

Методика автоматизированной оценки времени срабатывания пожарного извещателя по результатам моделирования пожара

И.Н. Пожаркова^{1,2}, В.В. Ценер¹

¹*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск*

²*Сибирский федеральный университет, Красноярск*

Аннотация: Статья посвящена разработке методики автоматизированной оценки времени достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя по результатам моделирования пожара при определении расчетных величин индивидуального пожарного риска. Представлена функциональная модель и основной алгоритм предлагаемой технологии. Проведена апробация разработанной методики на примере моделирования пожара в здании торгового назначения на основе программного ядра FDS для различных сценариев. Представлены результаты сравнительного анализа решения задач оценки времени достижения порогового значения срабатывания пожарных извещателей для различных критериев на основе предложенной технологии и ручного метода.

Ключевые слова: индивидуальный пожарный риск, моделирование динамики развития пожара, полевая модель, автоматизация, алгоритм, FDS.

Одним из ключевых параметров, используемых для оценки величины индивидуального пожарного риска на основе методики, утвержденной Приказом МЧС России от 14 ноября 2022 г. №1140 (далее приказ №1140), является время начала эвакуации. Для его вычисления, согласно Приложению 4, п. 2 (приказ №1140), необходима информация о времени достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя (ПИ) $t_{\text{пор}}$. Данная величина при использовании полевой модели [1] в соответствии с пунктами 1,2 Приложения 11 (приказ №1140) определяется по результатам расчета динамики развития пожара [2] для помещения, в котором находится очаг и которое характеризуется следующими параметрами: S – площадь помещения, h – высота, на которой размещены пожарные извещатели, d_{max} – максимальное (согласно нормативным документам) расстояние между пожарными извещателями, $k_{\text{пор}}$ – пороговое значение воздействующего параметра для используемых пожарных извещателей.

Тогда время $t_{\text{пор}}$ определяется, исходя из следующих критериев:

- Если в исследуемом помещении допускается установка одного извещателя, то $t_{\text{пор}}$ соответствует моменту появления в данном помещении на высоте h области, в каждой точке которой значение воздействующего параметра $k > k_{\text{пор}}$ и площадь которой равна S .

- Если в исследуемом помещении требуется установка нескольких извещателей, то $t_{\text{пор}}$ соответствует моменту времени появления в данном помещении на высоте h области, в каждой точке которой значение воздействующего параметра $k > k_{\text{пор}}$ и эффективный диаметр которой $d_{\text{эфф}} > d_{\text{мах}}$:

$$d_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (1)$$

где F – площадь области.

Значительная часть существующих программных средств, предназначенных для моделирования пожара [3,4], является коммерческими графическими интерфейсами, которые упрощают работу со свободно распространяемым ядром FDS [5], на базе которого реализована полевая модель. При этом результаты численного расчета динамики опасных факторов пожара на основе FDS сохраняются в выходных файлах, анализируя которые, можно в автоматизированном режиме определять различные характеристики [6]. Данная работа посвящена разработке методики, которая позволяет без использования платных графических интерфейсов соответствующим образом производить оценку $t_{\text{пор}}$. Функциональная диаграмма [7] предлагаемой технологии представлена на рис. 1.

Основные этапы методики (рис. 1):

1. Загрузка результатов моделирования осуществляется из выходных файлов (с расширением .sf), содержащих значения параметров газовой среды в заданных двумерных сечениях пространства (поля) в различные моменты

времени, в соответствии с форматами, которые указаны в технической документации FDS [8].



Рис. 1. – Функциональная диаграмма методики автоматизированной оценки $t_{пор}$

2. Выделение полей значений воздействующего параметра (коэффициента экстинкции [9], оптической плотности [10] и т.д.) производится из полученных на предыдущем этапе массивов данных в соответствии с высотой установки пожарных извещателей в исследуемом помещении.

3. Выделение фрагментов полей, ограниченных исследуемым помещением, заключается в формировании массивов, описывающих динамику воздействующего параметра в соответствующих точках газовой среды на высоте установки пожарных извещателей.

4. Определение времени достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя осуществляется на основе выделенного на предыдущем этапе массива данных с использованием алгоритма, представленного ниже.

Алгоритм определения времени достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя:

Входные данные:

Фрагмент массива полей воздействующего параметра $k[(x, y), t]$,

где k – значения воздействующего параметра в точках помещения с координатами (x, y) на высоте $z = h$ размещения пожарных извещателей в моменты времени t .

x, y, t – соответственно массивы координат точек помещения и моментов модельного времени.

Пороговое значение воздействующего параметра пожарного извещателя $k_{\text{пор}}$.

Максимальное расстояние между пожарными извещателями (согласно нормативным документам) d_{max} (определяется, если в помещении больше одного извещателя).

Максимальное расстояние между соседними областями, при котором они объединяются l_{max} .

Площадь помещения S .

Выход алгоритма:

Время достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя $t_{\text{пор}}$.

Ход алгоритма:

Шаг 1. Вычисление размеров расчетной сетки по соответствующим координатным осям: $dx = x_2 - x_1, dy = y_2 - y_1$.

Шаг 2. Начало цикла по времени: $n = 1$.

Шаг 3. Выделение точек, в которых значение воздействующего параметра превышает пороговое значение: $(X, Y) = (x, y): k[(x, y), t_n] > k_{\text{пор}}$.

Шаг 4. Формирование областей, в которых значение воздействующего параметра превышает пороговое значение:

$$O_i = \bigcup (X, Y): \forall (X_j, Y_j) \in O_i, \min_{(X_k, Y_k) \in O_i, k \neq j} \left(\sqrt{(X_j - X_k)^2 + (Y_j - Y_k)^2} \right) \leq l_{\max}$$

Шаг 5. Определение области с максимальной площадью:

$F = \max (\{O_i\} \cdot dx \cdot dy)$, где $\{O_i\}$ – мощность множества (количество элементов).

Шаг 6. Определение выполнения условия достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя:

6.1. Для помещения, в котором один извещатель: если $F = S$, то $t_{\text{пор}} = t_n$, конец алгоритма.

6.2. Для помещения, в котором больше одного извещателя по формуле (1) вычисляется значение эффективного диаметра $d_{\text{эфф}}$. Если $d_{\text{эфф}} > d_{\text{max}}$, то $t_{\text{пор}} = t_n$, конец алгоритма.

7. Если $t_n < \max(t)$, $n = n + 1$, переход к шагу 3. Иначе $t_{\text{пор}}$ – не определено, конец алгоритма.

Для апробации программной реализации разработанной методики на примере здания торгового назначения была построена соответствующая расчетная модель на базе ядра FDS (рис. 2).

Для записи в выходные файлы данных, необходимых для определения времени достижения порогового значения срабатывания ПИ, в расчетной модели на соответствующих высотах h были сформированы горизонтальные сечения (SLCF [5,8]) газовой среды. По результатам моделирования пожара на базе программного ядра FDS генерируются и сохраняются в файл формата sf [8] массивы, описывающие в каждой точке указанных срезов исследуемого пространства изменения воздействующего параметра. При использовании дымовых ПИ это коэффициент экстинкции или оптическая плотность, для чего в наименовании выходной величины SLCF [8] указываются соответственно 'EXTINCTION COEFFICIENT' или 'OPTICAL DENSITY'.

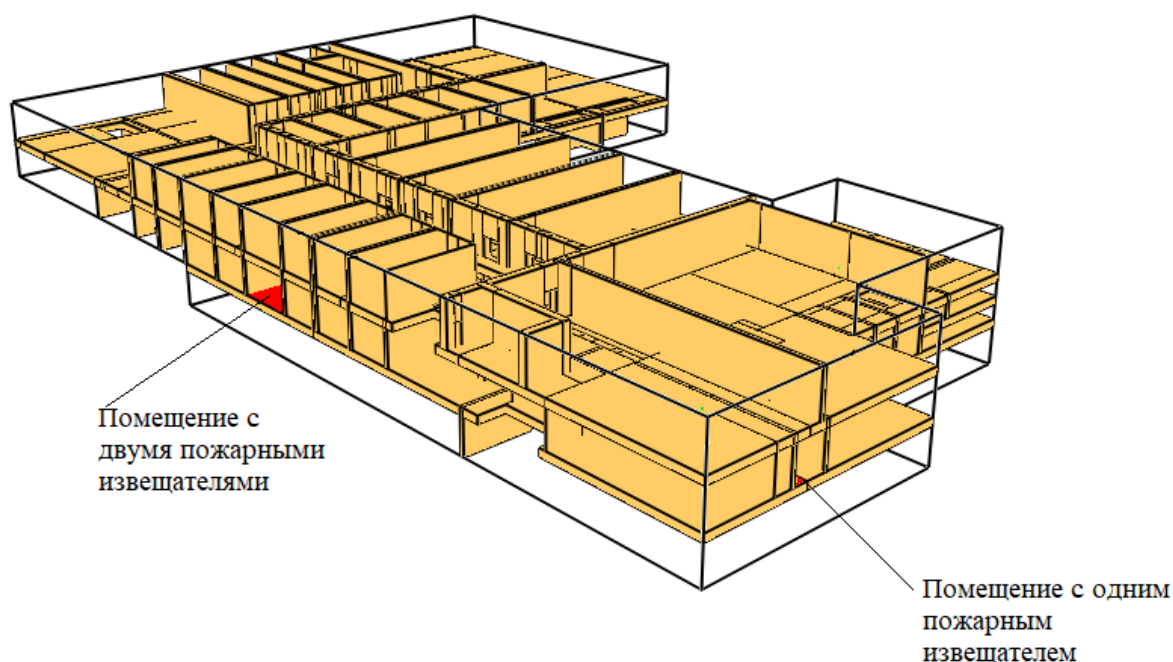


Рис. 2. – Трехмерная визуализация расчетной модели здания торгового назначения

Для апробации разработанной методики с использованием каждого из описанных выше критериев определения времени $t_{\text{пор}}$ (по площади и эффективному диаметру) было выбрано два сценария пожара: с очагом в торговом помещении с одним и двумя пожарными извещателями (рис. 2). Пороговое значение воздействующего параметра было принято согласно Приложению 11 (приказ №1140) $k_{\text{пор}} = 0,2 \text{ Дб/м} = 0,023 \text{ Нп/м}$. На рис. 3-4 представлены результаты использования разработанной методики для автоматизированной обработки выходных файлов, сформированных на основе моделирования каждого из сценариев пожара. На рис. 3а, 4а изображены график зависимости от времени соответственно площади и эффективного диаметра областей, в каждой точке которых наблюдается превышение порогового значения воздействующего параметра, а на рис. 3б, 3в, 4б, 4в – визуализации указанных областей. (желтый цвет) в различные моменты времени.

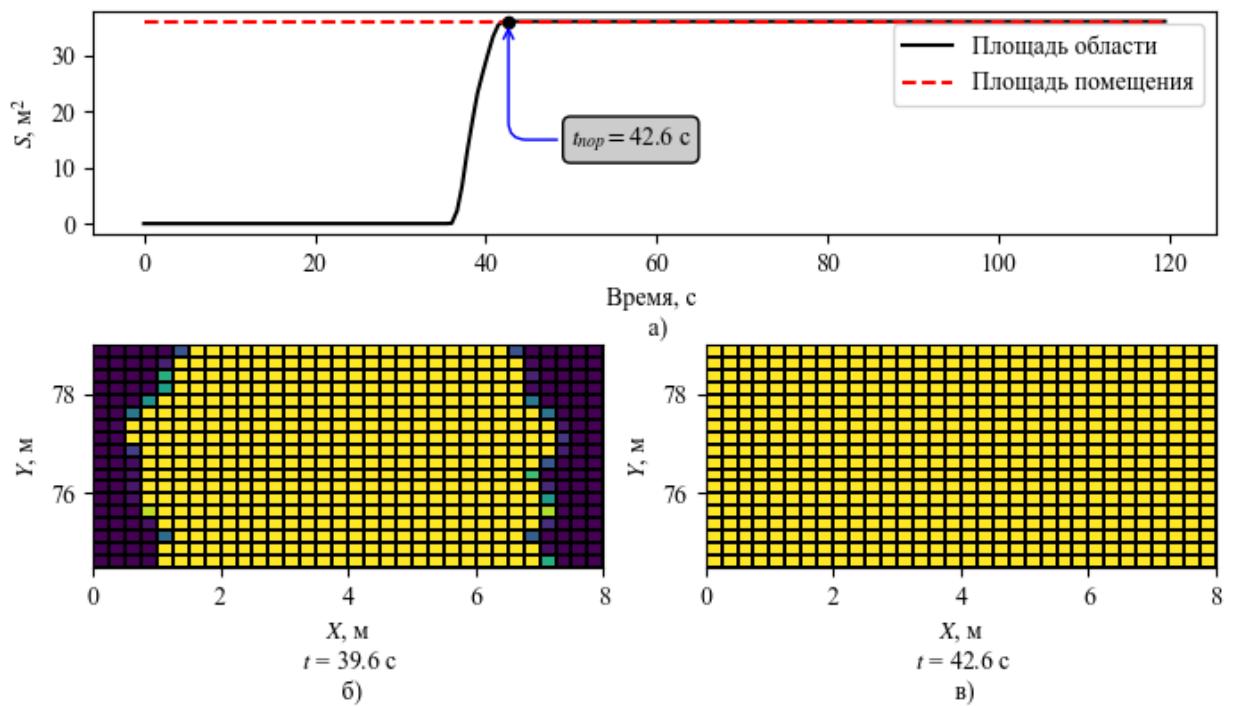


Рис. 3. – Результаты определения $t_{пор}$ для помещения с одним пожарным извещателем

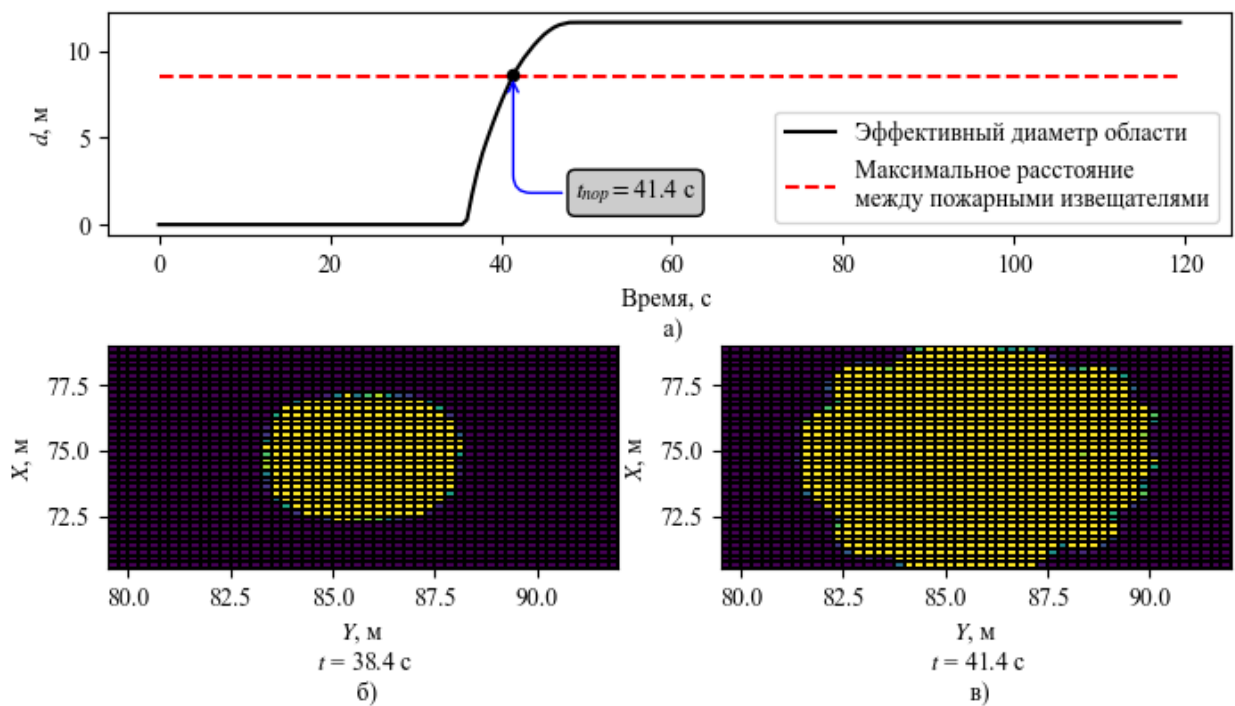


Рис. 4. – Результаты определения $t_{пор}$ для помещения с двумя пожарными извещателями

В таблице представлен сравнительный анализ определения времени срабатывания ПИ на основе разработанной технологии и ручного метода с использованием программной среды просмотра результатов моделирования.

Таблица № 1

Сравнительный анализ определения $t_{\text{пор}}$ на основе разработанной технологии и ручного метода

Наименование операции	Время выполнения, с	
	Разработанная технология	Ручной метод
Определение $t_{\text{пор}}$ для помещения с одним пожарным извещателем	< 1	78
Определение $t_{\text{пор}}$ для помещения с двумя пожарными извещателями	< 1	562

Как следует из таблицы, ручной метод определения $t_{\text{пор}}$ требует на порядок больше времени по сравнению с предлагаемым решением. Кроме того, при исследовании помещений с несколькими пожарными извещателями могут возникать погрешности расчета площади F искомой области (и ее эффективного диаметра $d_{\text{эфф}}$) сложной геометрической формы на основе визуальной оценки полей воздействующего параметра. Таким образом, программная реализация разработанной методики позволяет с высокой скоростью и точностью в автоматизированном режиме определять по результатам моделирования пожара на базе ядра FDS [5] время достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя, что говорит о ее эффективности для решения соответствующих задач.

Литература

1. Тимаков П.И. Обзор математических программ для расчета опасных факторов пожара при установлении очага пожара // Наука и образование сегодня. 2021. №. 9 (68). С. 14-22.

2. Пожаркова И.Н. Анализ задач и методов математического моделирования пожаров в тоннельных сооружениях // Инженерный вестник Дона, 2024, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9195.
3. Xu M., Peng D. Pyrosim-based numerical simulation of fire safety and evacuation behaviour of college buildings // Int. J. Saf. Secur. Tour. 2020. Vol. 10. pp. 293-299.
4. Ермаков Е.А. Оценка огнестойкости строительных конструкций детских садов и их влияние на пожарный риск // Вестник науки. 2024. Т. 4. №. 11 (80). С. 1287-1294.
5. Manea F., Ghicioi E., Suvar M.C., Prodan M., Vlasin N.I., Suvar N.S., Vlase T. FDS results for selecting the right scenario in the case of a building fire: A case study // Fire. 2022. Vol. 5. №. 6. pp. 198.
6. Пожаркова И.Н. Автоматизация обработки результатов численного моделирования развития пожара // Инженерный вестник Дона, 2025, №. 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2025/9848.
7. Tserng H. P. Developing a risk management process for infrastructure projects using IDEF0 // Sustainability. 2021. Vol. 13. №. 12. pp. 6958.
8. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator User's Guide // NIST special publication URL: nist.gov/publications/fire-dynamics-simulator-users-guide-sixth-edition.
9. Arnold L., Belt A., Schultze T., Sichma L. Spatiotemporal measurement of light extinction coefficients in compartment fires // Fire and Materials. 2021. Vol. 45. №. 8. pp. 1075-1084.
10. Hong T. K., Roh B. S., Park S. H. Measurements of optical properties of smoke particulates produced from burning polymers and their implications // Energies. 2020. Vol. 13. №. 9. pp. 2299.

References

1. Timakov P.I. Nauka i obrazovanie segodnya. 2021. №. 9 (68). pp. 14-22.



2. Pozharkova I.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №. 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9195.
3. Xu M., Peng D. Int. J. Saf. Secur. Tour. 2020. Vol. 10. pp. 293-299.
4. Ermakov E.A. Vestnik nauki. 2024. Vol. 4. №. 11 (80). pp. 1287-1294.
5. Manea F., Ghicioi E., Suvar M.C., Prodan M., Vlasin N.I., Suvar N.S., Vlase T. Fire. 2022. Vol. 5. №. 6. pp. 198.
6. Pozharkova I.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025, №. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2025/9848.
7. Tserng H. P. Sustainability. 2021. Vol. 13. №. 12. pp. 6958.
8. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator User's Guide. NIST special publication. URL: nist.gov/publications/fire-dynamics-simulator-users-guide-sixth-edition.
9. Arnold L., Belt A., Schultze T., Sichma L. Fire and Materials. 2021. Vol. 45. №. 8. pp. 1075-1084.
10. Hong T. K., Roh B. S., Park S. H. Energies. 2020. Vol. 13. №. 9. pp. 2299.

Дата поступления: 16.02.2025

Дата публикации: 15.03.2025