коммуникационных помещений метрополитена // Функциональные и технические проблемы архитектуры. – М.: МИСИ, 1977.
17. Программный продукт: Анализ Движения Людских Потоков, вероятность. – Версия V 2.0 – «ADLPV-2.0». – Госстандарт России, № РОСС RU.СП05.Н00220.
18. 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.
19. Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
20. Kuligowski E., Peacock R. Review of Building Evacuation Models : Technical Note 1471A. – NIST, 2005.
21. Thompson P., Marchant E. A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. — 1994. — Vol. 24. — P. 131–148.
22. Pathfinder : Technical reference. Thunderhead engineering, 2009 [Электронный ресурс]. URL : <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder>.
23. Global Engineering Management and Development Consultants. URL: www.mottmac.com (дата обращения: 29.04.2015).
24. Galea E. R., Deere S., Sharp G., Filippidis L., Hulse L. Investigating the impact of culture on evacuation behavior // Proceed. of the 12th Inter. Fire Science & Engineering Conf. «Interflam 2010», 5–7 July 2010, University of Nottingham, UK, vol. 1, pp. 879–892.
25. Пранов Б. М., Самошин Д. А. К математическому моделированию людских потоков // «Системы безопасности – 2000»: Мат-лы 9-й науч.-практ. конф. – М. : Академия ГПС МВД РФ, 2000.
26. Карькин И. Н., Скочилов А. Л., Зверев В. В., Контарь Н. А. Валидация и верификация эвакуационной модели СИТИС: Эватек. No. 4152-ТТ2.5. – Екатеринбург : СИТИС, 2008. – 29 с.
27. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2013.

Глава 6

НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПУТЯМ ЭВАКУАЦИИ

- 6.1. История нормирования эвакуационных путей и выходов
- 6.2. Требования к путям эвакуации в системе архитектурно-строительного проектирования
- 6.3. Требования пожарной безопасности к путям эвакуации в пределах помещений
- 6.4. Требования пожарной безопасности к путям эвакуации в пределах этажа (по коридору)
- 6.5. Пути эвакуации по лестницам и пандусам
- 6.6. Требования к путям эвакуации для маломобильных групп населения

6.1. История нормирования эвакуационных путей и выходов

В России, как и в других странах мира, эвакуация людей рассматривается как наиболее эффективное мероприятие для обеспечения их безопасности при развитии в здании пожара или возникновении других чрезвычайных обстоятельств. Поэтому уже на стадии проектирования зданий предусматриваются специальные противопожарные и архитектурно-планировочные решения, которые должны создать необходимые условия для успешной реализации процесса эвакуации. Среди этих решений первостепенное значение придается проектированию структуры и размеров путей эвакуации. Поскольку пути эвакуации пронизывают все здание и их площадь составляет значительную часть его общей площади, то их структура и размеры оказывают большое влияние на экономические, эстетические и технические показатели проектных решений. Приоритетность показателей обеспечения безопасности людей в любом из возможных вариантов проектных решений здания определяет включение требований к проектированию эвакуационных путей в нормативные документы.

Нормирование размеров эвакуационных путей впервые было установлено строительными правилами, изданными в 1886 г. в Петербурге. Они предписывали назначать ширину путей в зданиях, исходя из установленной пропускной способности единицы ширины пути (105 человек на метр ширины прохода в зданиях театров и 175 человек на метр в остальных зданиях для собраний). Такой подход к нормированию стал традиционным не только для России, но и для других стран, хотя, как свидетельствует профессор С. В. Беляев [1], «по расчету на один метр ширины пути эта норма колеблется в широких пределах и составляет от 66 человек по американским правилам (20 человек на фут) и до 340 человек по лондонским правилам 1892 г. (4,5 фута на 400 человек). В большей части правил фиксируется

минимальная ширина пути, в пределах от 0,9 до 1,45 м с увеличением ее по мере надобности или посредством некоторого уширения на каждую дополнительную группу в установленное число людей...». Далее он пишет, что вышеупомянутые лондонские правила требуют расширения пути на 0,15 м (полфута) на каждые дополнительные 100 человек, а по ОСТ 4488 (нормы СССР 30-х гг.) предлагается расширять путь на 0,1 м на каждые дополнительные 10 человек.

Длина пути эвакуации впервые нормирована в России ленинградскими правилами 1928 г. для зрелищных зданий. ОСТ 4488 установил для всех случаев предельное удаление 25 м.

Этот принцип нормирования ширины и длины эвакуационного пути, который можно назвать «принципом назначения», сохранился в нашей стране и в последующие годы [2, 3]. При регулярном пятилетнем пересмотре СНиП численные показатели норм корректировались и дифференцировались применительно к назначению здания и степени его огнестойкости, но сам принцип оставался неизменным: назначать, не мотивируя, жесткую норму геометрических параметров эвакуационных путей и требовать ее соблюдения, несмотря на возможное многообразие реальных ситуаций. Впрочем, аналогичные нормы и в других странах не содержат альтернативы этому принципу.

К концу 70-х гг. окончательно выкристаллизовалась структура нормирования, построенного на этом принципе. Противопожарными нормами [2–4] устанавливалось требование: «Суммарная ширина маршей лестничных клеток в зависимости от числа людей, находящихся на наиболее населенном этаже, кроме первого, а также ширина дверей, коридоров или проходов на путях эвакуации на всех этажах должны приниматься из расчета не менее 0,6 м на 100 человек...», а нормами по проектированию гражданских и промышленных зданий [5, 6] определялись максимальные расстояния от наиболее удаленного рабочего места (или точки помещения) до ближайшего эвакуационного выхода и расстояния от дверей наиболее удаленных помещений до выхода наружу или в лестничную клетку. Конкретные значения этих расстояний назначались в зависимости от степени огнестойкости, назначения гражданского здания и категорий производств по взрывопожарной опасности в производственных зданиях.

Из этой системы выпадает нормирование эвакуации людей из зданий театров. Согласно нормам на проектирование театров [7]: «Ширина путей эвакуации и их протяженность, количество и ширина эвакуационных выходов (дверей) и лестниц определяются расчетом, исходя из:

а) установленной продолжительности эвакуации, скорости движения людей по горизонтали в эвакуационных проходах и между рядами мест зрительного зала – 16, по лестницам – 10 и в эвакуационных проходах вне зала 24 м/мин;

б) пропускной способности 1 м ширины прохода, дверей или лестниц – 50 чел/мин при их ширине от 1,5 м и более.

Продолжительность эвакуации людей из здания театра устанавливается:

- а) из зрительного зала – 2 мин.;
- б) со сцены – 1,5 мин.;
- в) из всего здания – 6 мин.».

Впервые этот подход к нормированию был реализован при разработке Временных норм строительного проектирования театров (1943 г.). Он основывался на исследованиях сотрудников Института архитектуры Всероссийской академии художеств, проведенных под руководством С. В. Беляева в 1933–1935 гг. Многие положения, впервые высказанные Беляевым в этой книге, стали вскоре хрестоматийными для специалистов. Однако для полной реализации наиболее важного из них требовалась организация не проводившихся до того исследований, значение которых выходит за рамки вызвавшей их практической задачи. Это положение состоит в том, что «безопасность эвакуации сооружений характеризуется сроком, необходимым для ее осуществления в неблагоприятных условиях». Поэтому «...возникает потребность принятия за основу нормирования... времени эвакуации, зависящего от совокупности факторов эвакуационного движения. Для определения этого времени расчетным путем необходимо выявление этой зависимости, осуществимое лишь при помощи обследований процесса массового движения». Профессором Беляевым и его многочисленными последователями и были проведены такие обследования.

Однако после исследований, проведенных институтом архитектуры Всероссийской академии художеств [1], 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» [8]. Установлению закономерностей, выражающих эти «фундаментальные принципы», и были посвящены длительные и многотрудные исследования российских ученых (см. предыдущие главы). На их основе была решена [9] 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» [10]. Была принята трехуровневая 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, значения необходимого времени эвакуации 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], затем в ГОСТ 12.1.004–91 [20], а затем и в Методику расчета рисков [21].

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 ОФП, вместо неизвестно как нормируемых размеров [11, 12].

Документами второго уровня стали строительные нормы и правила проектирования зданий конкретного функционального назначения [13–18]. 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 параметры необходимого времени эвакуации ($t_{нб}$), поскольку они содержались в СНиП II–2–80.

Документы третьего уровня в виде методических пособий к СНиПам должны были содержать метод определения расчетного времени эвакуации, разъяснять способы и область корректного применения значений нормируемых величин.

Объективно оценивая графоаналитический метод как средство реализации расчетного принципа нормирования, нельзя не отметить, что несмотря на его графическую наглядность и простоту аналитических операций, он сложен для быстрого освоения. и при ручном счете чрезвычайно трудоемок для проектной практики. Эти недостатки графоаналитического метода не

только создавали вполне очевидные трудности для разработки материалов третьего уровня, но и, по-видимому, обусловили решение о введении двух форм нормирования. Однако затем произошли коренные изменения в структуре нормирования:

- определение расчетного времени эвакуации (разд. 1 прил. 1 СНиП II–2–80) полностью перешло во впервые разработанный ГОСТ 12.1.004–91 [20], а затем и в Методику расчета пожарных рисков [21];

- разд. 2 «Необходимое время эвакуации» СНиП II–2–80 перестал существовать, поскольку в ГОСТ 12.1.004–91 для описания динамики распространения ОФП вместо него были использованы формулы интегральной модели.

Это привело к парадоксальному результату: нормы размеров (ширина и протяженность) эвакуационных путей и выходов, установленные в соответствии со значениями необходимого времени эвакуации ликвидированного раздела 2 приложения 1 СНиП II–2–80, продолжают существовать в неизменном виде, например в [22]. Даже форма представления норм становится некорректной: пропускная способность 1 м ширины пути или выхода без указания времени эвакуации через нее становится бессмысленной [1], так же как и нормируемая длина путей эвакуации.

Значения времени блокирования путей эвакуации, определенные в соответствии с методикой [21], 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 расчетными и нормативными значениями размеров эвакуационных путей и выходов.

К сожалению, реформа технического регулирования в области строительства и пожарной безопасности не сняла этих и других недостатков современного нормирования процесса эвакуации, и по-прежнему отмечается отсутствие:

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

- возможности определять своевременность и беспрепятственность эвакуации с учетом возраста и физического состояния людей, однако активная работа по этому направлению ведется;

- учета возможности не только пешеходной эвакуации;

- сформировавшихся понятий о составе зон безопасности для людей в здании и требований к ним при поэтапной или частичной эвакуации из зданий;

- каких-либо соображений об обеспечении безопасности людей на территории, прилегающей к зданию, а также расчетных параметров движения людских потоков на этой территории.

6.2. Требования к путям эвакуации в системе архитектурно-строительного проектирования

Решив эвакуироваться, человек намечает свой маршрут движения, то есть определяет последовательность участков пути, которую предстоит пройти, чтобы за кратчайшее время попасть с места нахождения на намеченную конечную точку. При пожаре такими местами являются: помещение, в котором человеку 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, а лишь те, которые защищены целым комплексом противопожарных решений:

- объемно-планировочные: кратчайшие расстояния до эвакуационных выходов, их достаточная ширина, изоляция путей эвакуации от пожаро- и взрывоопасных помещений, возможность движения к нескольким эвакуационным выходам и т. п.;

- эргономические: назначение размеров эвакуационных путей и выходов, отвечающих антропометрическим размерам людей, особенностям их движения, нормирование усилий при открывании дверей и т. п.;

- конструктивные: прочность, устойчивость и надежность конструкций эвакуационных путей и выходов, нормирование горючести отделки на путях эвакуации, перепадов высот на путях движения, размеров ступеней, уклона лестниц и пандусов и др.;

- инженерно-технические мероприятия: организация противодымной защиты, оборудование автоматическими установками пожаротушения, проектирование требуемой освещенности, размещение световых указателей и громкоговорителей системы оповещения и управления эвакуацией и др.;

- организационные: функционирование систем пожарной автоматики, исключение загромождения путей эвакуации, отработка планов эвакуации и противопожарное обучение сотрудников.

Структура нормирования эвакуационных путей и выходов (наиболее подробно мы остановимся на объемно-планировочных, эргономических и конструктивных решениях) будет рассмотрена ниже в соответствии с характерными этапами эвакуации: 1 этап – эвакуация из помещений, 2 – от эвакуационных выходов из помещений до эвакуационных выходов наружу или в лестничные клетки, 3 – по лестничным клеткам. В ряде случаев следует учитывать и 4 этап эвакуации – по территории зданий и их комплексов.

6.3. Требования пожарной безопасности к путям эвакуации в пределах помещений

Если в помещении, на этаже, в здании должно быть два (или более) эвакуационных выхода, то их следует располагать рассредоточено, а не в одном месте. Это делается для того, чтобы при планировании маршрута эвакуации человек практически всегда имел по крайней мере два варианта направления для эвакуационного выхода и из помещения, и с этажа, и из здания. Отметим, что прогнозирование выбора маршрута эвакуации человеком представляет собой отдельную сложную задачу.

Установлено, что на выбор маршрута движения людей оказывают воздействие разные факторы (рис. 6.1). Однако их влияние будет проявляться различным образом в зависимости от того, что человек делает в здании: посетитель он или проживающий (работающий). В *первом случае* это может быть любой из факторов, представленных на рис. 6.1, и задачей персонала здания является организация эвакуации посетителей по наиболее оптимальному эвакуационному маршруту, так как в общественных зданиях именно персонал является «дирижером» эвакуации [23, 24]. Например, в ходе специальных исследований было установлено, что до 95 % посетителей будут выполнять указания персонала при эвакуации, и будут игнорировать сигналы системы оповещения, если их игнорируют сотрудники персонала. Кстати, указания персонала, как правило, будут выполнены, даже если они неправильные: при эвакуации в одном из торговых комплексов сотрудник персонала запретил использовать покупателям эвакуационный выход, так как в обычное время он считался служебным... Во *втором случае* человек, как правило, будет использовать привычный путь, либо тот путь, по которому он попал в здание.



Рис. 6.1. Выбор маршрута движения при эвакуации

Наметив маршрут движения, человек выходит на участок общего пути, который выбрали и другие люди, то есть на этом участке формируется людской поток. Можно сказать, что эти участки являются источниками людских потоков [25]. Такими участками в зрительных залах (рис. 6.2, 6.3) являются проходы между рядами зрительских мест, в офисных помещениях (рис. 6.4) – общие проходы между мебелью рабочих мест, в производственных помещениях промышленных предприятий (рис. 6.5) – проходы между оборудованием и т. п.

Пространство участков формирования людских потоков определяется антропометрическими размерами человека и эргономикой его движений при осуществлении 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.

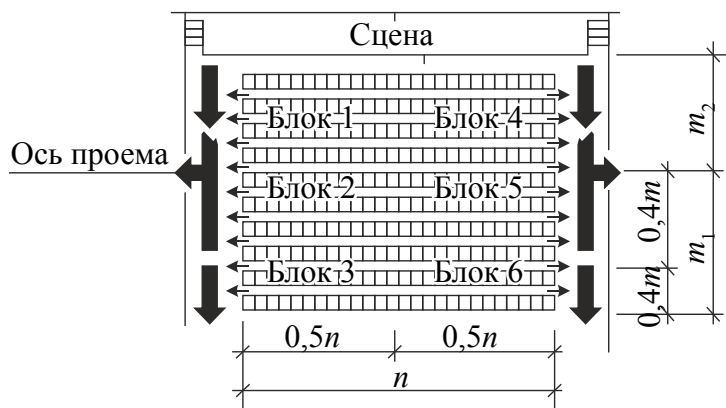


Рис. 6.2. Маршрутизация движения людских потоков при эвакуации из зрительных залов с боковыми (продольными) проходами [26]

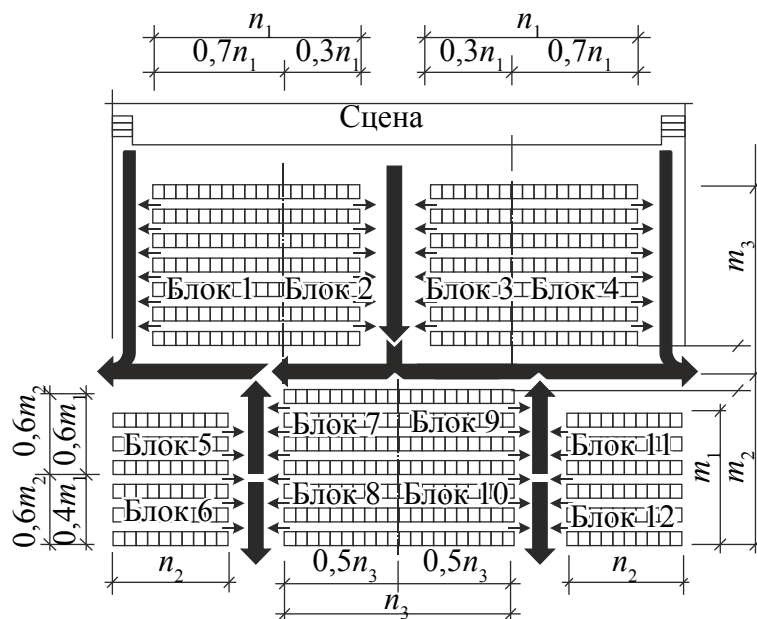


Рис. 6.3. Маршрутизация движения людских потоков при эвакуации из зрительных залов с поперечным проходом [26]

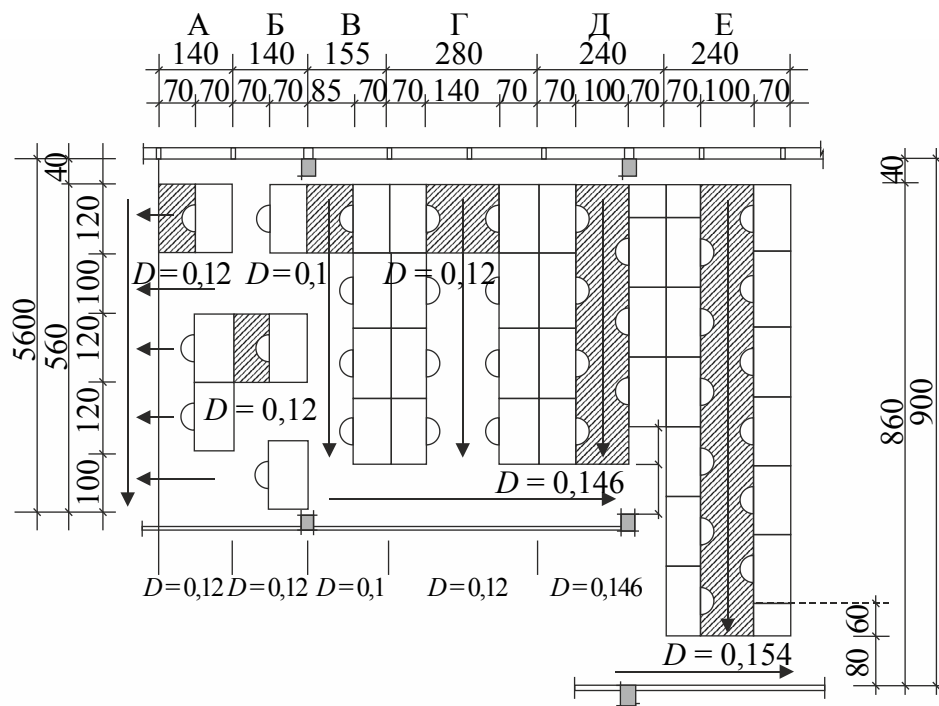


Рис. 6.4. Пример [29] вариантов минимально возможных площадей рабочего места ($F_{р.м}$) в офисных помещениях и изменения в зависимости от этого плотности людского потока, формирующегося в проходах: А, Б – $F_{р.м} = 2,9 \text{ м}^2$; В – $F_{р.м} = 2,18 \text{ м}^2$; Г – $F_{р.м} = 2,12 \text{ м}^2$; Д – $F_{р.м} = 1,89 \text{ м}^2$; Е – $F_{р.м} = 1,69 \text{ м}^2$

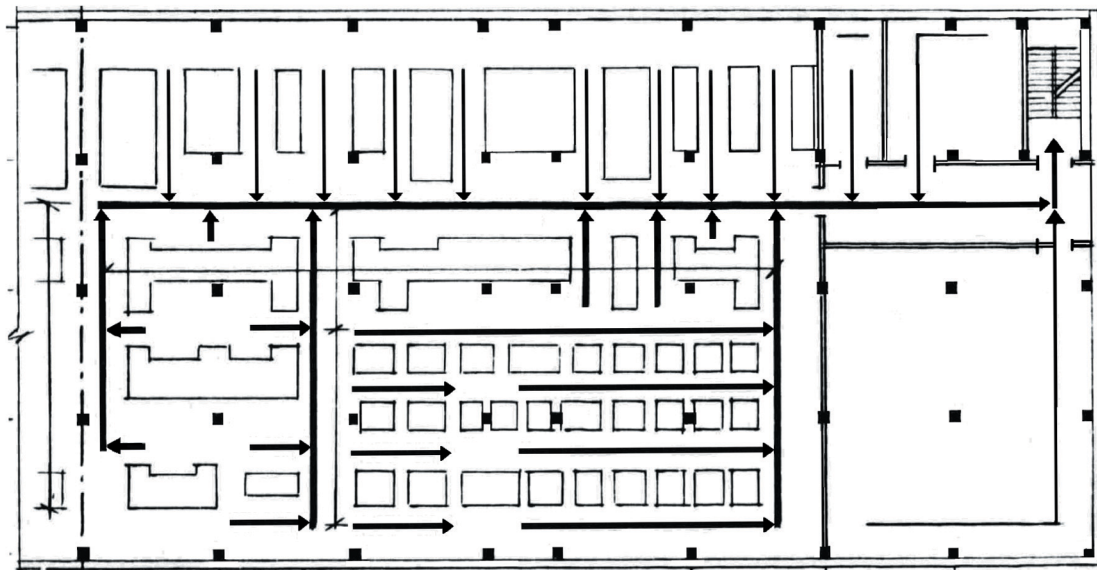


Рис. 6.5. Маршрутизация движения людских потоков при эвакуации в производственных зданиях

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

Количество и ширина эвакуационных выходов из помещений, с этажей и из зданий определяются в зависимости от максимально возможного числа эвакуирующихся через них людей и предельно допустимого расстояния от наиболее удаленного места возможного пребывания людей (рабочего места) до ближайшего эвакуационного выхода.

Однако не менее двух эвакуационных выходов должны иметь:

- помещения, предназначенные для одновременного пребывания более 50 человек;
- помещения класса Ф1.1 (больницы, детские учреждения и др.), предназначенные для одновременного пребывания более 10 человек;
- помещения подвальных и цокольных этажей, предназначенные для одновременного пребывания более 15 человек;
- помещения производственных зданий категорий А и Б с численностью работающих в наиболее многочисленной смене более 5 человек, категории В – более 25 человек или площадью более 1000 м²; а также в некоторых других случаях, согласно [22].

Высота эвакуационных выходов в свету должна быть не менее 1,9 м, ширина, как правило, не менее 1,2 м. В определенных случаях допускается ширина пути, равная 0,8 м (по п. 4.2.5 [22]).

Требования к допустимой длине путей эвакуации в помещениях с массовым пребыванием людей¹⁰ – зрительных, торговых и выставочных залах, трибунах спортивных сооружений и др. приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Основные параметры нормирования длины путей эвакуации в помещениях с массовым пребыванием людей

Нормируемый параметр	Значение	От чего зависит	Ссылка на пункт норм
Расстояние от наиболее удаленной точки до выхода из зала	10–80 м	Степень огнестойкости здания, категории здания, класс конструктивной пожарной опасности, назначение зала (помещения), его объема	7.2.2 [22]
Суммарная ширина выходов из залов (помещений)	40–275 чел. на 1 м ширины выхода	Степень огнестойкости здания, назначение зала (помещения), соотношение площадей основных эвакуационных проходов к площади зала (рис. 6.6)	7.2.3 [22]
Размещение на этажах здания и вместимость	–	Степень огнестойкости здания, назначение зала (помещения)	1.16, 1.46 [28], 6.7.15, 6.7.17 [37]

¹⁰ Объекты с массовым пребыванием людей – объекты, на которых может одновременно находиться 50 и более человек (п. 5 Правил противопожарного режима РФ).

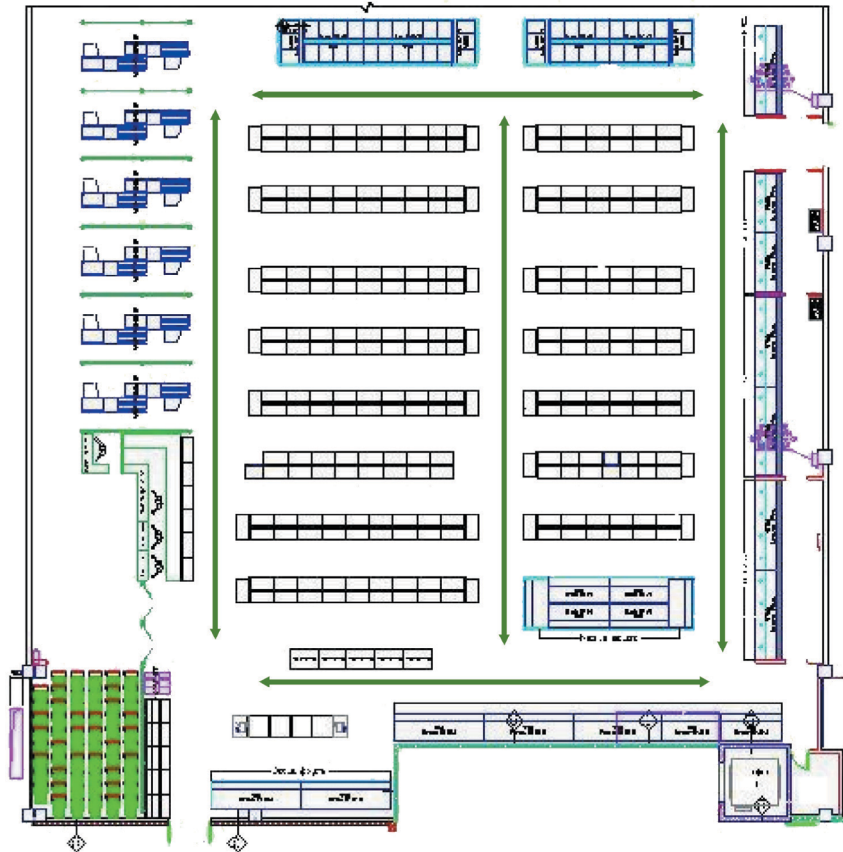


Рис. 6.6. Основные эвакуационные проходы в торговом зале (показаны стрелками). Эвакуационный проход в торговом зале можно отнести к основному, если он является местом сбора людей, выходящих из боковых источников

Для зрительных залов также нормируется число непрерывно установленных мест в ряду: при одностороннем выходе из ряда – не более 26, при двустороннем – не более 50 (по п. 6.1.24 [22]).

В кинотеатрах не допускается проектировать пути эвакуации через помещения, в которых может находиться более 50 человек (например, помещение, в котором ожидает сеанса следующая группа зрителей, кафе и т. п. (по п. 6.2.14 [22])).

В торговых залах ширина основных эвакуационных проходов в торговом зале (рис. 6.6) должна быть от 1,4 до 2,5 м в зависимости от площади торгового зала (по п. 7.2.4 [22]). При этом суммарная площадь, свободная от торгового оборудования и предназначенная для движения людей, составляет, как правило, более 50 % суммарной площади торгового зала.

В спортивно-зрелищных зданиях нормируется количество человек на 1 м ширины путей эвакуации с трибун открытых спортивных сооружений (по п. 6.4.4 [22]), количество эвакуирующихся через каждый выход (люк) в крытых спортивных сооружениях (по п. 6.2.10 [22]), а также ширина путей эвакуации на трибунах (по п. 6.4.5 [22]).

6.4. Требования пожарной безопасности к путям эвакуации в пределах этажа (по коридору)

Выйдя из помещений, люди приступают ко второму этапу эвакуации. Он может проходить по коридору, который своей шириной ограничивает ширину образуемого в нем потока. Ширина коридора должна быть, как правило, не менее 1,2 м (в случае эвакуации по нему более 50 чел., кроме зданий класса Ф1 – при эвакуации по ним более 15 чел.). Причем в нормах [22, п. 5.4.4] есть одно сложнообъяснимое исключение – в зданиях класса Ф1.3 ширина коридора поставлена в зависимость от его длины: при длине коридора между лестницами или торцом коридора и лестницей до 40 м – 1,4 м; свыше 40 м – 1,6 м.

Двери, открытые в коридор, затрудняют движение (рис. 6.7). Поэтому нормы требуют уменьшать расчетную ширину коридора: ширина пути движения равна ширине коридора, уменьшенной на половину ширины дверного полотна – при одностороннем расположении дверей и на ширину дверного полотна – при двустороннем расположении дверей (рис. 6.8).

Выйдя в коридор, человек опять выбирает маршрут своего движения. Если коридор свободен и эвакуационные выходы из него не заблокированы, то он, вероятнее всего, воспользуется привычным, ежедневно используемым им маршрутом – через ближайший эвакуационный выход (рис. 6.9, 6.10).



Рис. 6.7. Вид коридора с открытыми дверями из помещений

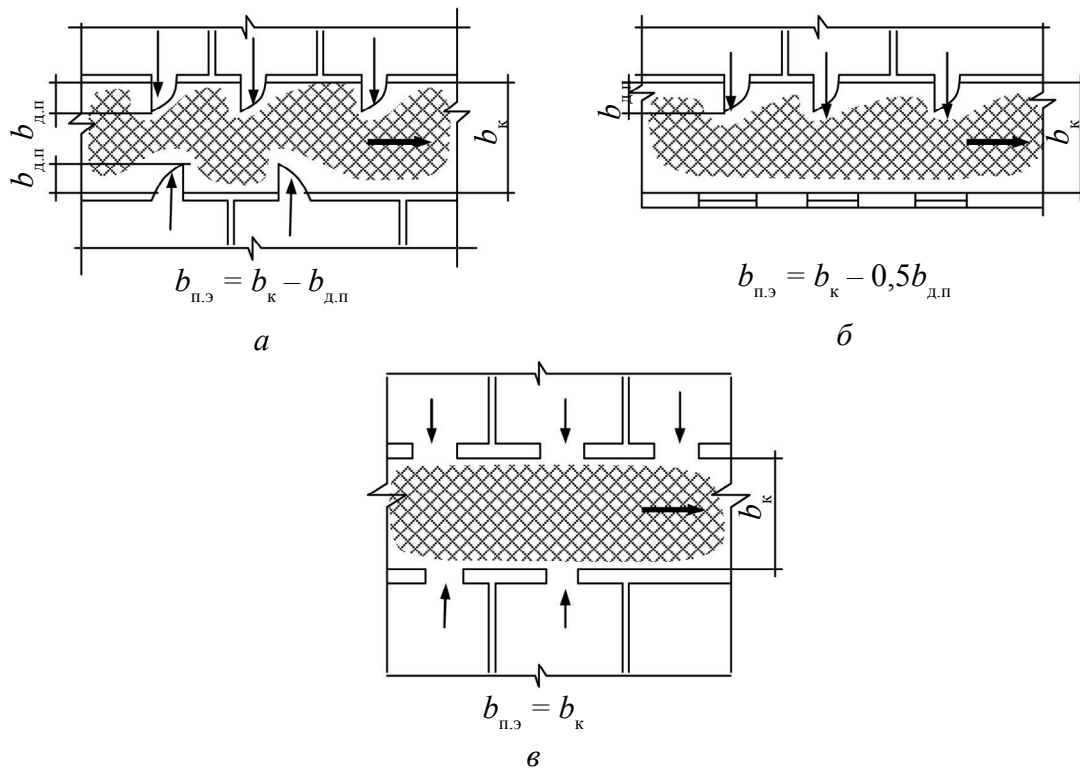


Рис. 6.8. Ширина пути эвакуации по коридору:
a – при двустороннем расположении дверей, открывающихся наружу;
б – при одностороннем расположении дверей, открывающихся наружу;
в – при открывании дверей внутрь помещений

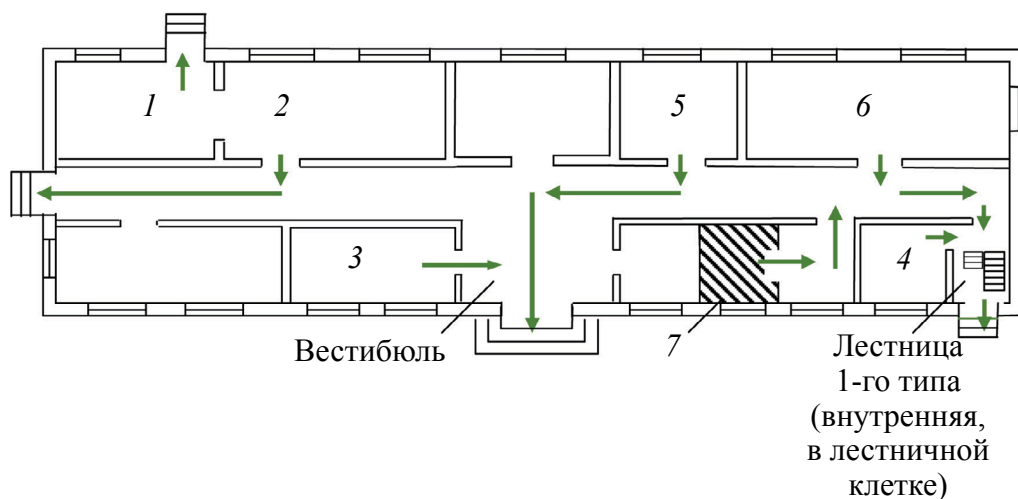


Рис. 6.9. Эвакуационные выходы из помещений первого этажа.
 Описание маршрута эвакуации из помещений первого этажа наружу:
 1 – непосредственно; 2 – через коридор; 3 – через вестибюль (фойе); 4 – через лестничную клетку;
 5 – через коридор и вестибюль (фойе); 6 – через коридор и лестничную клетку;
 7 – в соседнее помещение (кроме помещения категорий А и Б), обеспеченное эвакуационными выходами

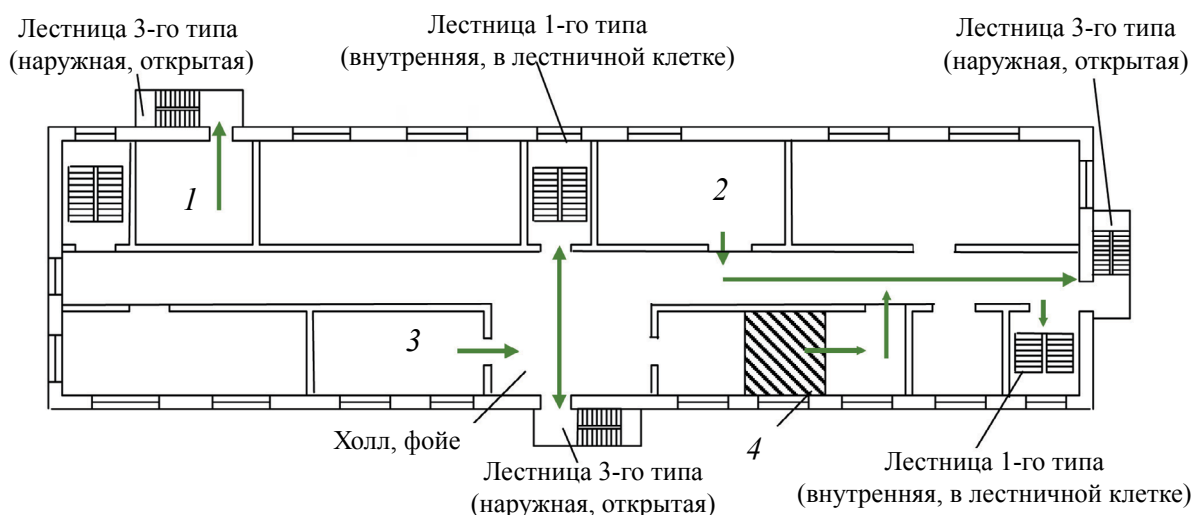


Рис. 6.10. Эвакуационные выходы из помещений, расположенных на любых этажах, кроме первого. Описание маршрута эвакуации из помещений любого этажа, кроме первого:

- 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 [27], эвакуационные пути не должны включать лифты и эскалаторы. 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. 6.11);

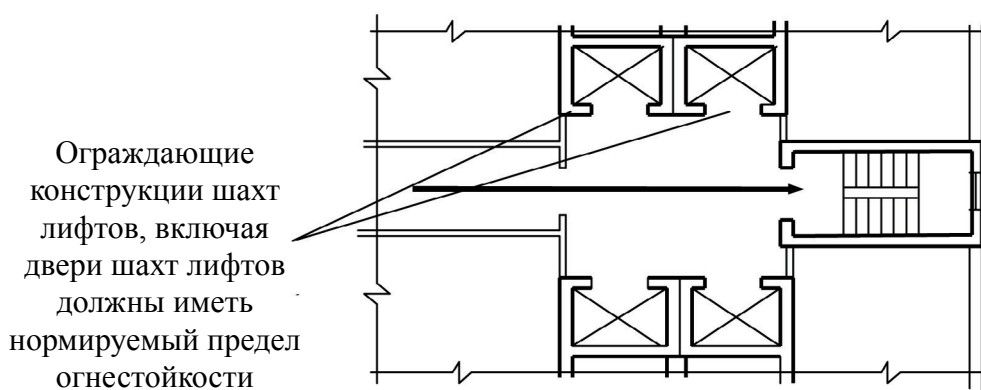


Рис. 6.11. Путь эвакуации через лифтовый холл

- через «проходные» лестничные клетки, когда площадка лестничной клетки является частью коридора (рис. 6.12 а), а также через помещение, в котором расположена лестница 2-го типа, не являющаяся эвакуационной (рис. 6.12 б);

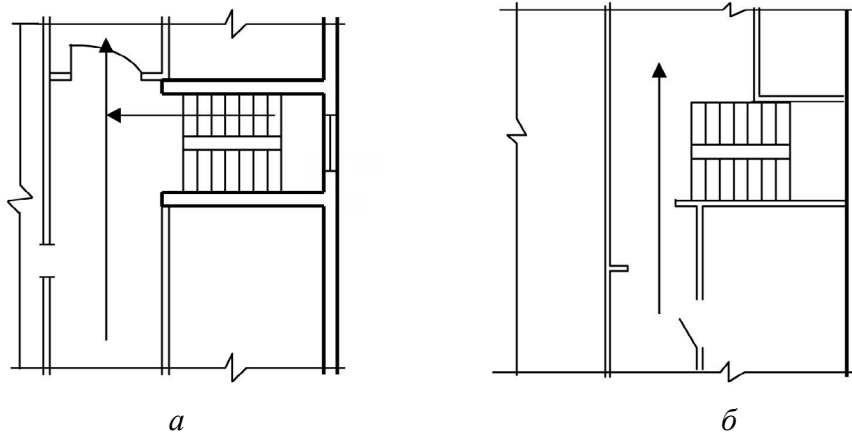


Рис. 6.12. Нарушения при проектировании путей эвакуации:
a – площадка лестничной клетки является частью коридора;
б – маршрут движения проходит через помещение, в котором расположена внутренняя открытая лестница, не являющаяся эвакуационной

- 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.

Если второй этап эвакуации людей проходит по фойе или вестибюлю, то есть через помещения, не ограничивающие, как коридор, ширину людского потока, то распределение людских потоков между возможными эвакуационными выходами, когда они не блокированы, происходит согласно закономерностям, приведенным на рис. 6.13, 6.14, а структура потока приобретает форму, схематически показанную на рис. 6.15.

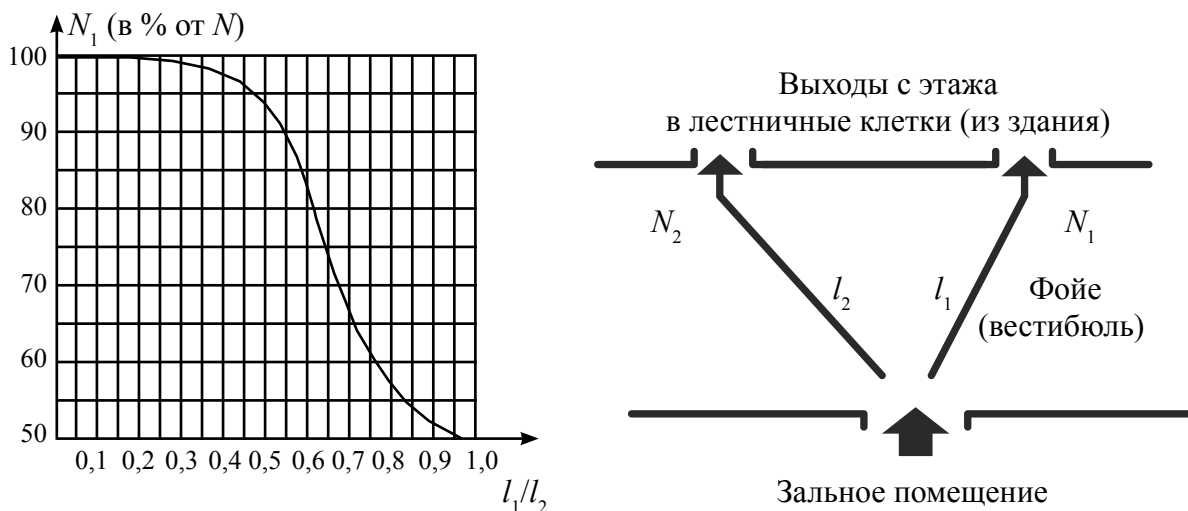


Рис. 6.13. Число зрителей и выбор выхода при эвакуации в две лестничные клетки:
 N – общее количество эвакуирующихся; N_1 – число эвакуирующихся через ближайшую ЛК; N_2 – число эвакуирующихся через дальнюю ЛК;
 l_1 – длина пути до ближайшего выхода; l_2 – длина пути до дальнего выхода

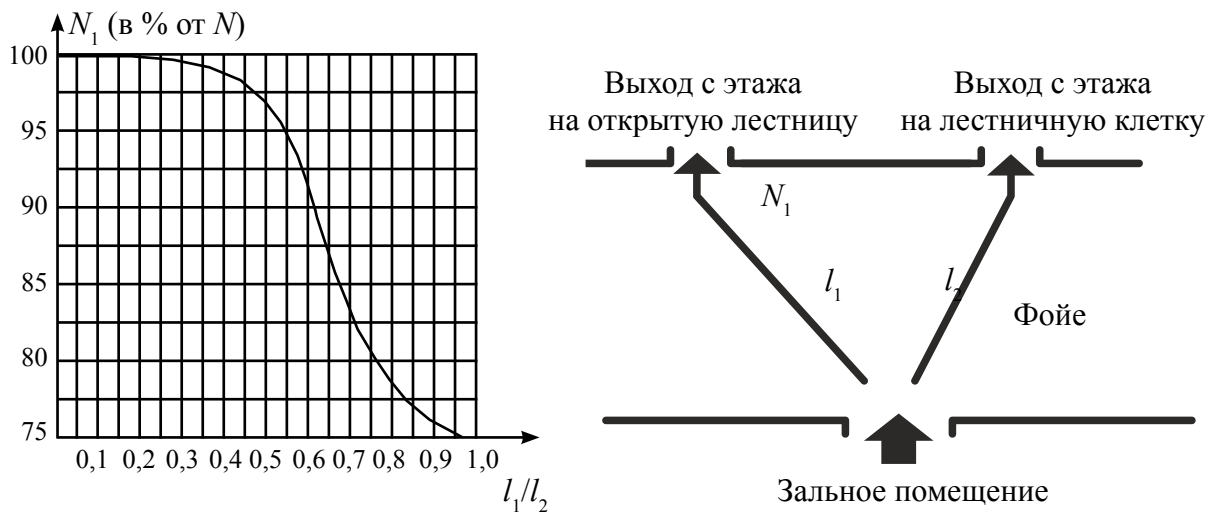


Рис. 6.14. Число зрителей эвакуирующихся по открытой лестнице и лестничной клетке:
 N – общее количество эвакуирующихся; N_1 – число эвакуирующихся по более удаленной открытой лестнице; N_2 – число эвакуирующихся через ближайшую ЛК; l_1 – длина пути до открытой лестнице;
 l_2 – длина пути до выхода в лестничную клетку

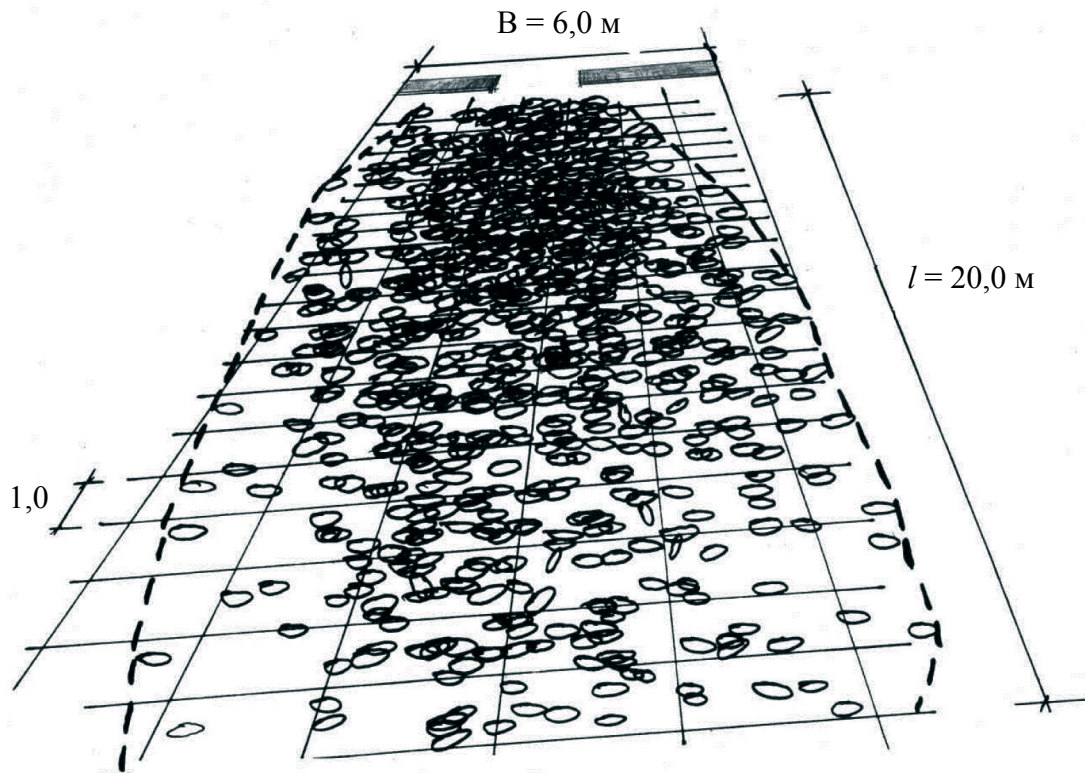


Рис. 6.15. Схема кинограммы движения людского потока численностью 126 человек на участке «неограниченной ширины» [26]

Основными нормируемыми параметрами для коридоров является их ширина, протяженность путей движения и ширина выхода из коридора на лестничную клетку. Как правило, протяженность поставлена в зависимость от расположения помещения – между лестничными клетками или в тупиковом коридоре или холле, и обуславливается плотностью людского потока, степенью огнестойкости и классом функционального назначения здания (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Нормированные значения длины путей эвакуации

Класс функциональной пожарной опасности здания	Расстояние по путям эвакуации от дверей помещений до выхода наружу или на лестничную клетку, не более				Ссылка на пункт норм
	Тупиковый коридор		Между лестничными клетками		
	l_{\min} , М	l_{\max} , М	l_{\min} , М	l_{\max} , М	
Ф1	10	25	20	40	[22] п. 5.4.3
Ф2, Ф3, Ф4	5	30	10	60	[22] п. 7.1.22
Ф5.1, Ф5.2 (склады)	8	30	35	180	[22] п. 9.2.10
Ф5.2 (автостоянки)	20	25	40	60	[22] п. 9.4.3

При определении расстояний не рассматриваются уборные, умывальные, курительные, душевые и другие обслуживающие помещения. При размещении на одном этаже помещений различных категорий расстояние по коридору от двери наиболее удаленного помещения до выхода наружу или в ближайшую лестничную клетку определяется по более опасной категории (по п. 9.2.7 [22]).

Анализ методологии нормирования процесса эвакуации людей показывает, что критерием для определения помещения с выходом в тупиковый коридор и помещения, расположенного между лестничными клетками, является количество направлений для эвакуации. Если из помещения есть лишь одно направление эвакуации, то это «помещение с выходом в тупиковый коридор», два и более – «помещение, расположенное между лестничными клетками».

Вместимость помещений, выходящих в тупиковый коридор или холл, должна быть не более 80 чел. (по п. 7.1.22 [22]), за исключением школ, профессионально-технических и средних специальных учебных заведений I—III степеней огнестойкости высотой не более 4 этажей – не более 125 чел. (по п. 8.2.4 [22]).

Ширина эвакуационных выходов из коридора на лестничную клетку, а также ширина лестничного марша лестницы приведены в табл. 6.3.

**Ширина эвакуационных выходов из коридора на лестничную клетку
(а также ширина лестничного марша)**

Класс функциональной пожарной опасности здания	Количество человек на 1 м ширины эвакуационного выхода из коридора, не более		От чего зависит
	min	max	
Ф2, Ф3, Ф4	80	165	Степень огнестойкости, назначение здания (п. 7.1.20 [22])
Ф5	85	260	Степень огнестойкости здания, класс конструктивной пожарной опасности здания, объем и категория помещения (п. 9.2.12 [22])

В коридорах, за исключением специально оговоренных в нормах случаев, не допускается размещать оборудование, выступающее из плоскости стен на высоте менее 2 м, газопроводы и трубопроводы с горючими жидкостями, а также встроенные шкафы, кроме шкафов для коммуникаций и пожарных кранов (по п. 4.3.3 [22]). 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 (по п. 4.3.4 [22])

6.5. Пути эвакуации по лестницам и пандусам

Третий этап эвакуации (для людей, находящихся на этажах выше или ниже первого) проходит по лестницам, открытым или размещенным в лестничных клетках. Движение людей по лестницам оказывается достаточно опасным даже при эксплуатации зданий в нормальных условиях. В [29] приводятся некоторые статистические данные по США, и говорится, 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»

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 видит и не чувствует край ступени. В отечественной литературе давно отмечалось, что при высокой плотности потока у человека при спуске по лестнице возникает опасение оступиться и упасть [30]. В результате этого, скорость спуска людей по лестнице становится ниже скорости их движения при подъеме, хотя он и требует гораздо больших физиологических усилий, чем спуск. Чем круче лестница, тем сильнее это опасение, особенно у пожилых людей. Причина состоит в неправильно запроектированной геометрии лестницы, когда ступень оказывается мала для правильного шага человека. 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.

В учебной литературе по проектированию зданий правило 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» [31]. Геометрия ступени приведена на рис. 6.16.

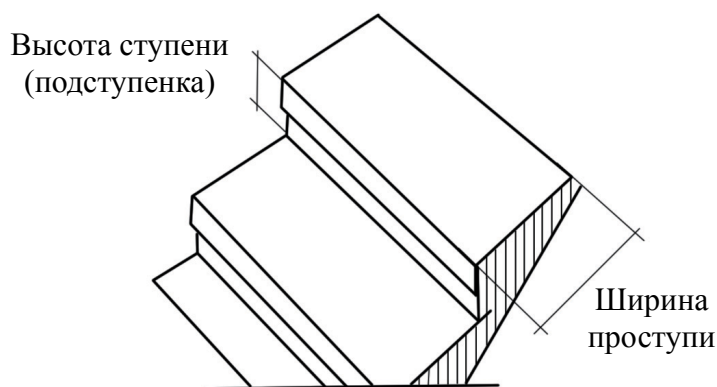


Рис. 6.16. Геометрия ступеней

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

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. 6.4. Определение уклона лестниц и пандусов показано на рис. 6.17.

Таблица 6.4

**Нормируемые значения ширины и уклона
лестниц и пандусов в соответствии с [22]**

Класс функциональной пожарной опасности здания	Ширина лестничного марша, м	Уклон лестницы	Ширина пандуса, м	Уклон пандуса
Ф2, Ф3, Ф4 по СП 1.13130.2009	Не менее ширины выхода с этажа, но не менее 0,9–1,35 м или из расчета 80–165 чел. на 1 марш (п. 7.1.5)	Не более 1:2, до 1:1,5 (п. 7.1.4)	Не менее 1,2 м (п. 7.1.14)	1:12–1:6 (п. 7.1.4)
Ф1 по СП 1.13130.2009	0,9–1,35 (п. 5.3.5)	1:1,5–1:1,2 (п. 5.3.4)	–	1:12–1:6 (п. 5.3.4)
Ф5 по СП 1.13130.2009	0,6 м на 100 чел. эвакуирующихся (п. 9.2.9)	–	Не менее 1,2 м (п. 9.1.5)	–
Общие требования к зданиям и сооружениям по СП 1.13130.2009	0,9–1,35 (п.4.4.1)	Не более 1:1 (п. 4.4.2)	0,7–1,2 (п. 4.3.4)	Не более 1:6 (п. 4.3.4)

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

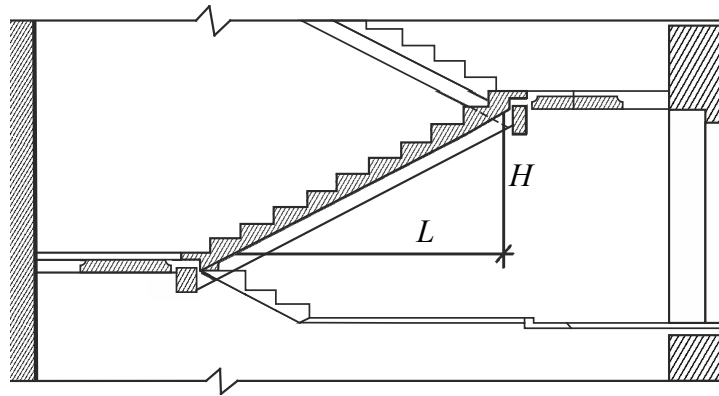


Рис. 6.17. Определение уклона вертикальных путей эвакуации с помощью соотношения H/L . Например, если $H = 1,5$ м, $L = 3$ м, уклон лестницы составляет 1:2

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.

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. 6.18, 6.19): $b_{л.п} \geq b_{л.м}$, а $b_{л.м} \geq b_{вх.л.к}$ [22], так как в противном случае вероятно нарушение условия беспрепятственности движения.



Рис. 6.18. Нарушения на путях эвакуации: ширина марша больше ширины лестничной площадки

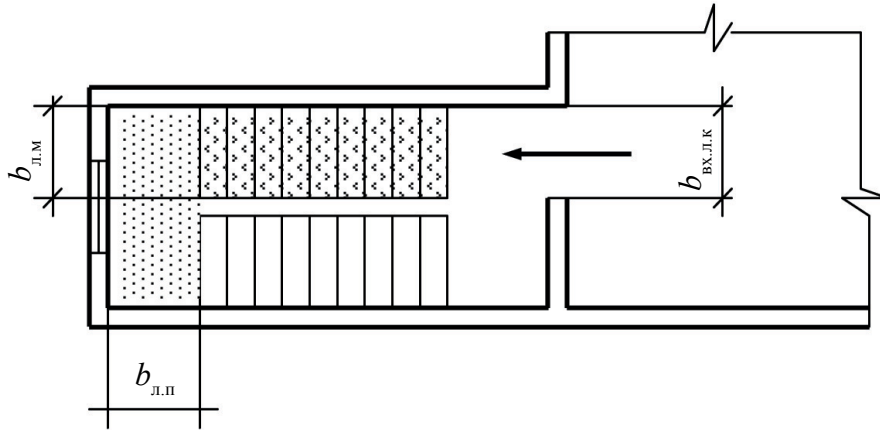


Рис. 6.19. Нормативные требования: ширина лестничного марша $b_{л.м}$, ширина лестничной площадки $b_{л.п}$ и ширина входа в лестничную клетку $b_{вх.л.к}$:
 $b_{л.п} \geq b_{л.м}$, а $b_{л.м} \geq b_{вх.л.к}$

В общественных зданиях широко используются внутренние открытые лестницы. Нормирование их использования для эвакуации приведено в табл. 6.5. Но в стационарах лечебных учреждений открытые лестницы в расчет эвакуации людей при пожаре не включаются.

Таблица 6.5

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. 4.4.10 [22]
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. 4.4.11 [22]

Рассматриваемое проектное решение	Условия допустимости проектного решения	Ссылка на пункт норм
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 ведущих к закрытым лестничным клеткам 	п. 6.2.5 [22]
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. 4. Длину пути по открытой лестницы следует включать в расстояние от наиболее удаленной точки зала до эвакуационного выхода наружу. 	п. 7.2.1 [22]
Внутренняя открытая лестница с цокольного до первого этажа в здании предприятий розничной торговли	<ol style="list-style-type: none"> 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 	

В качестве второго эвакуационного выхода со второго этажа зданий классов Ф1–Ф4 во всех климатических районах допускается использовать наружные открытые лестницы с уклоном не более 60° (для зданий детских дошкольных учреждений не более 45°). Использование таких лестниц запрещено для зданий детских дошкольных учреждений для детей с нарушениями физического и умственного развития, а также детских дошкольных учреждений общего типа III–V степеней огнестойкости и стационаров лечебных учреждений всех степеней огнестойкости.

Такие лестницы должны быть рассчитаны на число эвакуируемых не более:

- 70 чел. – для зданий I и II степеней огнестойкости;
- 50 чел. – для зданий III степени огнестойкости;
- 30 чел. – для зданий IV и V степеней огнестойкости.

Ширина таких лестниц должна быть не менее 0,8 м, а ширина сплошных проступей их ступеней — не менее 0,2 м.

Однако в зданиях класса Ф4.3 допускается использовать наружные открытые лестницы и с этажей, расположенных на более высоких отметках, табл. 6.6 [22, п. 8.3.5].

Эвакуация по наружным открытым лестницам в зданиях класса Ф4.3

Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности	Число эвакуируемых человек с одного этажа здания при высоте расположения этажа			
		до 5 м	до 9 м	до 12 м	более 12 м
I, II	C0	70	40	20	15
II	C1	50	35	15	15
III	C0, C1				
IV	C0, C1				
IV	C2, C3	30	–	–	–
V	Не нормируется				

Применение на путях эвакуации винтовых лестниц, криволинейных, лестниц с забежными ступенями исключается: «на путях эвакуации не допускается устройство винтовых лестниц, лестниц полностью или частично криволинейных в плане, а также забежных и криволинейных ступеней, ступеней с различной шириной проступи и различной высоты в пределах марша лестницы и лестничной клетки (п. 4.3.4 [22]) (рис. 6.20–6.22).

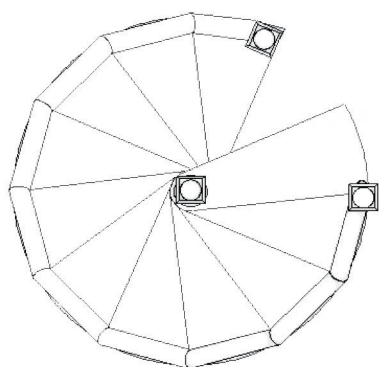
*а**б*

Рис. 6.20. Винтовая лестница:
а – графическое изображение; *б* – фотография

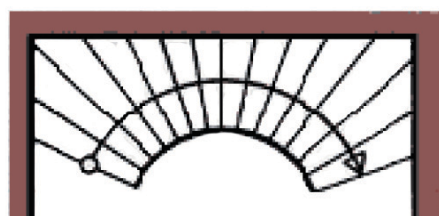
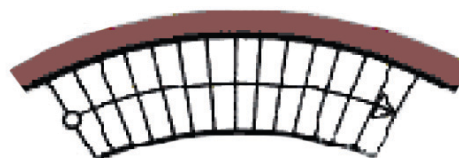
*а**б*

Рис. 6.21. Криволинейные лестницы:
а – одномаршевая криволинейная лестница, размещенная в прямоугольном объеме;
б – одномаршевая криволинейная лестница, расположенная у стены

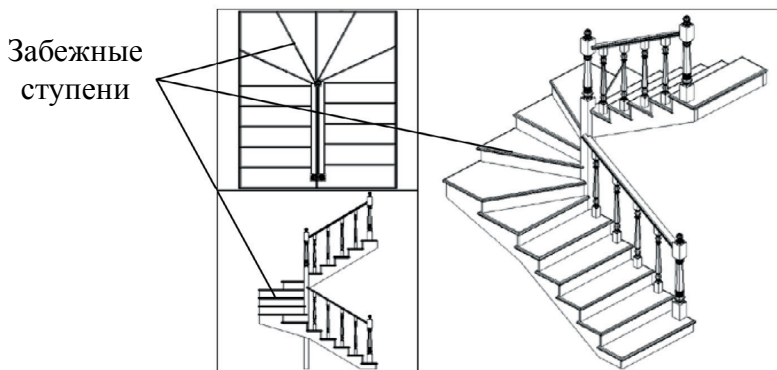


Рис. 6.22. Лестница с забежными ступенями

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 поручней, обеспечивающих устойчивость и координацию движения людей по лестнице. Рекомендациями [32], 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. 6.23.

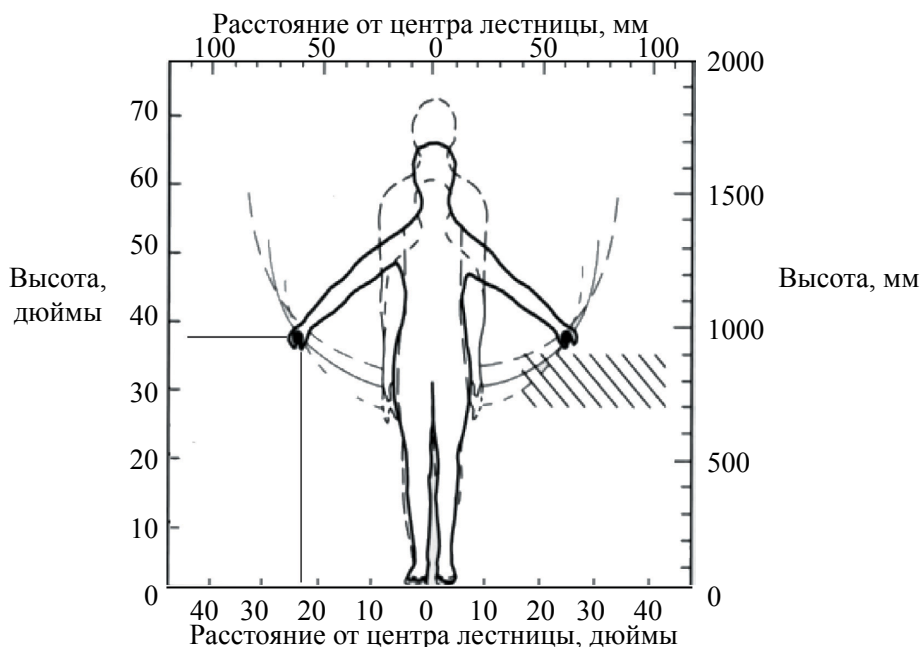


Рис. 6.23. Способности человека достичь и схватить поручень:

- - - взрослый мужчина, обеспеченность 95 %;
- взрослый мужчина, обеспеченность 50 %;
- - - взрослая женщина, обеспеченность 50 %

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 опирания на поручень молодыми и пожилыми людьми. На основании мнений обследованных людей, был сделан вывод о том, что 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, показанные на рис. 6.24.

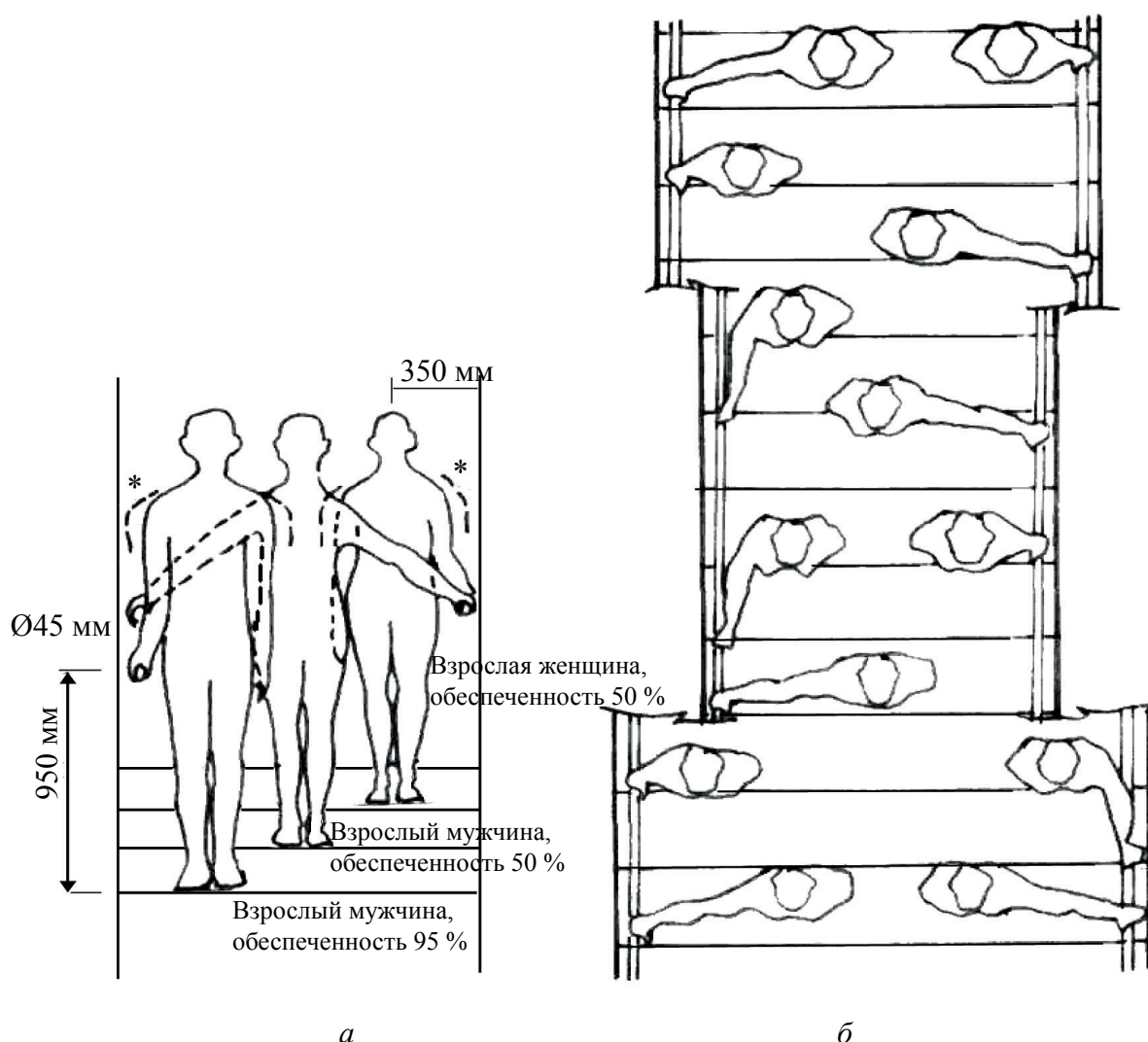


Рис. 6.24. Положение тела на лестнице:
а – фронтальная проекция при расстоянии между поручнями 1200 мм; *б* – план лестницы с расстоянием между поручнями 1550, 1200, 1900 мм; * – раскачивание тела

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» на рис. 6.24. Такая ширина считается хорошим минимумом, так как 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; главное, чтобы каждый человек на лестнице мог держаться за один поручень.

Особенности расположения потока, в котором каждый участник движения может держаться за поручень, отображены на рис. 6.24 б. В плане показаны лестницы с расстоянием между осями поручней 1550, 1200 и 1900 мм, видна также оптимальная плотность потока – 2 чел/м². Среднее расстояние между центром тела и центром поручня, составляющее на рисунке 350 мм, 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) отображает ширину, близкую к максимально рекомендуемой для лестниц при поточном движении; при этом лестница может быть заполнена с оптимальной плотностью, а каждый участник движения имеет возможность держаться за поручень. Значение для наибольшего 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.

Нижняя часть рисунка свидетельствует о том, что лестница чересчур широка. Поток не может ее занять с той же степенью безопасности, как при более узкой лестнице. В этом случае либо образуется разуплотненная зона в середине лестницы, либо люди, идущие по ее центру, 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 [32]. 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 необходима защита от распространения по ним ОФП. Именно поэтому

они размещаются в лестничных клетках, имеющих выход наружу на прилегающую к зданию территорию непосредственно или через вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дверями (рис. 6.25).

Перегородки с дверями, отделяющими коридор от вестибюля

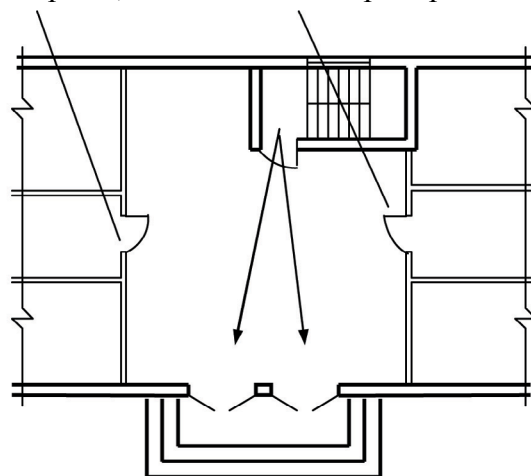


Рис. 6.25. Выход из лестничной клетки в вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дверями

Выходы из подвальных и цокольных этажей, являющиеся эвакуационными, как правило, следует предусматривать непосредственно наружу обособленными от общих лестничных клеток здания. Допускается предусматривать эвакуационные выходы из подвалов через общие лестничные клетки с обособленным выходом наружу, отделенным от остальной части лестничной клетки глухой противопожарной перегородкой 1-го типа (рис. 6.26, 6.27). Эти требования диктуются стремлением не допустить распространения ОФП из подвальных помещений и блокирования, таким образом, путей эвакуации всего здания.

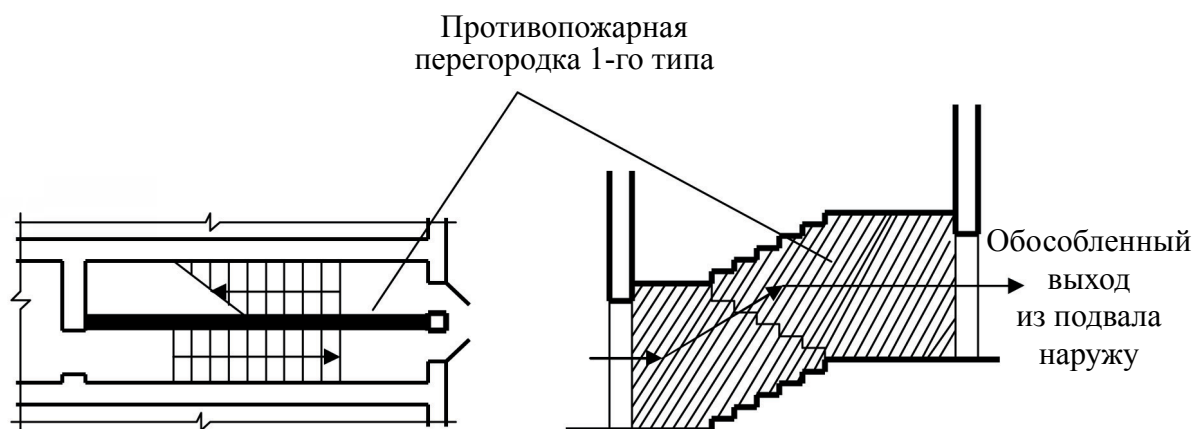


Рис. 6.26. Выход из подвала здания на территорию предусмотрен через общую лестничную клетку с обособленным выходом наружу, отделенным от остальной части лестничной клетки противопожарной перегородкой 1-го типа



Рис. 6.27. Выход из подвала не обособлен от вышележащих этажей

Роль лестничных клеток как места, где проходит третий этап эвакуации всех людей из здания, и в то же время 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: 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.

Несмотря на высокую степень защиты этих типов лестничных клеток от проникновения ОФП (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. Нормы США (NFPA 101 Life Safety Code) допускают использование незадымляемой лестничной клетки как зоны безопасности, но с увеличенными габаритами лестничной площадки (рис. 6.28).

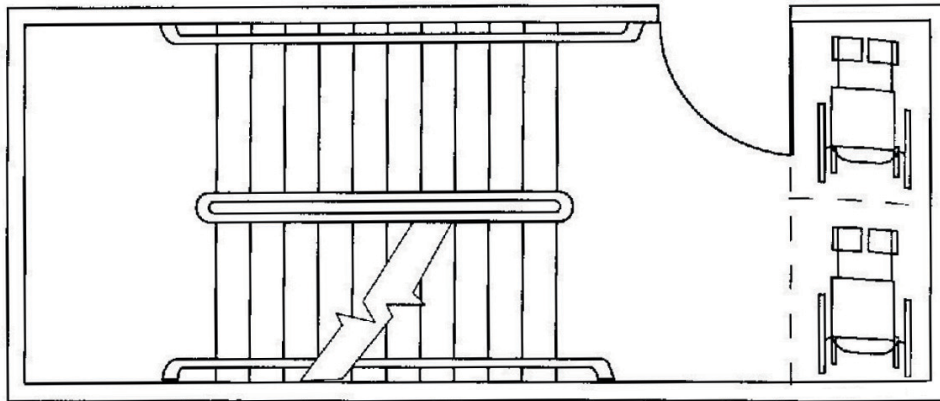


Рис. 6.28. По нормам США использование лестничной клетки как зоны временной безопасности требует увеличения ширины лестничной площадки

Выход людей из лестничной клетки или через вестибюль наружу означает окончание третьего этапа эвакуации из здания. Но этот этап еще не обеспечивает безопасность людей при чрезвычайной эвакуации в здании. Им необходимо еще удалиться от здания на достаточное расстояние, исключаящее возможное воздействие на них вторичных проявлений ОФП – 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.

Для размещения людей, покинувших здание, следует предусмотреть место сбора на прилегающей территории. Четких нормативов по организации таких мест нет, хотя очевидно, что эта зона должна находиться в непосредственной близости к объекту, из которого осуществляется эвакуация, должна быть безопасна, четко обозначена, легко доступна (по возможности, путь к ней не должен пересекать проезжие части, оживленные участки пешеходных улиц) и вместительна для всех эвакуировавшихся. Площадь зоны предлагается определять по следующей формуле:

$$S = \frac{N}{D_{\text{доп}}}, \text{ м}^2, \quad (6.1)$$

где N – количество эвакуировавшихся; $D_{\text{доп}}$ – допустимая плотность людского потока в месте сбора, чел/м².

Для выбора величины $D_{\text{доп}}$ обратимся к данным американских исследователей [33]. На наш взгляд, для данной ситуации допустимо принять уровень комфортности А («свободное движения в зоне ожидания»), при котором плотность людского потока не должна превышать 0,8 чел/м². Тогда, например, при количестве эвакуирующихся 1000 чел., площадь для их размещения должна составлять: $1000/0,8 = 1250 \text{ м}^2$.

6.6. Требования к путям эвакуации для маломобильных групп населения

Ограничения функций организма накладывают свой серьезный отпечаток на особенности жизнедеятельности представителей маломобильных групп населения [34], и, соответственно, ставят особые задачи перед проектировщиками архитектурной среды, в которой осуществляется эта жизнедеятельность.

В зависимости от расчетного числа инвалидов, а также функциональной структуры здания и других параметров рекомендуется предусматривать один из двух вариантов организации пребывания инвалидов, оказывающих принципиальное влияние на проектирование путей эвакуации:

- вариант «А» – доступность для инвалидов любой жилой ячейки в жилище, любого места обслуживания в общественном здании, любого места приложения труда;
- вариант «Б» – выделение в уровне входной площадки специальных помещений, зон или блоков, приспособленных и оборудованных для инвалидов.

Однако при реализации любого из указанных вариантов, необходимо обеспечить *доступность, безопасность, удобство и информативность зданий*. Под безопасностью [35] понимается создание условий проживания, посещения места обслуживания или труда без риска быть травмированным каким-либо образом или причинить вред своему имуществу, а также нанести вред людям, зданию или оборудованию.

Основными требованиями безопасности являются:

- возможность избежать травм, ранений, увечий, излишней усталости и т. п. из-за свойств архитектурной среды зданий (в том числе используемых отделочных материалов);
- возможность своевременного опознавания и реагирования на места и зоны риска;
- отсутствие плохо воспринимаемых мест пересечения путей движения;
- предупреждение потребителей о зонах, представляющих потенциальную опасность;
- пожарная безопасность.

Рассмотрим подробнее требования пожарной безопасности к проектированию путей эвакуации для указанных групп населения.

Одним из наиболее острых вопросов, возникающих при решении задач пожарной безопасности инвалидов, является определение их численности, особенно в случаях, когда предпроектными изысканиями она не установлена. В табл. 6.7 приведены некоторые справочные данные, позволяющие оценить количество людей, для которого требуется создание особой архитектурной среды и режима безопасности.

**Справочные данные о количестве маломобильных посетителей
в помещениях общественного назначения**

Помещение	Количество людей на креслах-колясках	Ссылка
Зрительный зал при количестве мест: 50–75 76–100 101–150 151–200 201–300 301–400 401 и более	3 4 5 6 7 8 9	п. 6.36 СП 35–103–2001
Трибуны спортивно-зрелищных залов	2 % от общей вместимости сооружений плюс 1 место на каждые 100 при вместимости свыше 1000 зрителей, но менее 4 мест	п. 5.18 СП 35–103–2001
Предприятия общественного питания	5 % от количества мест в залах	п. 7.16 СП 35–103–2001
Библиотеки	5 % от общего числа, но не менее 4 специальных мест	п. 6.8 СП 35–103–2001
Лекционные залы и залы собраний	1 % при вместимости залов 50–500 чел.	п. 6.30 СП 35–103–2001
Учебные помещения	1–2 места	п. 2.5 СП 35–103–2001

Примечания.

1) Использование методов натуральных наблюдений и анкетирования позволило установить численный состав посетителей с физическими ограничениями в магазинах Японии [36]. Было установлено, что около 10 % посетителей имеют физические ограничения, влияющие на скорость движения (0,18 % от общего числа – посетители на креслах-колясках), 1,3 % имеют проблемы со зрением и 1,6 % со слухом.

2) Результаты интернет-опроса, проведенного в нашей стране¹¹, показали, что около 13 % проголосовавших считают, что у них «на сегодняшний день есть какие-либо ограничения функций организма, которые затрудняют или ограничат действия при пожаре».

Для обеспечения комфорта и безопасности пребывания маломобильных людей в здании, СП 1.13130 требует проектирования пандусов на путях передвижения инвалидов на колясках внутри и снаружи здания с уклоном не более 1:12.

СП 59.13330 [34] более подробно регламентирует нормативные требования к путям эвакуации для маломобильных групп населения. Ширина

¹¹ Опрос проводился на сайте www.FireEvacuation.ru в марте 2011 – феврале 2012 г. Всего проголосовало 537 человек.

(в свету) дверей из помещений, с числом находящихся в них не более 15 человек должна быть не менее 0,9 м; проемов и дверей в остальных случаях – не менее 1,2 м.

В помещениях места обслуживания и постоянного нахождения МГН должны располагаться на минимально возможных расстояниях от эвакуационных выходов из помещений, с этажей и из зданий наружу, рис. 6.29. При этом рекомендуется проектировать пути эвакуации МГН отдельными от путей эвакуации здоровых людей (по п. 3.41 [34]), что крайне сложно реализуемо на практике.

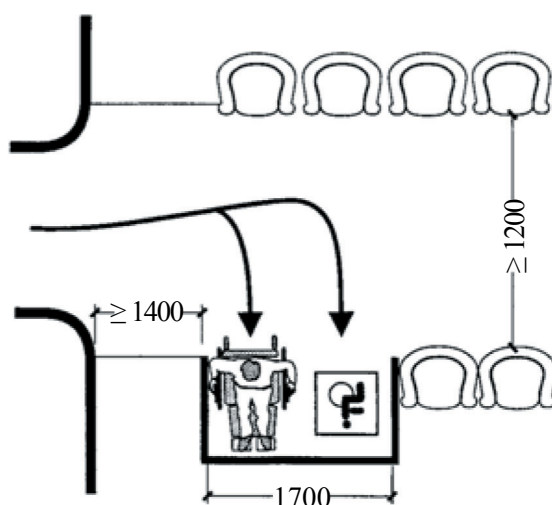


Рис. 6.29. Пример размещения мест для инвалидов на минимально возможном расстоянии от эвакуационного выхода в зрительном зале [34]

Ширина (в свету) эвакуационных проходов внутри помещений должна быть шире, чем для здоровых взрослых людей и составлять не менее 1,2 м, переходных лоджий и балконов – не менее 1,5 м, коридоров – не менее 1,8 м (рис. 6.30).

При разработке архитектурных решений при перепаде высот на путях движения следует иметь в виду, что людям на креслах-колясках, с детскими колясками и ручными тележками удобнее пользоваться пандусами, для людей с недостатками зрения и некоторых групп МГН предпочтительна лестница, а для беременных, немощных и людей с костылями наиболее удобны подъемники [35].

К лестницам и пандусам предъявляются следующие основные требования. Ширина марша лестницы должна быть, как правило, 1,35 м. Для лестницы необходимы более широкие ступени – не менее 0,3 м и более низкие подступенки – не более 0,15 м (рис. 6.31).

В случае устройства пандусов максимальная высота одного подъема (марша) пандуса не должна превышать 0,8 м при уклоне не более 8 %.

перепаде высот пола на путях движения 0,2 м и менее допускается увеличивать уклон пандуса до 10 % (рис. 6.32).

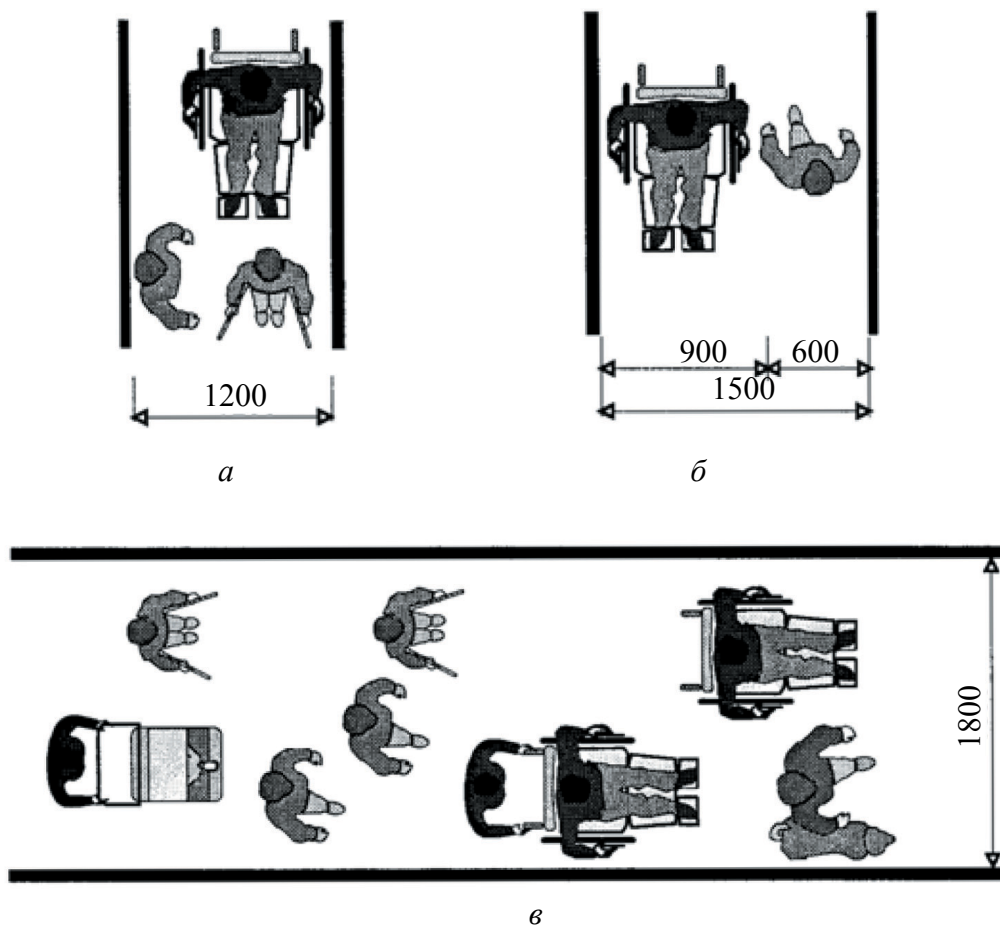


Рис. 6.30. Минимальная ширина путей эвакуации:
а – в помещениях; *б* – переходных лоджий и балконов; *в* – в коридорах

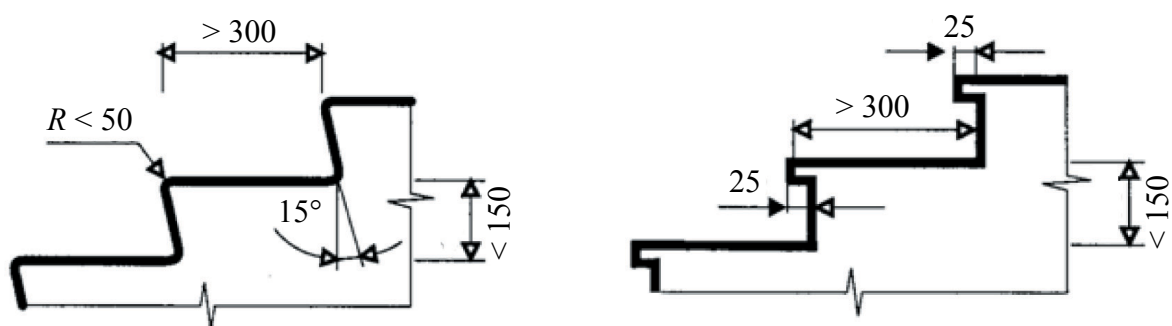


Рис. 6.31. Размеры ступеней для движения маломобильных групп населения [34]

В случае, если маломобильные люди не успевают покинуть здание до наступления критических значений ОФП, для всех неуспевших следует предусматривать пожаробезопасную зону из расчета от 1 до 2,65 м² ее площади на одного человека (см. рис. 6.33).

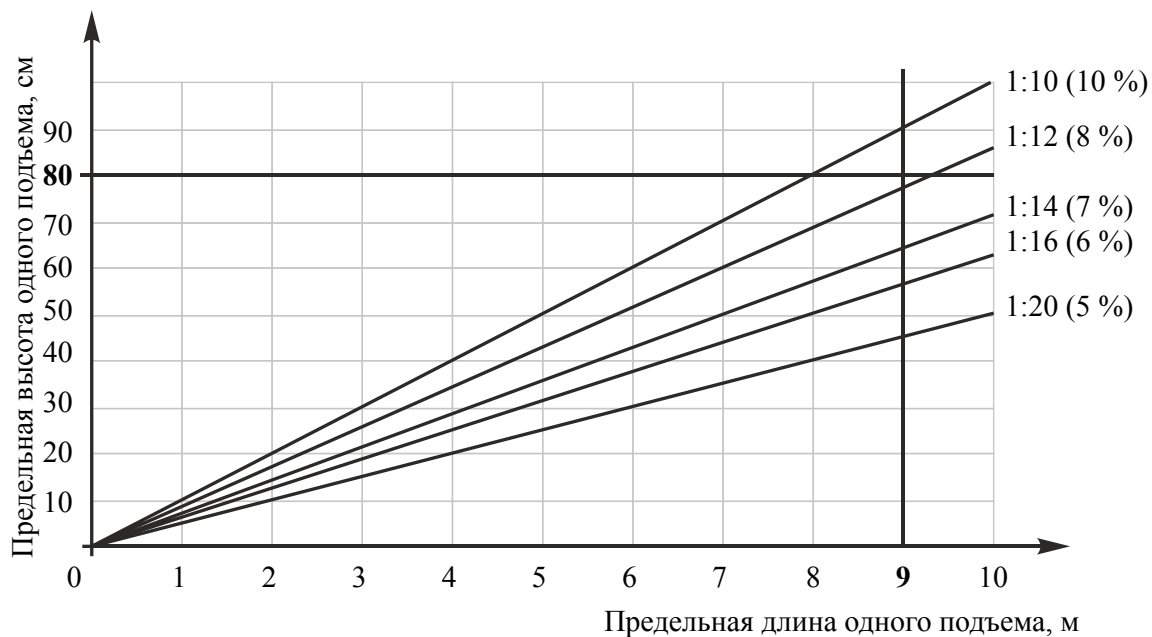


Рис. 6.32. Высота подъема пандуса в зависимости от его уклона [34]

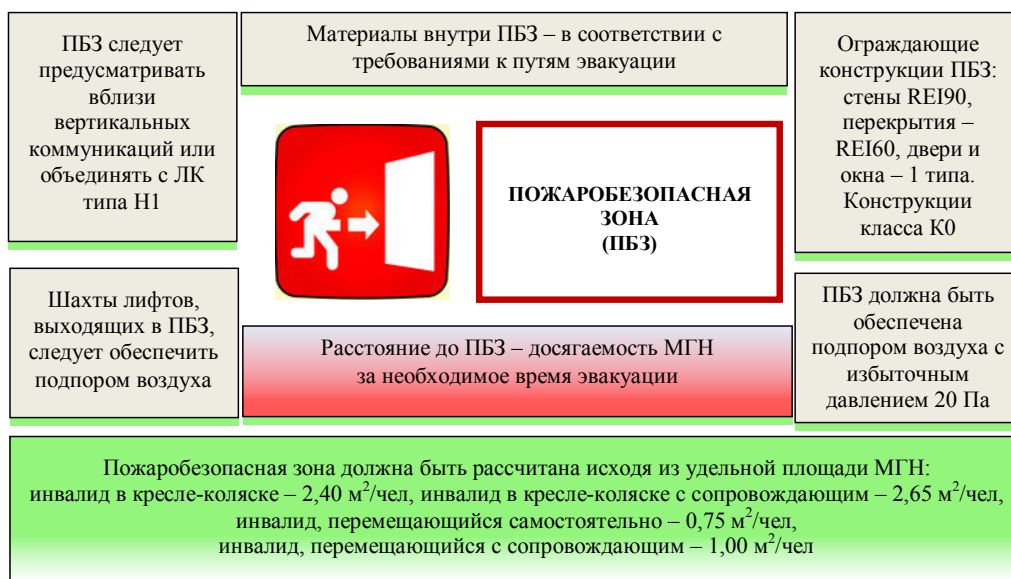
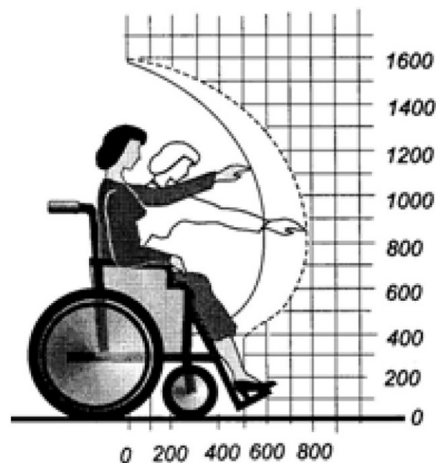
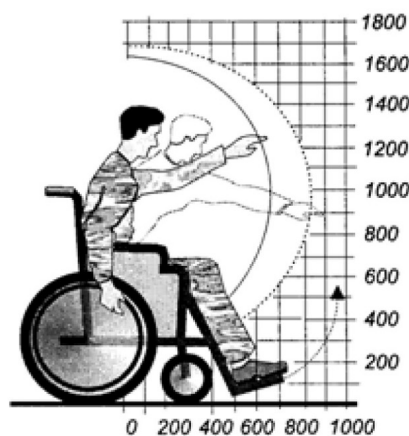
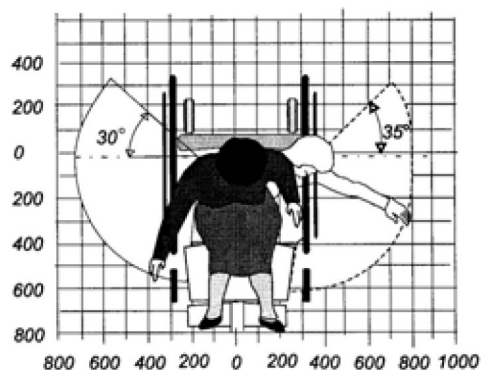
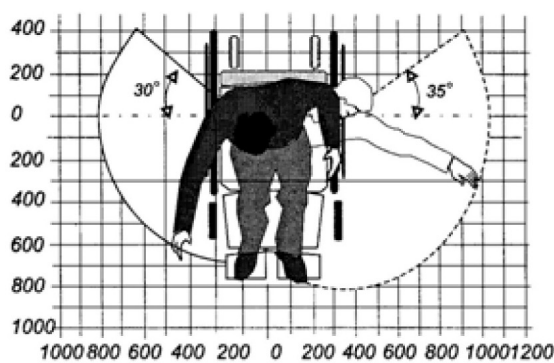
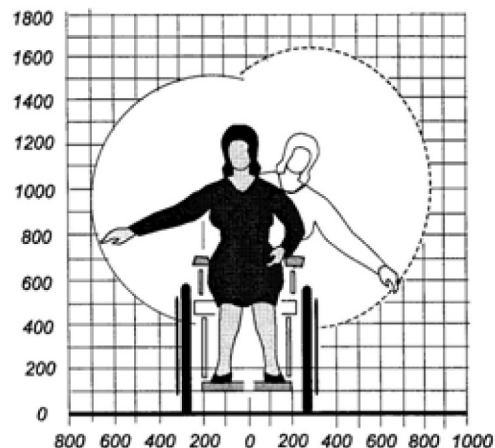
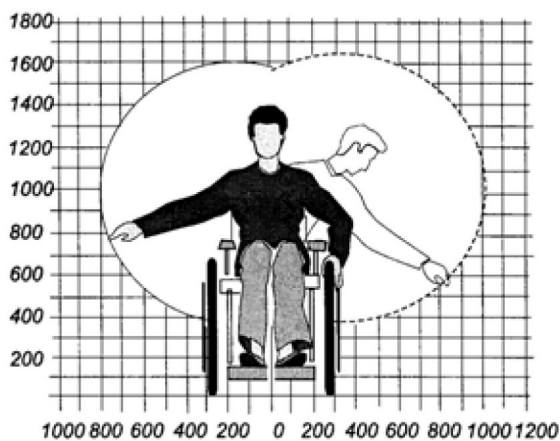


Рис. 6.33. Требования к пожаробезопасной зоне по СП 59.13330

Системы средств информации и сигнализации об опасности должны быть комплексными и предусматривать *визуальную, звуковую и тактильную* информацию. Информирование помещений внутри здания должно дублироваться рельефными знаками и размещаться рядом с дверью, со стороны дверной ручки и крепиться на высоте от 1,4 до 1,75 м [22].

Нормируется размещение приборов для открывания и закрытия дверей, горизонтальных поручней и т. п. Их следует устанавливать на высоте не более 1,1 м и не менее 0,85 м от пола и на расстоянии не менее 0,4 м от боковой стены помещения или другой вертикальной плоскости (рис. 6.34).



a

б

Рис. 6.34. Границы зон досягаемости инвалидов группы мобильности М4 [34]:

a – параметры для мужчин; *б* – параметры для женщин;

— при неподвижном положении; - - - - - при наклоне и движении

Также предписывается применять дверные ручки, запоры, задвижки и другие приборы открывания и закрытия дверей, имеющие форму, позволяющую инвалиду управлять ими одной рукой и не требующую применения слишком больших усилий или значительных поворотов руки в запястье.

На рис. 6.35 представлены минимальные размеры, необходимые для реализации требования СП 1.13130: «во всех случаях ширина эвакуационного выхода должна быть такой, чтобы с учетом геометрии эвакуационного пути через проем или дверь можно было беспрепятственно пронести носилки с лежащим на них человеком». Более подробно особенности эвакуации немобильных людей будут рассмотрены в соответствующих разделах.

Следует также подчеркнуть важное требование п. 13 Правил противопожарного режима РФ о том, что обслуживающий персонал зданий с пребыванием маломобильных людей должен пройти специальное обучение по проведению эвакуации лиц, относящихся к данной категории, по программам, согласованным Федеральной противопожарной службой.

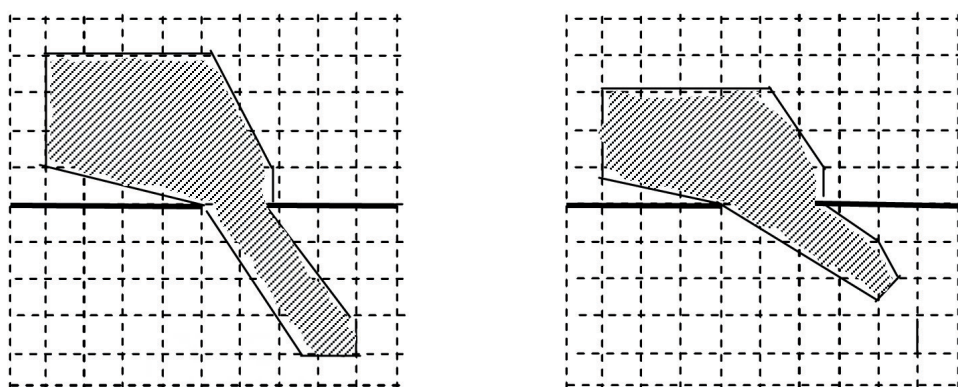


Рис. 6.35. Необходимые габариты пути эвакуации для проноса носилок через эвакуационный выход шириной: $a - 0,8$ м, $b - 1,2$ м.
Шаг сетки на рисунке составляет $0,5 \times 0,5$ м



Рис. 6.36. Примеры замков «Антипаника»

В заключение хотелось бы отметить, что достаточно часто двери эвакуационных выходов, в основном по соображениям безопасности, закрыты на замок. Правила противопожарного режима РФ (п. 35) требуют: «Запоры на дверях эвакуационных выходов должны обеспечивать возможность их свободного открывания изнутри без ключа». Такое решение очень распространено, например, в странах Европы (рис. 6.36).

В нашей стране такой подход получил меньшее распространение, поэтому на наш взгляд оптимальным решением является вариант, показанный на рис. 6.37.



Рис. 6.37. Удачный вариант хранения ключей от запасного выхода

Литература

1. *Беляев С. В.* Эвакуация зданий массового назначения. – М., 1938.
2. Общесоюзные противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий. ОСТ 90015-39 / Комитет по делам строительства при СНК СССР. – М., Л.: Госстройиздат, 1939. – 41 с.
3. Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест Н102-54 / Гос. ком. Совета Министров СССР по делам строительства. – 2-е изд. – М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1955. – 93 с.
4. СНиП П–А.5–70*. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. – М., 1978.
5. СНиП П–Л.2–72*. Общественные здания и сооружения. Общая часть. – М., 1978.
6. СНиП И–М.2–72*. Производственные здания промышленных предприятий. – М., 1978.
7. СНиП И–Л.20–69. Театры. – М., 1969.
8. *Lack K. V.* Means of Escape from Fire in High Building // Municipal Engineer, 1967, № 7.
9. *Холщевников В. В.* Исследование людских потоков и методологии нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. – М.: МИПБ МВД РФ, 1999.
10. Приложение к постановлению Государственного комитета Совета министров СССР по науке и технике от 14.01.1971.
11. *Капустян Е.* Влияние нормативных требований на планировочные решения многоэтажных жилых домов. – СІВ. 1-й Международный симпозиум «Многоэтажные здания», № 21. – М.: ЦНИИЭПжилища, 1972.
12. *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.
13. СНиП 2.08–02–89*. Общественные здания.
14. СНиП 31–03–2001. Производственные здания.
15. СНиП 31–01–2001. Здания жилые многоквартирные.

16. СНиП II–40–80. Метрополитены.
17. СНиП II–77–80. Магазины.
18. СНиП II–90–81. Производственные здания промышленных предприятий.
19. СНиП II–2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений
20. ГОСТ 12.1.004–91*. Пожарная безопасность. Общие требования.
21. Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
22. Свод правил СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.
23. *Калинцев В. А.* Проектирование кинотеатров с учетом движения людских потоков: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1966.
24. *Дувидзон Р. М.* Проектирование спортивных сооружений с учетом движения людских потоков: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1968.
25. *Холщевников В. В.* Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МИСИ, 1983.
26. *Овсянников А. Н.* Закономерность формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных сооружениях: дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Холщевников В. В.). – М.: МИСИ, 1983.
27. Федеральный закон РФ от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
28. СНиП 31–06–2009. Общественные здания и сооружения.
29. *Pauls J.* The Movement of People in Buildings and Design Solutions for Means of Egress // *Fire Technology*, 1984, vol. 20, № 3.
30. *Холщевников В. В.* Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания: дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1969.
31. *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.
32. *Pauls J.* The Movement of People in Buildings and Design Solutions for Means of Egress // *Fire Technology*. – 1984. – Vol. 20. – № 3.
33. *Fruin J. J.* Pedestrian Planning and Design. – Elevator World, 1971
34. СНиП 35–01–2001 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.
35. СП 35–101–2001. Проектирование зданий и сооружений с учетом доступности для маломобильных групп населения. Общие положения.
36. *Hokudo A., Tsumura A., Murosak Y.* An Investigation on Proportion and Capability of Disabled People at Shopping Centres for Fire Safety. Proceedings of Second International Symposium on Human Behavior in fire, 2001, pp.167–174.
37. СП 2.13130.2012. Обеспечение огнестойкости объектов защиты

Глава 7

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ ДЕТЕЙ, ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ И ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

- 7.1. Уязвимые группы населения
- 7.2. Здоровые дети дошкольного возраста и дети с ограниченными возможностями
- 7.3. Параметры движения детей школьного возраста
- 7.4. Люди с поражением опорно-двигательного аппарата, зрения и слуха
- 7.5. Особенности эвакуации престарелых людей при пожаре
- 7.6. Спасение немобильных людей
- 7.7. Некоторые особенности процесса эвакуации беременных женщин

7.1. Уязвимые группы населения

Как уже отмечалось выше, людской поток неоднороден. Несмотря на некоторые отличия в поведении при пожаре взрослых здоровых мужчин и женщин (незначительный разброс средних значений скоростей их движения), в целом можно говорить о том, что эти отличия находятся в некотором условном доверительном интервале, позволяющем рассматривать их как одну группу людей. Эвакуация же детей, престарелых людей и тем более инвалидов существенно отличается от эвакуации взрослых здоровых людей.

Отличительные особенности этих групп людей обусловлены психофизиологическим состоянием их организма. Для детей и подростков это – не сформировавшаяся структура тела, отсутствие необходимого жизненного опыта, особенности психологического восприятия стрессовых ситуаций. Для инвалидов – это особенности пешеходного движения, связанные с необходимостью использования протезов, дополнительных опор, и увеличенное время начала эвакуации. Престарелые люди характеризуются ухудшением зрения и слуха, пониженной мобильностью из-за недостатка физических сил и снижением умственных реакций. Все это позволяет отнести их в особую группу, которую можно назвать «уязвимая группа населения». Количество таких людей в нашей стране крайне велико – 53,1 млн чел. – более одной трети населения (рис. 7.1).

Возрастную уязвимость людей наглядно демонстрирует официальная статистика МЧС России [1] (рис. 7.2), показывающая удельное количество погибших людей различных возрастных групп на 1 млн человек соответствующего возраста.

Как видно, в группах «до 6 лет» и «старше 60 лет» наблюдается значительное количество погибших. Статистика показывает, что количество погибших детей, подростков и престарелых людей составляет около 30 % от общего числа погибших на пожарах. Количество погибших инвалидов в последние годы составляет от 805 (2005 г.) до 1000 человек (2009 г.), то есть около 5–8 % от общего числа погибших на пожарах в год.

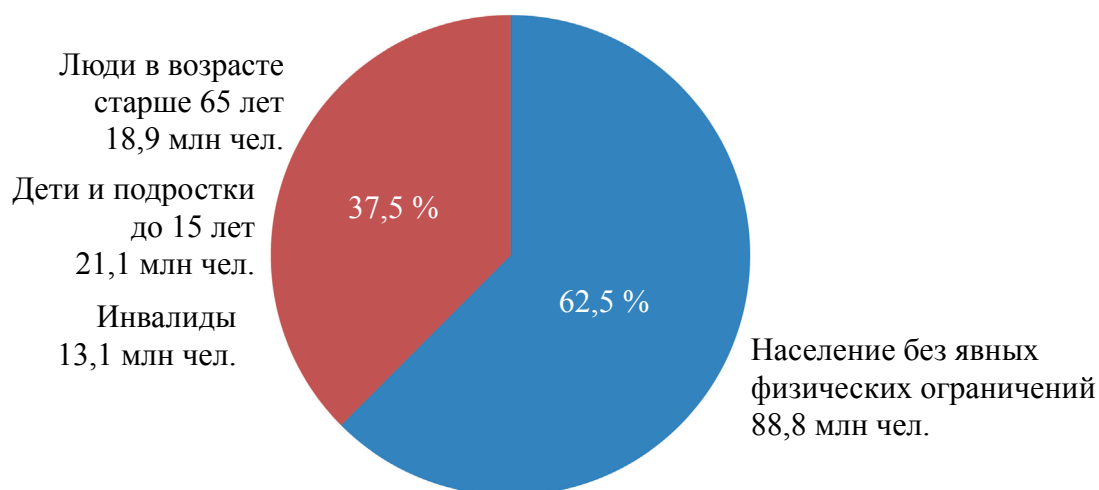


Рис. 7.1. Структура населения Российской Федерации

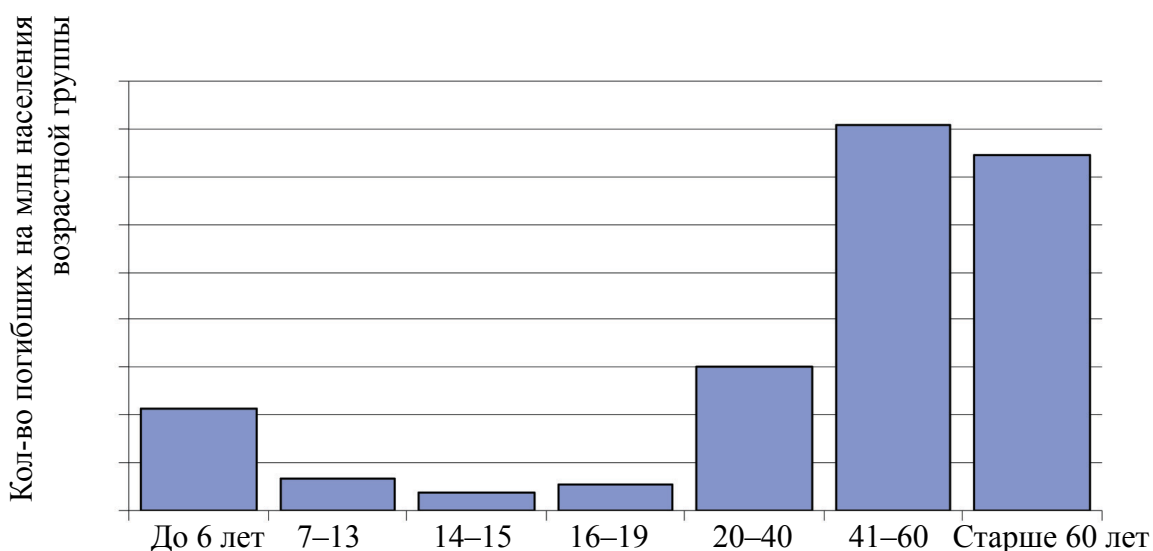


Рис. 7.2. Количество погибших на 1 млн чел. каждой возрастной группы

Одним из факторов, обуславливающих повышенную опасность для указанных групп людей, является их низкая интеграция в общество. Действующие законодательные и нормативные документы постепенно меняют ситуацию к лучшему: стали широко применяться различные технические устройства, способствующие передвижению этих групп

населения по коммуникационным путям, облегчающие для них доступность зданий и сооружений различного назначения. Но одним только техническими мерами ситуацию невозможно скорректировать. Необходимо более глубокий учет психофизиологических особенностей и возможностей поведения этих групп людей, влияющий на повышение уровня их противопожарной безопасности.

К маломобильным группам населения (МГН) относятся люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуги, необходимой информации или при ориентировании в пространстве: инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди преклонного возраста, люди с детскими колясками и т. п. Очевидными особенностями поведения таких людей при пожаре являются:

- сложности в восприятии сигналов о пожаре;
- продолжительный этап подготовки к эвакуации;
- ограниченность совершения действий, направленных на оповещение о пожаре и борьбу с ним;
- низкая скорость передвижения и маневренность;
- высокая утомляемость;
- сложности при движении по наклонным видам пути и существенное влияние конструктивных особенностей эвакуационных путей и выходов на возможность их преодоления.

Результаты ранее проведенных в нашей стране исследований особенностей процесса эвакуации людей с ограниченными возможностями [2, 3] реализованы в СП 59.13330, который выделяет четыре группы мобильности – М1, М2, М3 и М4 (рис. 7.3), для каждой из которых установлены параметры движения.



Рис. 7.3. Классификация людей по группам мобильности в соответствии с СП 59.13330.2012

Однако проведенные впоследствии исследования [4] показали, что у существующей классификации есть определенные недостатки:

- из группы М1 требуется исключение глухих и слабослышащих людей в связи с их пониженной мобильностью;

- группа мобильности М2 перегружена несовместимыми признаками (в одну группу объединены слепые и люди с психическим отклонениями, пожилые люди и инвалиды на протезах) и требует дифференциации;

- группы мобильности М3 и М4 требуют учета возраста человека.

Более того, несмотря на то, что для каждой из групп установлены параметры, характеризующие их поточное движение при продвижении по горизонтальному участку пути, пандусу и лестнице, отсутствуют данные, характеризующие движение через проем (приведены лишь максимальные значения интенсивности), что в целом делает невозможным точную оценку параметров их движения при эвакуации. Следует отметить, что полученные зависимости описывают движение людских потоков, полностью состоящих из инвалидов рассматриваемых групп, и не применимы для смешанных людских потоков.

В следующих разделах главы рассмотрены данные, создающие предпосылки для совершенствования нормативной базы в этой области: проанализированы особенности эвакуации таких людей и рассмотрены факторы, обуславливающие ее успешность или, наоборот, фатальность.

7.2. Здоровые дети дошкольного возраста и дети с ограниченными возможностями

Для снижения риска гибели детей во всем мире разрабатываются и реализуются специальные программы обучения детей мерам пожарной безопасности. Так, специалисты турецкого детского образовательного центра пожарной безопасности и безопасности при землетрясениях (гуманитарный проект турецкой страховой компании) провели цикл обучения безопасности детей дошкольного и школьного возраста [5]. Ими отмечается такая особенность поведения детей при пожаре как склонность прятаться (в шкафу, под кроватью) в случае, если они не видят горения или не понимают, откуда идет дым. Однако, как ни парадоксально, время начала эвакуации у детей (в присутствии взрослого человека) значительно ниже, чем у взрослых людей так как они не склонны собирать вещи (кроме любимой игрушки), тушить пожар и т. п. Тем не менее, в случае, если ребенок один или в компании других детей, такой параметр как «время начала эвакуации» для него неприменим. Поэтому турецкие специалисты подчеркивают, что при эвакуации людей из общественных зданий ключевым параметром является соотношение количества взрослых людей и детей.

Еще одной интересной особенностью является движение через дым: в связи с невысоким ростом детей, блокирование путей эвакуации для них наступает позже.

В результате мониторинга результатов обучения были получены данные о поведении детей при землетрясении (частое для Турции явление): поведение обученных детей значительно рациональней, чем у их неподготовленных сверстников. По мнению авторов статьи, наиболее эффективно противопожарное обучение для детей 7–11 лет.

Специальная программа обучения детей дошкольного возраста *Learn Not to Burn* (Узнай, как не обжечься) работает в США [6]. Основной девиз программы – «Не пугай детей – просто скажи им, что делать». В рамках программы рассказывается об опасности пожара, о мерах безопасности, о действиях при пожаре и т. п. Интересно отметить, что обучив в одном из штатов 1335 детей, американские педагоги пришли к выводу, что всех детей можно разделить на 3 группы: 1-я группа (66,6 %) – склонные к обучению, оно пошло им на пользу; 2-я группа (31,3 %) – дети, не усвоившие программу, но не имеющие психологических или иных отклонений; и 3-я группа (2,1 %) – дети, не усвоившие программу и имеющие психологические или иные отклонения. В результате повсеместного внедрения этой программы (в том числе на французском и испанском языках для различных социальных сообществ) за 7 лет удалось снизить количество пожаров, возникающих по вине детей и подростков с 11,2 % (от общего числа пожаров) до 7,7 %, а также существенно снизить гибель людей на пожарах, возникших по вине детей.

Анализ австралийской статистики гибели детей при пожарах дал показатели, схожие с российскими – дети подвергаются значительно большей пожарной опасности [7]. В жилых домах дети являются и причиной пожара и его жертвами чаще всего в дневное время и выходные дни. Как и в выборке по взрослым людям, жертвами пожара чаще оказываются мальчики. Очень интересный факт отметили австралийские коллеги – в 58 раз возрастает риск гибели окружающих людей в случае, если в опасности будет находиться ребенок (по сравнению с гибелью взрослого человека). Причем фактором, повышающим риск гибели детей, является состояние сна.

Обучению детей правилам пожарной безопасности уделяется большое внимание во всем мире. Авторы работы [8] на основании известных им 77 программ обучения детей (таких как *Project S.A.F.E.*, *Kidsafe* и др.), реализованных в Австралии, разработали программу *Fire Ed*. Ее создатели задались целью не только качественно обучить детей, но и разработать программу таким образом, чтобы дети не забыли информацию в течение длительного времени. Кроме стандартных целей обучения (предотвращение пожара; поведение в задымленном помещении; что делать, если загорелась одежда), в программу включен такой неочевидный аспект как отучение детей от боязни пожарных.

Интересное совместное исследование было проведено бразильскими и японскими специалистами, изучившими уровень противопожарной подготовки и отношения к пожарной безопасности детей 5–8 классов [9]. Важным фактором является то, что в Японии противопожарные учения являются обязательными и проводятся ежегодно, а в Бразилии – рекомендательными и проводятся достаточно редко. Исследование проводилось с помощью анкетирования, в котором приняло участие 127 японских и 186 бразильских школьников. Одним из первых заданий было нарисовать безопасный путь по плану эвакуации. С задачей успешно справились 85 % японских школьников и только 31 % бразильских, что указывает на недостаточную противопожарную подготовку последних. Различия в поведении представлены на рис. 7.4.

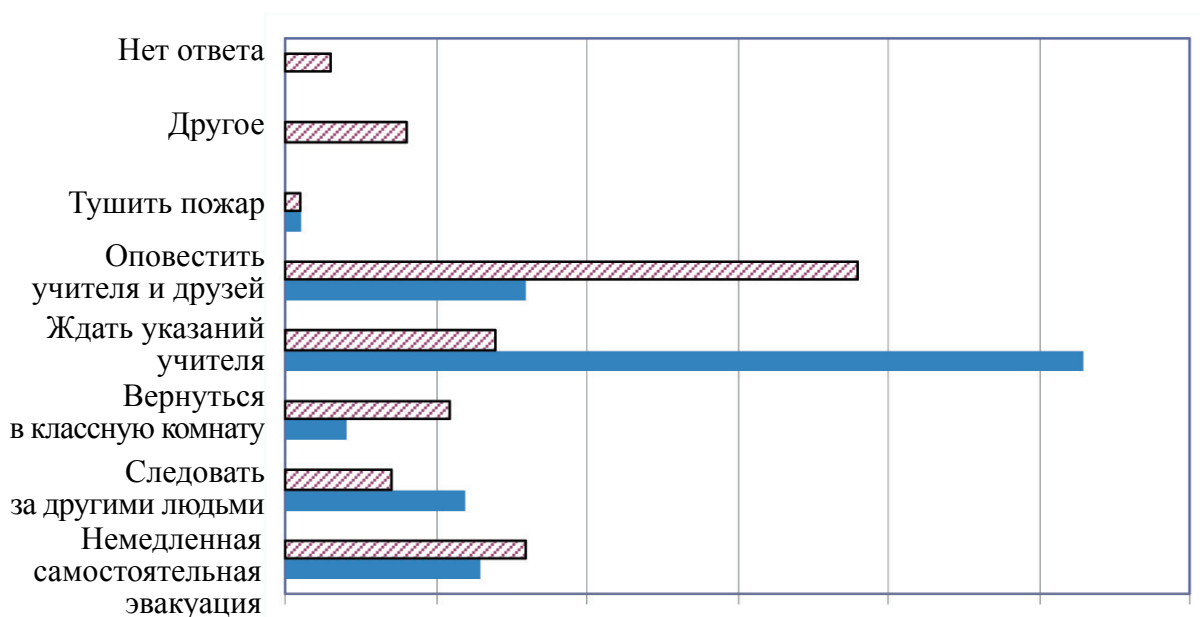


Рис. 7.4. Ответ школьников на вопрос: «Что вы будете делать, если во время перемены начался пожар?»:

■ – японские школьники; ■ – бразильские школьники

Следует отметить, что такая постановка вопроса обусловлена необходимостью оценить индивидуальное поведение школьника, то есть снизить вероятность перекладывания решения на учителя. Обращают на себя внимание несколько принципиальных отличий в поведении: большинство японских школьников (54 %) не станут проявлять инициативу и будут ждать указаний учителя, то есть система подчинения младших старшим доминирует во всех социальных сферах Японии. Менее дисциплинированное, но более инициативное поведение бразильских детей проявляется в большем проценте желающих оповестить о пожаре учителя и друзей (38 % по сравнению с 16 %). Эгоистичное желание немедленно самому удрать во всех группах является примерно одинаковым и небольшим – около 15 %.

Более развернутое исследование поведения бразильских учащихся (участвовало около 800 детей) показало следующее. Ориентирование на плане эвакуации улучшается по мере взросления: этот вопрос вызвал затруднения почти у половины пятиклассников, но уже к 8 классу этот процент снижается до 25 %. Далее учащихся попросили оценить, является ли школа защищенной от пожара: большинство школьников (61–72 %) с этим согласились, однако с возрастом эта уверенность несколько уменьшается. Интересны ответы, связанные с уверенностью в безопасности: «много огнетушителей и гидрантов» и «много коридоров». Один из вопросов анкеты был посвящен обнаружению пожара (рис. 7.5).

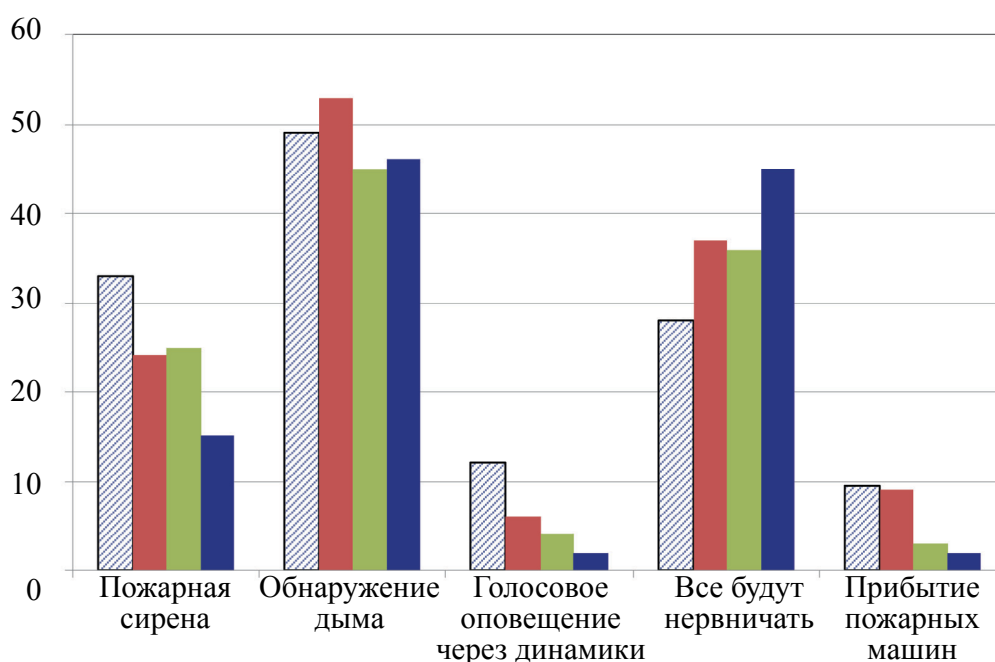


Рис. 7.5. Ответ школьников на вопрос: «Как вы узнаете, что в школе произошел пожар?»
 □ – 5 класс; ■ – 6 класс; ■ – 7 класс; ■ – 8 класс

Рисунок демонстрирует крайне любопытную тенденцию: по мере взросления школьников теряется их доверие к системам противопожарной защиты (пожарная сирена) и ориентирами становятся внешние признаки поведения людей («все будут нервничать»).

Авторами была выявлена одна крайне опасная тенденция – при таком уровне противопожарной подготовки подавляющее большинство школьников не имеют представления об элементарной динамике распространения дыма: куда он будет распространяться: вверх или вниз. Однако 86 % детей уже знают, что при пожаре лифтами пользоваться нельзя.

Отсутствие в российской нормативной базе параметров, характеризующих процесс эвакуации основного функционального контингента

детских садов (в основном это достоверные данные о времени начала эвакуации и параметры, характеризующие движение детей в составе потока), обусловили проведение глубоких исследований в этой области. Например, при нормировании размеров эвакуационных путей и выходов зданий детских дошкольных учреждений специалисты были вынуждены использовать минимальные значения параметров движения людских потоков для взрослых людей [9].

В 2008–2011 гг. сотрудникам учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России впервые удалось провести натурные наблюдения и эксперименты по исследованию времени начала эвакуации и параметров людских потоков, состоящих из детей разных возрастных групп. Целью было установление вероятных значений времени начала эвакуации и научно-обоснованных зависимостей между скоростью и плотностью потоков детей дошкольного возраста при эвакуации из зданий детских садов [10–13].

При исследовании времени начала эвакуации в дошкольных учреждениях натурные наблюдения проводились на каждом из этапов подготовки детей к эвакуации из помещений их постоянного пребывания (групповых ячеек – блока помещений для каждой группы: раздевальной, игровой, буфетной, спальня, туалетной и т. п.). Специфика возрастного состава эвакуирующихся определяет «жесткую» организацию начала эвакуации со стороны воспитателя и определяет его решающую роль в формировании всего периода времени начала эвакуации $t_{нэ}$. Поэтому особое внимание уделялось установлению затрат времени на выполнение таких операций как:

– решение воспитателя: восприятие воспитателем сигнала от СОУЭ (системы оповещения и управления эвакуацией) при неанонсированных (без предварительного предупреждения) эвакуациях, принятие им решения и указания детям готовиться к эвакуации ($t_{р.в}$);

– время подготовки: подготовка группы детей к эвакуации ($t_{под}$).

Таким образом, структура затрат времени на начало эвакуации в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений формируется из следующих составляющих:

$$t_{нэ} = t_{ин} + t_{р.в} + t_{под}, \quad (7.1)$$

где $t_{ин}$ – время инерционности срабатывания системы оповещения.

Анализ результатов пробных наблюдений времени начала эвакуации детей из зданий детских садов выявил весьма большие затраты времени на подготовку группы детей к эвакуации в весенний, осенний и, особенно, в зимний периоды. Это связано, прежде всего, с длительностью одевания детей в уличную одежду (из-за опасения переохлаждения их организма при выходе на улицу в домашней одежде). Поэтому было предложено

при организации эвакуации из детских садов в холодный период года использовать возможность накидывания на детей одеяла (вместо верхней одежды, рис. 7.6), что намного сокращает продолжительность времени начала эвакуации.



Рис. 7.6. Возможные варианты одежды детей для эвакуации:
а – без одевания верхней одежды; *б* – накидывание одеяла;
в – в верхней зимней одежде

При проведении наблюдений в каждой группе было двое воспитателей, под присмотром которых группа из 10–15 детей перемещалась в помещение раздевалки или спальни, где их одевали в одежду или накидывали на них одеяла. Результаты исследований показывают, что затраты времени на подготовку группы детей к эвакуации при каждом из наблюдаемых вариантов ее организации, могут быть приняты равными: 0,6 мин. – летом, 5 мин. – весной (осенью), 7,5 мин. – зимой и 1,1 мин. – при использовании одеял.

Большое влияние времени начала эвакуации $t_{нэ}$ на своевременность эвакуации заставляет обратить внимание на подготовку воспитателей детских садов к оперативным действиям в чрезвычайных ситуациях. При эвакуации во время пожара оно должно быть сокращено до возможного минимума. Но даже достижение минимума этого времени может оказаться недостаточным для обеспечения безопасности детей в помещении очага пожара.

На основании результатов проведенных исследований были разработаны рекомендации и инструкции по подготовке воспитателей детских садов к действиям при организации эвакуации детей. Отзывы, полученные из организаций, использовавших эти рекомендации при проведении тренировочных эвакуаций, показывают, что время эвакуации детей из детских садов удалось сократить вдвое.

В нашей стране есть детские сады, школы-интернаты и прочие подобные учреждения с ночным пребыванием детей. Поэтому при рассмотрении времени начала эвакуации нельзя обойти вниманием поведение детей в ночное время при срабатывании системы оповещения. В работе [14] исследовалось пробуждение 123 детей 5–15 лет в ночное время под действием сирены системы оповещения в жилых домах. Громкость сирены составила от 50 до 80 дБ. Причем расстояние от подушки до оповещателя составило в среднем 5,6 м. В большинстве случаев оповещатель был установлен за пределами спальни, однако положение дверей (открыты или закрыты) не оказало значимого влияния на пробуждения. На рис. 7.7 приведены средние данные по всей выборке, но авторы отмечают, что дети в возрасте 5–10 лет значительно менее склонны к пробуждению.



Рис. 7.7. Реакция детей на сирену тревоги о пожаре в ночное время

В результате анализа было установлено, что самостоятельно просыпаются в ночное время только 22 % детей. Более того, во всех случаях после пробуждения детей всех возрастных групп им сразу требуется внимание, так как сориентироваться в ситуации сложно и они, как правило, не знают, что надо делать.

Расчеты динамики ОФП по полевой модели показывают, что критические уровни их воздействия на людей в помещениях, характерных для групповых ячеек в детских садах, достигаются через 20–30 с. с момента перехода возгорания в стадию пламенного горения. Полученные данные о поведении людей определяют критерии эффективности автоматических систем пожаротушения, которыми должны оборудоваться помещения для обеспечения достаточного времени для эвакуации из них людей.

Эксперименты и натурные наблюдения для исследования параметров движения потока, состоящего из детей дошкольного возраста, проводились

по ставшей уже стандартной методике [15]. Сформированная статистическая совокупность полученных данных использовалась для построения функции, описывающей параметры людского потока. Как уже отмечалось выше, на скорость движения людей в потоке влияют три основных фактора: плотность потока, вид пути и эмоциональное состояние людей. Как показали результаты проведенных исследований, зависимость между параметрами людского потока описывается функцией, имеющей тот же вид, что и для людских потоков других возрастных групп (см. (3.3)).

В результате исследований [13] особенностей движения детей дошкольного возраста, удалось установить параметры их движения в различных эмоциональных состояниях. Параметры, характеризующие данный людской поток, приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Значения величин a и D_0 при движении возрастных групп детей по различным видам пути в зданиях дошкольных учреждений

Вид пути	a	D_0 , чел/м ²
Горизонтальный путь	0,275	0,78
Проем	0,35	1,2
Лестница вниз	0,19	0,64
Лестница вверх	0,275	0,76

Установленные значения скоростей свободного движения для выделяемых категорий движения по видам пути для всех возрастных групп детей приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Скорости свободного движения возрастных групп детей дошкольного возраста по видам пути при категориях движения


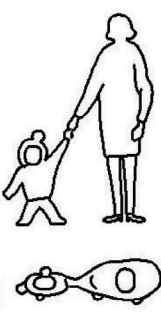



Категории движения	Скорость свободного движения V_0 по видам пути, м/мин	
	Горизонтальный путь, проем	Лестница вниз, лестница вверх
Комфортное	< 40	< 29
Спокойное	40–60	29–47
Активное	60–100	47–84
Повышенной активности	100–190	–

Принятое в отечественном нормировании представление расчетных зависимостей между параметрами людских потоков при выражении плотности D через площадь горизонтальной проекции составляющих поток людей f (м²/чел), требует определения этого показателя и для возрастных

групп детей. Было установлено, что у всех возрастных групп дошкольников площадь горизонтальной проекции отличается незначительно (для младшей группы – 0,0247 м², средней – 0,0282 м², старшей – 0,0325 м²) и может быть принята равной 0,03 м². В принятых единицах измерения значения D_0 по видам пути (табл. 7.1) составят: горизонтальный – 0,023 м²/м²; проем – 0,036 м²/м²; лестница вниз – 0,019 м²/м²; лестница вверх – 0,023 м²/м². Средняя площадь горизонтальной проекции родителей с детьми приведена в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Средняя площадь горизонтальной проекции f_{cp} , м²/чел, родителей с детьми по данным [16]

Женщина с ребенком на руках	Женщина с ребенком за руку	Женщина с ребенком за руку и сумкой	Женщина с ребенком на руках и сумкой	Женщина с коляской
				
$f_{cp} = 0,29 \text{ м}^2$	$f_{cp} = 0,20 \text{ м}^2$	$f_{cp} = 0,32 \text{ м}^2$	$f_{cp} = 0,26 \text{ м}^2$	$f_{cp} = 0,90 \text{ м}^2$

Таким образом, значения всех членов формулы (7.2) определены для всех возрастных групп детей дошкольного возраста при любой из возможных категорий их движения. Федеральный закон Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» рассматривает безопасность в нормальных условиях, при чрезвычайных ситуациях природного происхождения и пожарную безопасность, для обеспечения которых необходима эвакуация людей из зданий. Доминирующее влияние воспитателей на организацию эвакуации детей из зданий детских дошкольных учреждений обуславливает принятие в качестве расчетных зависимостей между параметрами, определяемых категорией «спокойное движение». В таком случае для эвакуации в нормальной эксплуатации здания необходимо принимать значения $V_0^э = 40$ м/мин. При организации превентивной эвакуации в случае заблаговременного предупреждения об угрозе природной чрезвычайной ситуации – $V_0^э = 50$ м/мин., при эвакуации во время пожара – $V_0^э = 60$ м/мин. Данные для расчета параметров движения людского потока при эвакуации приведены в табл. 7.4.

**Расчетные значения параметров людского потока
для детей дошкольного возраста для расчета эвакуации**

Плотность, м ² /м ²	Горизонтальный путь		Проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	<i>V</i> , м/мин	<i>q</i> , м/мин	<i>q</i> , м/мин	<i>V</i> , м/мин	<i>q</i> , м/мин	<i>V</i> , м/мин	<i>q</i> , м/мин
0,01	60,00	0,60	0,60	47,00	0,47	47,00	0,47
0,05	60,00	3,00	3,00	38,36	1,92	47,00	2,35
0,10	35,75	3,58	6,00	32,17	3,22	28,00	2,80
0,20	24,31	4,86	4,80	25,98	5,20	19,05	3,81
0,30	17,62	5,29	4,64	22,36	6,71	13,80	4,14
0,40	12,88	5,15	3,77	19,79	7,92	10,09	4,03
0,50	9,19	4,60	2,37	17,80	8,90	7,20	3,60

Важно подчеркнуть, что значения плотности свыше 0,5 м²/м² в реальности исключены для детских садов, так как фактически эта величина равна 16–17 детей на 1 м², а скопление детей не уплотняется до таких больших величин.

Во всех соответствующих ситуациях решающее значение при проектировании необходимых размеров коммуникационных путей, составляющих до 30 % общей площади общественных зданий, имеет организация движения людских потоков. Но в зависимости от ситуации, ее критерии и требования к ней изменяются. Так, безопасность для пользователей зданий и сооружений при нормальных условиях их эксплуатации определяется, прежде всего, требованиями эргономики и комфорта при спокойном движении людей. При угрозе же опасных природных процессов и техногенных воздействий имеется, как правило, возможность предупреждения о времени их наступления. В этих условиях необходима организация заблаговременной (превентивной) эвакуации из зданий, которая будет происходить при активном движении людей. В ситуациях возникшего пожара эвакуация будет происходить при повышенной активности движения.

Анализ этих положений применительно к зданиям детских дошкольных учреждений показывает следующее. Обследования зданий детских садов свидетельствуют, что размеры ступеней лестниц в них (как в лестничных клетках, так и наружных открытых (рис. 7.8) не соответствуют эргономике движения детей.

Нарушается элементарное правило, установленное более 300 лет назад: сумма удвоенной высоты ступени $2h$ и ширины ее проступи b не должна превышать длины шага l идущего по ней человека. При средней длине шага детей дошкольного возраста 40 см и оптимальном уклоне лестницы 1:2 размеры ступени лестниц для движения детей должны составлять: $h = 10$ см,

$b = 20$ см. В работе [13] были установлены размеры ступеней маршей лестниц, отвечающие эргономике движения детей.

Практически все лестницы имеют перила только вдоль одной стороны марша, в результате чего поток детей вытягивается вдоль этой стороны (рис. 7.9), а дети, идущие рядом, вынуждены опираться на руку ребенка, держащегося за перила.

Эти факты говорят о явном нарушении требований обеспечения безопасности для основных пользователей зданий детских дошкольных учреждений как в нормальных условиях их эксплуатации, так и при возможном возникновении в них чрезвычайных ситуаций.



Рис. 7.8. Эвакуация детей по наружной лестнице [13]



Рис. 7.9. Передвижение детей по лестнице вверх и вниз в нормальных условиях повседневной эксплуатации здания

В настоящее время вопрос детской инвалидности стоит особенно остро как в нашей стране, так и за рубежом. По данным ВОЗ, во всем мире насчитывается около 150 миллионов детей с ограниченными возможностями. В Российской Федерации официально зарегистрировано 568 тысяч детей с какой-либо формой инвалидности. Кроме этого, существует группа детей с так называемыми ограниченными возможностями, не признанных в установленном порядке инвалидами, но имеющих постоянные или временные ограничения функций организма. По разным оценкам, их численность составляет от 1 до 2 миллионов человек. При этом за последние пять лет прослеживается тенденция к росту детской инвалидности как в нашей стране, так и за рубежом.

Дети с ограниченными возможностями являются одной из наиболее уязвимых групп детского населения России, поэтому создание доступной и безопасной среды в зданиях с их постоянным или временным пребыванием является очень сложной и ответственной государственной задачей.

В связи с тем, что до недавнего времени исследований этой проблемы не проводилось, в настоящее время невозможно с требуемой степенью точности гарантировать выполнение условий безопасной эвакуации детей с ограниченными возможностями, и, как следствие, установить геометрические размеры основных эвакуационных путей и выходов в зданиях с их пребыванием. Более того, не представляется возможным сегодня решить проблему обеспечения безопасности детей с ограниченными возможностями при пожаре, руководствуясь существующими нормативными документами в данной области.

Есть отдельные данные о необходимых эргономических пространствах для детей-инвалидов (например, в СП 35-117-2006), характеризующих доступность здания и создание в нем необходимых для комфорта условий, однако их явно недостаточно для нормирования размеров эвакуационных путей и выходов. В связи с недостатком данных в области безопасной эвакуации детей с ограниченными возможностями, в период с 2013 года по 2015 года Слюсаревым С. В. (Академия ГПС МЧС России) проводились натурные наблюдения и эксперименты в стационарных учреждениях социального обслуживания разных типов в зависимости от инвалидности детей по устоявшейся методике (рис. 7.10) [17]. Всего в экспериментах приняло участие около 1000 детей и подростков из различных домов-интернатов для инвалидов в возрасте от 4 до 17 лет.

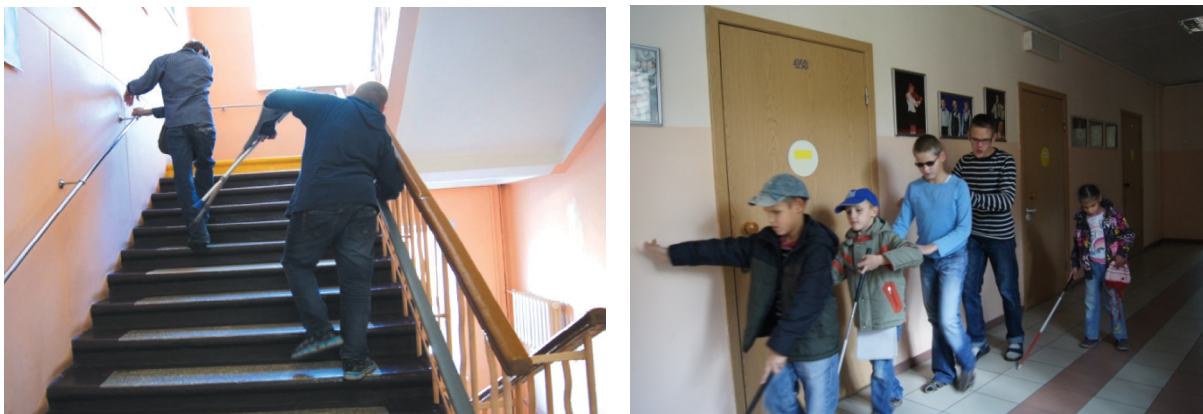


Рис. 7.10. Проблемы эвакуации детей с ограниченными возможностями
а – движение детей с ПОДА по лестнице;
б – движение детей с нарушениями органов зрения по коридору

В настоящее время выделяется четыре основных блока заболеваний: с поражением опорно-двигательного аппарата, умственно-отсталые дети, дети с недостатками слуха и дети с недостатками зрения. В ходе обработки полученных эмпирических данных было установлено, что каждая группа детей характеризуется своими особенностями в процессе эвакуации. Дети с поражением опорно-двигательного аппарата очевидно имеют повышенные габариты (за счет использования дополнительных опор) и пониженную скорость движения. Однако наибольшие сложности отмечаются при движении по лестнице. В ходе экспериментов отмечалось отбрасывание костылей и кресел-колясок с целью дальнейшего движения по лестнице ползком. Скорость движения в таком случае составляет всего 5 м/мин.

Говоря об умственно-отсталых детях, следует отметить, что несмотря на отсутствие внешних признаков дисфункций организма, они при движении практически не маневрируют, по-видимому, это связано с низким уровнем тревожности. Однако в случае стрессовой ситуации у таких детей отмечаются две крайности поведения: чрезвычайно эмоциональная эвакуация с высокими скоростями движения, либо отказ от эвакуации, и в таком случае детей надо выносить тем или иным способом.

Интересные данные были получены при экспериментальной эвакуации из детского дома для слепоглухих детей в городе Сергиев-Посад. Движение детей с недостатками зрения неуверенное, часто настороженное и нескоординированное, отмечается неравномерность ходьбы, практически отсутствует бег. Неоднократно были выявлены случаи наталкивания на посторонние предметы, особенно при переходах через эвакуационные выходы, движении по горизонтальным эвакуационным путям. Наименее проблематично процесс эвакуации проходит у детей с недостатками слуха, но основная сложность заключается в их оповещении при возникновении пожара.

Из всего многообразия полученных результатов для решения практических задач удалось получить необходимые данные для определения расчетного времени эвакуации из зданий с пребыванием детей с ограниченными возможностями (табл. 7.5).

Таблица 7.5

**Расчетные значения параметров людского потока
для детей дошкольного возраста для расчета эвакуации**

$D, \text{ м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальный путь		Проём	Лестница вниз		Лестница вверх	
	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м/мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м/мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м/мин}$
0,01	50,59	0,51	0,47	23,33	0,23	19,94	0,20
0,05	50,59	2,53	2,34	23,33	1,17	19,94	1,00
0,1	45,72	4,57	4,37	21,96	2,20	18,85	1,88
0,2	35,63	7,13	6,79	18,54	3,71	14,67	2,93
0,3	29,72	8,92	8,47	16,54	4,96	12,23	3,67
0,4	25,54	10,21	9,67	15,12	6,05	10,50	4,20
0,5	22,29	11,14	10,51	14,02	7,01	9,16	4,58
0,6	19,63	11,78	11,07	13,12	7,87	8,06	4,83
0,7	17,39	12,17	11,40	12,36	8,65	7,13	4,99
0,8	15,44	12,35	11,52	11,70	9,36	6,33	5,06
0,9	13,73	12,36	11,47	11,12	10,00	5,62	5,05

Примечание. Площадь горизонтальной проекции – 0,15 м²/м².

В настоящее время продолжается работа по определению времени начала эвакуации из различных помещений в стационарных учреждениях социального обслуживания для детей с ограниченными возможностями различных групп.

7.3. Параметры движения детей школьного возраста

Для исследования параметров движения людских потоков, состоящих из детей школьного возраста, в 1974 году с помощью метода киносъемки были проведены натурные наблюдения в пятнадцати общеобразовательных средних школах [18]. Данное исследование впоследствии стало основой кандидатской диссертации [19]. Полученные данные, характеризующие площадь горизонтальной проекции школьников, приведены в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Площадь горизонтальной проекции детей и подростков

Возрастная группа, вид одежды	Толщина тела, a , м	Ширина тела, c , м	Площадь горизонтальной проекции, f , м ²	Площадь горизонтальной проекции со школьной сумкой, f_1 , м ²
Младшая (1–3 классы)				
– школьная	0,32	0,17	0,04	0,07
–уличная демисезонная	0,34	0,19	0,05	0,08
– уличная зимняя	0,36	0,21	0,06	0,09
Средняя (4–7 классы)				
– школьная	0,38	0,20	0,06	0,10
– уличная демисезонная	0,40	0,22	0,07	0,11
– уличная зимняя	0,42	0,24	0,08	0,12
Старшая (8–10 классы)				
– школьная	0,43	0,22	0,08	0,14
– уличная демисезонная	0,45	0,24	0,09	0,15
– уличная зимняя	0,48	0,26	0,10	0,16

Примечания.

1) Площадь горизонтальной проекции школьной сумки принята для детей младшего возраста 0,035 м², старшего – 0,055 м².

2) Для выполнения расчетных оценок рекомендовано использовать среднюю площадь проекции, равной 0,11 м² (50 % детей средне-старшего возраста со школьными портфелями).

Результаты статистической обработки экспериментальных данных в интервалах плотности, описывающие средние значения скоростей движения детей различных возрастных групп, приведены на рис. 7.11–7.13. Они получены как числовые характеристики случайной величины скорости в соответствующих интервалах плотности. О характере изменения ее стандартного отклонения с увеличением плотности потока можно судить по данным рис. 7.14.

Проведенная работа позволила установить особенности движения людского потока, состоящего из детей и подростков, в зданиях школ, что дало возможность обоснованно решать задачи проектирования зданий указанного назначения. Однако, по всей видимости, полный комплекс исследований осуществить не удалось: такой вид пути как дверной проем остался неохваченным наблюдениями; результаты исследования движения старшей возрастной группы по лестнице не приводятся. Это диктует необходимость продолжения исследований в школьных зданиях.

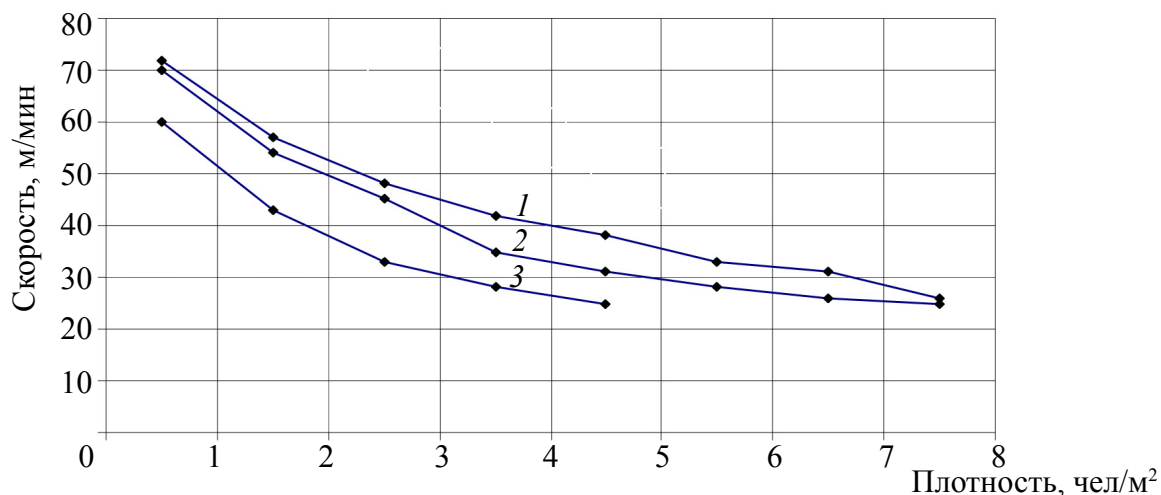


Рис. 7.11. Эмпирические зависимости скорости от плотности при движении потоков детей разных возрастных групп по горизонтальному пути:
1 – младшая группа; 2 – средняя группа; 3 – старшая группа

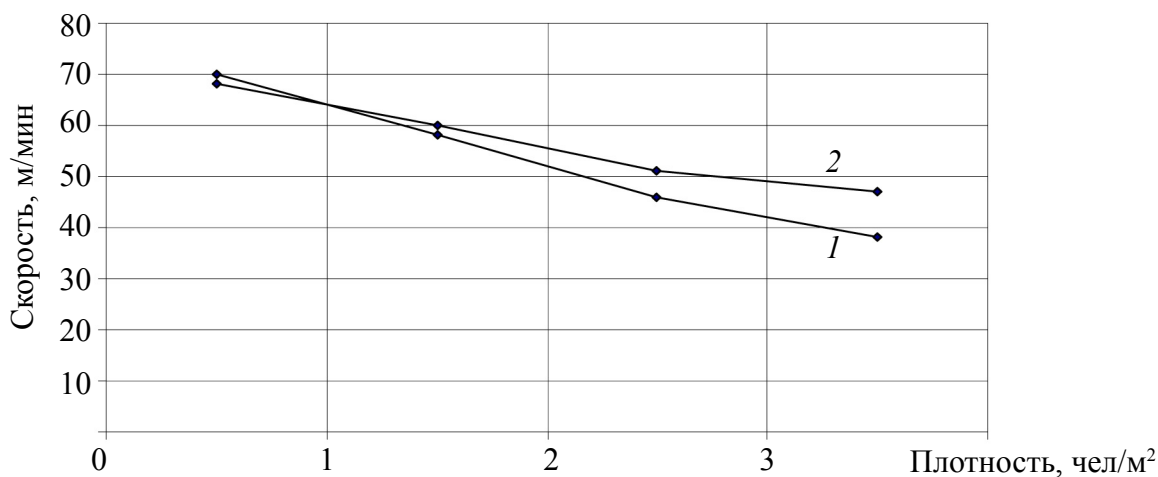


Рис. 7.12. Эмпирические зависимости скорости от плотности при движении потоков детей разных возрастных групп по лестнице вниз:
1 – младшая группа; 2 – средняя группа

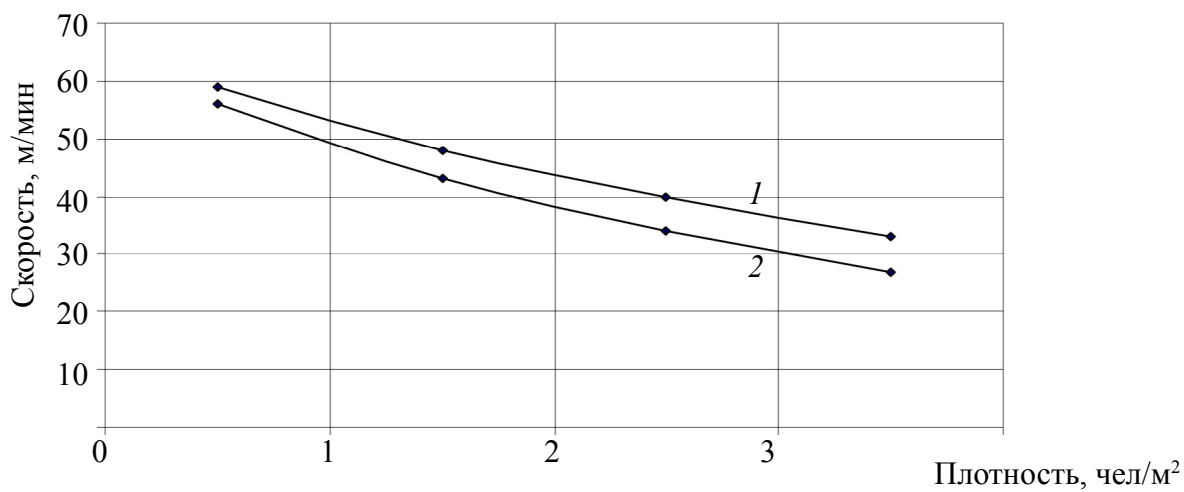


Рис. 7.13. Эмпирические зависимости скорости от плотности при движении потоков детей разных возрастных групп по лестнице вверх:
1 – младшая группа; 2 – средняя группа

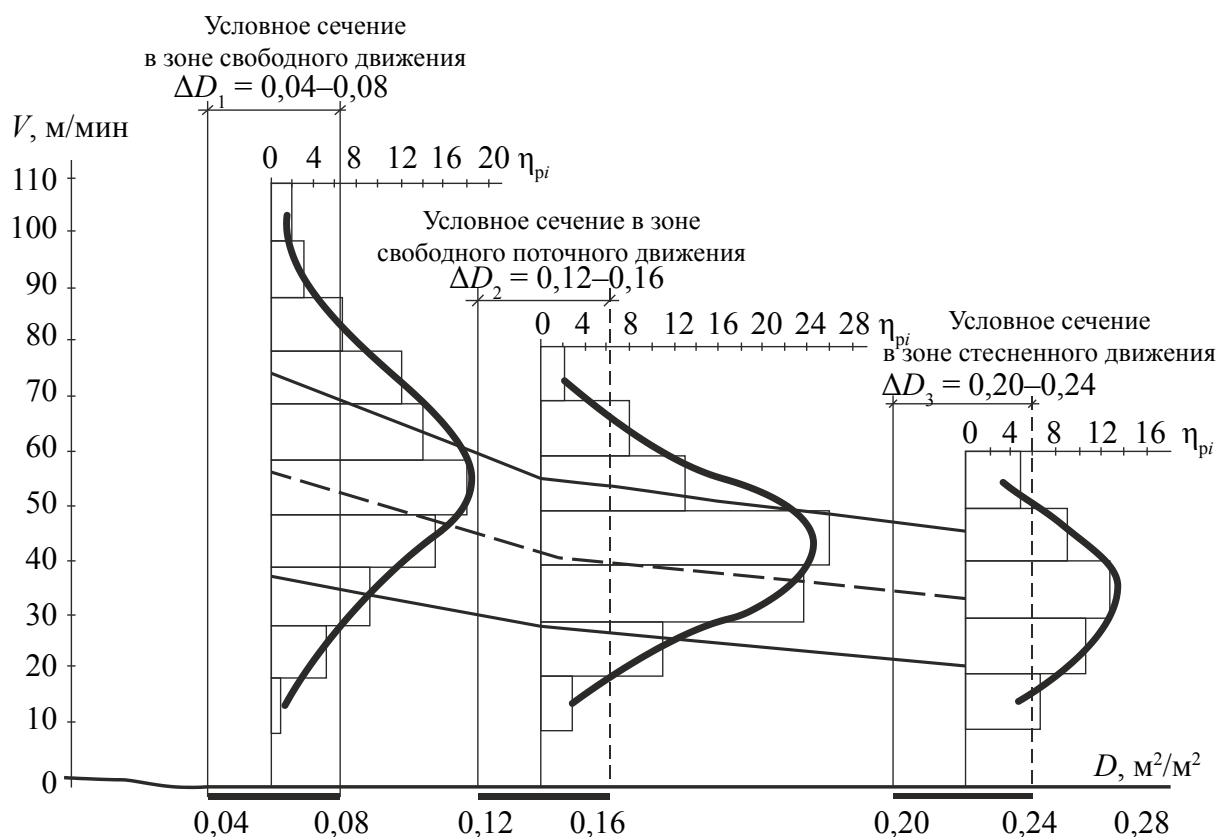


Рис. 7.14. Проверка нормальности распределения скорости движения для горизонтальных путей (младшая возрастная группа) методом χ^2 (хи-квадрат)

Обнаруженные эмпирические зависимости были теоретически описаны [20–22] с высокой точностью при их описании случайной функцией при значениях входящих в нее величин:

- для горизонтального пути и для лестницы вниз: $a = 0,295$, $D_0 = 0,0465$;
- для лестницы вверх: $a = 0,305$, $D_0 = 0,0534$.

Многолетние личные наблюдения авторов показывают, что в целом школьники 4 классов и старше имеют скорости движения не ниже, а порой и выше, чем у взрослых людей (без физических ограничений). Именно поэтому дальнейшие оценки были выполнены для этой возрастной группы, которую и представляется целесообразным использовать в качестве расчетной для оценки критериев безопасности при пожаре.

Следует подчеркнуть, что натурные наблюдения были проведены в нормальных условиях эксплуатации здания. Опираясь на приведенные экспериментальные данные [18, 19] а также на теорию, основанную на зависимости вероятности крайних членов выборки и скоростей движения на основе двойного показательного закона, было построено эмпирическое распределение максимальных значений скоростей движения людей и соответствующих им вероятностей. Затем, с учетом закона о невозможности превышения максимальным членом выборки ее удвоенного среднего

значения, появилась возможность перейти от максимальных значений к средним и связать скорость движения с уровнем эмоционального состояния:

$$V_0^3 = 55,41 - 3,24 \ln[-\lg(0,1 + 1,284\Theta)], \quad (7.2)$$

$$V_0^3 = 43,56 - 4,18 \ln[-\lg(0,1 + 1,284\Theta)]. \quad (7.3)$$

В результате было установлено, что для горизонтального пути и лестницы вниз (7.2) минимальные значения V_0 составляют 70 м/мин (диапазон 70–80 м/мин), а для лестницы вверх (7.4) V_0 – 62 м/мин (диапазон 62–75 м/мин).

В работах [18, 19] не исследовано движение детей-школьников через дверной проем. Опираясь на тот факт, что интенсивность движения через дверной проем, как правило, более чем на 15 % выше, чем при горизонтальном пути, можно рекомендовать зависимости для оценки расчетного времени эвакуации детей и подростков из школьных зданий при пожаре, приведенные в табл. 7.7.

Таблица 7.7

Расчетные зависимости между параметрами движения детей школьного возраста

Вид пути	Горизонтальный путь, лестница вниз		Дверной проем	Лестница вверх	
	V , м/мин	q , м/мин	q , м/мин	V , м/мин	q , м/мин
0,01	70,0	0,7	0,8	62,0	0,6
0,02	70,0	1,4	1,6	62,0	1,2
0,03	70,0	2,1	2,4	62,0	1,9
0,04	73,1	2,9	3,4	62,0	2,5
0,05	68,5	3,4	3,9	62,0	3,1
0,06	64,7	3,9	4,5	59,8	3,6
0,07	61,6	4,3	5,0	56,9	4,0
0,08	58,8	4,7	5,4	54,4	4,3
0,09	56,4	5,1	5,8	52,1	4,7
0,10	54,2	5,4	6,2	50,1	5,0
0,15	45,8	6,9	7,9	42,5	6,4
0,20	39,9	8,0	9,2	37,0	7,4
0,25	35,3	8,8	10,1	32,8	8,2
0,30	31,5	9,5	10,9	29,4	8,8
0,35	28,3	9,9	11,4	26,4	9,3
0,40	25,6	10,2	11,8	23,9	9,6
0,45	23,1	10,4	12,0	21,7	9,8
0,50	21,0	10,5	12,0	19,7	9,9

7.4. Люди с поражением опорно-двигательного аппарата, зрения и слуха

Государственные органы власти большинства стран проводят расширяющийся круг мероприятий (включая и научные исследования) в области архитектурно-строительных решений зданий и сооружений, обеспечивающих их доступность для инвалидов в целях предоставления возможности людям с нарушениями функций организма использовать среду обитания наравне со здоровыми людьми. Требования, диктуемые этими мероприятиями, затем переходят в нормативную систему в виде документов, в форме которых она реализуется в текущий период ее развития. Однако в нашей стране, как и в зарубежных странах, остается открытым вопрос о том насколько принятые решения удовлетворяют возможностям и потребностям инвалидов различных категорий, доступности посещаемых ими зданий различного функционального назначения, их желанию принимать наравне со здоровыми людьми действия, направленные на повышение собственной безопасности в случае возникновения пожара. Выяснению различных аспектов этого вопроса были посвящены исследования сотрудников учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России, проведенные в 2012 году путем анкетирования членов Всероссийского общества инвалидов, Всероссийского общества глухих и Всероссийского общества слепых [23].

В опросе приняло участие 422 инвалида с ограничениями по зрению (из них 17,4 % полностью слепые), слуху (37,5 % с полной потерей слуха) и с нарушениями опорно-двигательного аппарата (28,8 % использующих кресла-коляски и 13,8 % передвигающихся с помощью двух костылей) из разных городов России.

Группа инвалидности характеризует степень поражения той или иной функциональной системы организма и определяет степень риска не суметь эвакуироваться из здания при пожаре при известном или неизвестном для человека маршруте эвакуации. Очевидность этого для людей, имеющих нарушение зрения, следует из данных, полученных по результатам проведенного анкетирования (табл. 7.8).

Опрос слепых и слабовидящих людей показал, что для изучения нового маршрута движения (эвакуации) им необходимо 2–3 раза пройти его совместно со зрячим человеком, затем один раз самостоятельно, но под контролем. Лишь после этого у них появляется возможность самостоятельного использования нового для них маршрута.

На вопрос о первых действиях при пожаре многие слепые и слабослышащие люди ответили, что дождутся «мастера» (зрячего человека) и под его руководством покинут здание. Невозможность использования

известного пути эвакуации и большая сложность ориентирования на незнакомой территории ведут к тому, что некоторые даже не будут пытаться самостоятельно выбраться из здания. Так, один из респондентов заявил: «если выход заблокирован, выпрыгну из окна».

Таблица 7.8

Оценка возможности эвакуации в зависимости от изученности пути эвакуации для инвалидов различных групп по зрению

Известность пути эвакуации	Группа инвалидности			Всего от общего числа опрошенных
	1	2	3	
Не способны самостоятельно эвакуироваться по известному пути движения	31,3 %	11,0 %	7,9 %	17,6 %
Не способны самостоятельно эвакуироваться по неизвестному пути движения	79,4 %	56,0 %	37,5 %	60,4 %
Способные самостоятельно эвакуироваться	20,6 %	44,0 %	62,5 %	39,6 %

Неожиданно было установить, что значительное число людей с поражением слуха имеют сложности с ориентированием в здании (43,5 %) и пониженную скорость движения (50,9 %). Оказалось, что основной проблемой, с которой сталкиваются глухие и слабослышащие люди, является, по их словам, «информационный голод», связанный с отсутствием (ограничением) звуковой информации, поступающей из внешнего мира (шумы и сигналы). В анкетах 51,6 % указали, что ограничение слуха влияет на скорость движения, снижая ее значения. Анализ ответов показал, что основной причиной для этого является «необходимость крутить головой на 180°», чтобы не пропустить какую-либо информацию.

Еще одной причиной снижения скорости движения слабослышащих и глухих людей является желание избежать нежелательного контакта с другими пешеходами. Опрошенные отмечали, что не слышат шагов и других звуков, сопровождающих движение, как следствие, они сами становятся помехой для окружающих и их часто «толкают люди». Более того, многие указали, что наибольший дискомфорт они испытывают при движении по относительно узким участкам пути, на которых по указанной выше причине чаще возникает контактное движение.

Поражение опорно-двигательного аппарата (ПОДА) и использование кресел-колясок, костылей для движения по участкам пути существенно затрудняет и ограничивает их обладателей в возможности решения

различных двигательных задач. Результаты оценки ими наиболее проблемных участков пути движения приведены в табл. 7.9.

Таблица 7.9

**Затруднения при движении по разным видам пути
и при решении различных двигательных задач**

Участки пути движения и двигательные задачи	Испытываемые затруднения, % ответов		
	Без затруднений	Иногда	Серьезные затруднения
Входы/выходы из здания	33,3 %	41,4 %	25,3 %
Движение по лестнице	22,1 %	37,5 %	40,4 %
Использование лифтов	61,3 %	28,0 %	10,8 %
Маневрирование при движении	17,6 %	54,1 %	28,2 %
Возможность поворота/разворота	22,6 %	48,8 %	28,6 %
Преодоление перепадов высот в пределах этажа	19,4 %	20,4 %	60,2 %

Данные табл. 7.9 показывают, что все характерные элементы коммуникационных (эвакуационных) путей вызывают в той или иной мере затруднения. Наибольшие проблемы отмечаются при преодолении перепадов высот в пределах этажа (у 60,2 % респондентов это вызывает «серьезные затруднения») и движение по лестнице (лишь 22,1 % опрошенных преодолевают этот участок пути без затруднений). Наиболее комфортным способом передвижения для них является лифт – свыше 60 % опрошенных могут воспользоваться им без всяких ограничений. Следует отметить, что, по мнению некоторых опрошенных инвалидов с ПОДА отключение лифта при пожаре будет являться основной проблемой при эвакуации.

В ответах респондентов лестница названа наиболее проблемным участком. Несколько человек указали, что лучше не подниматься на вышерасположенные этажи и что одной из самых действенных мер пожарной безопасности является «постоянно находиться на первых этажах».

Серьезное беспокойство у опрошенных вызывает состояние путей эвакуации и наличие доступных открытых запасных эвакуационных выходов, ввиду невозможности, по сравнению со здоровым человеком, оперативно изменить маршрут эвакуации и воспользоваться другим эвакуационным выходом.

В анкетах отмечается пожелание «сделать приспособления для эвакуации»; 73,6 % опрошенных указали, что для эвакуации по лестнице они предпочли бы использовать специальный эвакуационный стул, сконструированный для движения как по горизонтали, так и по ступеням лестницы.

Его применение позволяет перемещать инвалидов, находящихся на этажах здания на креслах-колясках, а также тех людей, которые по каким-либо другим причинам не способны к движению по лестнице.

Общей проблемой, с которой сталкиваются люди с ПОДА и люди с другими видами инвалидности, является неудовлетворительное состояние путей эвакуации (дефекты покрытия, неровности, скользкий пол), а также отсутствие ориентиров (звуковых для слепых и контрастных цветовых обозначений для слабовидящих). Состояние покрытия принципиально и для здоровых людей. Именно поэтому, например, нормативные документы США (NFPA 101 Life Safety Code, п. 7.1.6.4*) нормируют состояние поверхности эвакуационного пути.

В целом 64,6 % от общего числа опрошенных инвалидов считают, что не могут наравне со здоровыми людьми заниматься деятельностью, направленной на обеспечение противопожарной безопасности. Тем не менее, среди них есть значительное количество людей, готовых совершать действия, направленные на обеспечение пожарной безопасности не только их самих, но и окружающих их людей. Об этом свидетельствуют данные опроса инвалидов различных категорий об их предполагаемых действиях при возникновении пожара, приведенные в табл. 7.10. Данные этой таблицы позволяют установить и особенности поведения инвалидов различных категорий при совершении таких действий, определяемые соответствующей спецификой поражения их организма.

Таблица 7.10

**Намерение выполнить действия по противопожарной защите
инвалидами различных категорий**

Действия при пожаре	Варианты ответов	% от количества респондентов категория		
		Глухие и слабослышащие	Слепые и слабовидящие	ПОДА
Тушить пожар	Да	46,7	29,5	24,4
	Вероятно, да	36,7	20,2	29,1
	Нет	16,7	50,3	46,5
Позвонить в пожарную охрану	Да	48,1	78,2	90,9
	Вероятно, да	9,9	13,2	6,4
	Нет	42,0	8,6	2,7
Включить систему оповещения	Да	52,3	25,8	59,8
	Вероятно, да	25,0	21,3	24,1
	Нет	22,7	52,8	16,1
Организовать эвакуацию	Да	31,4	33,5	30,2
	Вероятно, да	46,5	19,0	29,1
	Нет	22,1	47,5	40,7

Как видно, ограничение возможности общения для глухих и слабослышащих существенно затрудняют оповещение ими пожарной охраны, несмотря на кажущуюся простоту этой операции. Недостаток же зрения и нарушение функций опорно-двигательного аппарата затрудняют тушение пожара, организацию эвакуации и, в большей мере для инвалидов по зрению, включение систем оповещения. Причем количество людей, склонных к активным действиям, прямо зависит от группы инвалидности: для инвалидов I группы количество таких действий минимально, для инвалидов III группы – максимально.

Несмотря на явную уязвимость слепых и слабовидящих людей, в некоторых ситуациях при пожаре у них появляются преимущества перед зрячими людьми. Наиболее часто встречающийся в практике расчетов критерий «потеря видимости» не оказывает серьезного воздействия на инвалидов по зрению. Начальник отдела реабилитации производственного предприятия ООО «Кунцево-Электро» привел пример, когда при пожаре в жилом доме только он один из всех проживающих на этаже людей смог сориентироваться и найти запасной выход (защитив органы дыхания). Он был слепым.

Повышенная уязвимость указанных групп людей должна предопределять повышенное внимание к их противопожарной подготовке, которая, как показывают данные таблицы 7.11, оказывается, по мнению опрошенных, недостаточной.

Таблица 7.11

Противопожарное обучение инвалидов различных категорий

Вопрос анкеты	Варианты ответов	Категория респондентов		
		Глухие и слабослышащие	Слепые и слабовидящие	ПОДА
Знакомы ли Вы с общими требованиями пожарной безопасности и правилами поведения при пожаре?	Да	55,7	83,5	55,7
	Да, но предпочел бы пройти дополнительное обучение	20,8	4,5	20,0
	Нет	23,6	12,0	24,3
Проводил ли кто-нибудь с Вами специальные занятия по пожарной безопасности, касающиеся наличия у Вас ограничений функций организма?	Да	23,6	72,9	17,0
	Да, но предпочел бы пройти дополнительное обучение	67,9	19,6	65,2
	Нет	8,5	7,5	17,9
Участвовали ли Вы в учениях по эвакуации людей из здания?	Да	22,9	69,6	4,8
	Нет	77,1	30,4	95,2

Данные табл. 7.11 показывают значительно лучшую работу по противопожарной подготовке слепых и слабовидящих людей, чем других категорий инвалидов. По всей видимости, это связано с тем, что инвалиды по зрению проходят специальные реабилитационные курсы, которые включают и основы подготовки по пожарной безопасности.

Обращает на себя внимание крайне низкий процент людей с нарушениями слуха, которые хоть раз в жизни участвовали в учениях по пожарной безопасности (менее 25 %). Однако еще более удручающая ситуация складывается для людей с ПОДА – менее 5 % из их числа принимали участие в учениях. Свыше 65 % инвалидов этих категорий указали на необходимость дополнительного противопожарного обучения.

Недостатки противопожарной подготовки очень четко просматриваются из ответов анкетированных инвалидов на вопрос об их предполагаемых действиях при пожаре: «не знаю», «не задумывался». Очень характерен ответ «растеряюсь» и «буду ждать помощь» или «буду просить (!) о помощи». Более того, наличие инвалидности в условиях развития чрезвычайной ситуации обуславливает в некоторых случаях даже обреченность, которая проявляется в ответах: «подумаю о своих детях», «я буду молиться».

Респондентам предлагалось также высказать свои соображения насчет необходимых, по их мнению, методов и средств повышения их пожарной безопасности. Анализ ответов выявил поразительное единодушие – для движения в здании слепых и слабовидящих людей «нет ориентиров». Поэтому для обеспечения возможности самостоятельного ориентирования инвалидов в здании необходимы «звуковые маяки» – устройства, транслирующие определенный звуковой сигнал, обозначающий, например, эвакуационный выход, или, если смотреть шире, позволяющие установить пространственное взаимоотношение человека с внутренней планировкой здания. Причем исследования, проведенные в нашей стране, показали высокую эффективность обучения слепых людей, даже детей, ориентации в пространстве с помощью звукосигнальных тифлотехнических¹² приборов.

Отсутствие тактильной и цветовой разметки ухудшает маневрирование, вынуждает людей двигаться наощупь, что ведет к снижению общей скорости движения. Наибольшие сложности вызывают дверные проемы (стеклянные двери и отсутствие контрастных цветовых обозначений выходов) и лестничные марши из-за отсутствия тактильных и контрастных обозначений первой и последней ступеней.

В целом, инвалиды с недостатками зрения в большей мере, чем зрячие люди, полагаются на добросовестное исполнение должностными лицами своих обязанностей, что позволит, по их мнению, предотвратить возникновение пожара и в значительной мере нивелировать его последствия.

¹² От греч. *typhlōs* – слепой.

Отмечается большая надежда инвалидов на технические средства систем пожарной автоматики. Ряд респондентов связывает свою безопасность с автоматическими установками пожаротушения, позволяющими своевременно локализовать и потушить пожар.

Результаты исследований движения людских потоков, состоящих из маломобильных людей трудоспособного возраста, находящихся в стационарах больниц, позволили установить значения, характеризующие их параметры. Статистический анализ выборочных совокупностей показал существенное различие между сериями, сгруппированными по признакам «способ движения»: передвигающиеся без дополнительных опор, с одной дополнительной опорой, с двумя дополнительными опорами и на кресле-коляске (передвигающиеся самостоятельно), и по признаку «возраст». Полученные в результате исследований значения a и D_0 , а также V_0 в формуле (3.3) (см. Гл. 3) приведены в табл. 7.12.

Таблица 7.12

Параметры движения людского потока людей с поражением опорно-двигательного аппарата (мужчины моложе 60 лет и женщины моложе 55 лет)

Группа мобильности	Параметры	Величина параметров по видам пути			
		Горизонтальный	Проем	Лестница вниз	Лестница вверх
Без дополнительных опор	V_0 , м/мин	62,05	56,53	42,12	31,84
	D_0 , чел/м ²	0,4	0,74	0,64	1,12
	a	0,4	0,5172	0,2112	0,587
С одной опорой	V_0 , м/мин	44,03	37,67	24,09	13,69
	D_0 , чел/м ²	0,77	0,017	0,96	1,24
	a	0,4135	0,1467	0,522	0,4634
С двумя опорами	V_0 , м/мин	55,34	22,45	12,86	10
	D_0 , чел/м ²	1,3	0,38	–	–
	a	0,3014	0,3425	–	–
Смешанный поток	V_0 , м/мин	58,01	47,5	42,12	29,02
	D_0 , чел/м ²	0,95	0,81	0,92	1,0
	a	0,4426	0,4356	0,4635	0,5255

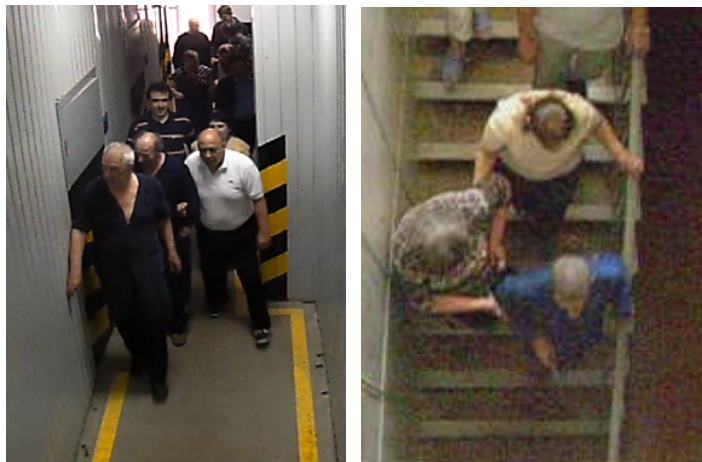
Исследования особенностей движения людей с нарушениями зрения при эвакуации позволили установить ряд особенностей, главными из которых является сложности движения через незнакомые узкие участки пути, а также тактильный контакт с окружающими людьми и ограждающими конструкциями (стенами, перилами и т. п.) (рис. 7.15).

Дверной проем



Окружающие направляют человека с сильной потерей зрения, держа его за талию

Горизонтальный путь и лестница



Тактильный контакт с ограждающими конструкциями и более ярко выраженное совместное движение у слабовидящих и слепых людей

Рис. 7.15. Особенности эвакуации слепых и слабовидящих людей

Статистический анализ параметров движения слепых и слабовидящих людей показал существенное различие между сериями, полученными при движении по знакомому и незнакомому видам пути. Исходя из этого, для оценки параметров движения людей с нарушениями зрения необходимо, чтобы был введен классификационный признак, отражающий изученность маршрута эвакуации (табл. 7.13).

Таблица 7.13

Параметры людского потока, состоящего из слепых и слабовидящих людей

Группа мобильности	Параметры	Величина параметров по видам пути			
		Горизонтальный	Проем	Лестница вниз	Лестница вверх
По знакомому пути	V_0 , м/мин	49,79	32,15	40,39	34,01
	D_0 , чел/м ²	1,03	0,20	0,97	0,82
	a	0,4919	1,1898	0,5188	0,3869
По незнакомому пути	V_0 , м/мин	26,34	17,01	21,37	18,00
	D_0 , чел/м ²	1,03	0,20	0,97	0,82
	a	0,4919	1,1898	0,5188	0,3869

В результате исследований было установлено, что значительное число людей с поражением слуха имеют сложности с ориентированием в здании (43,5 %). Оказалось, что основной проблемой, с которой сталкивают глухие и слабослышащие люди является, по их словам, «информационный голод»,

связанный с отсутствием либо ограничением звуковой информации (шумов и сигналов), поступающей из внешнего мира, рис. 7.16.

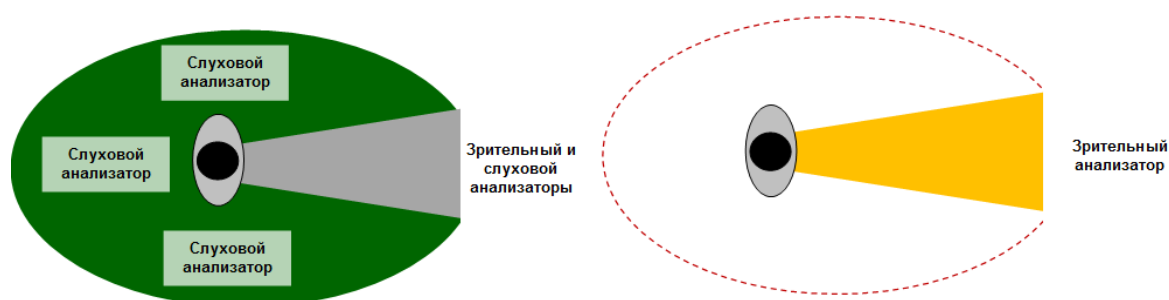


Рис. 7.16. Зоны восприятия информации для здоровых людей и людей с нарушением слуха

В анкетах большинство из них указали, что ограничение слуха влияет на скорость движения, снижая ее значения. Анализ ответов показал, что основной причиной для этого является «необходимость крутить головой на 180°» для того, чтобы не пропустить какую-либо информацию. Более того, было установлено, что в процессе эвакуации люди с нарушениями слуха обсуждают вопросы эвакуации (рис. 7.17). Для этого им необходимо развернуться, чтобы видеть руки и губы собеседника, а это снижает общую скорость движения.

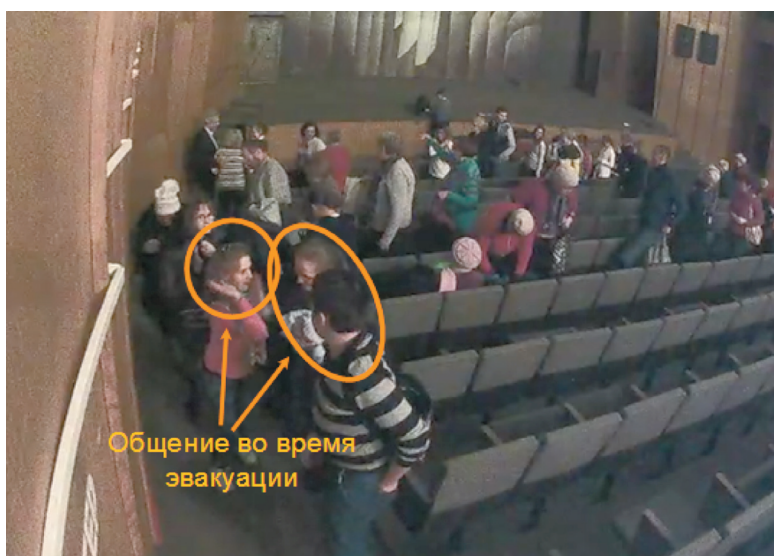


Рис. 7.17. Эксперимент в театре Мимики и Жеста (Москва): 67,7 % эвакуирующихся участвовали в обсуждении эвакуации; средний размер группы 2–3 человека; среднее время беседы 2,7 с.

Еще одной причиной снижения скорости является желание избежать нежелательного контакта с другими пешеходами. Так, опрошенные отмечали, что не слышат шагов и других звуков, сопровождающих движение,

и, как следствие, они сами становятся помехой для окружающих и их часто «толкают люди». Более того, многие опрошенные указали, что наибольший дискомфорт они испытывают при движении по относительно узким участкам пути, на которых по указанной выше причине чаще возникает контактное движение.

Дальнейшая обработка полученных экспериментальных данных позволила установить влияние плотности и эмоционального состояния на параметры движения людей с нарушениями слуха (табл. 7.14).

Таблица 7.14

Параметры людского потока, состоящего из глухих и слабослышащих людей

Параметры	Величина параметров по видам пути			
	Горизонтальный	Проем	Лестница вниз	Лестница вверх
V_0 , м/мин	82,36	82,36	82,36	53,81
D_0 , чел/м ²	0,58	0,73	0,91	0,72
a	0,301	0,202	0,380	0,373

Проведенные исследования позволили разработать классификацию маломобильных людей с учетом дифференциации ранее предложенных групп мобильности и ее доработки с учетом возраста маломобильных пешеходов, использования ими дополнительных опор при движении и условий движения (табл. 7.15).

Таблица 7.15

Классификация людей по группам мобильности

Способ передвижения и вид дисфункций организма		Люди молодого и среднего возраста (мужчины моложе 60 лет и женщины моложе 55 лет)	Пожилые (мужчины старше 60 лет и женщины старше 55 лет)
Без дополнительных опор		М0	П0
С одной дополнительной опорой		М1	П1
С двумя дополнительными опорами		М2	П2
Самостоятельно передвигающиеся на креслах-колясках с ручным приводом		МК	ПК
Несамостоятельно передвигающиеся на креслах-колясках с ручным приводом		КН	
Переносимые с помощью носилок		НМ	
Слепые и слабовидящие	передвигающиеся по известному пути	СС-И	
	передвигающиеся по неизвестному пути	СС-Н	
Глухие и слабослышащие		МГ	П0

Таким образом, в результате исследования были установлены значения параметров, характеризующих поточное движение маломобильных людей с поражением опорно-двигательного аппарата, зрения и слуха, и разработана общая классификация для людей с ограниченными возможностями с учетом фактического влияния вида дисфункций организма на мобильность.

7.5. Особенности эвакуации престарелых людей при пожаре

Население мира стареет все быстрее и быстрее. В настоящее время около 10 процентов жителей Земли – это пожилые люди в возрасте 60 лет и старше. В 2005 году в мире было 672 миллиона пожилых людей, а к 2050 году, по прогнозам специалистов, число пожилых людей возрастет почти в три раза и достигнет 2 миллиардов. Причем самый большой прирост населения наблюдается у женщин в возрастной категории 80 лет и старше [24].

В нашей стране (как и в подавляющем большинстве стран) наблюдается общемировая тенденция к росту численности пожилых граждан, которая составляет на 2010 г. свыше 25 млн человек (рис. 7.18). Более того, согласно прогнозам, к 2050 году в России ожидается увеличение доли престарелого населения почти в 2 раза.

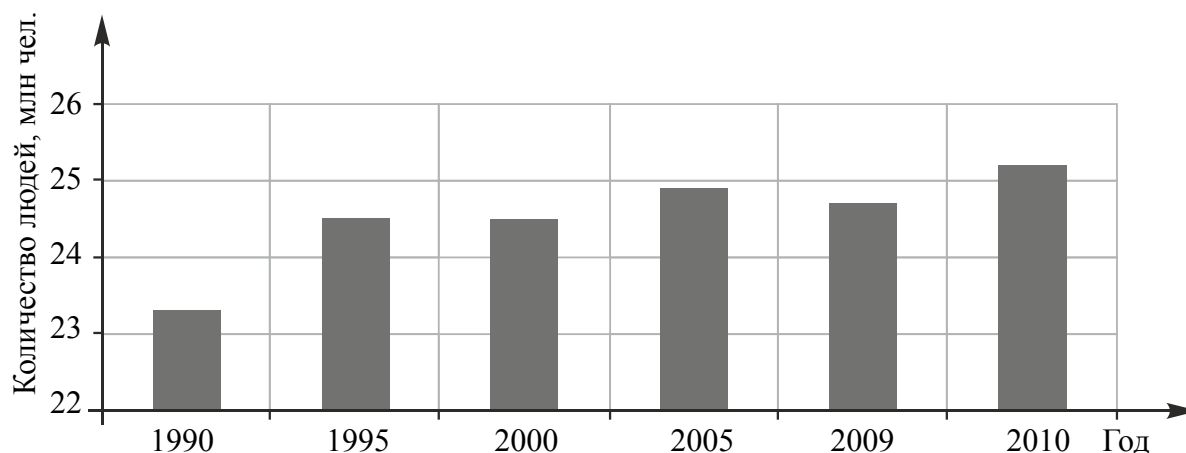


Рис. 7.18. График изменения количества людей старше 60 лет в России за период с 1990 по 2010 гг.

Длительное время в мировой практике ведутся исследования, связанные с процессами старения населения Земли. С точки зрения архитектуры, все более значимым для проектирования зданий и сооружений фактором становится увеличение количества престарелого населения. В нашей стране и за рубежом появляется множество программ, направленных на поддержание активной социальной жизни престарелых граждан. Однако вопросам их пожарной безопасности уделяется, к сожалению, не так много

внимания, что находит свое отражение в цифрах статистики: в нашей стране на пожарах ежегодно погибает 3–4 тысячи человек пожилого возраста, и с учетом общедемографических тенденций (увеличение их численности) ситуация с пожарной безопасностью без принятия действенных мер не улучшится.

Старение – процесс закономерный, общебиологический, наблюдаемый во всем материальном мире. Старение – процесс необратимых структурных изменений в организме, нарушающий адаптацию человека к изменениям в окружающей его среде, одной из причин этого является наличие иных эргонометрических параметров для престарелых людей (рис. 7.19).

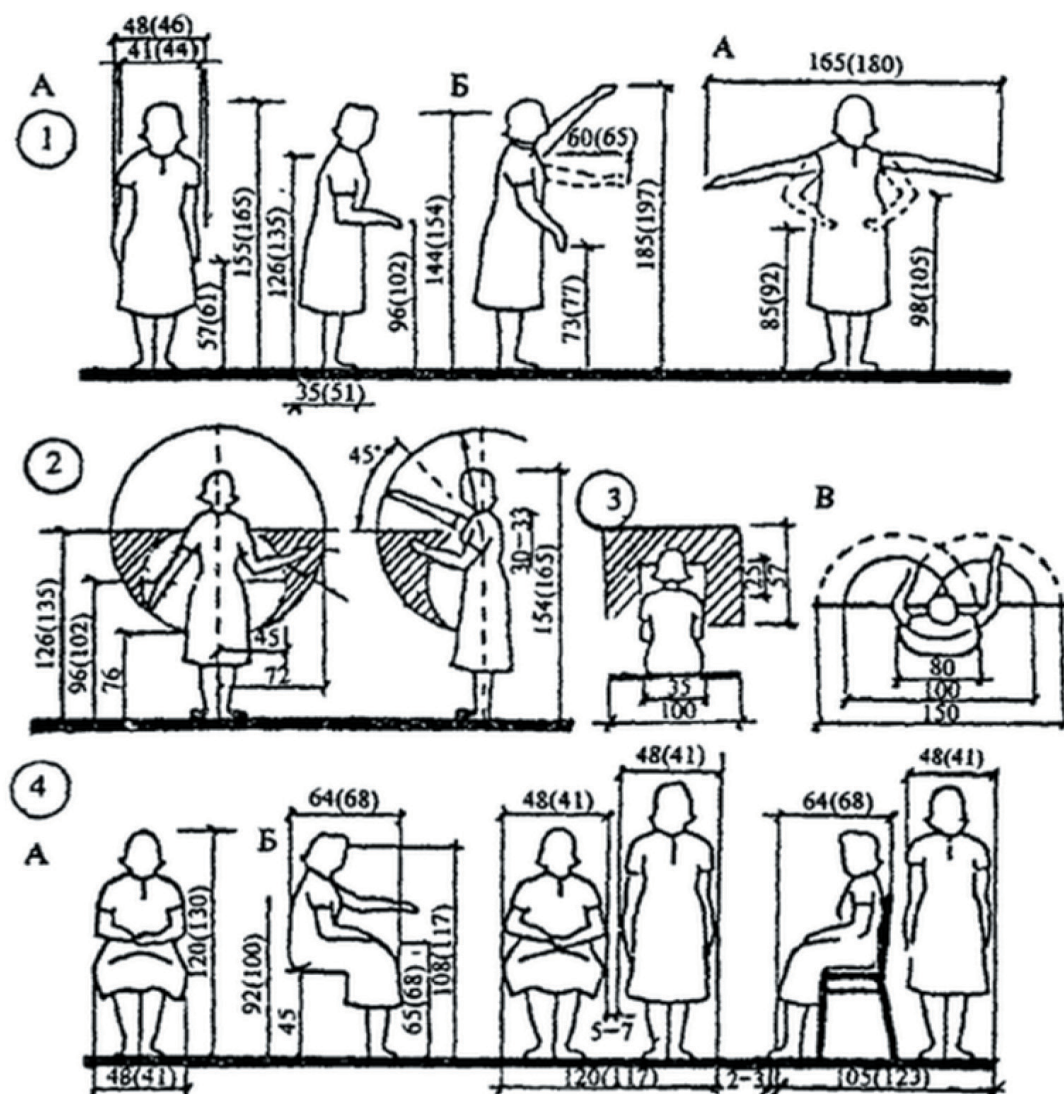


Рис. 7.19. Эргонометрические параметры для престарелых людей:

А – вид спереди; Б – вид сбоку, В – вид сверху; 1 – общие габариты человека в положении «стоя»; 2 – зона досягаемости; 3 – зона оптимальной видимости; 4 – общие габариты в положении «сидя»; оптимальное рабочее пространство, зона удобного размещения оборудования. В скобках даны размеры для мужчин [25]

Особенности эвакуации таких людей обусловлены следующими возрастными проблемами: дезориентация во времени и в пространстве, забывчивость, проблемы с фокусировкой внимания, снижение умственных способностей, ухудшение зрения и слуха, затруднение дыхания, пониженная мобильность, пониженная моторика кистей и пальцев рук (трудности при открывании дверей, включении пожарной сигнализации, звонках по телефону и т. п.). Возрастные дисфункции организма и их влияние на деятельность при пожаре приведены в табл. 7.16.

Таблица 7.16

Возрастные дисфункции организма и деятельность при пожаре

Проявление возрастных дисфункций организма	Деятельности при возникновении пожара
Повышенная глубина реакции на указания и команды	Возникновение паники
Расстройства памяти и внимания	Затруднения восприятия и снижение скорости реагирования на сигналы системы оповещения и управления эвакуацией, в том числе дежурного персонала
Ухудшения зрения	Сниженная скорость движения, затрудненное восприятие знаков пожарной безопасности
Ухудшения слуха	Сложность выполнения указаний системы оповещения и взаимодействия с окружающими (эвакуирующиеся, персонал, пожарно-спасательные подразделения)
Снижение возможностей опорно-двигательного аппарата	Снижение скорости движения. Уменьшение маневренности и устойчивости. Использование дополнительных опор. Невозможность использования лестниц
Снижение микромоторики рук	Звонок в пожарную охрану, в том числе с мобильного телефона. Подготовка к эвакуации. Открывание дверей
Общее ослабление организма ввиду его старения (снижение силы и выносливости)	Рост усталостных показателей при движении (уменьшение максимального расстояния). Невозможность тушения пожара. Пониженная устойчивость к компрессионной асфиксии в потоке высокой плотности
Дисфункции не диагностируются и не проявляются	Любая деятельность, кроме тяжелой физической работы (тушения пожара, спасение материальных ценностей)

Возрастные изменения в организме человека находят свое отражение в деятельности при пожаре. Наиболее частые первые действия людей при пожаре в зависимости от их возраста приведены в табл. 7.17 [26].

Таблица 7.17

Наиболее частые первые действия людей при пожаре в зависимости от их возраста

Первые действия при пожаре	Процент выполнения действий в зависимости от возраста опрошенных			
	41–50 лет	51–60 лет	61–70 лет	Старше 70 лет
Тушить пожар	17,0	18,7	14,7	12,7
Позвонить в пожарную охрану	14,1	13,7	12,6	10,1
Оповестить окружающих	14,6	–	–	–
Исследовать ситуацию	18,5	19,1	21,1	16,4
Минимизировать риск	–	14,1	–	–

Данные таблицы показывают, что с возрастом снижается активность при пожаре. Уменьшается как разброс направлений деятельности, так и количество людей, активно реагирующих на чрезвычайную ситуацию. Анализ статистических данных различных стран мира показывает значительно меньшую приспособляемость, и, как следствие, большую уязвимость престарелых людей при пожаре [27, 28].

Очень показательно иллюстрирует проблемы пожарной безопасности престарелых людей один из действующих областных домов для престарелых [29]. Результаты исследования затруднений, которые возникают у указанного контингента людей при эвакуации, приведены в табл. 7.18.

Таблица 7.18

Результаты опроса проживающих в доме престарелых

Особенности эвакуации	Ответ	% от числа опрошенных
Испытываете ли Вы затруднения при ходьбе?	да	71
	нет	29
Испытываете ли Вы сложности со зрением или слухом?	да	71
	нет	29
Имеете ли Вы сложности с ориентированием в здании?	да	31
	нет	69
Сможете ли Вы самостоятельно (без помощи персонала) выйти из здания?	да	87
	нет	13
Вам известно, что надо делать при пожаре?	да	81
	нет	19
Знакомы ли Вы с планом эвакуации?	да	69
	нет	31

Примечание. Всего было опрошено 70 проживающих, большинство из которых (66 %) были в возрасте старше 65 лет.

Из данных табл. 7.18 видим, что контингент проживающих в основном состоит из пожилых людей старше 65 лет, из которых 71 % имеют сложности с движением, слухом и зрением. При пожаре 13 % проживающих людей не смогут самостоятельно выйти из здания. Все это предъявляет существенные требования к противопожарной подготовке персонала. В ходе этого же исследования было установлено, что правильно действовать (в соответствии с инструкциями) в случае пожара будут всего 30 % обслуживающего персонала. Результатом сложившейся ситуации стало то, что при эвакуации рассматриваемого здания время начала эвакуации составило около 15 мин. при общей продолжительности эвакуации 24 мин.

Рассмотрим характеристики основного функционального контингента одного из типовых московских домов престарелых. В указанном доме престарелых проживают 411 престарелых людей. 391 человек из их числа (95,1 %) являются инвалидами различных групп: 1 группы – 101 чел., 2 группы – 265 чел., 3 группы – 25 чел. (табл. 7.19).

Таблица 7.19

Характеристика основного функционального контингента отделений в доме престарелых

Количество человек	
Отделение милосердия	Общее отделение
Персонал	
9 (в дневную смену)	9 (в дневную смену)
5 (в ночную смену)	2 (в ночную смену)
Пациенты с разным способом передвижения	
С двумя дополнительными опорами – 4	Без дополнительных опор – 18
С помощью ходунков – 25	С одной дополнительной опорой – 42
На креслах-колясках – 3	
Немобильные – 28	

Примечания.

1) Формально все указанные люди относятся к группе мобильности М2, однако этого недостаточно для объективной оценки особенностей их эвакуации, поэтому в таблице приведены способы их передвижения.

2) Кроме того, из общего числа проживающих 20 человек испытывают трудности со слухом (используют слуховой аппарат), 16 человек слепые на 2 глаза, 56 человек слепые на 1 глаз.

Очевидно, что в ночное время в отделении милосердия при возникновении чрезвычайной ситуации может возникнуть сложная ситуация ввиду большого количества немобильных людей (28 чел.) на 5 человек персонала. Оценивая ситуацию в целом, можно утверждать, что пожарная безопасность престарелых людей, самой природой поставленных в крайне уязвимое состояние, представляет собой сложную задачу. Например,

по данным статистики, в г. Москве престарелые люди вообще находятся в группе риска, а количество погибших является наибольшим по сравнению с другими возрастными категориями (рис. 7.20).

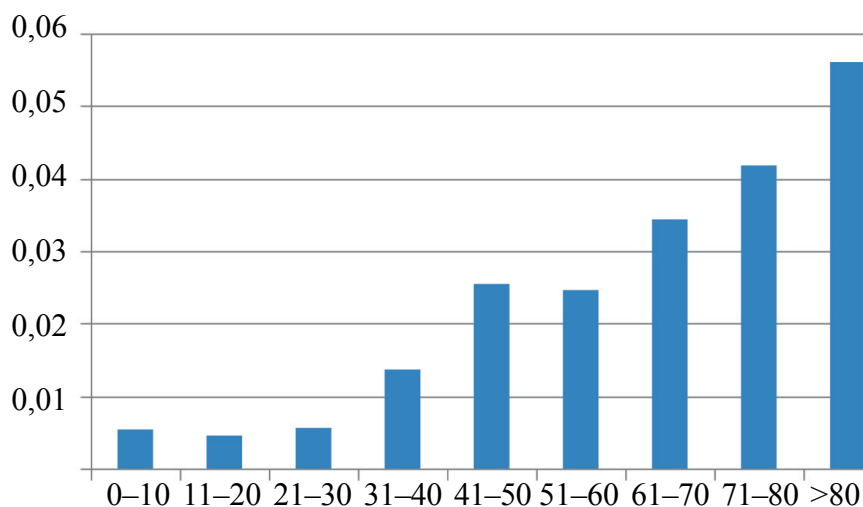


Рис. 7.20. Риск гибели (отношение количества погибших в год к количеству людей данной возрастной группы) людей различных возрастных групп на пожарах в г. Москве (по данным за 2009–2010 гг.)

Такая уязвимость связана с рядом факторов. Существуют, казалось бы, незаметные для молодых людей проблемы, влияющие на время и успешность эвакуации престарелых людей. Например, в ходе исследования [30] было установлено, что пожилые люди испытывают затруднения при открывании дверей. Для выявления наиболее удобного и быстрого способа открывания двери была разработана экспериментальная установка, отображенная на рис. 7.21.

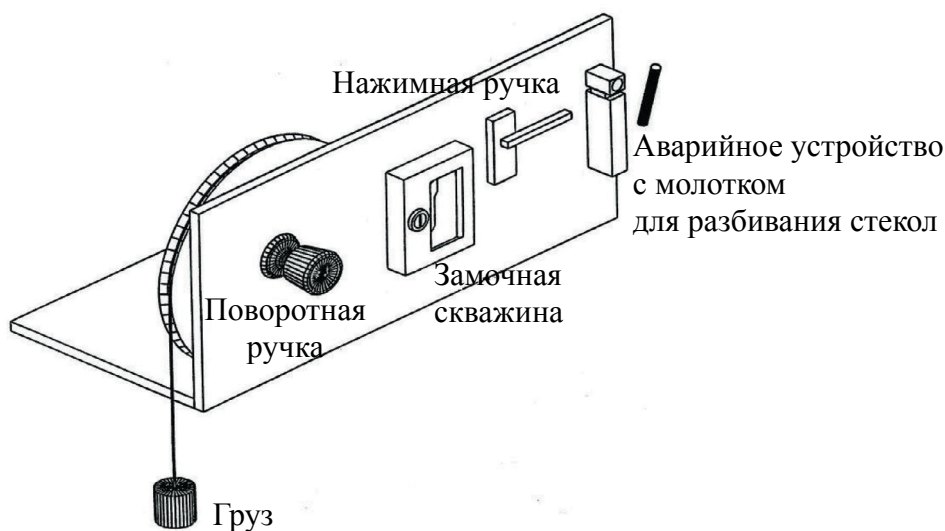
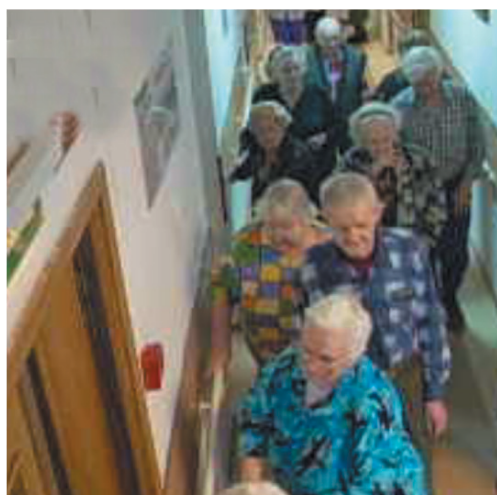


Рис. 7.21. Экспериментальная установка для определения оптимальной дверной запорной арматуры на путях эвакуации инвалидов [24]

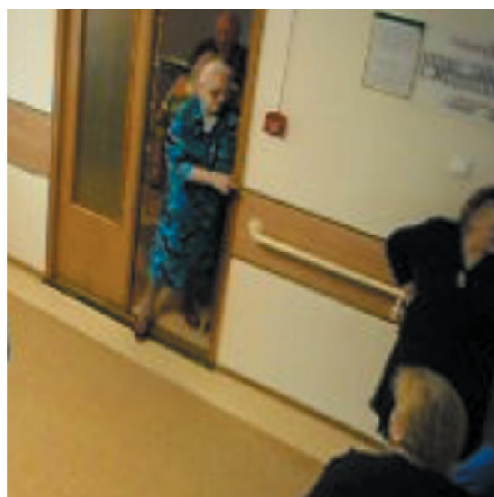
Эксперименты показали, что потери времени при открывании замка ключом (попадание в замочную скважину) достигали 14 с, а поворотная ручка с круглой головкой оказалась крайне неудобной. Наиболее подходящей для престарелых людей является дверная ручка нажимного действия, при этом усилие на открывание двери не должно превышать 50 Ньютонов. Кроме того, приблизительно для 10 % людей старше 65 лет (не относящихся к МГН) требуется отдых при эвакуации. Преодоление проемов у пожилых людей может вызывать существенные сложности (рис. 7.22).



а



б



в



г

Рис. 7.22. Преодоление проема пожилым (немогущим) человеком
(*а* и *б* – наружу, *в* и *г* – внутрь):

- а* – снижение скорости и остановка движения для разворота с целью преодоления дверного проема;
- б* – опирание на правую и левую створки дверного проема и блокирование возможности движения для других участников эвакуации;
- в* – опирание двумя руками на дверной косяк;
- г* – оказание помощи для завершения маневра. Общее время преодоления проема составило 12 с.

Как правило, низкая скорость передвижения связана с целым комплексом возрастных физиологических процессов, однако наиболее серьезно это проявляется при нарушении равновесия и ходьбы, что встречается в практике довольно часто и может быть вызвано различными возрастными заболеваниями (парадоксальная акинезия, паркинсонизм, дисбазия и др.) [31–33]. Нарушения проявляются различным образом. Например, наблюдаются проблемы инициации и способности поддерживать движение: при попытке начать ходьбу ноги как будто «приклеиваются» к полу, чтобы сделать первый шаг престарелый человек вынужден долго переминыться с ноги на ногу или раскачивать туловище и ноги в переднезаднем направлении. При повороте, преодолении препятствия, прохождении через узкий проем, требующих переключения двигательной программы, пожилой человек может внезапно «застыть». При этом его ноги останавливаются «как вкопанные», а туловище продолжает движение вперед, что может привести к падению. Вообще падения пожилых людей отмечаются достаточно часто: такие эпизоды в течение года происходят у 28–45 % пожилых, а среди лиц, находящихся в домах престарелых – у 45–61% [25]. Зрительные стимулы (например, веревка на полу) могут привести к остановке движения. Вопрос, заданный им при движении, внезапный звук или неожиданное прикосновение могут привести к замедлению движения или к остановке.

Особые трудности вызывает движение по лестнице. Для пожилых немощных людей сам процесс движения крайне трудоемок и энергозатратен. Это вынуждает их опираться на перила и поручни обеими руками (рис. 7.23 а). Более того, низкая скорость их движения уменьшает эффективную ширину пути: а) при ширине марша 1,2 м на 42 %; б) при ширине марша 1,05 м на 48 %, что снижает общую интенсивность движения потока (рис. 7.23 б).



а



б

Рис. 7.23. Движение пожилых (немощных) людей по лестнице с опиранием двумя руками на перила (со средней скоростью по лестнице вверх – 12 м/мин и вниз – 9 м/мин) и уменьшение интенсивности движения людского потока с 39 до 20 чел/м·мин.

Для уточнения установленных ранее зависимостей между параметрами людского потока группы мобильности М2 (к которой относятся пожилые люди), были проведены исследования [34, 35] людских потоков, состоящих из престарелых людей, по методикам [15], сформировавшимся в теории движения людских потоков. Результаты натурных наблюдений показали крайнюю разнородность такого потока как по качественным (особенности движения по различным видам пути), так и по количественным характеристикам (например, скорости движения). Это связано с индивидуальными особенностями старения организма, наличия или отсутствия заболеваний, необходимости использования дополнительных опор и т. п.

С целью детализации параметров поточного движения людей пожилого возраста в зданиях класса Ф1.1 была проведена серия экспериментов [35]. Исследование привело к разработке классификации, учитывающей их физические возможности и мобильные качества, используемые при эвакуации в начальной стадии пожара (рис. 7.24).

В результате исследований были установлены параметры движения людей пожилого возраста при движении по различным видам пути (табл. 7.20). Группа мобильности «смешанный состав» была введена для решения практических задач на основе усредненных данных о той или иной группе мобильности.



Рис. 7.24. Классификация по мобильным качествам людей, проживающих в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста

Значения a , D_0 и V_0 при движении престарелых людей разной мобильности по различным видам путей в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста

Вид пути	Группа мобильности престарелых людей, способных к самостоятельной эвакуации	a	D_0 , чел/м ²	V_0 , м/мин
Горизонтальный	Не пользующиеся опорами	0,425	0,86	45
	Пользующиеся одной опорой	0,428	0,96	25
	Смешанный состав	0,424	0,90	35
Проем	Не пользующиеся опорами	0,253	0,18	50
	Пользующиеся одной опорой	0,456	1,02	20
	Смешанный состав	0,355	0,55	30
Лестница вниз	Не пользующиеся опорами	0,367	0,62	30
	Пользующиеся одной опорой	0,505	1,26	20
	Смешанный состав	0,433	0,93	25
Лестница вверх	Не пользующиеся опорами	0,414	0,88	30
	Пользующиеся одной опорой	0,338	0,56	20
	Смешанный состав	0,377	0,72	25
Пандус вниз	Не пользующиеся опорами	0,468	1,11	40
	Пользующиеся одной опорой	0,353	0,58	25
	Смешанный состав	0,411	0,84	35
Пандус вверх	Не пользующиеся опорами	0,389	0,92	35
	Пользующиеся одной опорой	0,368	0,72	15
	Смешанный состав	0,376	0,81	25

Информация, приведенная в данном разделе, указывает на определенное внимание и проработку вопросов, связанных с безопасной эвакуацией пожилых людей. В настоящее время в Европе и Японии приступили к исследованиям пожарной безопасности престарелых людей с помощью специального костюма-симулятора (рис. 7.25). Особенностью этого костюма является возможность имитации у молодого человека ощущений пожилого: в шлем вмонтированы затычки для ушей, ухудшающее слух, а защитное стекло мешает нормально видеть. Все суставные соединения сделаны тугими, Кроме того, в перчатках смонтировано устройство, вызывающее покалывание рук как при артрите.



Рис. 7.25. Костюм-симулятор Age Explorer для исследования поведения престарелых людей

7.6. Особенности процесса эвакуации немобильных людей

Особую сложность представляет спасение людей, лишенных возможности самостоятельного движения. В стационарах больниц и особенно домов престарелых и инвалидов, их количество может превышать 50 % от общей численности отделения, что при пожаре в ночное время с учетом ограниченного количества персонала ведет к трагическим последствиям. Наиболее распространенным методом спасения является вынос человека на носилках [36]. Однако сложности начинаются уже на самом первом этапе – перекладка человека с кровати на носилки (рис. 7.26). Например, две медсестры – женщины среднего возраста – без явной угрозы для своего здоровья не могут переместить пациента весом 90 кг даже с кровати на носилки.

Но самым сложным элементом эвакуации для медработников-женщин оказывается перемещение пациента на носилках по лестнице. Во-первых, далеко не все люди физически способны к такой тяжелой работе. Во-вторых, при эвакуации по вертикальным эвакуационным путям решающее значение оказывают размеры лестничной площадки: чем она шире, тем быстрее происходит разворот. При ширине лестничного марша менее 1,2 м стандартные носилки (длиной 2,1 м) развернуть крайне сложно.

Отмечается также, что у медработников-женщин наблюдается резкое снижение скорости и дальности переноски по лестнице пациентов весом 60 кг. При этом предел физических сил у переносящих носилки людей (как женщин, так и мужчин) возникает не по причине общей усталости организма, а в результате крепатуры (забитости) мышц рук. Было выявлено, что при переноске носилок больше всего напрягаются мышцы предплечий, работающие на сжатие пальцев. При продолжительной переноске носилок

с пациентом из-за крепатуры мышц предплечий ручки носилок могут просто выскользнуть из пальцев, что может привести к травме переносимого человека. Для того чтобы этого избежать, можно применять при переноске дополнительные средства, например ремни или ляжки, которые используются тяжелоатлетами для поднятия штанги, что позволит нести носилки более продолжительное время.



Рис. 7.26. Перекладка пациента с кровати на носилки: самый первый этап эвакуации вызывает сложности

Проведенное исследование [37] позволило разработать методологию психофизиологического обоснования связи между параметрами движения людских потоков и установить связь между массой (m) переносимого на носилках человека и реакцией (V) на ее изменение спасателей. Тогда выражение зависимости скорости переноски людей спасателями на носилках по горизонтальному пути и по лестнице вниз от массы спасаемого человека может быть описано в общем виде случайной функцией:

$$V_{\text{ин},j} = V_{0,j} \left(1 - a_j \ln \frac{m_j}{m_{0,j}} \right), \text{ м/мин} \quad (7.4)$$

где $V_{0,j}$ – случайная величина скорости свободного движения спасателя по j -му виду пути при переноске человека на носилках (со значением его массы $m \leq m_0$), м/мин; a_j – коэффициент адаптации спасателей к движению при переноске по j -му виду пути при увеличении массы спасаемого; m_j – масса спасаемого человека при переноске его на носилках по j -му виду пути; $m_{0,j}$ – пороговое значение массы спасаемого человека при переноске его на носилках по j -му виду пути, по достижении которого масса начинает оказывать влияние на скорость переноски.

Полученные значения перечисленных величин для формулы (7.4) и графический вид зависимостей $V_{\text{нн}} = f(m)$ представлены на рис. 7.27 и 7.28.

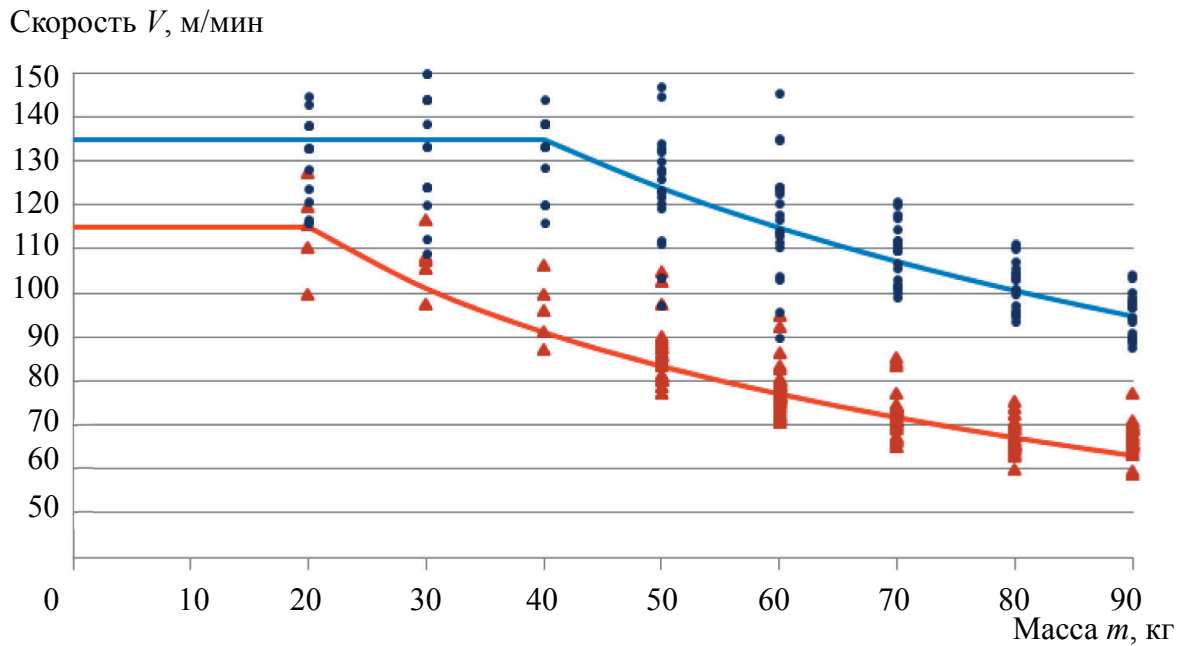


Рис. 7.27. Зависимость скорости переноски спасаемых людей от их массы на носилках по горизонтальному пути спасателями мужского и женского пола:

- женщины (теоретические значения) $V_{\text{нн}} = 115 \cdot (1 - 0,3 \ln(m/20))$;
- мужчины (теоретические значения) $V_{\text{нн}} = 135 \cdot (1 - 0,37 \ln(m/40))$;
- ▲ — женщины (экспериментальные значения); ● — мужчины (экспериментальные значения)

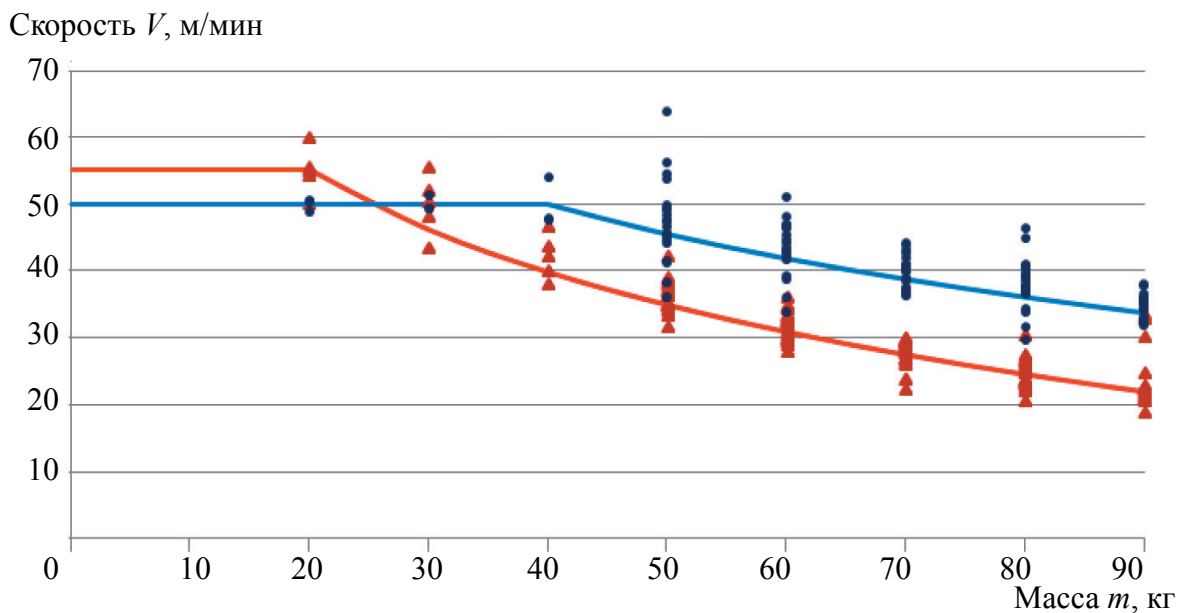


Рис. 7.28. Зависимость скорости переноски спасаемых людей от их массы на носилках по лестнице вниз спасателями мужского и женского пола

- женщины (теоретические значения) $V_{\text{нн}} = 55 \cdot (1 - 0,4 \ln(m/20))$;
- мужчины (теоретические значения) $V_{\text{нн}} = 50 \cdot (1 - 0,4 \ln(m/40))$;
- ▲ — женщины (экспериментальные значения); ● — мужчины (экспериментальные значения)

Теснота установленной корреляционной связи подтверждается чрезвычайно высокими значениями теоретического корреляционного отношения η_r , равными от 0,994 до 0,998.

Выражение для определения времени перекладывания людей спасателями с кровати на носилки:

$$t_{\text{пк}} = \frac{60}{V_0 \left(1 - a \ln \frac{m}{m_0} \right)}, \text{ с.}, \quad (7.5)$$

где V_0 – случайная величина скорости свободной перекладки человека с кровати на носилки спасателями (при значении массы перекладываемого человека $m \leq m_0$), м/мин; a – коэффициент адаптации спасателя к перекладыванию человека с кровати на носилки при увеличении массы спасаемого; m – масса спасаемого человека при перекладке его с кровати на носилки; m_0 – пороговое значение массы спасаемого человека при перекладке его с кровати на носилки, по достижении которого масса начинает оказывать влияние на скорость перекладки.

Значения коэффициентов a , m_0 и V_0 , полученных для выражений (7.4) и (7.5), приведены в таблице 7.21.

Таблица 7.21

Значения коэффициентов a , m_0 и V_0 при определении времени перекладки спасаемых людей разной массы с кровати на носилки и скорости их переноски по горизонтальному пути и по лестнице вниз спасателями разного пола

Пол спасателей	Действия спасателей	V_0 , м/мин	a	m_0 , кг
Женщины	Перекладка спасаемого человека с кровати на носилки	25	0,5	20
	Переноска спасаемого человека на носилках по горизонтальному пути	115	0,3	20
	Переноска спасаемого человека на носилках по лестнице вниз	55	0,4	20
Мужчины	Перекладка спасаемого человека с кровати на носилки	25	0,75	40
	Переноска спасаемого человека на носилках по горизонтальному пути	135	0,37	40
	Переноска спасаемого человека на носилках по лестнице вниз	50	0,4	40

Графики средних значений случайных функций затрат времени на перекладывание спасаемых людей разной массы с кровати на носилки спасателями разного пола представлены на рис. 7.29.

Время t , с.

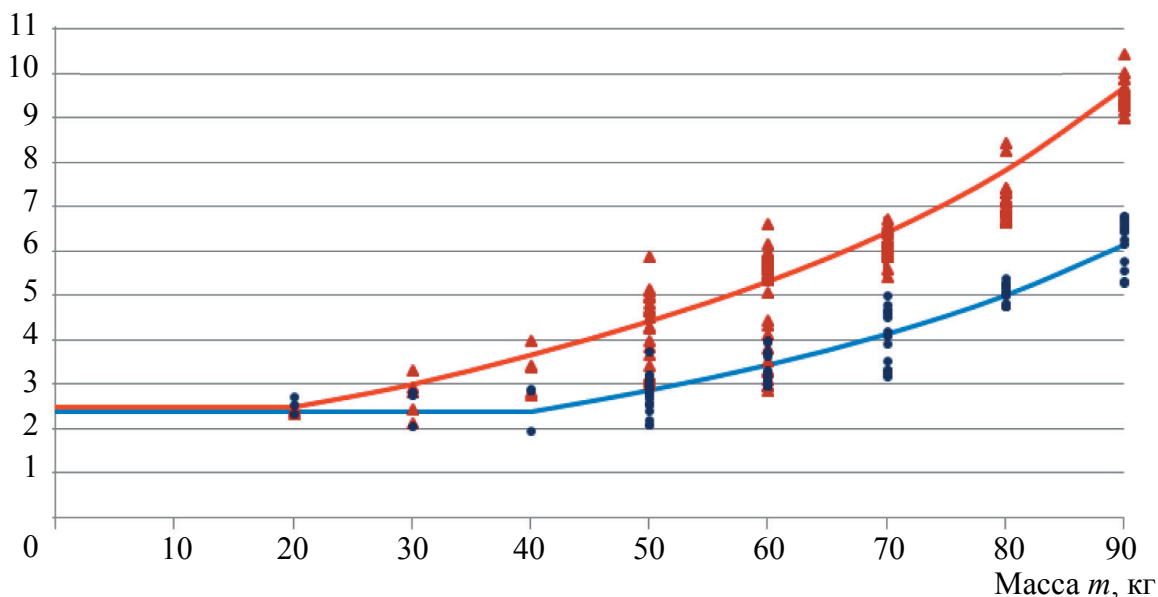


Рис. 7.29. Зависимость времени перекладывания спасаемых людей от их массы с кровати на носилки спасателями мужского и женского пола
 — женщины (теоретические значения) $t_{\text{пк}} = 60/(25 \cdot (1 - 0,5 \ln(m/20)))$;
 — мужчины (теоретические значения) $t_{\text{пк}} = 60/(25 \cdot (1 - 0,75 \ln(m/40)))$;
 ▲ — женщины (экспериментальные значения); ● — мужчины (экспериментальные значения)

Расчетное время спасения людей, не способных к самостоятельному передвижению, с этажа здания можно определять по элементарной формуле, суммирующей затраты времени на последовательные операции, составляющие процесс спасения

$$t_{\text{сп,р}} = \left(t_1 + t_2 + \frac{L_1}{V_1^{\text{п}}} + \frac{L_2}{V_2^{\text{п}}} + \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right) \frac{N_{\text{нм}}}{0,5 N_{\text{сп}}} - \left(\frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right), \quad (7.6)$$

где t_1 — время укладывания человека, неспособного к самостоятельной эвакуации, на носилки, мин.; t_2 — время перекладывания человека, неспособного к самостоятельной эвакуации, с носилок на подготовленную горизонтальную поверхность, мин.; L_1 — длина пути спасения по горизонтали, м; L_2 — длина пути спасения по лестнице, м; V_1 — скорость передвижения медперсонала (спасателей) по горизонтальному пути с носилками без спасаемого человека, м/мин; $V_1^{\text{п}}$ — скорость передвижения медперсонала по горизонтали со спасаемым человеком, лежащим на носилках, м/мин; V_2 — скорость передвижения медперсонала по лестнице вверх с носилками без спасаемого человека, м/мин; $V_2^{\text{п}}$ — скорость передвижения медперсонала по лестнице вниз со спасаемым человеком, лежащим на носилках, м/мин; $N_{\text{нм}}$ — количество людей, не способных к самостоятельной эвакуации; $N_{\text{сп}}$ — количество спасателей.

Экспериментально установлено, что максимальное количество рейсов спасения, осуществляемое одной парой спасателей с третьего этажа здания, не превышает 8, со второго — не превышает 11, с первого — не более 20.

7.7. Некоторые особенности процесса эвакуации беременных женщин

Снижение показателей материнской и младенческой смертности, в том числе, при пожаре, представляет собой одну из стратегических задач государства, поэтому необходимо принять все возможные меры по обеспечению пожарной безопасности женщин, находящихся в местах их массового пребывания – в стационарах медицинских учреждений.

В последнее время активно идет изучение процесса эвакуации различных маломобильных групп населения. К их числу отнесены: инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди преклонного возраста, люди с детскими колясками и т. п. Выделено четыре группы людей по мобильности и установлены параметры их движения. Однако беременные женщины не отнесены ни к одной из них; параметры их движения не установлены.

В организме женщины в самом начале беременности начинает выделяться огромное количество гормонов и других биологически активных веществ. Адаптация к новому состоянию проходит не всегда легко: беременные часто сталкиваются со слабостью, головокружением, тошнотой, рвотой, болями при движении. С ростом плода возрастает нагрузка на все системы организма и особенно на опорно-двигательный аппарат. Вследствие вышеперечисленных причин у женщины отмечается ухудшение общего самочувствия, что влияет на скорость движения. Следует также отметить, что у женщин изменяются и габариты тела.

Для выполнения расчетов рисков, назначения размеров эвакуационных путей и выходов, а также решения ряда иных задач пожарной безопасности, необходимо знать эргономические габариты и площади горизонтальной проекции женщин, готовящихся стать матерями. Например, в NFPA 101 Life Safety приводятся размеры, представленные на рис. 7.30.

Для определения площади горизонтальной проекции необходимо также было провести фактические обмеры. В результате было установлено, что площадь горизонтальной проекции беременной женщины (рис. 7.31) составляет $0,13 \text{ м}^2$.

Для изучения скоростей движения женщин рассматриваемой группы Хасуевой З. С. (Академия ГПС МЧС России) были проведены замеры на различных видах пути (рис. 7.32).

Ввиду психологических особенностей рассматриваемого контингента женщин, экспериментальная работа была существенным образом ограничена, тем не менее, в результате были получены средние значения скоростей (табл. 7.22). Следует иметь в виду, что при экспериментальной эвакуации стационаров больниц, людские потоки, состоящие из беременных женщин, с плотностью $D > D_0$ не образуются.

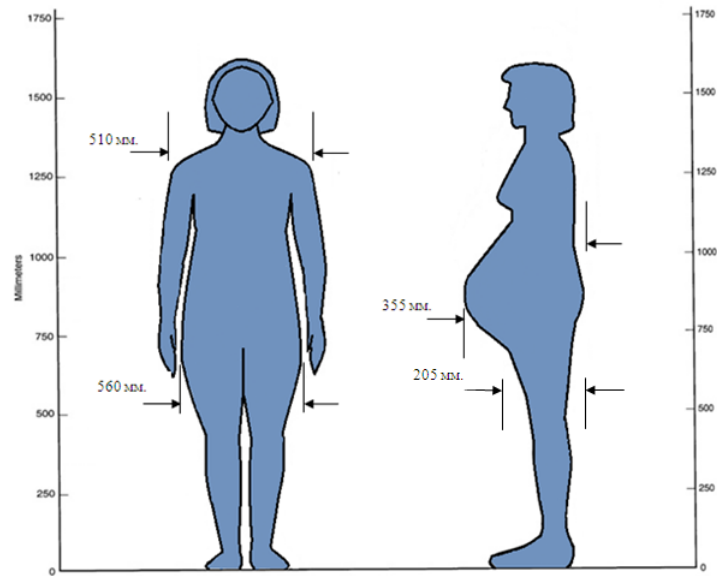


Рис. 7.30. Размеры беременных по данным NFPA 101 Life Safety

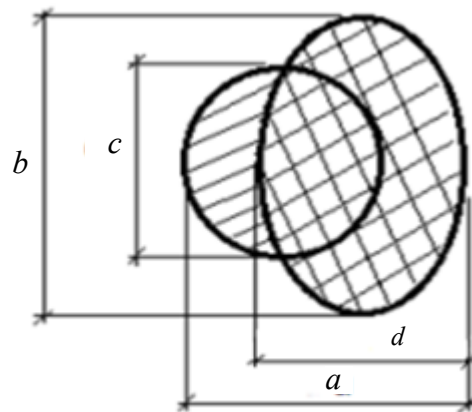


Рис. 7.31. Площадь горизонтальной проекции беременной женщины:
 $a = 0,355$ м; $b = 0,560$ м; $c = 0,300$ м; $d = 0,205$ м



a

б

в

Рис. 7.32. Преодоление различных участков эвакуационных путей пациентками роддомов и перинатальных центров:
a – движение по горизонтальному участку пути; *б* – движение по лестнице вниз;
в – движение по лестнице вверх

Средние значения V_0 для различных участков пути для беременных женщин

Вид пути	V_0 , м/мин	Стандартное отклонение, м/мин
Горизонтальный	30	5
Лестница вверх	25	3
Лестница вниз	20	3

Данные табл. 7.22 показывают низкие скорости движения, особенно по лестнице вниз. Это подтверждается данными анкетного опроса, в результате которого было установлено, что самым сложным участком пути является лестница. Около 20 % опрошенных указали, что для них спуск будет крайне затруднителен, что заставляет думать о необходимости разработки специальных технических решений, например, использования для их эвакуации специальных защищенных лифтов.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2012 году: Статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2013. – 137 с.
2. Кирюханцев Е. Е., Холицевников В. В., Шурин Е. Т. Первые экспериментальные исследования движения инвалидов в общем потоке // Безопасность людей при пожарах: сб. статей. – М.: ВИПТШ МВД РФ, 1999.
3. 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 // Проблемы пожарной безопасности в строительстве: сб. статей. – М.: Академия ГПС МВД России, 2001. – С. 36–42.
4. Холицевников В. В., Самошин Д. А. Проблемы обеспечения пожарной безопасности людей с ограниченными возможностями в зданиях с их массовым пребыванием // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – № 8. – С. 34–49.
5. 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.
6. Sharon Gamache The development of an education program effective in reducing the fire deaths of preschool children. Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire. 26–28 of March 2001, Massachusetts, USA, pp.309-320.
7. Graesser H., Ball M., Bruck D. Risk factors for residential fire fatality across the lifespan: comparing coronial data for children, adults, and elders. Proceedings of the 4th International Symposium on Human Behaviour in Fire. 13–15 July 2009, Cambridge, USA, pp. 639–644.
8. Satyen L., Barnet M., Sosa A. Effectiveness of fire safety education in primary school children. Proceedings of the 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire. 1–3 September 2004, Belfast, UK, pp. 339–447.
9. Ono R., Tatebe K. A study on school children's attitude towards firesafety and evacuation behaviour in Brazil and the comparison with data from Japanese children. Proceed. of the 3rd Inter. Symp. on Human Behaviour in Fire. 1–3 September 2004, Belfast, UK, pp. 327–338.

10. Холщевников В. В., Парфененко А. П. Эвакуация детей в зданиях учебно-воспитательных учреждений // Пожарная безопасность в строительстве. – 2011. – № 4. – С. 48–61.
11. Kholshchikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P. Pre-school and school children building evacuation. Proceed. of the 4th Inter. Symp. on Human Behaviour in Fire. Cambridge, UK, 2009, pp. 243–254.
12. Samoshin D., Belosokhov I. Pre-movement time in public buildings: experiments and their practical application. International Scientific and Technical Conference «Emergency evacuation of people from buildings», Warsaw, Poland, 2011, pp. 299–307.
13. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений: автореф. дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. Холщевников В. В.). Академия государственной противопожарной службы МЧС России. – М., 2012.
14. Bruck D., Tomas I. Community based research on the effectiveness of the home smoke alarm in waking up children. Proceedings of the 4th International Symposium on Human Behaviour in Fire. 13-15 July 2009, Cambridge, USA, pp. 335–344.
15. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков. Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 191 с.
16. Григорьянц Р. Г. Исследование движения длительно существующих людских потоков: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1971.
17. Самошин Д. А., Слюсарев С. В. Проблемы обеспечения безопасности детей с ограниченными возможностями. // Материалы 3-й Международ. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 100–102.
18. Исследование и расчет закономерностей движения потоков школьников. Отчет МИСИ им. В.В. Куйбышева, М., 1975.
19. Еремченко М. А. Движение людских потоков в школьных зданиях: дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В. М.). – М.: МИСИ, 1979.
20. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1983.
21. Холщевников В. В. Нормирование путей эвакуации в учебных заведениях // Пожарное дело. – 1982. – № 3.
22. Холщевников В. В. Закономерность связи между параметрами людских потоков. (Диплом №24-S Открытие в области социальной психологии) // Научные открытия. – М.: РАЕН, МААНОИ, МААНО, 2005; регистрационный № 348.
23. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – № 3. – С. 48–56.
24. Major developments in the area of ageing since the Second World Assembly on Ageing, E/CN.5/2007/7, 2006.
25. МДС 35–1.2000 Рекомендации по проектированию окружающей среды, зданий и сооружений с учетом потребностей инвалидов и других маломобильных групп населения. Выпуск 1. Общие положения. ЦНИИЭП им. Б. С. Мезенцева, М., 1996.
26. Wood P. G. The Behaviour People in Fires. British Note 933, November, 1972.
27. Miller I. Behaviour, fire and older people: implications of the demographic growth of a vulnerable population. Proceedings of the 4th Inter. Symp. on Human Behaviour in Fire. Cambridge, UK, 2009, pp. 345-354.
28. Sekizawa A. Care of vulnerable population: Who are vulnerable to fires and what care is needed for their safety? Proceed. of the 3rd Inter. Symp. on Human Behaviour in Fire. Belfast, UK, 2004, pp. 267–278.

29. *Калашников М. А.* Особенности процесса эвакуации престарелых людей на примере Тарусского дома-интерната для престарелых и инвалидов. Дипломная работа. Академия ГПС МЧС России, М., 2007.

30. *Boyse K. E.* Egress Capabilities of people with disabilities. PhD thesis, University of Ulster, 1996.

31. *Антоненко Л. М.* Особенности нарушений поддержания равновесия и ходьбы у больных пожилого возраста с болезнью Паркинсона, мультисистемной атрофией, прогрессирующим надъядерным параличом: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 2005.

32. *Дамулин И. В., Яхно Н. Н.* Падения в пожилом возрасте // *Врач.* – 2000. – № 7. – С. 7–12.

33. *Брыжахина В. Г., Дамулин И. В., Яхно Н. Н.* Нарушения ходьбы и равновесия при дисциркуляторной энцефалопатии. Сообщение 1 // *Неврологический журнал.* – 2004. – № 2. – С. 11–17.

34. *Холщевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н.* Эвакуация людей с физическими ограничениями // *Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал.* – 2012. – Вып. 3 (43). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>

35. *Истратов Р. Н.* Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2014. – 160 с.

36. *Шурин Е. Т., Самошин Д. А.* Результаты экспериментов по определению некоторых параметров эвакуации немобильных людей при пожаре // *Системы безопасности: 10-я науч.-техн. конф.* – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2001. – С. 114–117.

37. *Истратов Р. Н.* Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений // *Пожаровзрывобезопасность.* – 2014. – № 6. – С. 54–63.

Заключение

Материалы учебного пособия помогают более глубокому пониманию проблем обеспечения безопасности людей при пожаре. Этому способствуют рассмотрение и разъяснение принципов обеспечения безопасной эвакуации людей, особенностей поведения людей при пожаре, характеристик людского потока и закономерностей связи между его параметрами. В пособии рассмотрены приемы расчета (слияния и переформирования людских потоков, времени образования и рассасывания скопления и др.) и моделирования процесса эвакуации. Приведены требования пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам; наиболее сложные для восприятия требования наглядно проиллюстрированы. Значительное внимание уделено особенностям процесса эвакуации и спасения детей, пожилых людей, а также инвалидов различных групп мобильности. Изложены с учетом сегодняшнего уровня культуры безопасности требования к организационным мероприятиям по осуществлению своевременной и беспрепятственной эвакуации людей.

Таким образом, продолжая традиции научной школы теории людских потоков, авторы предприняли попытку обобщить результаты почти 80-летней истории исследований в этой области и изложить их с учетом наработанного педагогического опыта. Следует подчеркнуть, что приведенные в пособии данные могут быть полезны не только будущим специалистам, обучаемым в образовательных учреждениях пожарно-технического профиля, но и широкому кругу проектировщиков зданий и сооружений и работников, занимающихся их практической эксплуатацией и профилактикой.

В заключение авторы хотели бы подчеркнуть, что глубина знаний и понимание логики построения системы, обеспечивающей безопасную эвакуацию людей, формирование культуры безопасности у ответственных за это руководящих работников, и определяет, в конечном счете, реальный уровень обеспечения безопасности людей. Рассмотрены перспективы учета в нормировании реальной стохастичности процессов движения людей при эвакуации и динамики опасных факторов пожара.

Приложение 1

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ ФАКТОРАХ ПОЖАРА

Таблица П1.1

Концентрации летучих токсичных веществ, выделяющихся при пожаре¹³

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 pH крови, также вызывает повышение уровня адреналина	12 % об.	Потеря сознания, смерть в течение нескольких минут
		20 % об.	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. Образуется при горении хлорсодержащих полимеров, особенно ПВХ	2000–3000 мг/м ³	Летальная концентрация при действии в течение нескольких минут
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. Выделяется при горении азотсодержащих материалов (шерсть, полиакрилонитрил, пенополиуретан, бумажно-слоистые пластики, полиамиды и пр.)	240–360 мг/м ³	Смерть в течение 5–10 мин.
		420–500 мг/м ³	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. Выделяется при горении фторсодержащих полимерных материалов	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. 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	510–760 мг/м ³	При вдыхании в течение 5 мин. развивается бронхопневмония
		950 мг/м ³	Отек легких

¹³ Ильченко В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы определения. – СПб., 1993.

Окончание табл. П1.1

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. Образуется при горении шерсти, шелка, полиакрилонитрила, полиамида и полиуретана	375 мг/м ³	Допустимая в течение 10 мин.
		1400 мг/м ³	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. Источники выделения паров – полиэтилен, полипропилен, древесина, бумага, нефтепродукты	13 мг/м ³	Переносимая не более 1 мин.
		75–350 мг/м ³	Летальная концентрация
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. Выделяется при горении шерсти, войлока, резины и др.	250–500 мг/м ³	Опасная концентрация.
		1500–2000 мг/м ³	Смертельная концентрация при воздействии в течение нескольких минут
Сероводород H ₂ S	Раздражение глаз и дыхательных путей. Появление судорог, потеря сознания. Образуется при горении серосодержащих материалов	700 мг/м ³	Тяжелое отравление
		1000 мг/м ³	Смерть в течение нескольких минут
Дым, парогазоаэрозольный 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 П1.2

Примеры различных типов влияния ядов, выделяющихся при горении¹⁴

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

¹⁴ Там же.

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 ₂ 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 П1.3

Нормированные значения опасных факторов пожара¹⁵

№ 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 °C
5	Интенсивность теплового излучения	1,4 кВт/м ²
6	Концентрация кислорода	15 %
7	Предельная видимость в дыму	20 м

¹⁵ Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2000; Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВЛЕНИЮ ПЛАНОВ ЭВАКУАЦИИ

В соответствии с Правилами противопожарного режима РФ (п. 7) на объекте с массовым пребыванием людей (кроме жилых домов), а также на объекте с рабочими местами на этаже для 10 и более человек необходимо наличие планов эвакуации людей при пожаре.

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.

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 обладать необходимыми навыками и умениями для выполнения поставленных задач.

Следует отметить, что Федеральным законом от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ (ст. 34) на гражданина возложена только одна явная обязанность *«Граждане обязаны ... при обнаружении пожаров немедленно уведомлять о них пожарную охрану»*. Что касается спасения людей, имущества и тушения пожара, то граждане обязаны *«принимать посильные меры»*, без определения, впрочем, границ этой посильности.

5. Графическая часть плана эвакуации представляет собой план здания без второстепенных деталей, на который нанесены направления движения людей. Должна быть выполнена привязка места размещения плана в здании и соответствующего ему места на плане («Вы находитесь здесь»). Условными знаками следует показать 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. Эвакуация должна осуществляться по эвакуационным путям и выходам.

Схему эвакуации людей при нахождении на этаже здания более 50 человек целесообразно разрабатывать на основе расчета параметров движения людских потоков и пропускной способности эвакуационных путей и выходов.

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. План эвакуации (графическая и текстовая части) должен находиться у руководства объекта, в помещениях с дежурным персоналом, а также у каждого задействованного в плане сотрудника. Графическая часть должна быть наглядно оформлена и находиться в хорошо видимом для людей месте.

Рекомендации по отработке планов эвакуации

В соответствии с Правилами противопожарного режима РФ (п. 12), на объекте с массовым пребыванием людей (50 человек и более) необходимо не реже одного раза в полугодие проводить практические тренировки и отрабатывать планы эвакуации.

Необходимо отметить, что без практической отработки план эвакуации остается ненужным, формально составленным и незнакомым для сотрудников документом.

При отработке плана эвакуации необходимо решить две основные задачи (рис. П2.1).



Рис. П2.1. Особенности отработки плана эвакуации

Учебная эвакуация представляет собой занятие, при проведении которого все сотрудники заранее знают о дате учения и каждому из сотрудников объясняются необходимые действия. Анонсированная эвакуация представляет собой учение, при котором известна приблизительная дата, однако предварительно изучения обязанностей не проводится. Неанонсированная эвакуация является учением, о котором знает только руководство объекта и которое проводится внезапно. Целесообразно строить систему подготовки к действиям при пожаре начиная с неанонсированной эвакуации для выявления проблем ее организации, далее проводя на объекте учебную эвакуацию с разъяснением характерных ошибок и необходимых действий при пожаре. Далее на регулярной основе следует организовывать анонсированные эвакуации, периодически делая их внезапными.

При разработке сценария эвакуации следует иметь в виду, что люди совершенно различным образом реагируют на то, каким образом они узнали о пожаре. Например, если тренировать людей реагировать только на сигнал системы оповещения, то они не будут знать, что делать при обнаружении возгорания. Очень часто о пожаре можно узнать, визуально обнаружив задымление или по характерному запаху гари. При отработке плана эвакуации необходимо предусматривать и такие сценарии. Для большей реалистичности целесообразно применять дымовые шашки, специальные осветительные устройства и другие средства, способствующие созданию необходимой обстановки.

Правила противопожарного режима (п. 13) устанавливают, что на объекте с круглосуточным пребыванием людей, относящихся к маломобильным группам населения (инвалиды с поражением опорно-двигательного аппарата, люди с недостатками зрения и дефектами слуха, а также лица преклонного возраста и временно нетрудоспособные), необходимо организовать подготовку лиц, к действиям по эвакуации указанных граждан в случае возникновения пожара. В ряде стран такие задачи уже успешно решены (рис. П2.2).



Рис. П2.2. Сотрудник специальной службы помощи инвалидам в аэропорту г. Стамбула

Практика показывает, что именно нестандартные ситуации, особенно связанные с маломобильными группами населения, вызывают существенные сложности. В связи с этим, при проведении учений необходимо предусматривать сценарии, учитывающие эвакуацию людей с ограниченными возможностями.

Журнал отработки плана эвакуации

По результатам проведения учения заполняется журнал отработки плана эвакуации. В журнале 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. Пример заполнения журнала отработки плана эвакуации приведен ниже.

Пример заполнения журнала отработки плана эвакуации

Отработка плана эвакуации (наименование объекта), в здании, расположенном по адресу: _____

Сотрудник компании Иванов А. А. обнаруживает пожар в 11.30 в к. 12 на 1-м этаже здания.

Описание процесса эвакуации

При обнаружении пожара, была включена система оповещения людей при пожаре. Из-за недостаточной противопожарной подготовки сотрудников попытки тушить условный пожар были неуспешными. При получении сигнала, работники организации приступили к эвакуации людей. Наибольшее время подготовки к эвакуации отмечалось для сотрудников 2-го этажа. На выходе из здания из-за того, что сотрудники охраны не своевременно разблокировали турникеты, образовалась скопление людей. После того, как люди вышли из здания, руководитель организации проверил по списку, все ли сотрудники вышли из здания.

Время эвакуации

Общее время эвакуации здания составило: 3 мин. 25 с.

Выявленные недостатки

1. Задержка включения системы оповещения Петровым И. И., обнаружившим пожар, из-за неработоспособности ручного пожарного извещателя на 1-м этаже.
2. Задержка начала эвакуации работником офиса Сидоровым П. П. из-за неуверенности в реальности пожара.
3. Невыполнение инструкций сотрудником службы охраны Кузнецова С. С. в части встречи пожарных подразделений, из-за незнания должностных инструкций.

На основе разбора учения, необходимо принять следующие меры для повышения уровня пожарной безопасности здания и подготовленности сотрудников к действиям при пожаре.

1. Провести пожарно-техническое обследование систем пожарной автоматики.
2. Провести дополнительные занятия по изучению инструкций о действиях при пожаре со всеми сотрудниками компании.
3. Провести дополнительную отработку планов эвакуации в здании.
4. Поощрить сотрудника Храброва Н. И. и сотрудника охраны Смелкова С. В., четко и своевременно действовавших в соответствии с инструкциями.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПЛОЩАДИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОЕКЦИИ ЛЮДЕЙ

В табл. ПЗ.1–ПЗ.3 и на рис. ПЗ.1 приводятся усредненные размеры людей разного возраста, в различной одежде и с различным грузом.

Таблица ПЗ.1

Площади горизонтальной проекции взрослых людей¹⁶

Взрослый человек в одежде:	Ширина a , м	Толщина c , м	Площадь горизонтальной проекции, м ² /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

Таблица ПЗ.2

Площади горизонтальной проекции детей и подростков¹⁷

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

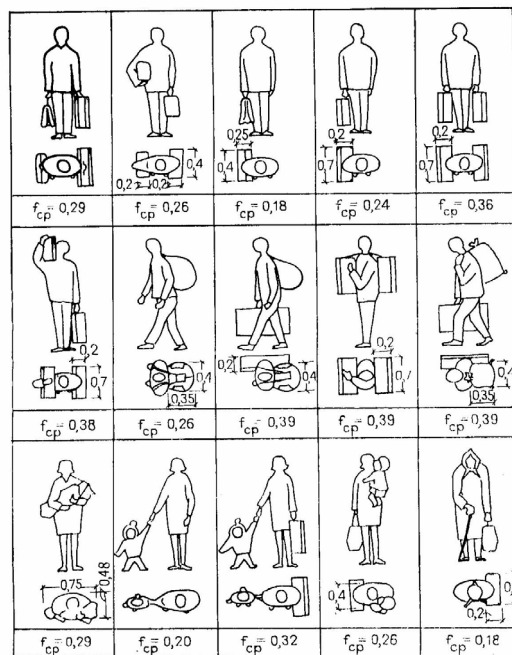










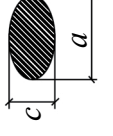
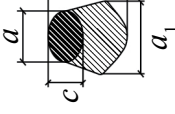
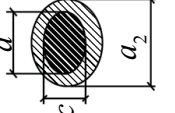
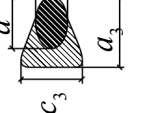
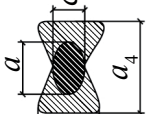

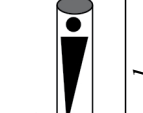
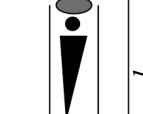
Рис. ПЗ.1. Площадь горизонтальной проекции людей с различным грузом¹⁸

¹⁶ Милинский А. И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения: дис. ... канд. техн. наук. – МИСИ, 1951.

¹⁷ Ерёмченко М. А. Движение людских потоков в школьных зданиях: дис. ... канд. техн. наук. – МИСИ, 1979.

¹⁸ Григорьянц Р. Г. Исследование движения длительно существующих людских потоков: дис. ... канд. техн. наук. – МИСИ, 1971.

Площадь горизонтальной проекции людей с ограниченной мобильностью, м²/чел

Здоровые люди, слабослышащие, с ограниченной умственной деятельностью	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
							
							
$a = 0,28$	$a_1 = 0,40$	$a_2 = 0,40$	$a_3 = 0,50$	$a_4 = 0,50$	$a_5 = 0,80$	$b_1 = 0,50$	$b_2 = 0,75$
$c = 0,46$	$c_1 = 0,82$	$c_2 = 0,75$	$c_3 = 0,65$	$c_4 = 0,90$	$c_5 = 1,20$	$l_1 = 2,10$	$l_2 = 2,10$
$f = 0,10$	$f = 0,40$	$f = 0,25$	$f = 0,20$	$f = 0,30$	$f = 0,96$	$f = 1,05$	$f = 1,58$

Примечание: 1-6 – Архитектурная среда обитания инвалидов и престарелых / Под. ред. В. Н. Степанова. – М.: Стройиздат, 1989; 7-8 – измерения авторов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП МОБИЛЬНОСТИ

Таблица П4.1

Расчетные значения параметров для взрослых людей
без ограничений функций организма

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

Окончание табл. П4.1

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
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 СП 59.13330

Группа мобильности	Вид пути										
	$D, \text{ м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальный		Лестница вниз		Лестница вверх		Пандус вниз		Пандус вверх	
		$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \cdot \text{мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \cdot \text{мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \cdot \text{мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \cdot \text{мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \cdot \text{мин}$
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 5

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СИТУАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ И ПРИМЕРЫ ИХ РАСЧЕТА

Пример 1.

Пересечение границы смежного участка пути

Схема расчетной ситуации представлена на рис. П5.1. На горизонтальном участке i шириной $b_i = 2$ м находится людской поток с параметрами $D_i = 0,15$ м²/м², $V_i = 68,2$ м/мин, $q_i = 10,23$ 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 $b_{i+1} = 1,5$ м.

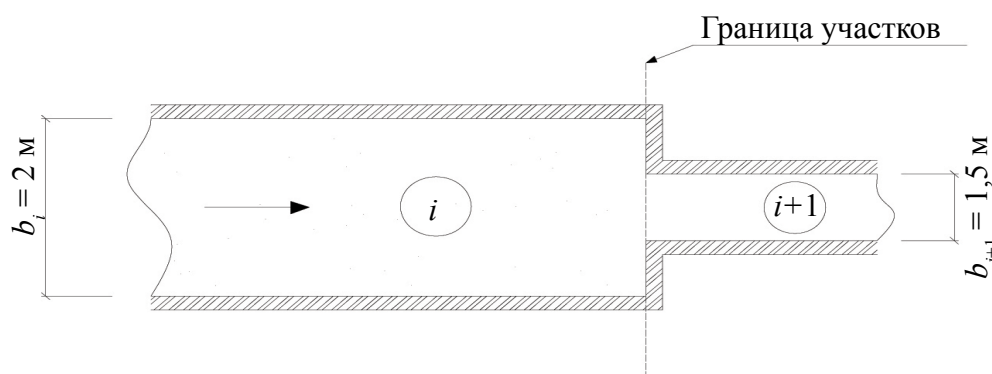


Рис. П5.1. Пересечение границы смежного участка пути

Решение

Интенсивность движения на участке $i+1$ определяется по формуле: $q_{i+1} = \frac{q_i b_i}{b_{i+1}} = \frac{10 \cdot 2}{1,5} < q_{\max} = 16,5$ м/мин. Следовательно, движение происходит беспрепятственно. Значению $q_{i+1} = 13,3$ м/мин соответствует значение плотности людского потока $D_{i+1} = 0,25$ м²/м², а ему – значение скорости движения $V_{i+1} = 53,1$ м/мин.

Пример 2.

Слияние людских потоков

Схема расчетной ситуации представлена на рис. П5.2. К границе участка $i+1$ с предшествующих ему участков i и j одновременно подходят людские потоки, имеющие параметры $q_i = 10,23$ м/мин, $V_i = 68,2$ м/мин, $D_i = 0,15$ м²/м² и $q_j = 3$ м/мин, $V_j = 100$ м/мин, $D_j = 0,03$ м²/м². $b_i = b_{i+1} = 2$ м, $b_j = 1,5$ м. 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:

$$q_{i+1} = \frac{\sum qb}{b_{i+1}} = \frac{q_i b_i + q_j b_j}{b_{i+1}} = \frac{10,23 \cdot 2 + 3 \cdot 1,5}{2} < q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин.}$$

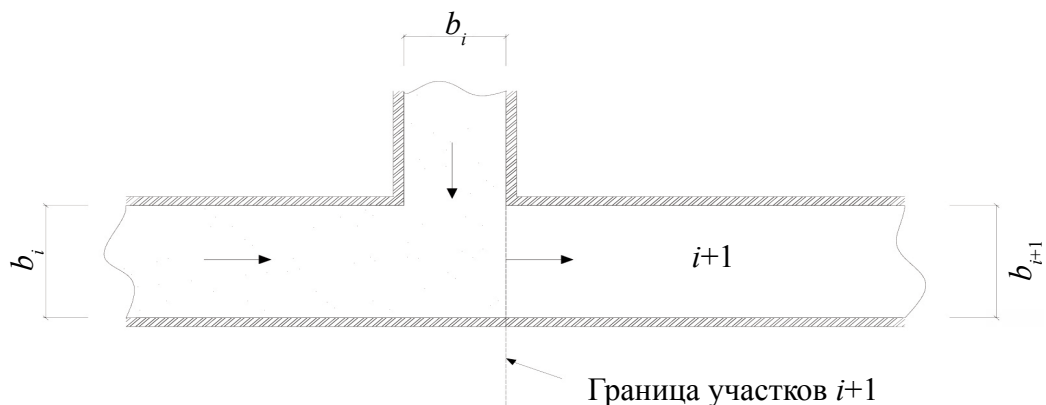


Рис. П5.2. Слияние людских потоков

Следовательно, движение происходит беспрепятственно. Значению интенсивности движения $q_{i+1} = 12,48$ м/мин соответствует значение плотности людского потока $D_{i+1} = 0,31$ м²/м², а ему – значение скорости $V_{i+1} = 46,8$ м/мин.

Пример 3.

Проверка слияния людских потоков

Исходная расчетная ситуация изображена на рис. П5.3. 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: 1 вариант: $L = 15$ м; 2 вариант: $L = 10$ 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.

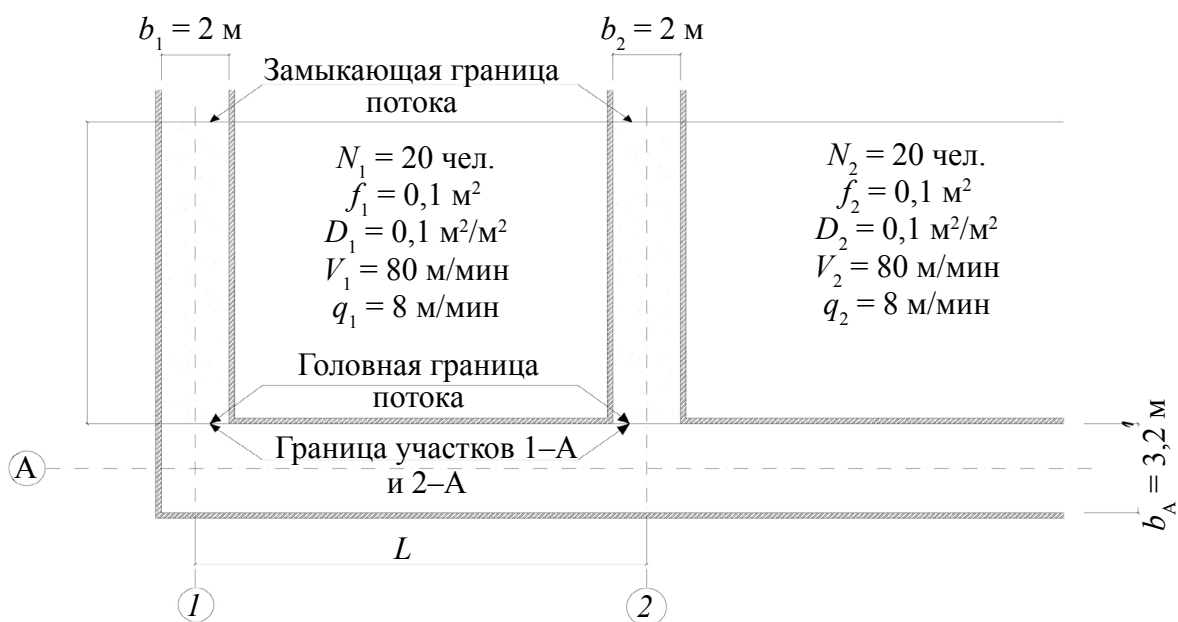


Рис. П5.3. Проверка слияния людских потоков

Решение

При переходе людских потоков с боковых проходов, имеющих ширину $b_n = b_1 = b_2 = 2$ м, на общий путь шириной $b_A = 3,2$ м интенсивность их движения q_A изменяется, и ее значение составляет

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

По таблице приложения или по формуле определяем, что этому значению интенсивности движения по горизонтальному пути соответствует плотность потока $D_A = 0,05$ $^2/\text{м}^2$ и скорость движения $V_A = 100$ м/мин. Следовательно, последний человек в потоках с боковых направлений покинет проходы за время $t_n = l_n / V_n = l_n / V_1 = l_n / V_2 = 10 / 80 = 0,125$ мин. (Это время может быть определено и следующим образом: $t_n = l_n / V_n = l_n b_n D_n / V_n D_n b_n = N_n f / q_n b_n = 2 / 8 \cdot 2 = 0,125$ мин). За это время ($\Delta t_A = t_n$) головные границы потоков переместятся по общему пути на расстояние

$$\Delta l_A = V_A \cdot \Delta t_A = 100 \cdot 0,125 = 12,5 \text{ м.}$$

Если расстояние между осями боковых проходов составляет $L = 15$ м (*вариант 1*), то людские потоки в этот момент займут положение, показанное на рис. П5.4.

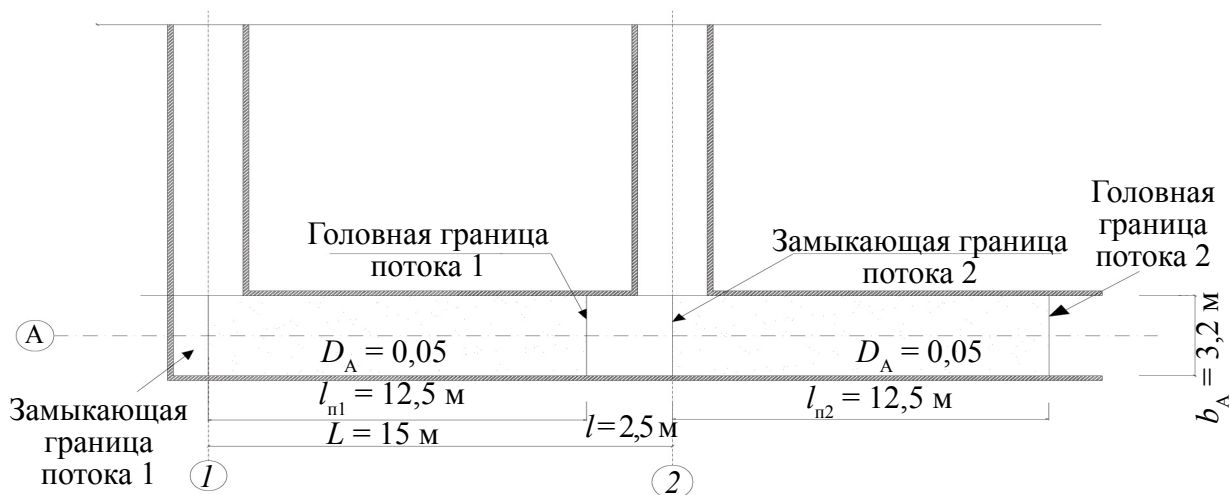


Рис. П5.4. Положение людских потоков на общем пути при $L = 15$ м через 0,125 мин.

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 $\Delta t_A = t_n = 0,125$ 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 ($t_n = 0,125$ мин). Положение людских потоков в этот момент ($\Delta t_A = 0,1$ мин) показано на рис. П5.5.

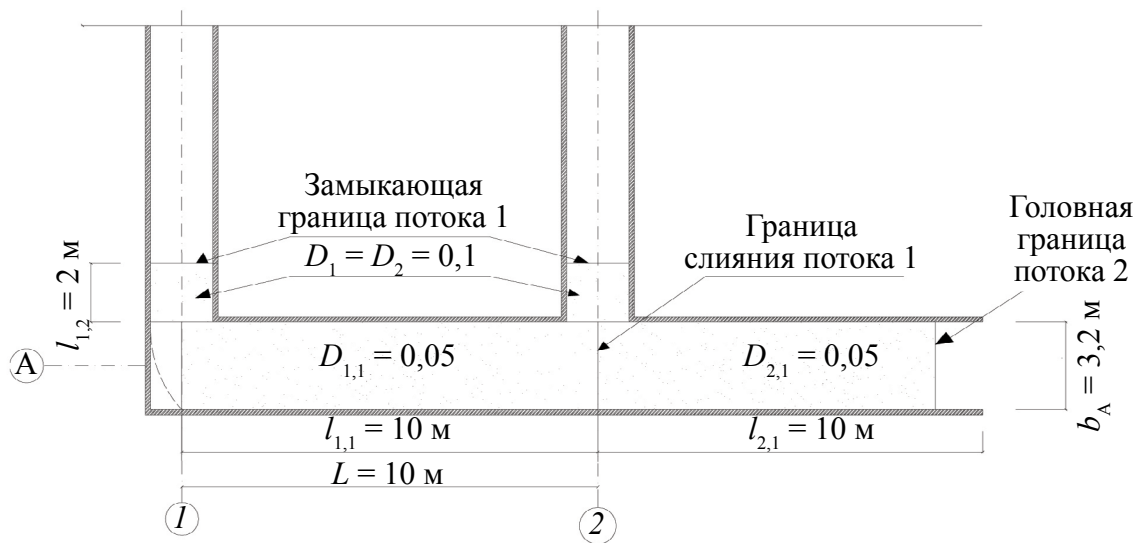


Рис.П5.5. Положение людских потоков в момент $\Delta t_A = 0,1$ мин.

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 $q_A^* < q_{\max} = 16,5$ 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. П5.6.



Рис. П5.6. Положение людских потоков в момент $t = 0,125$ мин.

Пример 4.
Образование скоплений людей

Исходная расчетная ситуация приведена на рис. П.5.7. Людской поток, состоящий из $N = 50$ чел., 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).

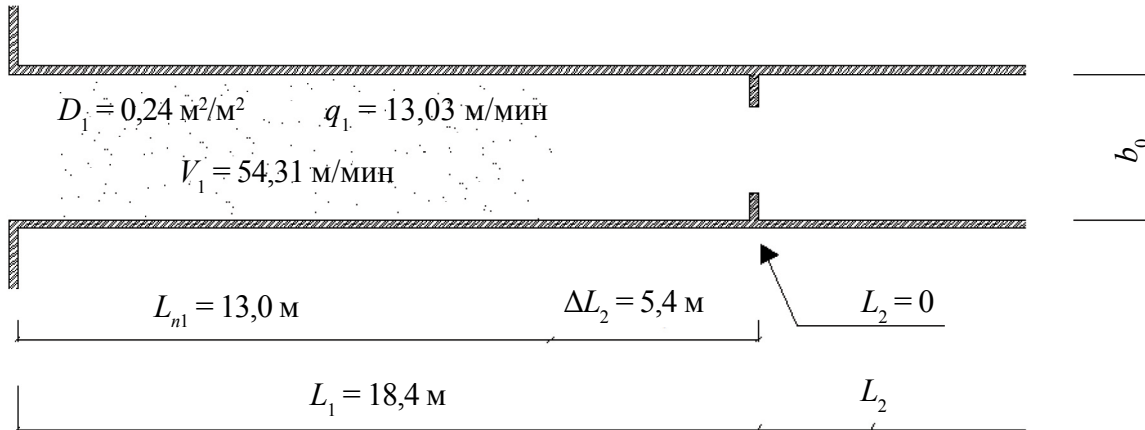


Рис. П.5.7. Исходная расчетная ситуация

Решение

Поскольку поток имеет плотность $D_1 = 0,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то его длину l_n можно определить по формуле $l_n = Nf / D_1 b_1 = 50 \cdot 0,125 / 0,24 \cdot 2 = 13,0 \text{ м}$. Следовательно, его головная (передняя, фронтальная) граница находится от дверного проема на расстоянии $\Delta l_1 = L_1 - l_n = 18,4 - 13,0 = 5,4 \text{ м}$ (что и показано на рис. П.5.7 а). Скорость движения людского потока плотностью $D_1 = 0,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$ по горизонтальному пути составляет $V_1 = 54,31 \text{ м/мин}$, интенсивность движения – $q_1 = 13,03 \text{ м/мин}$. Тогда время движения Δt_1 фронтальной границы потока до дверного проема равно: $\Delta t_1 = \Delta l / V_1 = 5,4 / 54,31 = 0,1 \text{ мин}$. Положение людского потока в этот момент времени показано на рис. П.5.8.

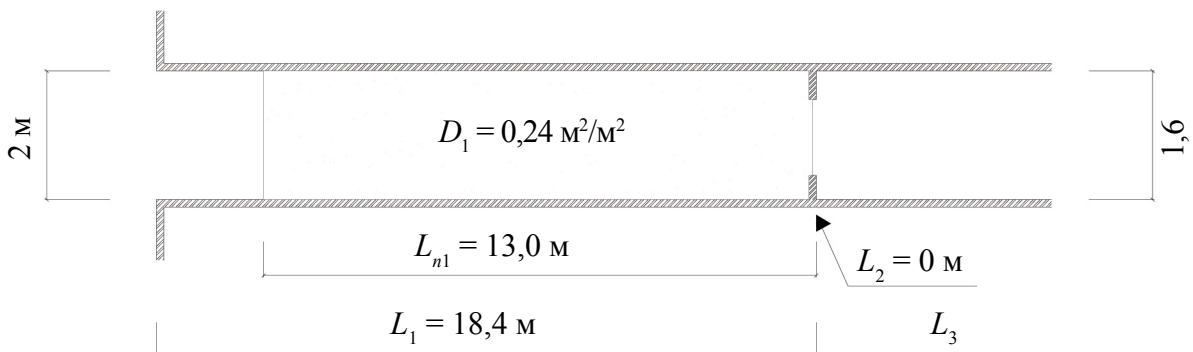


Рис. П.5.8. Состояние людского потока при подходе к дверному проему

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: $q_2 = q_0 = q_1 b_1 / b_2 = 13,03 \cdot 2 / 1,6 = 16,28 < q_{2\max} = 19,6$ м/мин, то есть 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 $t_n = L_{n1} / V_1$; время движения через проем t_2 в данном случае равно 0. Таким образом, время движения t_1 людского потока по рассматриваемому участку составит

$$t_1^I = \Delta t_1 + t_n = \Delta t_1 + L_{n1} / V_1 = 0,1 + 13 / 54,31 = 0,34 \text{ мин.}$$

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

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

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. П5.9.

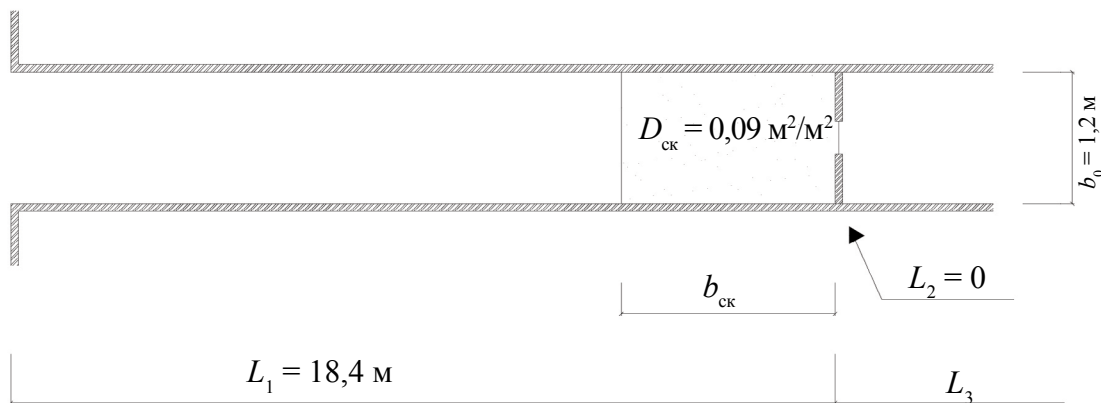


Рис. П5.9. Образование скопления перед проемом

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 $t_2 = t_n = N_f / q_2 b_2$, где $q_2 = q_{2D\max}$, то есть 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):

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

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, то есть $D_3 = 0,042$, $V_3 = 100$ м/мин (рис. П5.10) (подробнее см. в Примере 7).

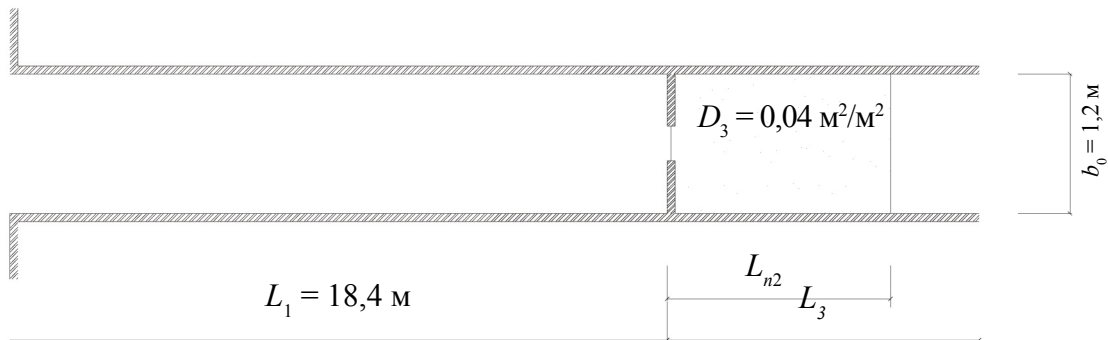


Рис. П5.10. Разуплотнение людского потока

Пример 5.

Время выхода людей с участка эвакуационного пути при образовании скопления 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. П5.11. 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.

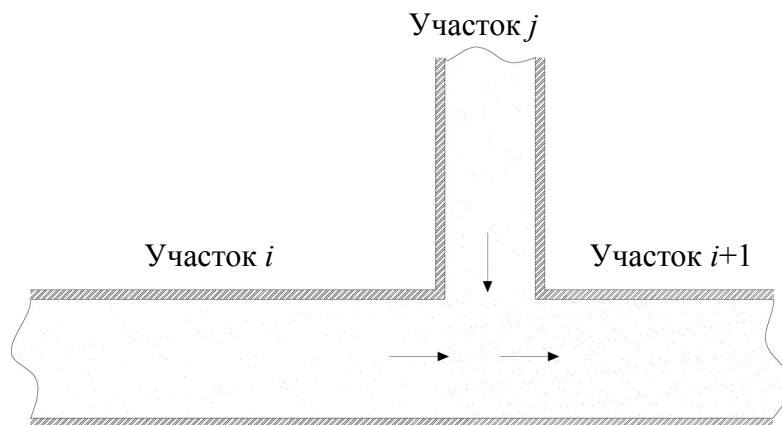


Рис. П5.11. Слияние людских потоков при образовании скопления

Решение

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

$$q_{i+1} = \frac{\sum qb}{b_{i+1}} = \frac{q_i b_i + q_j b_j}{b_{i+1}} = \frac{12 \cdot 2 + 9 \cdot 1,5}{2} = 18,75 \text{ м/мин.} > q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин.}$$

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, то есть 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:

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

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, то есть когда его замыкающая часть выйдет к месту слияния. С этого момента соответственно меняется доля участия потоков, продолжающих слияние, так как $\sum b$ 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).

$$N'_i = q_i^{\text{ск}} \Delta b_i t_i^{\text{ск}} = 13,5 \cdot 1,14 \cdot 0,32 = 4,92 \text{ м}^2$$

или 39,36 человека.

Время выхода оставшегося количества людей с участка i составит

$$t' = \frac{N_i - N'_i}{q_i b_i} = \frac{60 \cdot 0,125 - 4,92}{9 \cdot 2} = 0,28 \text{ мин.}$$

Тогда время выхода людей с участка i составит $t_i = t_i^{\text{ск}} + t' = 0,32 + 0,28 = 0,6$ 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. П5.12). Площадь горизонтальной проекции эвакуирующихся $f = 0,125$ м².

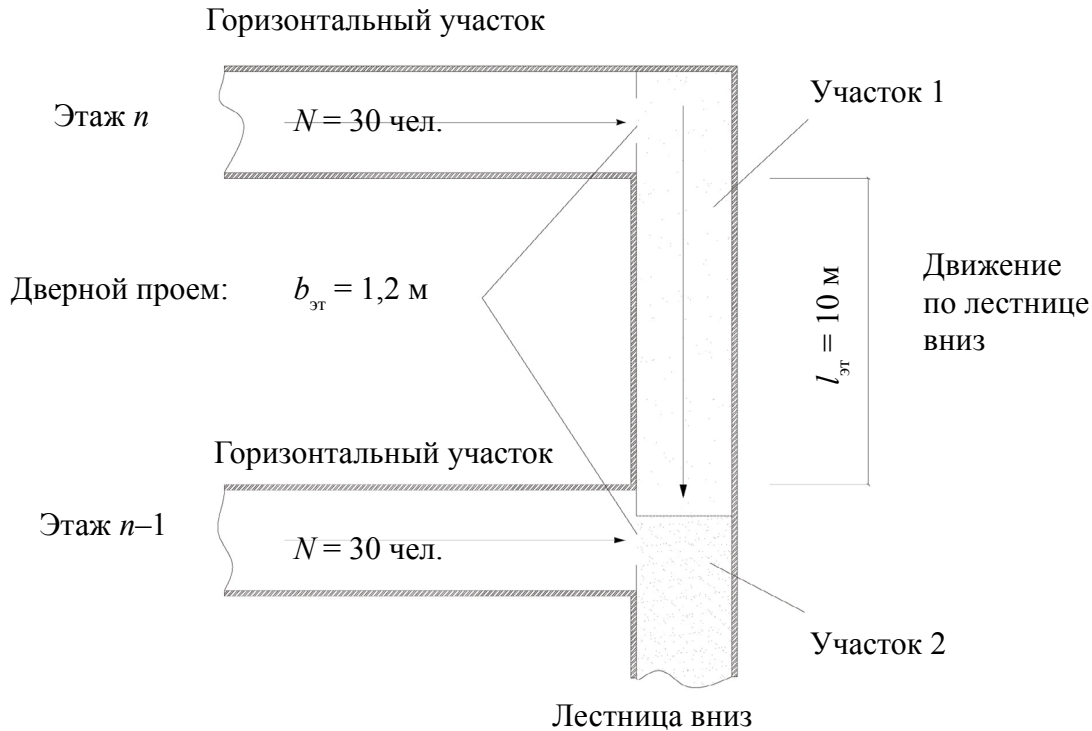


Рис. П5.12. Исходная ситуация

Решение

Параметры движения людей на лестнице.

Участок 1.

$$q_l = \frac{q_{\text{эт}} b_{\text{эт}}}{b_{\text{л}}} = \frac{14 \cdot 1,2}{1,35} = 12,44 \text{ м/мин},$$

скорость движения людей по лестнице составит $V_{\text{л}} = 74,1$ м/мин. Тогда эвакуирующиеся пройдут путь между этажами за время $\Delta t_{\text{л}} = \Delta l_{\text{л}} / V_{\text{л}} = 10 / 74,1 = 0,13$ мин.

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

$$t_{\text{эт}} = \frac{N_{\text{эт}} f}{b_{\text{л}} q_{\text{эт}}} = \frac{60 \cdot 0,125}{1,2 \cdot 14} = 12,44 \text{ м/мин}$$

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

Участок 2. Происходит слияние людских потоков:

$$q_l = \frac{2q_{\text{эт}} b_{\text{эт}}}{b_{\text{л}}} = \frac{2 \cdot 14 \cdot 1,2}{1,35} = 12,44 \text{ м/мин},$$

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 $\Delta t_{\text{л}} = 0,13$ мин.

$$N' = q_{\text{эт}} b_{\text{эт}} \Delta t_{\text{л}} = 14 \cdot 1,2 \cdot 0,13 = 2,18 \text{ м}^2 = 17,4 \text{ чел.}$$

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

$$N_{\text{ск}} = 2(0,125N_{\text{эт}} - N') = 2(60 \cdot 0,125 - 2,18) = 10,64 \text{ м}^2 = 85,1 \text{ чел.}$$

(принимаем 86 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 $\Delta N_{\text{эт}} = f(N_{\text{эт}} - N') = 0,125(60 - 17,4) = 5,33 \text{ м}^2$ или 42,6 чел. при образовании максимальной плотности на лестнице с $q_{D_{\text{max}}} = 7,2$ м/мин составит

$$\Delta t_{\text{эт}} = \Delta N_{\text{эт}} / \gamma_{\text{эт}} b_{\text{эт}} q_{D_{\text{max}}} = 5,33 / (0,471 \cdot 1,2 \cdot 7,2) = 1,31 \text{ мин.},$$

а общее время эвакуации этажа

$$t_{\text{эт}} = \Delta t_{\text{эт}} + \Delta t_{\text{л}} = 1,31 + 0,13 = 1,44 \text{ мин.}$$

Таким образом, время эвакуации людей с этажа увеличилось из-за образования скопления на лестнице на 0,99 мин или в 3,2 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, то есть 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. П5.12). Участки пути горизонтальные.

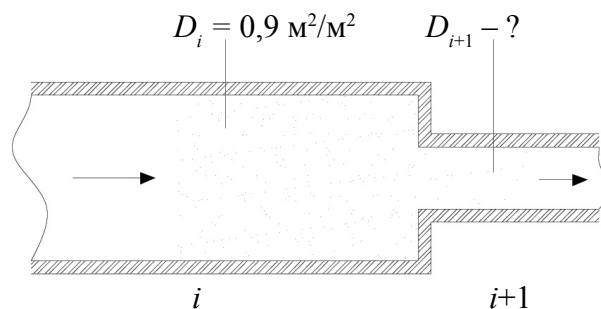


Рис. П5.12. Исходная ситуация

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, то есть максимальную плотность – $D_{i+1, \text{max}}$ и соответствующие ей скорость $V_{i+1} = V_{D_{\text{max}}}$ и интенсивность движения $q_{i+1} = q_{D_{\text{max}}}$. 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», то есть $D_{i+1} = 0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_{i+1} = 15 \text{ м/мин}$ (рис. П5.13).

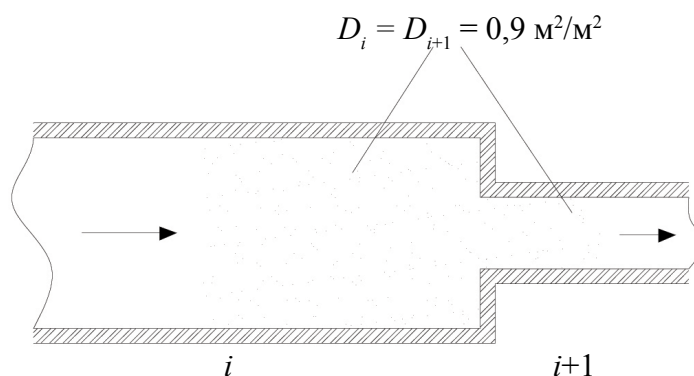


Рис. П5.13. Параметры людского потока на участке пути после образования скопления людей на его границе, согласно положениям ГОСТ 12.1.004–91*

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, $q_{i+1} = q_i = q_{D_{\max}}$ 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 $V_{D_{\max}}$. 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:

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

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 $V_{i+1} = 50,8 \text{ м/мин}$, то есть происходит разуплотнение людского потока (рис. П5.14).

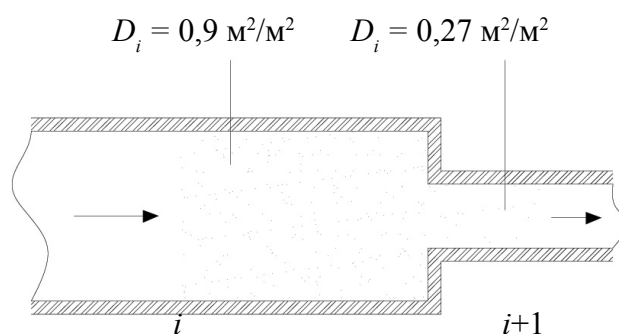


Рис. П5.14. Параметры людского потока на участке пути при его разуплотнении после образования скопления людей на границе смежных участков

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

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. Определение количества соседних этажей, исключая образование скопления в лестничной клетке

Критерием выбора количества этажей является выполнение условия беспрепятственного движения:

$$\Sigma P < Q_{\text{лм}}$$

где ΣP – 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 одного до трех.

3. Определение расстояния 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. Определение интервалов 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), $t_{\text{дв}} = (l_{\text{тр}} + dl) / V_3$, 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. Пб.1 и Пб.2.

Таблица Пб.1

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. После обнаружения пожара сигнал о начале эвакуации подается на этажи 40 и 41. Спустя 5,4 мин. – на этажи 42 и 43. Спустя 12 мин. команда к началу эвакуации подается на этажи 38 и 39. Через 5,4 мин. (то есть спустя 17,4 мин. после обнаружения пожара) эвакуация последовательно организуется с самых верхних этажей блоками по два соседних этажа.

Таблица Пб.2

Пример алгоритма полной комбинированной поэтапной эвакуации с использованием лифтов

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	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

Примечания. 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. После 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.

Учебное издание

ХОЛЩЕВНИКОВ Валерий Васильевич
САМОШИН Дмитрий Александрович
ПАРФЕНЕНКО Александр Павлович
КУДРИН Иван Сергеевич
ИСТРАТОВ Роман Николаевич
БЕЛОСОХОВ Иван Романович

ЭВАКУАЦИЯ И ПОВЕДЕНИЕ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

Учебное пособие

Технический редактор *Ю. В. Тихомирова*

Подписано в печать 25.06.2015 г. Формат 60×90 ¹/₁₆.
Печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 11,4. Бумага офсетная.
Тираж экз. Заказ №

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Б. Галушкина, 4