

УДК

*В.В. ХОЛЩЕВНИКОВ, д-р техн. наук,
Московский государственный строительный университет,
Д.А. САМОШИН, канд. техн. наук,
Академии Государственной противопожарной службы МЧС России*

Анализ процесса эвакуации людей из высотных зданий

Проанализированы способы обеспечения своевременной и беспрепятственной эвакуации людей. Предложен алгоритм полной комбинированной поэтапной эвакуации людей из высотного офисного здания с использованием лифтов.

Тенденции мирового высотного строительства очевидны: в настоящее время высота самой высокой башни мира «Тайпей 101» (Тайвань) составляет 508 м, а к 2010 г. высота строящейся башни «Бурж Дубай» (ОАЭ) достигнет проектной отметки 807 м. Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре (ЧС) в таких зданиях выходят на первый план. Так, за последние 10 лет произошло более 30 крупных пожаров в высотных зданиях, эвакуация из которых представляла сложную задачу. Погибли и были травмированы десятки человек.

Анализ проектных решений и расчет процесса эвакуации людей из высотных зданий [1], позволяют сформулировать основные проблемы:

– при эвакуации по лестничным клеткам в результате скопления людей, выходящих с этажей и спускающихся по лестнице образуются части потока, которые не успевают достигать малой плотности до того, как они приближаются к месту выхода людей с нижележащего этажа. В результате на участках слияния образуются потоки такой величины, что пропускной способности сечений общего пути оказывается недостаточно для обеспечения беспрепятственного движения, а изменить ширину общего участка до такой величины, без возможности. В таком случае происходят продолжительные скопления людей высокой плотности

(7–8 чел/м²), ведущие к появлению риска гибели от компрессионной асфиксии (рис. 1). В табл. 1 приведено допустимое количество людей на этажах здания для исключения образования высоких плотностей на лестничной клетке при площади горизонтальной проекции человека 0,125 м²;

– эвакуация людей с физическими ограничениями представляет собой нерешенную задачу: идти по лестнице многие из них не в состоянии, а зоны безопасности проектируются, как правило, только на уровне технических этажей;

– продолжительность эвакуации составляет 1–2 ч и более: высокая плотность потока, обусловленная большой населенностью этажей, и низкая скорость движения ведут к увеличению времени эвакуации людей. Минимальное время эвакуации высотного офисного здания приведено в табл. 2 [2];

– высокие требования к физической подготовке людей, не имеющих нарушений функций организма: для выхода людей из здания, требуется пройти по лестнице от 150 м до 1 км в потоке высотной плотности. Большинство людей испытывают «ужасную» усталость уже через 5 минут движения по лестнице вниз.

Жизненные ситуации подтверждают эти результаты. Известно, что при взрыве во всемирном торговом центре в Нью-Йорке в 1993 г. одновременная эвакуация привела к «затаптыванию» людей на лестничных клетках и продолжалась около 6 ч.

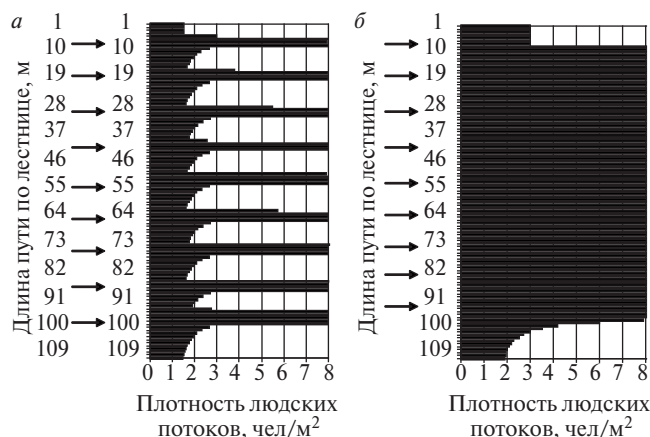


Рис. 1. Плотность людских потоков в лестничной клетке. Стрелка — показаны места выхода людей с этажа в лестничную клетку: а — скопления происходят в местах выхода людей с этажа; б — продолжительные скопления по всей лестничной клетке.

Таблица 1

Высота этажа, м	Допустимое количество человек на этаже при ширине марша, м				
	1,05	1,2	1,35	1,5	1,8
2,8	32	40	47	56	73
3,0	34	41	49	57	76
3,3	36	44	52	60	79
3,6	38	46	54	63	83
4,2	49	60	71	83	110
4,8	53	64	76	89	117
6,0	68	83	98	115	152

Таблица 2

Ширина марша проектная/эффективная*	Минимальное время эвакуации высотного офисного здания, мин, при количестве человек, эвакуирующихся через 1 лестницу							
	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
1078/882	9	17	33	50	66	83	99	115
1372/1176	7	13	25	36	48	60	72	84
1666/1470	6	10	19	29	38	48	57	66

Примечание. * Под эффективной шириной понимается ширина марша лестницы в свету: проектная ширина марша минус ширина перил и т.п.

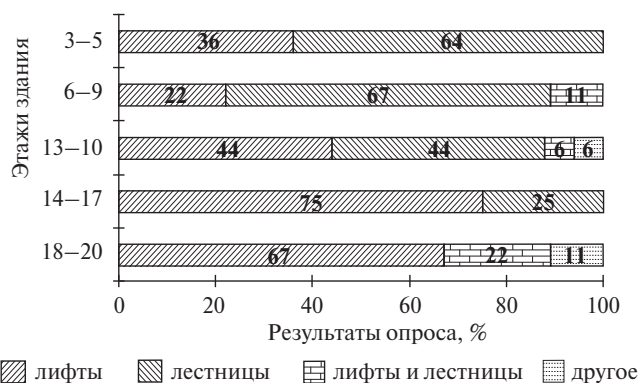


Рис. 2. Анкетный опрос людей после пожара на предмет использования способов эвакуации.

Решением указанных проблем является поэтапная пешеходная и поэтапная комбинированная (с использованием лифтов) эвакуация людей. Причем, использование защищенных лифтов для эвакуации официально разрешено в таких высотных зданиях как «Тайпей 101» (Тайвань), башни «Стратосфера» (Лас-Вегас, США) [3].

Анализ конструктивных и технических способов защиты лифтов и лестничных клеток в высотных зданиях в соответствии с МГСН 4.19–2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в Москве», показал их фактически сопоставимый высокий уровень защиты [4].

Исследование поведения людей при пожарах показывает, что если лифты не были отключены, то большая часть населения, или даже все люди, эвакуируются, используя лифты. До 15% общего количества людей используют их для эвакуации даже в 5-эт. зданиях [5]. Анкетный опрос, проведенный в Японии (рис. 3), показал, что до 67% людей при пожаре в 20-эт. здании с апартаментами использовали лифты для эвакуации [6]. Более

того, исследование эвакуации людей из башен Всемирного торгового центра при атаке террористов в 2001 г. показало, что использование лифтов позволило сохранить более 3000 жизней.

Алгоритм поэтапной эвакуации людей включает в себя следующие действия:

- разработка концепции алгоритма организации эвакуации. Как правило, приоритет отдается эвакуации этажа пожара и вышележащего этажа, затем вышележащих этажей, далее нижележащих этажей, а в дальнейшем последовательной эвакуации с самых высоких этажей до самых низких этажей здания;
- расчет параметров движения людских потоков (время выхода людей с этажа, интенсивность выхода с этажа, параметры движения по лестничной клетке и др.;
- определение количества соседних этажей, которые исключают образование скопления в лестничной клетке;
- определение расстояния между блоками одновременно эвакуируемых этажей, исключающее слияние людских потоков из различных блоков: головной части потока с вы-

Таблица 3

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

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

Таблица 4

Расчетные случаи движения людского потока	Графоаналитический метод расчета	Расчет по ГОСТ 12.1.004–91*	Расчет с помощью программного комплекса ADLPU
Пересечение границы смежного участка пути	+	+	+
Переформирование	+	–	+
Растекание	+	–	+
Слияние	+	+	+
Неодновременность слияния	+	–	+
Расчленение	+	+	+
Образование и рассасывание скоплений	*	*	+
Разуплотнение	+	–	+
Учет неоднородности людского потока (в т.ч. инвалидов)	–	–	+
Условные обозначения: «+» – описывается с требуемой степенью точности; «–» – не учитывается, «*» – описывается неточно по сравнению с процессом, происходящим в реальности.			

шелележащих этажей и замыкающей части потока с нижележащих этажей;

– определение интервалов подачи сигналов к началу эвакуации людей с этажей для исключения слияния потоков из различных расчетных блоков, исходя из слияния головной части потока с вышележащих этажей и замыкающей части потока с нижележащих этажей;

– при использовании лифтов для эвакуации людей, следует выполнить расчет их провозной способности, времени ожидания прибытия на этаж и др.;

– составление алгоритма поэтапной эвакуации.

Алгоритм полной комбинированной поэтапной эвакуации людей из высотного офисного здания с использованием лифтов приведен в табл. 3. Рассмотрим ситуацию – пожар произошел на 40-м эт. По обнаружению пожара, сигнал о начале эвакуации подается на 40 и 41 эт. Начинается немедленная пешеходная эвакуация людей в безопасную зону, например на технический этаж. Лифты направляются на этажи 35 и 36. Спустя 5,4 мин организуется пешеходная эвакуация этажей 42 и 43. После эвакуации людей с этажей 35 и 36, лифты направляются на этажи 37 и 44. Спустя 17,4 мин, команда к началу пешеходной эвакуации подается на этажи 38 и 39. Расчеты показывают, что при полной поэтапной эвакуации людей с использованием лифтов по сравнению с полной одновременной эвакуацией удается 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.

Для разработки эффективных способов защиты людей требуются современные расчетные методики. В настоящее время существуют следующие модели движения людских потоков:

– модель движения (без растекания) людского потока однородного состава по ГОСТ 12.1.004–91* «Пожарная безопасность. Общие требования»;

– модель движения (с растеканием) людского потока однородного состава – графоаналитический метод [7];

– модель движения (с растеканием) людского потока с возможностью учета неоднородности его состава по МГСН 4.19–2001;

– модель индивидуально-поточного движения – в стадии разработки.

Сравнение возможностей математического описания расчетных случаев движения людских потоков с помощью различных алгоритмов приведено в табл. 4.

С помощью формул ГОСТ 12.1.004–91* представляется возможным рассчитать лишь самые простые случаи движения людских потоков. Такие определяющие положения расчета, как возможность учета момента времени слияния людских потоков, образования и рассасывания скоплений в рамках алгоритма либо не учитывается вовсе, либо учитываются с низкой точностью, что ведет к недооценке пожарной опасности. Указанных недостатков лишен графоаналитический метод, однако, математический аппарат метода, разработанного более 50 лет назад, не позволяет точно описать образование и рассасывание скоплений из-за формализации условия возникновения скопления и не позволяет учесть неоднородность состава эвакуирующихся. С высокой степенью точности расчетные случаи движения людского потока могут быть рассчитаны только с помощью современных программных комплексов, реализованных, например, в МГСН 4.19.

Своевременная и беспрепятственная эвакуация из высотных зданий представляет собой сложную, и решенную не в полной мере задачу. Наиболее перспективной является организация эвакуации с помощью лифтов, организация поэтапной эвакуации и комбинированная эвакуация.

Список литературы

1. Холщевников В.В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. М.: МИГБ МВД России, 1999. 93 с.
2. Pauls J. Elevator and Stairs for Evacuation: Comparison and Combination // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. New York, Dec. 11, 2003.
3. Arif A. Review of evacuation procedure for the Petronas Twin Tower // Proceedings of the CIB-STBUH International Conference on Tall Buildings. Malaysia. 20–23 October 2003.
4. Холщевников В.В., Самошин Д.А. К вопросу безопасности использования лифтов при эвакуации из высотных зданий // Пожаровзрывобезопасность. № 6. 2006. С. 45–46.
5. Siikonen M.-L., Bärlund K., Kontturi R. Transportation Design for Building Evacuation // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. New York, Dec. 11, 2003.
6. Sekizawa A., Nakahama S., Notake H. Study on Feasibility of Evacuation using Elevators in a High-rise Building // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. New York, Dec. 11, 2003.
7. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. М.: Стройиздат, 1979. 375 с.
8. Холщевников В.В. Моделирование людских потоков // Моделирование пожаров и взрывов. М.: Пожнаука, 2000. 492 с.