

УДК 614.849/303.732.4  
DOI 10.22213/2413-1172-2018-4-217-221

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ В ЗДАНИИ

Б. В. Чирков, Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

*Работа посвящена рассмотрению существующей структуры системы обеспечения пожарной безопасности людей в здании и варианту ее совершенствования. Из-за людских потерь, которые ежегодно несет Россия при пожарах в общественных зданиях, требуется новый подход к построению системы обеспечения пожарной безопасности и ее подсистем.*

*Приведена структура системы обеспечения пожарной безопасности людей в здании. Определена цель системы и предложен критерий оценки эффективности работы системы – уровень пожарной безопасности людей в здании.*

*Выделена подсистема, которая оказывает наибольшее влияние на уровень пожарной безопасности людей в здании – система оповещения и управления эвакуацией людей из здания при пожаре. Определены входные параметры, необходимые для функционирования подсистемы, которые, в свою очередь, определили структуру новой системы обеспечения пожарной безопасности.*

*В заключение предложен вариант совершенствования структуры системы обеспечения пожарной безопасности и требования к ней. Преимуществами системы являются: адаптивность системы к меняющимся условиям в здании в режиме реального времени и обеспечение эвакуации людей из здания по безопасным путям за кратчайшее время.*

**Ключевые слова:** управление эвакуацией, анализ системы безопасности, адаптивное управление, пожарная безопасность, снижение пожарного риска, управляемая эвакуация.

**Введение**  
**П**о данным МЧС России (государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2017 году». М.: МЧС России, 2018, 376 с.), трендом последних шести лет в России стало уменьшение количества техногенных пожаров. Количество пожаров уменьшилось

на 18,3 %, количество погибших при них людей – на 32,9 %. Вместе с тем мировая статистика в соответствии с [1] отводит России 23-е место из 183 государств в мире по количеству погибших при пожарах на 100 тысяч человек населения.

На рис. 1 представлены результаты сопоставления количества погибших при пожарах на 100 тысяч человек населения в России, США и Германии [2].

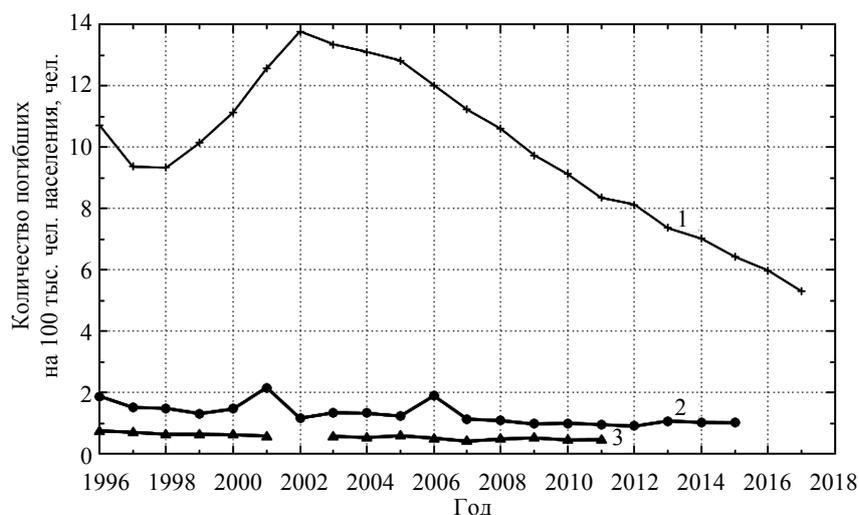


Рис. 1. Количество погибших при пожарах на 100 тыс. человек населения:  
1 – в России; 2 – в США; 3 – в Германии

Из рисунка следует, что меры, которые принимаются в России по повышению пожарной безопасности, приносят реальные результаты, что выражается в существенном уменьшении количества жертв при пожарах. Тем не менее потери при пожарах, которые несет население России, весьма существенны, особенно в сравнении с потерями населения при пожарах в США и Германии.

#### **Пути снижения потерь при пожарах и повышения безопасности зданий**

Ввиду этого весьма значимо определить с дальнейшими путями снижения потерь при пожарах. Количество погибших при пожарах – это интегральный показатель, на который влияет множество причин.

Кроме того, последствия недавних крупных пожаров в общественных зданиях (ТРЦ «Зимняя вишня» в Кемерово – погибло 60 чел.; клуб «Хромая лошадь» в Перми – 156 чел.; дом престарелых «Приазовье» в Краснодарском крае – 63 чел.) [3] показали несовершенство систем, предназначенных для обеспечения пожарной безопасности людей в здании: несвоевременное обнаружение пожара, недоступность эвакуационных выходов, отсутствие информации о количестве людей в здании, неизвестное направление движения до эвакуационного выхода и др.

Действия, направленные на повышение пожарной безопасности зданий, можно условно разделить на две части: установка технических систем (системы автоматической пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией, дымоудаления, управления вентиляцией и др.) и проведение мероприятий, направленных на предотвращение возгораний, обучение персонала и др. Фактически все мероприятия направлены на обеспечение эвакуации людей и обучение их действиям при эвакуации из здания во время пожара.

#### **Система обеспечения пожарной безопасности (СОПБ)**

Системный подход к исследованию вопросов пожарной безопасности нашел свое отражение в работах [4–6]. В работе [7] автор выполнил рассмотрение пожарной безопасности методами системного анализа и отметил, что «...неразделимость на части для системы пожарной безопасности конкретно означает, что при реализации только отдельных частей (элементов) системы как таковой не будет, она может оказаться другой или будет выполнять цели пожарной безопасности в недостаточной мере». Это, в свою очередь, говорит о том, что пожарная безопасность является сложной системой.

В настоящей работе рассматривается техническое обеспечение пожарной безопасности общественного здания как единая система – система обеспечения пожарной безопасности (СОПБ). Она включает в себя решения, которые способствуют обнаружению и тушению пожара и обеспечению эвакуации людей. Целью системы является обеспечение пожарной безопасности реципиентов в здании.

Для достижения цели подсистемы СОПБ должны выполнять задачу обеспечения быстрой и безопасной эвакуации реципиентов из здания при пожаре. Уровень обеспечиваемой пожарной безопасности зависит от состава и структуры системы. СОПБ может включать различные системы, совместная работа которых по-разному влияет на уровень пожарной безопасности реципиентов в здании. Но следует выделить необходимый минимум систем для множества общественных зданий (согласно ФЗ от 22.07.2008 № 123-ФЗ для зданий различной функциональной пожарной опасности такой минимум может отличаться).

На рис. 2 представлена структура СОПБ со входящими и выходящими параметрами. Данная структура отображает минимальную конфигурацию СОПБ: автоматическая пожарная сигнализация (АПС) и система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ). На входе система принимает геометрические характеристики здания, реципиентов пожарных рисков и пожар. Пожар в этом случае характеризуется местом. На выходе системы сформированные команды управления исполнительными механизмами (краны, задвижки, электроприборы и т. п.) и команды управления реципиентами пожарных рисков (указания направлений движения и голосовые команды). Качество выходных параметров определяет уровень пожарной безопасности реципиентов в здании.

Обобщенная модель системы может быть представлена в виде функциональной зависимости  $F$ , связывающей множество входных воздействий с множеством выходных переменных системы:

$$\{Y\} = F(\{X\}, \{Z\}, \{V\}), \quad (1)$$

где  $\{Y\}$  – множество векторов выходных переменных системы – команды управления исполнительными механизмами, команды управления реципиентами пожарных рисков;  $\{X\}$  – множество векторов входных контролируемых воздействий – количество людей в здании, пожарная нагрузка помещений здания;  $\{Z\}$  –

множество векторов входных неуправляемых, но контролируемых воздействий – место возникновения пожара, распределение людей в здании, неоднородность людского потока;  $\{V\}$  – множество векторов неконтролируемых возмущающих воздействий – поведение людей, случайные воздействия при развитии пожара.

Целью анализа СОПБ является выработка технических решений, которые позволят максимизировать уровень пожарной безопасности людей в здании.

В качестве количественной характеристики, характеризующей эффективность функционирования СОПБ, принят расчетный уровень пожарной безопасности людей в здании  $Q$ . Тогда цель системы можно представить в виде

$$Q = f(x, z, v) \rightarrow \max, \\ x \in \{X\}, z \in \{Z\}, v \in \{V\}, \quad (2)$$

где  $f(x, z, v)$  – целевая функция.

В связи с тем, что основная задача СОПБ – эвакуировать людей, следует выделить задачу СОУЭ – определить из множества возможных путей эвакуации безопасные для людей и позволяющие покинуть здание за кратчайшее время. Путь считается безопасным, если воздействия опасных факторов пожара на нем не угрожают

жизни и здоровью людей. Условие безопасной эвакуации людей из горящего здания означает, что при любом сценарии развития пожара люди должны эвакуироваться быстрее, чем пути эвакуации будут заблокированы опасными факторами пожара (пламя, дым, углекислый газ, пониженное содержание кислорода и др.).

Внешние воздействия на СОУЭ влияют на структуру СОПБ. К таким воздействиям относятся: количество и распределение реципиентов в здании, место возникновения пожара, время начала эвакуации после возникновения пожара, доступность эвакуационных выходов, пожарная нагрузка помещений здания, объемно-планировочные решения здания, динамика развития пожара и др. После исследования их влияния на СОУЭ [8] удалось выделить воздействия, наблюдение за которыми требуется для максимизации уровня пожарной безопасности: количество и распределение реципиентов, динамика развития пожара, проходимость эвакуационных выходов в здании.

Выделение этих параметров позволило определить информацию, которая требуется для выполнения СОУЭ своей функции (рис. 3): распределение и количество реципиентов, состояние окружающей среды и состояние эвакуационных выходов в здании.

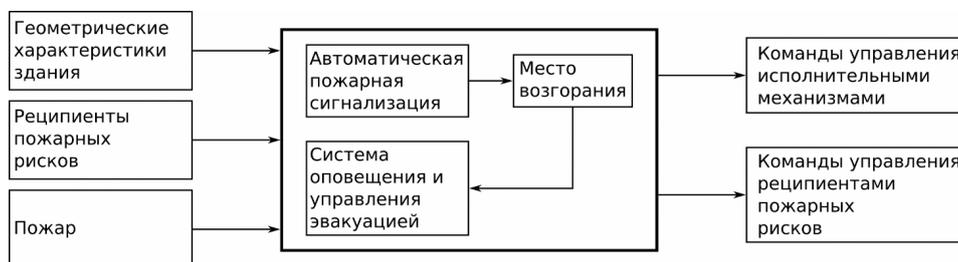


Рис. 2. Структурная схема системы обеспечения пожарной безопасности здания



Рис. 3. Необходимые входы системы оповещения и управления эвакуацией

Для работы с этими данными требуется совершенствование самой СОУЭ. Основное требование к ней – своевременность.

Так как выработка решения требуется во время эвакуации, управление эвакуацией должно осуществляться в реальном масштабе времени. Для обеспечения этого требования

разработан алгоритм поиска минимальных по времени и безопасных для реципиентов путей эвакуации из здания [9]. Алгоритм базируется на модели движения людских потоков в здании [10]. Использование алгоритма позволяет повысить эффективность управления эвакуацией, что, в свою очередь, приведет к повы-

шению пожарной безопасности реципиентов в здании.

### Модель усовершенствованной структуры СОПБ

Формирование управляющих воздействий на сложную систему, которой является СОПБ, также сводится к добыванию новой информации: количество и распределение реципиентов, место возникновения пожара, доступные эва-

куационные выходы. Эту информацию предоставляют соответствующие системы: система подсчета и мониторинга распределения реципиентов в здании; система мониторинга окружающей среды; система автоматического открывания дверей эвакуационных выходов. Таким образом, совершенствование СОУЭ, ядра СОПБ, приводит к изменению структуры СОПБ и ее компонентов (рис. 4).

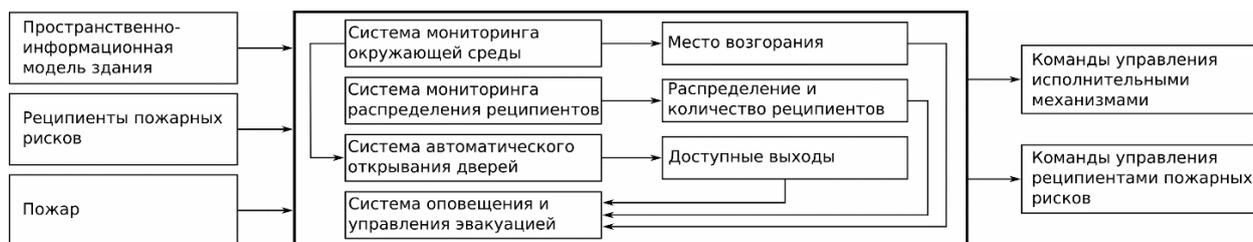


Рис. 4. Модель усовершенствованной структуры СОПБ

### Выводы

По результатам проведенного анализа выработаны требования, которым должна удовлетворять усовершенствованная система обеспечения пожарной безопасности людей в здании, чтобы в максимальной степени способствовать спасению людей, оказавшихся в горящем здании, а именно:

- система должна иметь функциональную возможность указывать людям в горящем здании пути эвакуации, которые отвечают минимальному временному интервалу достижения людьми безопасных зон в здании (или вне здания);
- принимать решения в зависимости от текущего состояния окружающей среды в здании, т. е. адаптироваться к изменяющимся условиям в здании;
- поддерживать работу в режиме реального времени.

### Библиографические ссылки

1. World Life Expectancy. URL: <http://www.worldlifeexpectancy.com> (дата обращения: 08.11.2018).
2. Гибель на пожарах: статистика, анализ и основные показатели. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/gibel-na-pozharax> (дата обращения: 08.11.2018).
3. Крупнейшие пожары в России : Досье. URL: <https://tass.ru/info/5065661> (дата обращения: 08.11.2018).
4. Системный подход в прогнозировании последствий опасных факторов пожара / Р. Ш. Еналеев, Э. Ш. Теляков, И. В. Красина, В. С. Гасилов, О. А. Тучкова // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 8. С. 322–332.

### References

1. World Life Expectancy. Available at: <http://www.worldlifeexpectancy.com> (accessed 08.11.2018).
2. *Gibel' na pozharah: statistika, analiz i osnovnye pokazateli* [Fire death: statistics, analysis and key indicators] (in Russ.). Available at: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/gibel-na-pozharax> (accessed 08.11.2018).
3. *Kрупнейшие pozhary v Rossii. Dos'e* [The largest fires in Russia. Dossier] (in Russ.). Available at: <https://tass.ru/info/5065661> (accessed 08.11.2018).
4. Enaleev R. Sh., Teljakov Je. Sh., Krasina I. V., Gasilov V. S., Tuchkova O. A. [Systems approach in predicting the consequences of fire hazards]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*, 2013, vol. 16, no. 8, pp. 322–332 (in Russ.).

5. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Анализ процесса эвакуации людей из высотных зданий // Жилищное строительство. 2008. № 8. С. 24–27.

6. Гвоздев Е. В., Рыбаков А. В. О методике оценки состояния пожарной безопасности на предприятии ОАО «Мосводоканал» // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2014. № 3. С. 68–80.

7. Нахтигаль Е. А. Рассмотрение пожарной безопасности методами системного анализа // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 4. С. 9–12.

8. Колодкин В. М., Чирков Б. В. Система адаптивного управления экстренной эвакуацией при пожаре в здании // Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6, № 4. С. 58–65. DOI: 10.12737/article\_5a2907cc4f32d7.65348137.

9. Колодкин В. М., Чирков Б. В. Компьютерное исследование процесса эвакуации людей из здания при пожаре // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 12-3. С. 496–500. DOI:10.17513/snt.36516.

10. Колодкин В. М., Чирков Б. В., Ваишнев В. К. Модель движения людских потоков для управления при пожаре в здании // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2015. Т. 25. Вып. 3. С. 430–438.

5. Holshhevnikov V. V., Samoshin D. A. [Analysis of the process of evacuating people from high-rise buildings]. *Zhilishhnoe stroitel'stvo*, 2008, no. 8, pp. 24-27 (in Russ.).
6. Gvozdev E. V., Rybakov A. V. [On the method of assessing state of fire safety at enterprise OJSC "Mosvodokanal"]. *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashhity*, 2014, no. 3, pp. 68-80 (in Russ.).
7. Nahtigal' E. A. [Examination of fire safety systems analysis methods]. *Pozharovzryvobezопасnost'*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 9-12 (in Russ.).
8. Kolodkin V. M., Chirkov B. V. [Adaptive emergency evacuation management system in case of fire in building]. *Bezопасnost' v tekhnosfere*, 2017, vol. 6, no. 4, pp. 58-65 (in Russ.). DOI: 10.12737/article\_5a2907cc4f32d7.65348137.
9. Kolodkin V. M., Chirkov B. V. [Computer study of process of evacuating people from a building in case of fire]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2016, no. 12-3, pp. 496-500 (in Russ.). DOI:10.17513/snt.36516.
10. Kolodkin V. M., Chirkov B. V., Vashtiev V. K. [A foot traffic model for the fire evacuation control in a building]. *Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye Nauki*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 430-438 (in Russ.).

### Analysis of Structure of Fire Safety System for People in the Building

*B. V. Chirkov*, Udmurt State University, Izhevsk, Russia

*The work is devoted to consideration of the existing structure of the fire safety system of people in the building and the option to improve it. Due to the human losses that Russia annually suffers during fires in public buildings, a new approach to development of a fire safety system and its subsystems is required.*

*The structure of the fire safety system for people in the building is given. The goal of the system has been defined and a criterion for evaluating the effectiveness of the system's operation – the level of fire safety of people in the building – has been proposed.*

*The subsystem that has the greatest impact on the level of fire safety of people in a building is highlighted - the warning system and management of evacuation of people from a building during a fire. The input parameters necessary for the functioning of the subsystem are defined, which in turn determined the structure of the new fire safety system.*

*In conclusion, improvement of the structure of the fire safety system and its requirements are proposed. The advantages of the system are the adaptability of the system to changing conditions in the building in real time and ensuring the evacuation of people from the building along safe paths in the shortest possible time.*

**Keywords:** evacuation management, security system analysis, adaptive management, fire safety, fire risk reduction, controlled evacuation.

Получено 15.11.2018