
УДК 614.8+519.85

*А.Н. Данилин, адъюнкт, НУГЗУ,
В.В. Комяк, к.т.н., научный сотрудник, НУГЗУ,
А.Г. Коссе, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОИСКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ЭВАКУАЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ИЗ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

(представлено д-ром техн. наук Соболев А.Н.)

В работе рассмотрены средства и пути эвакуации, ставится задача построения рациональных планов эвакуации на множестве возможных путей для каждого отрезка времени развития чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: множество возможных путей эвакуации, специальные средства эвакуации, рациональные планы эвакуации.

Постановка проблемы. На территории Украины размещено 4987 зданий повышенной этажности и высотных. На сегодняшний день противопожарная защита как зданий повышенной этажности – от 26,5 до 47 м (т.е. от 10 до 16 этажей), так и высотных – выше 47м (свыше 16 этажей) находится в критическом состоянии [1]. Для противопожарной защиты и безопасной эксплуатации из высотных жилых и общественных зданий, торговых и выставочных центров разработаны лишь рекомендации [2] ввиду отсутствия норм проектирования. В числе таких рекомендаций отмечается следующее. Во время расчета зданий на воздействия, которые возникают в результате чрезвычайных ситуаций, необходимо руководствоваться ГОСТ 27751-88. Проектирование высотных жилых и общественных зданий с условной высотой выше 73,5 м [2] необходимо осуществлять по индивидуальным техническим условиям, которые выполняются только организациями, имеющими разрешение Госстроя Украины согласно концепциям, разработанным УкрНИИЦЗ ГСЧС Украины.

Таким образом, проблема безопасности жизнедеятельности людей в высотных зданиях на сегодняшний день не решена. При пожарах люди остаются отрезанными от путей эвакуации, источников электроэнергии, лифтов, более того пожарная техника оборудована неэффективно с точки зрения проведения спасательных работ на этажах, выше 14-16-ого.

Анализ последних достижений и публикаций. При эксплуатации зданий предусматриваются специальные противопожарные решения, которые должны создать необходимые условия успешной реализации процесса эвакуации. Среди этих решений значение имеет как

структура путей эвакуации, так и виды используемых спасательных средств по повышению эффективности тактического обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций, в том числе и тушения пожаров.

В работе [3] решена задача определения структуры и размеров путей эвакуации при проектировании высотных зданий (количество лестниц, коридоров на этажах, их размеры и местоположение), позволяющих осуществить полную эвакуацию за необходимое время, рассчитываемое по ГОСТ-12-04-91 по пожарной нагрузке зданий, при допустимой плотности потока движения людей (4-5 чел./м²), что опровергает высказывание "...использование лестниц плохо потому, что они не обеспечивают пропускную способность, необходимую для высотных зданий" [4].

В работе [3] поставлена также задача разбиения здания на противопожарные отсеки с размещением в них средств аварийной эвакуации, позволяющих осуществить полную эвакуацию людей на крайние этажи отсеков за допустимое время. Для аварийной эвакуации используются следующие средства: индивидуальные средства одноразового использования (веревочные, тросовые устройства, парашюты); индивидуальные средства многократного использования (веревочные, тросовые устройства); коллективные средства непрерывного действия многократного использования (эластичные рукава и т.д.); коллективные средства дискретного действия многократного использования (навесные лифты и другие специальные конструкции).

В период эксплуатации зданий преобладающим фактором должна оставаться безопасность людей. Для этого должны строиться научно обоснованные планы эвакуации людей по путям эвакуации, включающих лестницы, лифты, коридоры на этажах, а в случае, когда перечисленные пути перекрыты – средства аварийной эвакуации в пределах противопожарных отсеков.

Согласно требований п. 14 ст. 89 ФЗ №123 [2, 5] "эвакуационные пути не должны включать лифты". Однако, уже в нормировании (СНиП 35-01-2001) [6] был сделан первый шаг к использованию лифтов при чрезвычайных ситуациях.

Вопрос о необходимости использования лифтов при эвакуации людей впервые был поставлен в 1969 г. [4] на основании исследований процесса движения людских потоков из высотных зданий [7]. К тому времени еще не существовало лифтов для пожарных.

В мировой практике на протяжении последних 30 лет отсутствовали не только единые противопожарные требования к лифтам, но и оценка возможности их использования для эвакуации. Положение решительно изменилось после разрушения высотных зданий Всемирного торгового центра в Нью-Йорке 11 сентября 2001 г. В отчете по анализу последствий этой трагедии "Final Report on Collaps of the World Center Towers" (NIST

NCSTAR I. USA, 2005) указывается “Использование лифтов и активные самостоятельные действия при эвакуации сохранили жизнь примерно 3 тысячам человек”. Теперь NFPA регламентированы [8, 9], требования для эвакуационного лифта и организации его использования при возникновении пожара. Нормативно-правовой документ ИВС (международные строительные нормы) [10] устанавливает, что для зданий выше 128м при наличии эвакуационного лифта допускается не устраивать дополнительную лестничную клетку. Британский стандарт [11] ввел также понятие “эвакуационный лифт” и регламентировал технические и организационные требования по его использованию. Но основным международным документом по использованию “эвакуационного лифта” является международный стандарт ISO/TR 25743-2010 [12]. Цель документа – оценка проектных решений лифта для возможности его использования при чрезвычайной ситуации (в том числе при пожаре).

Поэтому при возникновении чрезвычайной ситуации в высотном здании актуальной является задача распределения потоков людей с учетом лестниц, лифтов и средств аварийной эвакуации, а также перераспределения потоков в реальном времени после отключения лифтов или перекрытия лестничных клеток (либо получения набора сценариев для каждого отрезка времени).

Постановка задачи и ее решение. Пусть для проектирования определены: трехмерный объект S_0 любой пространственной формы (в частном случае, параллелепипед), описывающий высотное здание, количество этажей N в нем с предполагаемым количеством людей

$n_i, i = 1, 2, \dots, N$ ($\sum_{i=1}^N n_i = M$), их местоположением $(x_{il}, y_{il}, z_i), i = 1, 2, \dots, N, l = 1, 2, \dots, n_i$ и структурой коридоров $K_{ij}, ij = 1, 2, \dots, w$ на каждом из этажей; количество n лестниц $L_j, j = 1, 2, \dots, n$ с их местоположением $(x_j^*, y_j^*, o), j = 1, 2, \dots, n$; количество v лифтов $Li_{jj}, jj = 1, 2, \dots, v$, их вместимостью $v_{jj}, jj = 1, 2, \dots, v$ человек и их местоположением $(x_{jj}^*, y_{jj}^*, o), jj = 1, 2, \dots, v$. Лифты могут быть выключены в моменты времени $t_0 + k\Delta t, t_0 + k\Delta t \in [t_0, t_n], k = 0, 1, 2, \dots$ (t_0 – начало ЧС, t_n – необходимое время для эвакуации), а лестницы перекрыты в моменты времени $t_0 + l_j\Delta t, t_0 + l_j\Delta t \in [t_0, t_n], l_j = 0, 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, n$. Другими словами, структура лестниц, лифтов и коридоров может меняться во времени, т.е $L(t) = \bigcup_j L_j(t), Li(t) = \bigcup_{jj} Li_{jj}(t)$ и $K(t) = \bigcup_{ij} K_{ij}(t)$. В случае невозможности эвакуации по лестницам и лифтам предусмотрена аварийная эвакуация с помощью средств аварийной эвакуации. Пусть количество видов используемых средств эвакуации составляет r , количество про-

тивопожарных отсеков в здании равно nn , т.е. $S_0 = \bigcup_{ii=1}^{nn} H_{ii}$, где

$H_{ii} = \bigcup_{ji=1}^{m_{ii}} S_{ii,ji}$ где $S_{ii,1}, S_{ii,2}, \dots, S_{ii,m_{ii}}$, соответственно, первый, вто-

рой, ..., m_{ii} -тый этажи ii -го отсека, $\sum_{ii=1}^{nn} m_{ii} = N$, определены места

размещения l -тых средств эвакуации, $l \in \{1, \dots, r\}$ ($x_{ii,ji,l}, y_{ii,ji,l}, z_{ii,ji,l}$)

$ii = 1, \dots, nn$; $ji = 1, 2, \dots, m_{ii}$. Пути аварийной эвакуации людей

$A(t) = \bigcup_c A_c(t)$ состоят из пути от места их расположения

($x_{ii,ji,l}, y_{ii,ji,l}, z_{ii,ji,l}$) $ii = 1, \dots, nn$; $ji = 1, 2, \dots, m_{ii}$ (или ($x_{i,l}, y_{i,l}, z_{i,l}$) $i = 1, 2, \dots, N$),

а затем от них – на крайние этажи отсеков ($x_{ii,1}, y_{ii,1}, z_{ii,1}$) с помощью средств аварийной эвакуации

Необходимо максимизировать количество спасенных людей за необходимое время t_n (или максимизировать вероятность спасения при эвакуации) $m(Z^*) = \max_{Z \in W} m(Z) = \max_{Z \in W} m(t, T_1(t), T_2(t), \dots, T_m(t))$ и представить планы эвакуации с распределением потоков людей по сети из коридоров, лестниц и лифтов $Z_q(t_0 + q\Delta t, T_1^q(t), \dots, T_m^q(t)), q = 1, 2, \dots$, а также с помощью средств аварийной эвакуации в моменты времени $t_0 + \Delta t, t_0 + 2\Delta t, \dots, t_n$ при различных сценариях развития чрезвычайной ситуации, возникшей в момент времени t_0 .

Другими словами возникают следующая задача.

Необходимо найти

$$m(Z^*) = \max_{Z \in W} m(Z) = \max_{Z \in W} m(t, T_1(t), T_2(t), \dots, T_m(t)); \quad (1)$$

$$Z^* = \max_q Z_q(t, T_1^q(t), \dots, T_m^q(t)) = \arg \max_W m; \quad (2)$$

$$Z(Z_0, Z_1, \dots, Z_q, \dots, Z^*), \quad (3)$$

где W :

$$\left\{ m \leq M; \quad (4) \right.$$

$$\left. \left\{ t = t_0 + q\Delta t \leq t_n, q = 1, 2, \dots, \quad (5) \right. \right.$$

где W – область допустимых решений задачи, описывающая ограничения задачи и ограничивающая изменения значений вектора параметров задачи Z .

Условие (4) описывает не превышение числа эвакуирующихся над числом людей, находящихся в здании; условие (5) описывает не превышение времени эвакуации необходимого времени эвакуации. В задаче (1) – (5) использованы следующие обозначения: $T_g(t)$ – пройденная трасса g -ым человеком от его начального местонахождения (x_g, y_g, z_g) до конечного местоположения $(x_{gj}^k, y_{gj}^k, 0) = (x_j^*, y_j^*, 0)$, $g = 1, 2, \dots, g \in \{1, 2, \dots, M\}$; $j \in \{1, 2, \dots, n\}$, совпадающим с одним из выходов здания либо с помещением для временного укрытия людей; $T_g^q(t)$ – пройденная трасса g -ым человеком от его начального местонахождения (x_g, y_g, z_g) до местоположения в момент $t = t + q\Delta t$, $q = 1, 2, \dots$, т.е. $(x_g(t), y_g(t), z_g(t))$. Заметим, что трасса $T_g(t)$ (как и $T_g^q(t)$) составлена из набора трасс $T_g(t) = \sum_{cc} T_{g,cc}(t)$, т.е. $cc \in \{K(t), L(t), Li(t), A(t)\}$ в момент времени t .

Выводы. В работе построены содержательная и математические модели построения рациональных планов эвакуации на множестве возможных путей и средств эвакуации для каждого отрезка времени развития чрезвычайной ситуации из высотных зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протипожежний захист будинків підвищеної поверховості. – Пожежна безпека. – Науково-технічний журнал. – 2011. – N3(138). – С. 24-27.
2. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків: ДБН В2.2.-24: 2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 101 с.
3. Комяк В.В. Моделі та методи розбиття і трасування для оцінки шляхів евакуації у висотних будівлях при проектуванні / В.В. Комяк: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02 «Математичне моделювання та обчислювальні методи». – Харків, 2014. – 25 с.
4. Великовский Л.Б. Вопросы эвакуации из высотных зданий / Л.Б. Великовский, В.В. Холщевников // Архитектура СССР. – 1969. – №1. – С. 46-49.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22.07.2008г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008г. // Собр. Законодательства РФ. – 2008. – №30(ч.1), с. 3579.
6. СНиП 35-01-2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения: постановление Госстроя России от 16.07.2001 г. №73: введ. 01.09.2001г. – М.: ГУП ЦПП, 2001; ОАО «ЦПП», 2008.

7. Холщевников В.В. Эвакуация и поведение людей при пожарах / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 191 с.

8. NFPA 101.Life Safety Code, 2009. URL: www.nfpa.org (дата обращения: 06.05.2014г.).

9. NFPA 5000. Building Construction and Safety Code, 2009. URL: www.nfpa.org (дата обращения: 06.05.2014г.).

10. 2009 International Building Code. – USA: International Code Council, Inc., 2009.

11. BS 9999: 2008. Code of practice for fire safety in the design, management and use of building. URL: <http://www.constructionstudents.co.uk/resources/DS%209999%202008.pdf> (дата обращения: 06.05.2014г.).

12. ISO/TR 25743:2010. Lifts (elevators). – Study of the use of the lifts for evacuation an emergency. Standard by International Organization for Standardization (Technical Report), 04.01.2010.

О.М. Данілін, В.В. Комяк, А.Г. Коссе

Постановка задачі пошуку раціональних планів евакуації при надзвичайних ситуаціях із висотних будівель

В роботі розглянуті засоби та шляхи евакуації, ставиться задача побудови раціональних планів евакуації на множині можливих шляхів для будь-якого відрізка часу розвитку надзвичайної ситуації.

Ключові слова: множина можливих шляхів евакуації, спеціальні засоби евакуації, раціональні плани евакуації.

A.N. Danilin, V.V. Komyak, A.G. Kosse

Formulation of the problem of the search for rational plans of evacuation with the extraordinary situations from the high-rise buildings

Work examines means and evacuation routes, the problem of constructing the rational plans of evacuation on the set of possible ways for each interval of time of the development of the extraordinary situation is posed.

Keywords: the set of possible evacuation routes, the special means of evacuation, the rational plans of the evacuation.