

И. А. Лобаев, С. Ю. Бутузов, В. В. Плешаков, В. Р. Джуган, А. А. Блезникова
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: ialobaev@gmail.com)

ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЁТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

РЕЗЮМЕ

Введение. Управление комплексом систем противопожарной защиты при пожаре не учитывает фактическое время наступления критических значений опасных факторов пожара, что сокращает область его эффективного применения, поскольку невозможно оперативно прогнозировать время блокирования эвакуационных выходов при пожаре.

Цели и задачи. Целью исследования является разработка структурной схемы функционирования комплекса систем противопожарной защиты, которая позволит применением специальных текстов речевого оповещения с обратным отсчётом времени до наступления опасных факторов пожара определить интервал времени возможной эвакуации, что повысит эффективность эвакуации людей при пожаре.

Методы. Проведён численный эксперимент по расчётному моделированию математического ожидания динамики оптической плотности дыма в помещении. Изменение вида горючей нагрузки и места расположения очага пожара изменяет характерную динамику развития пожара в помещении, что приводит к изменению динамики достижения пороговых значений оптической плотности дыма дымовых точечных пожарных извещателей и наступлению критических параметров опасных факторов пожара.

Результаты и их обсуждение. Расчётное моделирование различных заранее заданных и рассчитанных максимально большого количества возможных сценариев возникновения и распространения пожара позволит учитывать время наступления критических значений опасных факторов пожара у эвакуационных выходов, и, с учётом уровней опасностей сценариев, эффективно управлять системами автоматической пожарной сигнализации и оповещения, и эвакуацией людей при пожаре. Предложенный подход может быть использован для разработки алгоритмов функционирования технических систем противопожарной защиты объекта защиты на основе элементов искусственного интеллекта.

Выводы. Применение расчётного моделирования для управления оповещением и эвакуацией людей при пожаре позволит максимально учитывать особенности возможных пожаров в помещении, что повысит эффективность работы системы раннего обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Применение предложенной структурной схемы поможет определить качественный интервал времени, способный влиять на эвакуацию людей при пожаре в зависимости от расположения очага пожара и вида горючего материала, определяющего время наступления опасных факторов пожара.

Ключевые слова: расчётное моделирование, информационная модель, оповещение при пожаре, дымовые точечные пожарные извещатели, опасные факторы пожара, оптическая плотность дыма.

Для цитирования: Лобаев И. А., Бутузов С. Ю., Плешаков В. В., Джуган В. Р., Блезникова А. А. Применение расчётного моделирования опасных факторов пожара для повышения эффективности комплекса систем противопожарной защиты // Технологии техносферной безопасности. – 2020. – Вып. 2 (88). – С. 22-37. DOI: 10.25257/TTS.2020.2.88.22-37.

В настоящее время управление комплексом систем противопожарной защиты при пожаре требует от разработчика программного обеспечения его искусственного интеллекта учёта большого количества таких параметров, как количество эвакуационных выходов и их расположение на каждом этаже, количество людей, освещение путей эвакуации, ширины и пропускной способности эвакуационных выходов, параметры голосового оповещения и т.д. Причём добавление каждой опции превращает комплекс систем противопожарной защиты при пожаре в дорогостоящую систему, которая должна учитывать интервал фактического времени наступления критических значений **опасных факторов пожара (ОФП)**, что на сегодняшний день не используется в её программном продукте.

Ожидаемый результат исследований – это учёт в программном обеспечении алгоритма функционирования системы оповещения и управления эвакуацией интервала времени, необходимого для завершения всех требуемых операций для проведения успешной эвакуации либо голосовым оповещением, либо звуковым сообщением, а также направлением эвакуации в сторону, противоположную заблокированных эвакуационных выходов.

Вопросам эффективности систем раннего обнаружения пожара, а также эвакуации людей при пожаре, посвящены работы Козлачкова В. И., Лобаева И. А., Топольского Н. Г., Мешалкина Е. А., Пруса Ю. В., Членова А. Н., Федорова А. В., Хабибулина Р. Ш., Шаровара Ф. И., Самошина Д. А., Шихалева Д. В. и др.

Вопросы применения математического моделирования развития пожара в помещениях, разработки систем противопожарной защиты зданий, решения организационно-управленческих проблемы рассматривались в работах Пузача С. В., Бутузова С. Ю., Брушлинского Н. Н., Соколова С. В., Коробко В. Б., Мешалкина Е. А., Матюшина А. В., Субачева С. В. и др.

Однако в настоящее время задача слаженного и чёткого взаимодействия элементов системы противопожарной защиты не обеспечена взаимосвязью функционирования системы с фактической динамикой опасных факторов пожара.

Отсутствие информации об интервале времени от начала пожара до достижения критических значений опасных факторов пожара часто приводит к неадекватной реакции эвакуирующихся, относительно возможных последствий отсрочки начала эвакуации.

Использование такой информации в системе оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре приведёт к повышению эффективности управления функционированием комплекса систем противопожарной защиты.

Для решения данной проблемы авторами разработана информационная модель пространственно-временной связи между расположением места возникновения пожара, видом горючей нагрузки в очаге и параметрами оптической плотности дыма, что позволило сформировать базу расчётных данных по динамике ОФП в помещении очага пожара [7], которую можно синхронизировать при пожаре с значениями регистрируемых параметров значений оптической

плотности дыма. От скорости такой синхронизации будет зависеть скорость и точность определения мест очага пожара в пространстве и вид горючих материалов, создающих опасные места в помещениях, которые необходимо избегать или покидать в первую очередь.

Для разработки структурной схемы функционирования комплекса систем противопожарной защиты, отвечающей требованиям эффективного решения задач по обеспечению пожарной безопасности людей, проведён численный эксперимент по расчётному моделированию математического ожидания динамики оптической плотности дыма в помещении. Изменение вида горючей нагрузки и места расположения очага пожара изменяет характерную динамику развития пожара в помещении, что приводит к изменению динамики достижения пороговых значений оптической плотности дыма **дымовых точечных пожарных извещателей (ДТПИ)** и наступлению критических параметров опасных факторов пожара.

Расчётная динамика оптической плотности дыма устанавливается в процессе многовариантного математического эксперимента моделирования динамики опасных факторов пожара при изменении места очага пожара в помещении и вида горючей нагрузки с характеристиками из базы типовой пожарной нагрузки [2].

Результаты математического эксперимента представляют собой базу расчётных данных множества функций, единственное совпадение которых может быть осуществлено при синхронизации с фактическими результатами динамики оптической плотности дыма при пожаре в помещении, регистрируемой ДТПИ.

Численный эксперимент проводился в помещении торгового назначения площадью 300 м^2 , высота помещения 3 м , в помещении установлено 8 ДТПИ (пример представлен на рис. 1). В помещении имеются два эвакуационных выхода, расположенных рассредоточено.



Рис. 1. Пример 3D-модели помещения очага пожара

Высота плоскости горения ($h, м$) – от 0 до 100 % от высоты помещения при различном расположении очага пожара в помещении (в месте расположения электрического светильника, в месте расположения электрических розеток и на вешалках с продаваемыми предметами одежды). При этом использовались 3 вида типовой горючей нагрузки (F) [2]: "Радиоматериалы: поли- (этилен стирол пропил), гетинакс", "Вешала текстильных изделий", "Бензин А-76". Участки замера параметров опасных факторов пожара – у эвакуационных выходов.

В результате расчётов времени ОФП по полевой математической модели с помощью программного комплекса "Фогард-НВ" (разработчик ООО "Интернэкс") определялось расчётное время достижения значений оптической плотности воздушной среды в пределах от 0,05 до 0,2 дБ/м в помещении с различной высотой плоскости горения. При этом измерялось время достижения расчётных пороговых значений оптической плотности дыма в местах установки ДТПИ по различным сценариям возникновения и распространения пожара (всего принято 10 расчётных сценариев).

Таблица 1

Исходные параметры расчётных сценариев возникновения и развития пожара

Номер сценария	Вид горючей нагрузки	Высота расположения горючей нагрузки в помещении, м
1	Радиоматериалы: поли(этилен, стирол, пропил), гетинакс	3
2	Вешала текстильных изделий	1,5
3	Радиоматериалы: поли(этилен, стирол, пропил), гетинакс	0,2
4	Радиоматериалы: поли(этилен, стирол, пропил), гетинакс	3
5	Вешала текстильных изделий	1,5
6	Радиоматериалы: поли(этилен, стирол, пропил), гетинакс	0,2
7	Вешала текстильных изделий	1,5
8	Радиоматериалы: поли(этилен, стирол, пропил), гетинакс	3
9	Бензин А-76 (0, 250 л)	0
10	Бензин А-76 (1 л)	0

Схема помещения с указанием очагов пожара в соответствии с принятыми расчётными сценариями приведена на рис. 2.

Изменение значений входных параметров модели приближает значения расчётной диаграммы времени достижения пороговых значений оптической плотности дыма ДТПИ при пожаре к фактическим значениям – эталонной диаграмме времени достижения оптической плотности дыма в местах расположения ДТПИ при пожаре (рис. 3).

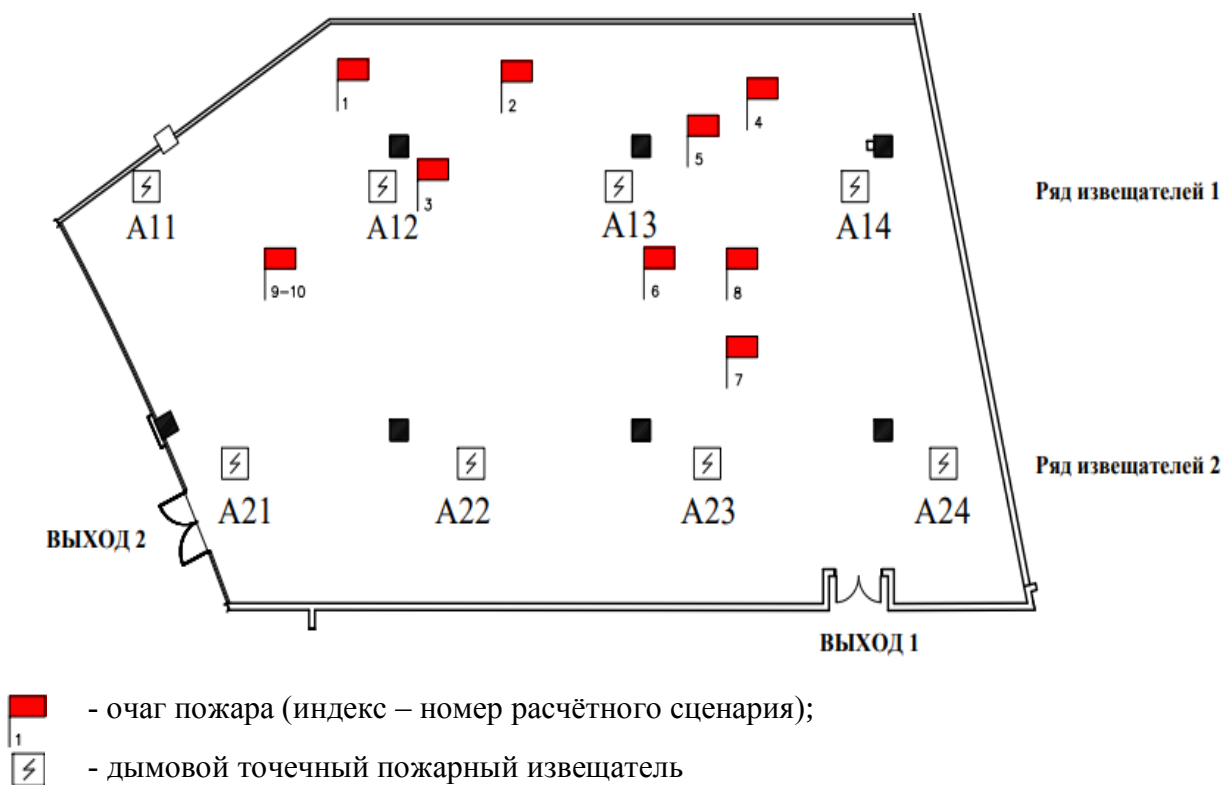


Рис. 2. Схема помещения с указанием расчётных очагов пожара

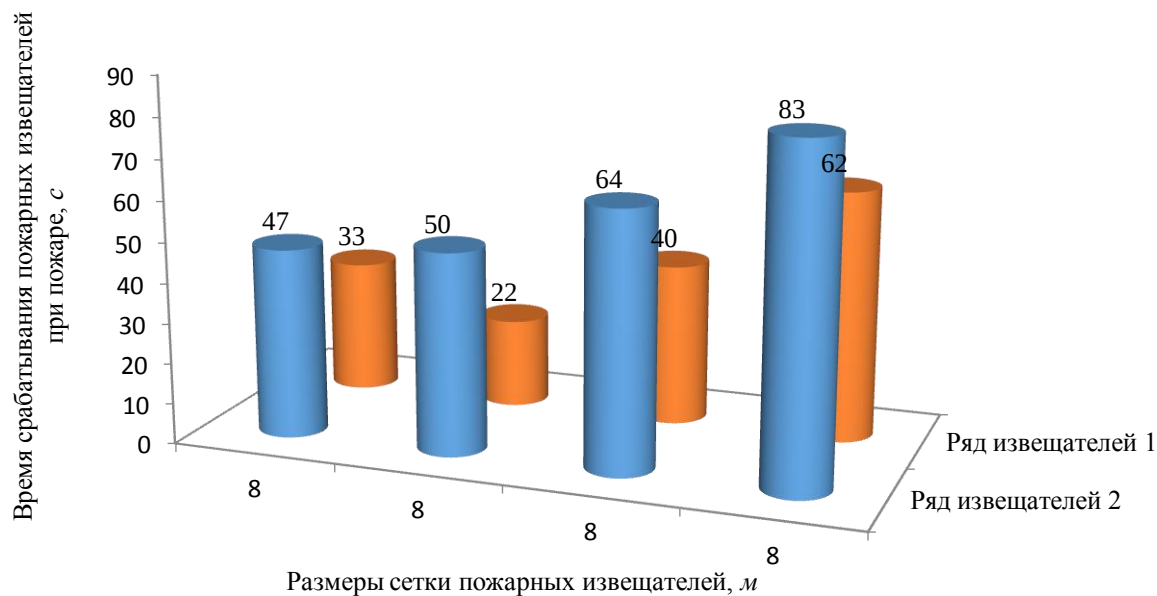


Рис. 3. Распределение времени срабатывания дымовых точечных пожарных извещателей при пожаре

Таким образом, информационная модель пространственно-временной связи мест расположения очага пожара, вида горючей нагрузки и оптической плотности дыма и мест расположения ДТПИ позволяет представлять различные сценарии возникновения и распространения пожара в виде диаграммы функции времени достижения пороговых значений оптической плотности дыма в месте установки ДТПИ в адресном шлейфе при пожаре.

Соотношение диаграмм расчётных пороговых значений оптической плотности дыма в координатах расположения ДТПИ при пожаре с диаграммой фактического времени срабатывания ДТПИ при пожаре позволит автоматически оценить соответствие моделируемого сценария фактической динамике процесса возникновения и распространения пожара и более точно и эффективно управлять процессом оповещения и эвакуации людей при пожаре.

Информационная модель пространственно-временной связи очага пожара и вида горючего материала со временем наступления пороговых значений оптической плотности дыма в местах расположения ДТПИ в виде графа (G) функции (1) времени достижения пороговых значений оптической плотности дыма ДТПИ при пожаре представлена на рис. 4.

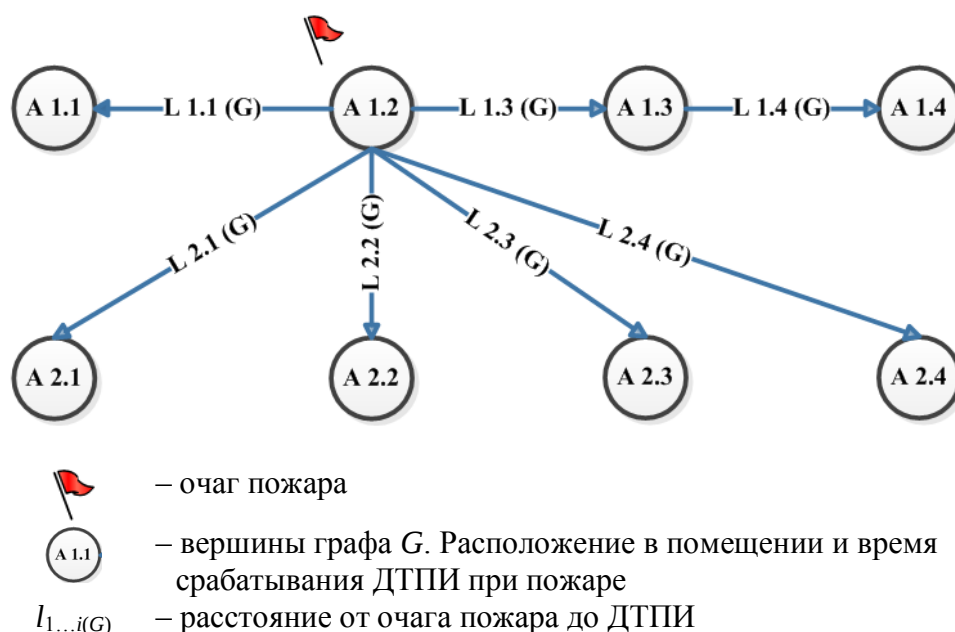


Рис. 4. Графовая модель пространственно-временной связи очага пожара и вида горючей нагрузки с динамикой оптической плотности дыма

Количество вершин графа (G) соотносится с количеством дымовых точечных пожарных извещателей установленных в помещении $v(G)$.

$$G = (t_{обн}(G), l(G)), \quad (1)$$

где $t_{обн}(G)$ — множество вершин графа G;

G — время достижения пороговых значений оптической плотности дыма ДТПИ при пожаре;

$$t_{\text{обн}} = f(l, S, H, F, h), \quad (2)$$

где l – размещение ДТПИ в адресном шлейфе;

S – площадь помещения очага пожара;

H – высота помещения очага пожара;

F – вид горючей нагрузки;

h – высота плоскости горения;

$l(G)$ – множество ребер графа G – расстояние от ДТПИ до очага пожара.

Момент возникновения пожара в моделируемом помещении изображён на рис. 5.



Рис. 5. Вид моделируемого помещения в момент возникновения пожара

Для автоматической обработки информации о срабатывании ДТПИ при пожаре, а также результатов расчётов оптической плотности дыма, может быть предложен метод расчётных сеток, где совокупность точек (сеточных узлов), заданных в области определения некоторой функции совпадает с расположением и временем срабатывания ДТПИ при пожаре и наиболее близким расчётным показателем оптической плотности.

Расчёт производим по одному из методов вычисления матричного определителя 2-го порядка, методом треугольника. Для матрицы 2×2 значение определителя равно сумме произведений элементов главной диагонали и произведений элементов, лежащих на треугольниках с гранью параллельной главной диагонали, от которой вычитается произведение элементов побочной диагонали и произведение элементов, лежащих на треугольниках с гранью параллельной побочной диагонали.

Представим, что сетка с координатами размещения ДТПИ это некая матрица, а сами извещатели являются элементами матрицы A_{ij} , где i – номер строки, в которой находится элемент, j – номер столбца (рис. 2).

Расчёт матричного определителя по сценарию № 8 (горючая нагрузка – радиоматериалы: поли(этилен, стирол, пропил), гетинакс"):

$$A = \begin{vmatrix} 56 & 28 \\ 47 & 1 \end{vmatrix} = -1260.$$

Результаты расчётов матричных определителей времени срабатывания дымовых пожарных извещателей принятых сценариев приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчётов матричных показателей различных сценариев возникновения и распространения пожара

Сценарий возникновения и развития пожара	Величина матричного определителя
Сценарий № 1	- 586
Сценарий № 2	-3693
Сценарий № 3	-1001
Сценарий № 4	1963
Сценарий № 5	4019
Сценарий № 6	1144
Сценарий № 7	-3153
Сценарий № 8	-1260
Сценарий № 9	6
Сценарий № 10	4

Таким образом, величина полученного значения матричного определителя при различных сценариях возникновения и развития пожара (с учётом усреднённой величины экспериментальных погрешностей математической модели концентрации дыма, а также чувствительности и инерционности ДТПИ) является диагностическим признаком начальной стадии пожара. Распространение опасных факторов пожара в момент возникновения пожара изображено на рис. 6.

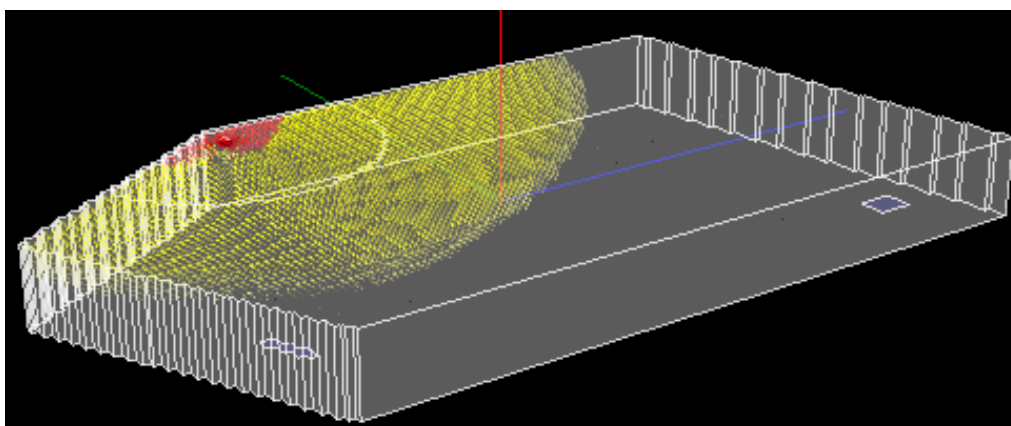


Рис. 6. Распространение опасных факторов пожара в момент возникновения пожара

Исходя из приведённых расчётов матричных определителей времени срабатывания ДТПИ можно определить расположение очага пожара в пространстве помещения, вид горючей нагрузки в очаге пожара, что обеспечивает характерную динамику опасных факторов пожара.

С целью идентификации критических уровней опасностей расчётных сценариев возникла необходимость в их распределении.

В данном случае уровень опасности расчётного сценария пожара (N) предлагается присваивать на основе соотношения расчётного времени эвакуации людей при пожаре (t_p) и необходимого время эвакуации ($t_{бл}$) от 0 (минимальный уровень) до > 1 (неприемлемый уровень) с цветовым обозначением по формуле (3).

$$N = \frac{t_p}{t_{бл}}, \quad (3)$$

где t_p – расчётное время эвакуации людей при пожаре, с;

$t_{бл}$ – необходимое время эвакуации, с.

Для определения расчётного времени эвакуации людей из здания применялась математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания в выходы 1 (вариант 1) и 2 (вариант 2). Расчётное время эвакуации при каждом варианте составляет 98,5 с.

Для определения уровня опасности предложено распределение на основе результатов расчётного моделирования (табл. 3).

Результаты определения уровня опасности принятых расчётных сценариев приведены в табл. 4.

Таблица 3

Распределение уровней опасностей сценариев

№ п/п	Величина уровня опасности	Наименование уровней опасностей расчётных сценариев	Обратная связь с диспетчерским пунктом
1	0,0-0,1	Минимальный	Контроль
2	0,1-0,3	Малый	Контроль
3	0,3-0,4	Средний	Контроль
4	0,4-0,6	Высокий	Контроль
5	0,6-0,8	Максимальный	Контроль
6	0,8-1	Критический	Перенаправление потоков людей в ручном (автоматическом) режиме в выходы с другими уровнями опасности
7	> 1	Неприемлемый	Местонахождение людей сообщается прибывшим пожарным подразделениям для спасения

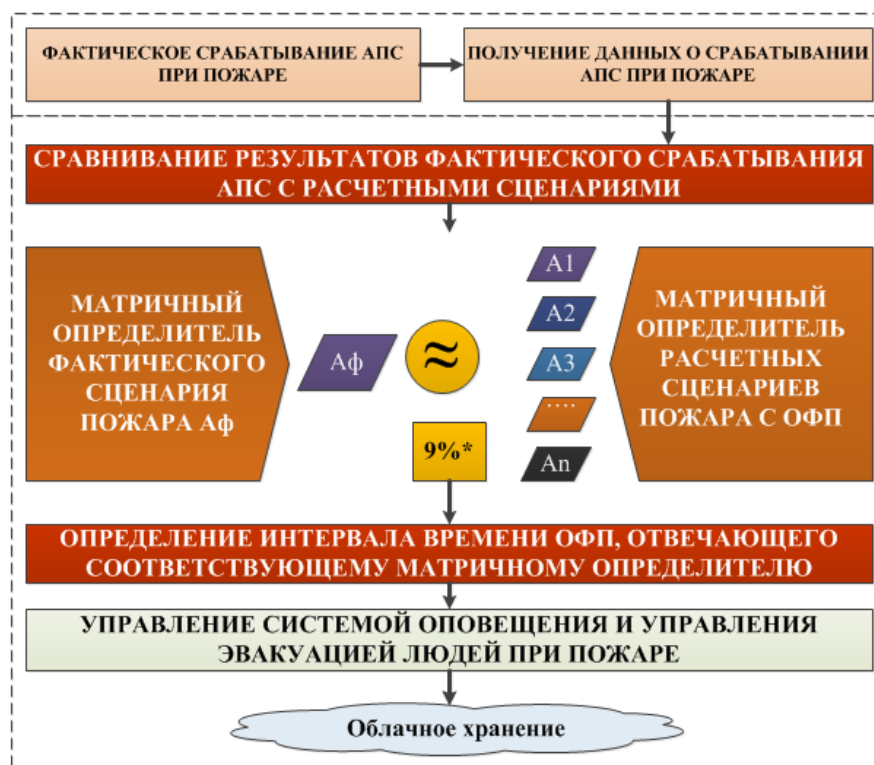
Таблица 4

Таблица уровней опасности принятых расчётных сценариев

№ п/п	Участок замера	ОФП	Необходимое время эвакуации, с	Величина уровня опасности	Уровень опасности расчётного сценария
1	2	3	4	5	6
Сценарий 1					
1	1	Оптическая плотность дыма	91,2	1,0	Критический
2	1	Температура	148,8	0,7	Максимальный
Сценарий 2					
1	1	Оптическая плотность дыма	152,8	0,6	Максимальный
2	1	Оптическая плотность дыма	153,6	0,6	Максимальный
Сценарий 3					
1	1	Оптическая плотность дыма	80	1,2	Неприемлемый
2	2	Оптическая плотность дыма	113,6	0,7	Максимальный
Сценарий 4					
1	2	Оптическая плотность дыма	78,4	1,3	Неприемлемый
2	1	Температура	184,8	0,4	Высокий
Сценарий 5					
1	1	Оптическая плотность дыма	151,2	0,7	Максимальный
2	1	Оптическая плотность дыма	154,4	0,6	Максимальный
Сценарий 6					
1	1	Оптическая плотность дыма	65,6	1,5	Неприемлемый
2	1	Оптическая плотность дыма	68,8	1,4	Неприемлемый
Сценарий 7					
1	2	Оптическая плотность дыма	129,6	0,8	Критический
2	1	Температура	195,2	0,5	Высокий
Сценарий 8					
1	2	Оптическая плотность дыма	79,2	1,2	Неприемлемый
2	1	Температура	174,4	0,6	Максимальный
Сценарий 9					
1	1	Оптическая плотность дыма	68,8	1,4	Неприемлемый
2	2	Оптическая плотность дыма	201,6	0,5	Высокий
Сценарий 10					
1	1	Температура	36	2,7	Неприемлемый
2	2	Температура	59,2	1,7	Неприемлемый

Анализ результатов определения уровня опасности принятых расчётных сценариев показывает, что в исследуемом случае у людей в торговом помещении уровень опасности не понижается ниже "высокого", то есть незначительная задержка в начале эвакуации может привести к причинению тяжкого вреда при пожаре. При сценариях 9 и 10 – уровень опасности "неприемлемый", что указывает на невозможность своевременной эвакуации людей при пожаре при внезапном появлении и возгорании бензина (или похожей по свойствам легковоспламеняющейся жидкости) на полу торгового зала и в таком случае должна быть обеспечена их защита посредством применения систем коллективной защиты, а также учитывать возможность спасения с учётом действий пожарных подразделений.

Таким образом, расчётное моделирование различных заранее заданных и рассчитанных максимально большого количества возможных сценариев возникновения и распространения пожара позволит учитывать время наступления критических значений опасных факторов пожара у эвакуационных выходов, и, с учётом уровней опасностей сценариев, эффективно управлять системами автоматической пожарной сигнализации и оповещения, и эвакуацией людей при пожаре. В таком случае возможно будет оперативно идентифицировать сценарии развития пожара, когда эвакуация людей невозможна. Структурная схема функционирования комплекса систем противопожарной защиты при пожаре представлена на рис. 7.



*9 % – величина относительной погрешности экспресс-оценки времени достижения пороговых значений ОПД ДТПИ

Рис. 7. Структурная схема функционирования комплекса систем противопожарной защиты при пожаре

Предложенный подход может быть использован для разработки алгоритмов функционирования технических систем (средств) противопожарной защиты объекта защиты на основе элементов искусственного интеллекта.

Речевое оповещение с указанием времени наступления опасных факторов пожара у эвакуационных выходов в форме обратного отсчёта позволит в автоматическом режиме непосредственно по конкретной ситуации на пожаре, исходя из обстановки эффективно управлять процессом эвакуации, организованно покинуть здание персоналу и посетителям торговых залов. Однако особенность применения обратного отсчёта до наступления критических параметров опасных факторов пожара относительно поведения людей при эвакуации с учётом нервно-эмоционального напряжения может потребовать дополнительных исследований.

Применение расчётного моделирования для управления оповещением и эвакуацией людей при пожаре позволит максимально учитывать особенности возможных пожаров в помещении, что повысит эффективность работы системы раннего обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

Данные о срабатывании пожарных извещателей при пожаре должны передаваться в подразделения пожарной охраны с указанием места возникновения пожара и вида горючей нагрузки в очаге пожара, путей эвакуации и спасения людей, что также снизит количество ложных вызовов и повысит эффективность тушения пожара.

Информация о срабатывании пожарных извещателей может храниться в облачном хранилище Интернет-сервера, что позволит использовать их при расследовании пожаров с учётом достоверных объективных данных о процессе возникновения и развития пожара даже в условиях уничтожения всех элементов систем противопожарной защиты.

Таким образом, применение предложенной структурной схемы поможет определить качественный интервал времени, способный влиять на эвакуацию людей при пожаре в зависимости от расположения очага пожара и вида горючего материала, определяющего время наступления опасных факторов пожара.

Литература

1. *Козлачков В. И.* Типовая и риск-ориентированная модели надзорной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности. Сравнительный анализ. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. Деп. в ВИНТИ РАН 10.02.2016. № 31-B2016.
2. *Кошмаров Ю. А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пос. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
3. *Федоров А. В., Членов А. Н., Лукьянченко А. А., Буцынская Т. А., Демёхин Ф. В.* Системы и технические средства раннего обнаружения пожара: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 159 с.
4. *Членов А. Н., Буцынская Т. А.* Раннее обнаружение пожара на промышленных объектах: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. 130 с.
5. *Шихалев Д. В.* О структуре и функциях системы управления эвакуации людей при пожаре в зданиях // Технологии техносферной безопасности. 2014. Вып. 4 (56). С. 75-80. <http://academygps.ru/ttb>.
6. *Шаровар Ф. И.* Пожаропредупредительная автоматика: теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний: монография. М.: Спецавтоматика-СИ, 2013. 556 с.
7. *Плешаков В. В.* Информационная модель пространственной связи очага пожара и дымовых точечных пожарных извещателей при расследовании и экспертизе пожаров // Технологии техносферной безопасности. Вып. 1 (83). 2019. С. 93-100. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.93-100.
8. *Калинин А. П.* Разработка автоматизированных систем профессиональной подготовки сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС России: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, 2008. 173 с.
9. *Расследование и экспертиза пожаров: учеб. пособие / Сост. Козлачков В. И., Лобаев И. А., Ершов А. В., Вечтомов Д. А., Назаров С. А., Булгаков В. Г., Плешаков В. В., Карпов С. Ю., Волошенко А. А., Данилов А. М., Матюшина Е. А., Григорьев Д. Ю.* М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. 248 с.
10. *Субачев С. В.* Совершенствование подготовки персонала противопожарной службы на основе технологий имитационного моделирования пожаров в зданиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. 24 с.

Материал поступил в редакцию 14 января 2020 г.; принят к публикации 20 июня 2020 г.

I. A. Lobaev, S. Yu. Butuzov, V. V. Pleshakov, V. R. Dzhugan, A. A. Bliznakova
(State Fire Academy of EMERCOM of Russia; e-mail: ialobaev@gmail.com)

APPLICATION OF COMPUTATIONAL MODELING OF FIRE HAZARDS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF A COMPLEX OF FIRE PROTECTION SYSTEMS

ABSTRACT

Introduction. Management of a complex of fire protection systems in a fire does not take into account the actual time of occurrence of critical values of fire hazards, which reduces the scope of its effective application, since it is impossible to quickly predict the time of blocking evacuation exits in a fire.

Goals and objectives. The purpose of the study is to develop a structural scheme of the functioning of a complex of fire protection systems, which will allow the use of special texts of speech notification with a countdown to the onset of fire hazards to determine the time interval of possible evacuation, which will increase the efficiency of evacuation of people in case of fire.

Methods. A numerical experiment was performed to calculate the mathematical expectation of the dynamics of optical smoke density in a room. Changing the type of fuel load and location of the fire source changes the characteristic dynamics of fire development in the room, which leads to a change in the dynamics of reaching the threshold values of optical smoke density of smoke point fire detectors and the onset of critical parameters of fire hazards.

Results and discussion. Computational modeling of various pre-defined and calculated maximum number of possible scenarios for the occurrence and spread of fire will allow you to take into account the time of occurrence of critical values of fire hazards at the evacuation exits, and, taking into account the hazard levels of scenarios, effectively manage automatic fire alarm and warning systems, and evacuation of people in case of fire. The proposed approach can be used to develop algorithms for the functioning of technical systems of fire protection of the object of protection based on elements of artificial intelligence.

Conclusions. Application of computational modeling to control notification and evacuation of people in case of fire will allow you to take into account features of possible fires in the premises, which will increase the efficiency of the early fire detection system, warning and evacuation of people during fire. The use of the proposed structural scheme will help determine the qualitative time interval that can affect the evacuation of people in a fire, depending on the location of the fire source and the type of combustible material that determines the time of onset of fire hazards.

Key words: computational modeling, information model, fire alarm, smoke spot fire detectors, fire hazards, optical smoke density.

For citation: Lobaev I. A., Butuzov S. Yu., Pleshakov V. V., Dzhugan V. R., Bliznakova A. A. Application of computational modeling of fire hazards to improve the effectiveness of a complex of fire protection systems. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2020, vol. 2 (88), pp. 22-37 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2020.2.88.22-37.

References

1. Kozlachkov V. I. *Tipovaya i risk-orientirovannaya modeli nadzornoj deyatel'nosti v oblasti obespecheniya pozharnoj bezopasnosti. Sravnitel'nyj analiz* [Typical and risk-oriented models of supervisory activities in the field of fire safety. Comparative analysis]. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2016, Deposited in All-Russian Institute for Scientific and Technical Information of Academy of Sciences of Russia, 10.02.2016, no. 31-B2016.
2. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshhenii: ucheb. pos.* [Prediction of indoor fire hazards: study guide]. Moscow, Academy of the State fire service of Emercom of Russia Publ., 2000, 118 p.
3. Fedorov A. V., Chlenov A. N., Lukyanchenko A. A., Butcinskaya T. A., Demyokhin F. V. *Sistemy i tehicheskie sredstva rannego obnaruzheniya pozhara: monografiya* [Systems and technical means of early fire detection: monograph]. Moscow, Academy of the State fire service of Emercom of Russia Publ., 2009, 159 p.
4. Chlenov A. N., Butcinskaya T. A. *Ranee obnaruzhenie pozhara na promyshlennykh ob'ektakh: monografiya* [Early detection of fire at industrial facilities: monograph]. Moscow, Academy of the State fire service of Emercom of Russia Publ., 2015. 130 p.
5. Shikhalev D. V. About structure and functions of an escape route system in bulidings in case of a fire. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2014, vol. 4 (56), pp. 75-80. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).
6. Sharovar F. I. *Pozharopredupreditel'naya avtomatika: teoriya i praktika predotvrashcheniya pozharov ot malomoshchnykh zagoraniy: monografiya* [Fire Prevention Automation: Theory and practice of preventing fires from low-power fires: monograph]. Moscow, Spetsavtomatika-SI Publ., 2013. 556 p.
7. Pleshakov V. V. Information model of spatial relationship of the seat of fire and smoke point fire detectors during investigation and examination of fires. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 1 (83), 2019, pp. 93-100 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.93-100.
8. Kalinin A. P. *Razrabotka avtomatizirovannykh sistem professional'noy podgotovki sotrudnikov Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii* [Development of automated training systems for employees of the State Fire Service EMERCOM of Russia]. PhD in Tech. Sci. diss., Saint-Petersburg, Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2008, 173 p.
9. *Rassledovanie i jekspertiza pozharov: ucheb. posobie* [Investigation and examination of fires: textbook]. Ed. by Kozlachkov V. I., Lobaev I. A., Ershov A. V., Vechtomov D. A., Nazarov S. A., Bulgakov V. G., Pleshakov V. V., Karpov S. Ju., Voloshenko A. A., Danilov A. M., Matjushina E. A., Grigor'ev D. Ju., Moscow, State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 2017, 248 p.
10. Subachev S. V. *Sovershenstvovanie podgotovki personala protivopozharnoy sluzhby na osnove tekhnologiy imitatsionnogo modelirovaniya pozharov v zdaniyakh* [Improving the training of personnel of the fire service based on technologies for the simulation of fires in buildings]. Abstract of PhD in Tech. Sci. diss., Moscow, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia Publ, 2008, 24 p.

Received 14 January 2020; accepted 20 June 2020

Информация об авторах

ЛОБАЕВ Игорь Александрович
канд. техн. наук, доцент; профессор кафедры надзорной деятельности; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российская Федерация, г. Москва, улица Бориса Галушкина, 4; ORCID ID: 0000-0002-1370-1610, РИНЦ Author ID: 369171; e-mail: I.Lobaev@academygps.ru

БУТУЗОВ Станислав Юрьевич
д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российская Федерация, г. Москва, улица Бориса Галушкина, 4; ORCID ID: 0000-0003-0465-1903; РИНЦ Author ID: 283236; e-mail: S.Butuzov@academygps.ru

ПЛЕШАКОВ Виталий Владимирович
заместитель начальника кафедры надзорной деятельности; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российская Федерация, г. Москва, улица Бориса Галушкина, 4; ORCID ID: 0000-0003-2698-1815, РИНЦ Author ID: 764189; e-mail: V.pleshakov@mail.ru

ДЖУГАН Виктория Руслановна
Начальник лаборатории кафедры надзорной деятельности; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российская Федерация, г. Москва, улица Бориса Галушкина, 4; ORCID ID: 0000-0002-3164-5931, РИНЦ Author ID: 1066809; e-mail: V.r_dzhugan@mail.ru

БЛЕЗНИКОВА Анна Андреевна
курсант; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российская Федерация, г. Москва, улица Бориса Галушкина, 4; ORCID ID: 0000-0003-3133-5519, РИНЦ Author ID: 764189; e-mail: a.a.bleznikova@yandex.ru

Information about the authors

LOBAEV Igor' Aleksandrovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Professor of Department of Supervisory Activities, State Fire Academy of EMERCOM of Russia; Russian Federation, Moscow, Borisa Galushkina St., 4; ORCID ID: 0000-0002-1370-1610, RSCI Author ID: 369171; e-mail: I.Lobaev@academygps.ru

BUTUZOV Stanislav Yurievich
Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of EMERCOM of Russia; Russian Federation, Moscow, Borisa Galushkina St., 4; ORCID ID: 0000-0003-0465-1903; RSCI Author ID: 283236; e-mail: S.Butuzov@academygps.ru

PLESHAKOV Vitaly Vladimirovich
Deputy Head of the Department of Supervision; State Fire Academy of EMERCOM of Russia; Russian Federation, Moscow, Borisa Galushkina St., 4; ORCID ID: 0000-0003-2698-1815, RSCI Author ID: 764189; e-mail: V.pleshakov@mail.ru

DZHUGAN Victoria Ruslanovna
Head of the Laboratory of the Department of Supervision; State Fire Academy of EMERCOM of Russia; Russian Federation, Moscow, Borisa Galushkina St., 4; ORCID ID: 0000-0002-3164-5931, RSCI Author ID: 1066809; e-mail: V.r_dzhugan@mail.ru

BLIZNAKOVA Anna Andreevna
student; State Fire Academy of EMERCOM of Russia; Russian Federation, Moscow, Borisa Galushkina St., 4; ORCID ID: 0000-0003-3133-5519, RSCI Author ID: 764189; e-mail: a.a.bleznikova@yandex.ru