

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]).

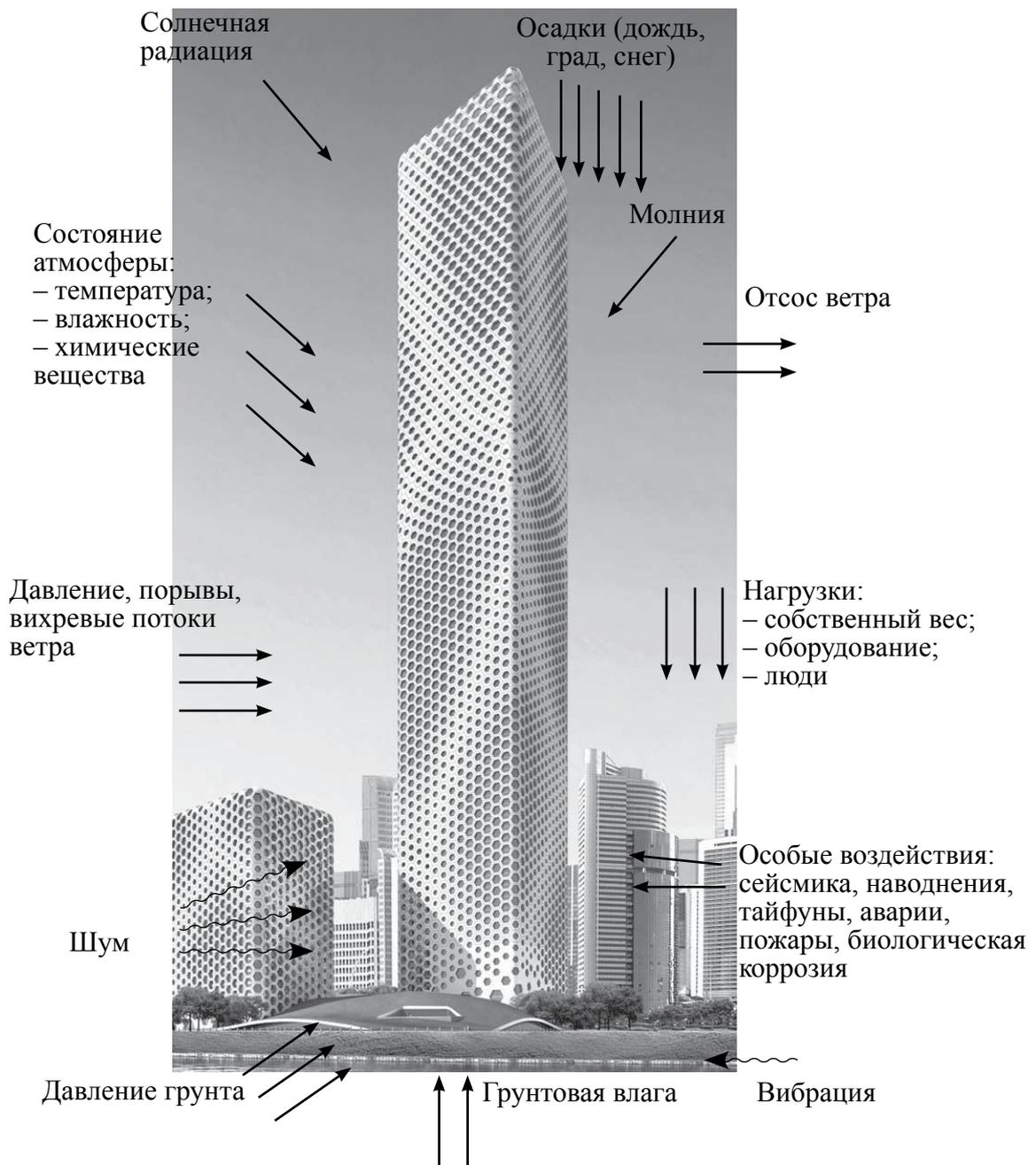


Рис. 1.1. Воздействия на здание

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_B^H и расчетной величины пожарного риска Q_B .

$$Q_B \leq Q_B^H. \quad (1.1)$$

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_B рассчитывают по формуле:

$$Q_B = Q_n(1 - K_{АП})P_{пр}(1 - P_э)(1 - K_{ПЗ}),$$

где Q_n – частота возникновения пожара в здании в течение года; $K_{АП}$ – коэффициент, учитывающий соответствие автоматических установок пожаротушения (АУП) требованиям норм; $P_{пр}$ – вероятность присутствия людей в здании ($P_{пр} = t_{функц}/24$, где $t_{функц}$ – время нахождения людей на объекте, ч.); $P_э$ – вероятность эвакуации людей; $K_{ПЗ}$ – 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 иницилирующему 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.

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 400 экз. Заказ № 278

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Б. Галушкина, 4