

ПРОБЛЕМА БЕСПРЕПЯТСТВЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЙ, ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ И ОЦЕНКИ

В. Холщевников
д.т.н., действительный член
Всемирной Академии Наук Комплексной безопасности
профессор МГСУ

Критерии безопасности людей при эвакуации из зданий и сооружений в чрезвычайных ситуациях, в частности при пожаре, были сформулированы [1] в результате работ, выполненных сотрудниками Института архитектуры Всероссийской академии художеств [2], кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий МГСУ (МИСИ) [3, 4], Центрального научно-исследовательского института противопожарной обороны МВД СССР [5]. В нормировании они были впервые использованы при выполнении МИСИ контракта с ЮНЕСКО [6]. До 1980 года явно выраженные критерии безопасности людей при пожаре в отечественном нормировании отсутствовали [7]. В систему строительного и противопожарного нормирования страны эти критерии введены СНиП II-2-80 [8].

Критерии обеспечения безопасности были выражены аналитически, согласно [1]:

своевременность –

$$t_{эв} = \sum t_i \leq t_{нб}, \quad (1)$$

беспрепятственность –

$$D_i \leq D_{нп}, \quad (2)$$

или в эквивалентной форме –

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{с-1}}{b_i} \leq q_{max}. \quad (3)$$

В формулах (1-3):

$t_{эв}$ – время эвакуации людей с момента ее начала до момента выхода людей в зону безопасности вне здания, мин;

$t_{нб}$ – время, необходимое (допустимое) для эвакуации людей до достижения на участках эвакуации опасными факторами уровней, угрожающих здоровью и жизни людей, мин;

D_i – значение плотности людского потока на любом участке его эвакуации;

$D_{нп}$ – предельно допустимая величина плотности людского потока, исключающая возможность образования их скоплений, в которых взаимное давление людей друг на друга может привести к физическому травматизму и удушью (компрессионная асфиксия), возникновению паники;

q_i и q_{i-1} – интенсивность движения людского потока на смежных (предшествующем $i-1$ и рассматриваемом i) участках эвакуационного пути, чел./мин, т.е. количество людей, проходящих в каждую минуту через поперечное сечение пути;

b_i и b_{i-1} – ширина смежных участков пути, м.

Вполне очевидно, что выполнение соотношения (3) требует, чтобы величина людского потока ($P_{i-1} = q_{i-1} \cdot b_{i-1}$), направляющегося к границе участка i , не превосходила его пропускной способности ($Q_i = q_{max} \cdot b_i$), что и является условием недопущения скопления людей перед ним.

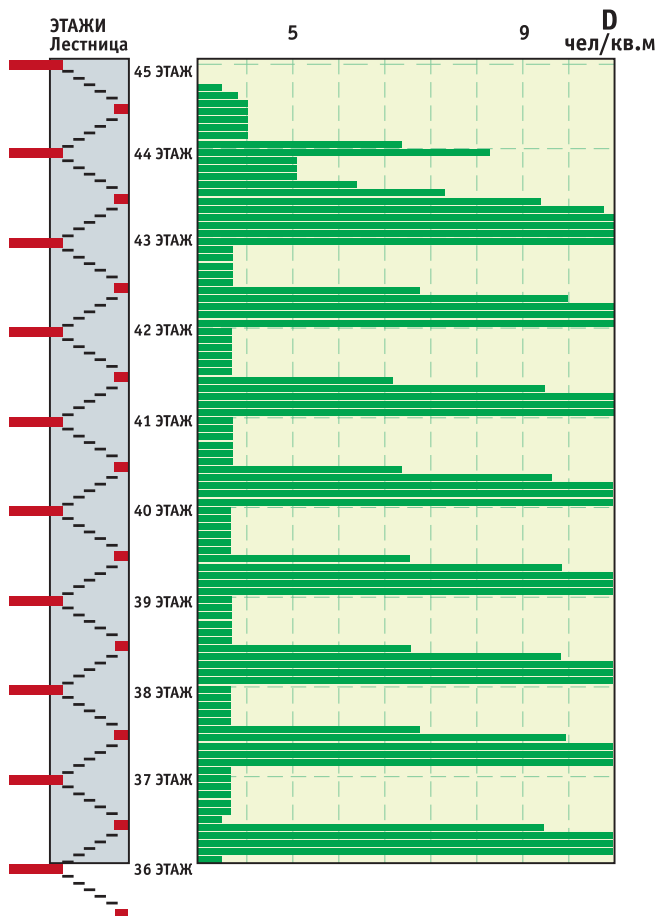
В приложении 1 СНиП 11-2.80, заимствованном затем приложением 2 ГОСТ 12.1.004-91 [9], записано, что при невозможности выполнения условия (3) интенсивность и скорость движения потока по участку i определяются при максимальном значении плотности D_{max} . Это было сделано специально для тех случаев, когда по объективным обстоятельствам, например в уже существующих зданиях, невозможно изменить размеры коммуникационных путей до требуемых для беспрепятственной эвакуации людей и учета негативных последствий таких решений. В этих случаях не только образуется скопление людей, но и время их эвакуации значительно возрастает. Например, скорость движения по горизонтальным путям, согласно данным таблицы зависимостей между параметрами людских потоков, приведенной в СНиП 11-2.80 (табл. 4) и ГОСТ 12.1.004-91 (табл. 2), при $q_{max} = 16,5$ м/мин, соответствующей $D = 0,5$, составляет

33 м/мин, а при $D_{max} - 13,5$ м/мин; значение интенсивности движения через проем при $D = 0,5$ составляет 19,6 м/мин, при $D_{max} = 0,92 - q_{0,92} = 8,5$ м/мин, а при ширине проема менее 1,6 м и того меньше: при ширине проема 0,9 м – $q = 5,875$ м/мин.

В СНиП 21-01-97* эти аналитически выраженные критерии безопасности заменены словесным требованием обеспечить «своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей» [10, п. 6.1]. Поскольку содержание терминов «своевременная» и «беспрепятственная» не раскрыто, допускается их произвольное толкование. Оно обнаруживается в СНиП по проектированию общественных зданий и сооружений [11]. Пункт 1.115 этих норм отменяет необходимость определения $t_{нб}$, а с ним и $t_{эв}$ при эвакуации людей по незадымляемой лестничной клетке. Однако давно [3, 12, 13] известно, что несоблюдение критериев (1-3), допущение одновременной, неорганизованной эвакуации из высотных зданий равнозначно рукотворному созданию для людей катастрофы.

Как было показано [14], при одновременной эвакуации людей со всех этажей высотного здания в его незадымляемых лестничных клетках через несколько минут образуются (рис. 1, 2) на уровне выходов с этажей людские потоки с максимальной плотностью. Такая плотность потока постепенно распространяется на всю лестницу. При этом часть людей долго не может выйти с этажей в лестничную клетку, а на выходе из нее постоянно на протяжении практически всего времени эвакуации поддерживается предельная плотность потока (выше 5, до 9 чел/м²). Естественно, что при такой плотности скорость движения людей становится минимальной и эвакуация растягивается на часы. Но страшнее другое. Давление людей друг на друга в образовавшейся толпе достигает таких величин, что прогибаются ограждения из стальных труб диаметром 50 мм, сдавливание тела приводит к компрессионной асфиксии. Такие случаи известны не только медикам. Гибель людей в переуплотненной толпе при похоронах

Рис. 1. Распределение плотности людского потока (D , чел/кв.м) на участках лестницы шириной 1,2 м через 1,5 мин после начала эвакуации с каждого этажа по 100 человек со скоростью свободного движения 60 м/мин



И.В. Сталина описана, например, в произведениях П. Проскурина и Е. Евтушенко. Подобное происходит и в наши дни: по заключению медицинской экспертизы 19 молодых женщин погибли в результате компрессионной асфиксии во время известной демонстрации в Тбилиси.

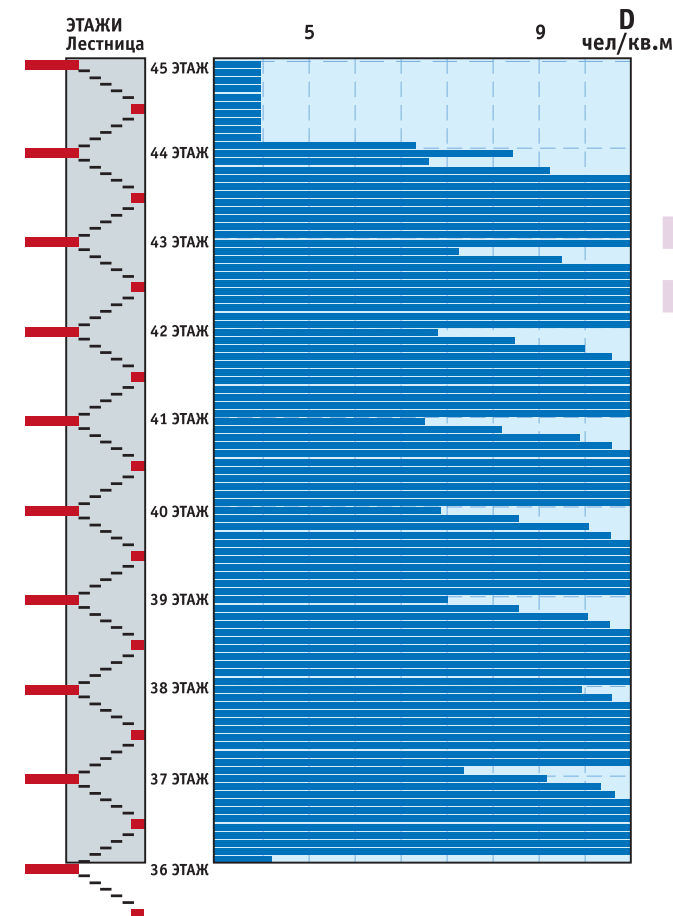
Имеется несколько проектных и организационных возможностей предотвращения возникновения подобных ситуаций при эвакуации из высотных зданий:

- значительное увеличение количества лестничных клеток;
- поэтапная эвакуация;
- использование лифтов для эвакуации людей во время чрезвычайных ситуаций, в том числе при пожаре.

Конечно, идеальным решением было бы создание условий, позволяющих вообще не проводить эвакуацию людей. Но пока это мечта, сегодня необходимо оценивать реальные возможности.

Требование увеличить количество лестничных клеток может быть высказано в нормах прямо или косвенно, например через установление весьма малых, как правило, не аргументированных, допустимых расстояний от выходов из помещений до входа в лестничную клетку. За примером далеко ходить не нужно – «Расстояние от дверей любого помещения до эвакуационной лестницы должно быть не более 20 м» (п. 3.32 МГСН «Многофункциональные высотные здания и комплексы»). Но в любом случае необходимо обосновать требуемое количество лестничных клеток. А чем обосновать? Ссылками на то, что американские специалисты в результате анализа последствий катастрофы 11 сентября 2000 года пришли к выводу о недостаточном количестве лестниц в зданиях Всемирного торгового центра? Не аргумент – они сами не знают, сколько их нужно. А специалисты ведущих европейских стран только недавно создали специальную комиссию, чтобы разобраться в причинах образования скопления людей.

Рис. 2. Максимальная плотность людского потока (D , чел/кв.м) на участках лестницы шириной 1,2 м в течение всего времени эвакуации с каждого этажа по 100 человек со скоростью свободного движения 60 м/мин



Критерием для определения необходимого количества лестничных клеток в высотном здании могло бы стать недопущение в них потоков с плотностью более 4 чел/м² при одновременной эвакуации людей со всех этажей. Такие ситуации определяются моделированием движения людских потоков. Только не следует пользоваться для этого моделями американских фирм (например, знаменитой SOM), поскольку они используют гидроанalogии, закономерности которых противоречат установленным кинематическим [1] и психофизиологическим [15] закономерностям людских потоков.

Однако полученные решения требуют внимательной оценки. Во-первых, потому, что длительное движение даже по лестнице вниз вызывает у людей сильное утомление. По данным зарубежных исследователей [16, 17], люди испытывают усталость при 5 минутах спуска по лестнице, а при спуске приблизительно с 18-го этажа «страдают от усталости». Во-вторых, потому, что это будет очень дорогостоящим решением, ставящим под сомнение технико-экономическую целесообразность строительства высотного здания. На диаграмме (рис. 3) «стоимость коммуникационных путей (и связанных с ними планировочных решений здания) – время эвакуации» такое решение соответствует кривой CD максимальной стоимости [13].

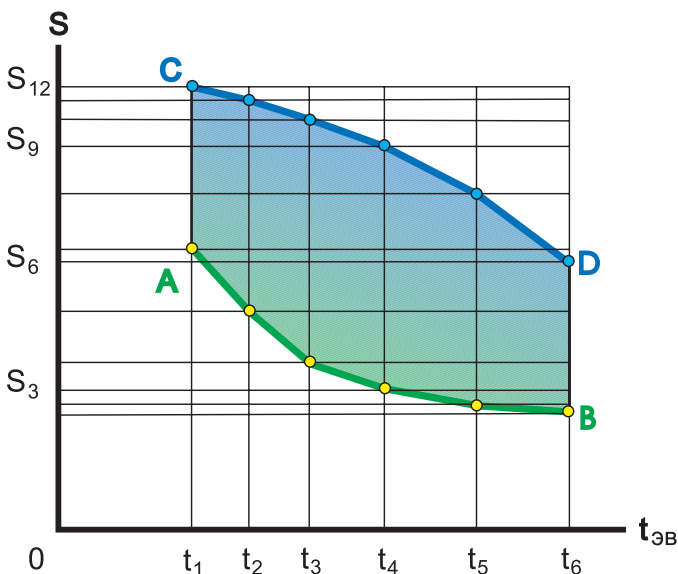
Гораздо более целесообразное решение дает организация поэтапной эвакуации. Впервые она была предложена [12] в 1969 году, декларировалась в нескольких редакциях норм по противопожарной безопасности при разработке систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), но необходимая для нее очень четкая и вариабельная организация осталась непроработанной, вроде «могут быть использованы расчетные сценарии» [10, п. 4.5]. Однако даже интуитивно применившие ее специалисты восхищаются ее эффективностью [18]. Организация поэтапной эвакуации позволяет обеспечить беспрепятственное движение людских потоков, не влияя значительно на стоимость объемно-планировочных решений высотных зданий.

Однако остаются проблемы высокой физической и психологической утомляемости людей при их пешеходной эвакуации и ее продолжительности. Как и 35 лет назад [12, 13], остается рекомендовать в качестве наиболее рационального

Рис. 3. Область возможных решений: время эвакуации $t_{эв}$ – технико-экономические затраты S (нотеру).

AB – линия минимальных технико-экономических затрат и потерь при достижении требуемых значений времени эвакуации людей из высотных зданий;

CD – линия максимальных технико-экономических потерь при нерациональных способах достижения требуемых значений времени эвакуации.



решения проблем эвакуации людей из высотных зданий организацию их поэтапной эвакуации с использованием лифтов. По данным зарубежных исследований, большая часть людей успевает эвакуироваться из многоэтажных зданий при помощи лифтов до их отключения. За прошедшие 35 лет возросла надежность лифтовых установок, многократно увеличилась их противопожарная защита. Сегодня уже сами пожарные требуют установки противопожарных лифтов для доставки своих подразделений к этажу пожара. Но до сих пор они, «заботясь» о безопасности людей, запрещают им в случае пожара пользоваться для эвакуации техническим устройством, благодаря которому стало возможным само существование высотных зданий, и посылают их в толкучку в незадымляемую лестничную клетку на время, сопоставимое с продолжительностью пожара, тогда как лифтовый узел может быть защищен не менее чем лестничная клетка. Парадоксальная ситуация, которая давно требует своего разрешения. Сведения из-за рубежа свидетельствуют, что наконец-то после катастрофы 11 сентября 2000 года среди специалистов США и Европы окончательно возобладало мнение о целесообразности использования лифтов для эвакуации людей и необходимости поиска для этого соответствующих технических решений.

В заключение обсуждаемой проблемы следует обратить внимание на ее следующий аспект. Потеря высотного здания в результате ЧС является, конечно, большим градостроительным ущербом и, безусловно, оказывает на общество громадное моральное воздействие. Тем не менее, «проблема сохранения здания как имущественной ценности относится к вопросам страхования и решается в каждом конкретном случае посредством соглашения между владельцем и страховой компанией» [19]. Сохранение же жизни и здоровья людей – ответственность государства, определяющая основной смысл Федерального закона «О техническом регулировании» [20]. Поэтому обеспечение безопасности людей в любом высотном здании – показатель реальной степени ответственности государства перед каждым из его жителей, а не предмет компромисса интересов сторон, участвующих в его создании и эксплуатации.

Закон «О техническом регулировании» указывает: «В техническом регламенте в целях его принятия могут содержаться правила и формы оценки соответствия (в том числе, схемы подтверждения соответствия), определяемые с учетом степени риска...» (ст. 7, п. 3), разъясняя: «Риск – вероятность причинения вреда жизни и здоровью граждан...» (ст. 2). В противопожарном нормировании вероятностную оценку воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на людей впервые ввел, как известно, ГОСТ 12.1.004-91. Это его несомненное достоинство. Однако предлагаемый им «Метод определения уровня обеспечения безопасности людей» (приложение 2, обязательное) не учитывает требования беспрепятственности эвакуации и вероятности значений скорости потоков эвакуирующихся людей с учетом их возраста и физического состояния в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности [10, п. 5.21].

Поскольку безопасность эвакуации людей обеспечивается только при ее беспрепятственности и своевременности, при рассмотрении безопасности как события становится очевидно, что оно может наступить только при одновременном на ступлении определяющих ее случайных событий. Появление каждого из них имеет свою вероятность, соответственно, беспрепятственности – $P(БП) = P(D_i \leq D \text{ при } q_{max})$ и своевременности – $P(t) = P(t_i, эв \leq t_i, нб)$. Появление только одного из этих событий без появления другого не ведет к появлению события «безопасность», поэтому вероятность обеспечения безопасности $P(S)$ равна произведению вероятностей определяющих ее событий:

$$P(S) = P(БП) \times P(t). \quad (4)$$

Как время завершения эвакуации $t_{эв}$ является случайной величиной, зависящей от скорости движения людей, составляющих поток, и от размеров и структуры эвакуационных пу-

тей [21], так и необходимое время эвакуации $t_{нб}$ является случайной величиной, зависящей от разброса значений пожарно-технических характеристик материалов, закономерностей и особенностей распространения ОФП, определяемого структурой объемно-планировочного решения здания и функционированием систем противопожарной защиты и дымоудаления. Поэтому для обеспечения безопасности людей необходимо, чтобы максимальное вероятное время их эвакуации с участка (i) пути не превосходило вероятного минимального времени их возможного пребывания на нем без воздействия критических уровней ОФП, т.е.

$$P(t_i) = P(\max t_{i,эв} \leq \min t_{i,нб}). \quad (5)$$

Учитывая стохастичность процесса движения людских потоков, нельзя полностью исключить вероятность образования скоплений людей на границах смежных участков. Чем кратковременнее эти скопления ($t_{ск}$), тем менее вероятны их отрицательные последствия и тем вероятнее обеспечение безопасности людей при эвакуации. Эти соображения дают возможность выразить вероятность беспрепятственной эвакуации через временные параметры:

$$P(БП) = P\left(\frac{t_{i,эв} - t_{i,ск}}{t_{i,эв}}\right). \quad (6)$$

Соотношения (5) и (6) позволяют дать оценку вероятности обеспечения безопасности людей на каждом участке (i) эвакуационного пути:

$$P(S_i) = P\left(\frac{t_{i,эв} - t_{i,ск}}{t_{i,эв}}\right) \times P(\max t_{i,эв} \leq \min t_{i,нб}). \quad (7)$$

Безопасность эвакуации людей из здания – это их безопасность на каждом участке маршрута движения, следовательно, ее вероятность $P(S_{эд})$ можно записать в следующем виде:

$$P(S_{эд}) = P(S_i \prod_{i=1}^n) = \prod_{i=1}^n P(S_i), \quad (8)$$

здесь $\prod_{i=1}^n$ – знак произведения.

Параметры движения людских потоков, так же как и показатели динамики ОФП, на смежных участках пути взаимосвязаны: изменения их значений на одних участках вызывают соответствующие изменения значений на последующих участках. Следовательно, изменяется значение величин, входящих в формулу (7). Однако эти изменения влияют на значения вероятности обеспечения безопасности, а не на наличие самого факта, события (безопасность), которое всегда присуще любому участку, если он есть в маршруте эвакуации, и не зависит от того, существует ли другой участок в этом маршруте. Поэтому безопасность на каждом участке маршрута рассматривается в формуле (8) как независимое событие.

Нормируемое значение $P(S_{эд})$, следуя логике формулы (5) приложения 2 ГОСТ 12.1.004, должно быть принято равным 0,999. Методика построения распределения $t_{эв}$ при помощи имитационного моделирования разработана давно и описывалась неоднократно не только в нашем специальном журнале, но и в учебниках для студентов [22, 24].

Хотелось бы услышать мнение читателей о предлагаемом подходе к оценке вероятности обеспечения безопасности людей при эвакуации. Необходимо подчеркнуть, что именно «при эвакуации», а не безопасности людей при пожаре вообще, поскольку часть людей, по зарубежным данным до 30%, отказывается от эвакуации. Этого факта наши нормативы не учитывают.

Литература

1. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. М., 1979.
2. Беляев С.В. Эвакуация зданий массового назначения. М., 1938.
3. Предтеченский В.М. О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия высших учебных заведений, серия «Строительство и архитектура», 1958, № 7.
4. Предтеченский В.М., Холщевников В.В. Принципы нормирования эвакуации людей из зданий и помещений при пожарах // Сборные многоэтажные здания: Труды III Международного симпозиума. М., 1976.
5. Милинский А.И. Принципы нормирования эвакуации людей из зданий массового назначения // Информационный сборник ЦНИИПО. М., 1964.
6. Холщевников В.В., Алексеев Ю.В. Нормы безопасности для эвакуации из школьных зданий, в частности в районах, подверженных естественным катастрофам // Контракт № 506463 между ЮНЕСКО и Московским инженерно-строительным институтом. М., 1979.
7. СНиП II-A-5-70* «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений». М., 1978.
8. СНиП II-2-80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений». М., 1981.
9. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования». М., 1992.
10. СНиП 21-01-97* «Пожарная безопасность зданий и сооружений». М., 1998.
11. СНиП 2.08.02-89* «Общественные здания и сооружения».
12. Великовский Л.Б., Холщевников В.В. Вопросы эвакуации из высотных зданий // «Архитектура СССР», 1969, № 1.
13. Холщевников В.В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания: Дисс. ... канд. техн. наук. М., 1969.
14. Холщевников В.В. Безопасность людей в высотных зданиях: чем она обеспечена? // «Строительство», 2005, № 1-3.
15. «Закономерность связи между параметрами людских потоков»: Диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. Автор Холщевников В.В. Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Российская академия естественных наук, Международная ассоциация авторов научных открытий.
16. Watrou Lanrecé D. The ease for evacuating high-rise buildings // Elevator World. 1972. № 11.
17. So A., Lai T., Yu J. Lift logic // FEJ and FPIO, 2003, August.
18. Танклевский Л.Т., Юн С.П., Таранцев А.А. О возможности оптимизации движения эвакуирующихся из многоэтажных зданий // «Пожаровзрывобезопасность», 2005, № 1.
19. Граник Ю.Г. Проблемные вопросы пожарной безопасности высотных зданий // «Пожарная автоматика – 2006». М., 2005.
20. «0 техническом регулировании». Федеральный закон № 184-ФЗ от 27 декабря 2002 года // «Пожаровзрывобезопасность», 2003, № 2.
21. Холщевников В.В. Проблемы оценки безопасности людей при пожаре в уникальных зданиях и сооружениях // «Пожаровзрывобезопасность», 2004, № 4.
22. Холщевников В.В., Никонов С.А., Шелгунов Р.Н. Моделирование и анализ движения людских потоков в зданиях различного назначения. М., 1986.
23. Холщевников В.В. Безопасность эвакуации // «Архитектура гражданских и промышленных зданий. Гражданские здания». Учебник для вузов. М., 1993.