

Влияние размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на расчетное время обнаружения пожара

Сергей Петрович Калмыков ✉

Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В России, исходя из положений действующих нормативных документов, время начала эвакуации для помещения, в котором возник пожар, определяется в зависимости от его площади. По мнению некоторых авторов, время начала эвакуации людей является совокупностью «технической», в которую входит время обнаружения пожара, и «психофизической», определяемой поведенческими и организационными особенностями людей. Время обнаружения пожара в настоящее время при этом не учитывается.

Цель. Оценка влияния размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на расчетное время обнаружения пожара.

Задачи. 1. Установить качественный характер влияния размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на расчетное время обнаружения пожара.

2. Предложить рекомендации по определению расчетного времени обнаружения пожара.

Методы. Для исследований применялись методы компьютерного моделирования при помощи программного комплекса Fire Dynamics Simulator.

Результаты и их обсуждение. Применение сеток с различными размерами ячеек позволяет значительно сократить количество ячеек в вычислительной области и, как следствие, время вычислений. Однако это приводит к достаточно противоречивым результатам. Минимальные значения времени сокращаются почти в 3–4 раза по сравнению с однородной расчетной сеткой, а максимальное увеличивается в 2 раза.

Выводы. 1. Размеры ячеек вычислительной сетки и неоднородность вычислительной области оказывают значительное влияние на время обнаружения пожара.

2. Достаточно большой разброс значений расчетного времени обнаружения пожара может свидетельствовать о недостоверной оценке в целом времени начала эвакуации и получении некорректных выводов о безопасности эвакуации людей и/или о вероятности эвакуации людей.

3. Для корректной оценки времени начала эвакуации, принимаемого с учетом расчетного времени обнаружения пожара, рекомендуется использовать однородные вычислительные сетки с размерами ячеек, не превышающими 0,25 м.

Ключевые слова: время эвакуации; вероятность эвакуации; пожарный риск; оптическая плотность дыма; противопожарная защита; пожарная безопасность

Для цитирования: Калмыков С.П. Влияние размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на расчетное время обнаружения пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 4. С. 56–64. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.04.56-64

✉ Калмыков Сергей Петрович, e-mail: k_sp@bk.ru

Effect of computational grid cell size and heterogeneity of computing area for estimated fire detection time

Sergey P. Kalmykov ✉

The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In Russia, based on the provisions of the current regulatory documents, the time for the start of evacuation for a room in which a fire broke out is determined depending on the area of the room. According to some authors, the time of the start of the evacuation of people is a combination of “technical”, which

includes the time of detection of a fire, and “psychophysical”, determined by the behavioral and organizational characteristics of the people who make it up. The fire detection time is currently not taken into account.

Purpose. Evaluation of the influence of the size of the cells of the computational grid and the inhomogeneity of the computational domain on the estimated time of fire detection.

Aims. 1. Establish the qualitative nature of the influence of the size of the cells of the computational grid and the inhomogeneity of the computational domain on the estimated time of fire detection.

2. Offer recommendations for determining the estimated time of fire detection.

Methods. For research, computer simulation methods were used using the Fire Dynamics Simulator software package.

Results and discussion. The use of grids with different cell sizes can significantly reduce the number of cells in the computational domain and, as a result, the computation time. However, this leads to rather contradictory results. The minimum time values are reduced by almost 3–4 times compared to a homogeneous computational grid, and the maximum time increases by 2 times.

Conclusions. 1. The size of the cells of the computational grid and the inhomogeneity of the computational domain have a significant impact on the time of fire detection.

2. A sufficiently large spread in the values of the estimated fire detection time may indicate an unreliable estimate of the total time for the start of evacuation and incorrect conclusions about the safe evacuation of people and/or the probability of evacuation of people.

3. For a correct estimate of the evacuation start time, taken into account the estimated fire detection time, it is recommended to use homogeneous computational grids with cell sizes not exceeding 0.25 m.

Keywords: evacuation time; evacuation probability; fire risk; smoke optical density; fire protection; fire safety

For citation: Kalmykov S.P. Effect of computational grid cell size and heterogeneity of computing area for estimated fire detection time. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(4):56-64. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.04.56-64 (rus).

✉ Sergey Petrovich Kalmykov, e-mail: k_sp@bk.ru

Введение

В соответствии со статьей 6 Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее — ФЗ № 123) предполагается два способа обеспечения пожарной безопасности на объекте защиты:

1) выполнены в полном объеме требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных ФЗ № 123;

2) выполнены в полном объеме требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами и нормативными документами по пожарной безопасности (далее — ПБ).

В случае обеспечения ПБ объекта защиты по первому способу величина пожарного риска не должна превышать требуемого значения, равного 10^{-6} .

При определении величины индивидуального пожарного риска рассчитывается ряд вероятностей, одной из которых является вероятность эвакуации людей.

Чем выше эта вероятность, тем меньше величина пожарного риска.

Кроме того, в соответствии со статьей 53 ФЗ № 123 в каждом здании должны быть объемно-планировочные решения и конструктивное исполнение эвакуационных путей, которые будут обеспечивать безопасную эвакуацию людей при пожаре.

Безопасная эвакуация людей при пожаре считается обеспеченной, если **промежуток времени от момента обнаружения пожара** до завершения эвакуации людей из здания или в безопасную зону менее или равен необходимому времени эвакуации при пожаре.

Условие своевременности эвакуации людей положено в основу описанных выше статей ФЗ № 123, однако при определении величины пожарного риска время от начала пожара до достижения критических значений опасных факторов пожара сравнивается с временем движения людей от наиболее удаленных рабочих мест до выхода наружу или в безопасную зону, причем люди начинают двигаться спустя некоторый промежуток времени, равный времени начала эвакуации, а при оценке безопасной эвакуации время движения людей сравнивается с необходимым временем эвакуации, но здесь люди начинают движение к эвакуационным выходам после обнаружения пожара. Информация о том, какова величина времени обнаружения пожара и какие методы его определения, в нормативных документах не приводится.

В РДН 73–45–89 «Временное руководство по проектированию систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией людей при пожаре объектов народного хозяйства» время начала эвакуации учитывалось только инерционностью системы пожарной сигнализации и системы оповещения и управления людей при пожаре (далее — СОУЭ), психофизические особенности поведения людей,

оповещенных о возникновении пожара, при этом не рассматривались.

Кроме того, при определении времени начала эвакуации в части ее «технической» составляющей, а именно расчетного времени обнаружения пожара, не учитываются такие весьма очевидные факторы, как высота помещения, высота размещения пожарных извещателей и соотношение расстояний от очага пожара до пожарных извещателей, от очага пожара до перекрытия, от пожарных извещателей до перекрытия и т.п.

Это может послужить причиной занижения в целом времени начала эвакуации и привести, соответственно, к некорректным результатам при определении времени завершения эвакуации людей [1].

В зарубежных и отечественных научных отчетах и литературных источниках [2–10] приводится информация о методах проектирования систем обнаружения пожара (пожарной сигнализации) и требованиях к устройству этих систем, о выборе типа пожарных извещателей для конкретных помещений, о способах моделирования работы пожарных извещателей, об исследованиях влияния используемых моделей на время обнаружения пожара и т.п. Однако в доступных источниках отсутствует информация об исследованиях влияния размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на расчетное время обнаружения пожара.

Проведенный анализ существующих методов определения времени начала эвакуации позволяет сделать вывод о целесообразности применения более дифференцированного подхода в отношении ее «технической» составляющей, необходимой для оценки безопасной эвакуации людей, а также при расчете величины пожарного риска, в части вероятности эвакуации.

В рамках настоящей статьи проведена проверка предположения о влиянии размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на расчетное время обнаружения пожара, и, как следствие, на время начала эвакуации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Провести численные эксперименты по исследованию влияния размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на расчетное время обнаружения пожара.

2. Установить качественный характер влияния размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на расчетное время обнаружения пожара.

3. Предложить рекомендации по определению расчетного времени обнаружения пожара.

Методы

Для описания термогазодинамических процессов, протекающих при пожаре, используются три группы моделей: интегральные, зонные и полевые [11–16].

Для определения необходимого времени эвакуации все чаще применяется программный комплекс FDS, специально разработанный для моделирования пожаров [17–19]. В этом комплексе создается трехмерная вычислительная сетка, в пределах которой решаются уравнения сохранения энергии, движения и массы отдельных компонентов продуктов горения, выраженных в форме Навье – Стокса [20, 21].

При проведении численных экспериментов пожар считался обнаруженным, если в контрольных точках модели, соответствующих расстановке пожарных извещателей, достигались пороговые значения измеряемых параметров.

Пожарные извещатели (рис. 1) расставлялись в помещениях в соответствии с СП 484.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования» (далее — СП 484.1311500.2020). В качестве пожарных извещателей предполагалась установка точечных дымовых пожарных извещателей (далее — ДПИ).

Допустимая чувствительность ДПИ, согласно ГОСТ Р 53325–2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний», принималась равной диапазону от 0,05 до 0,20 дБ/м. Тип ДПИ — ИП 212-45. Количество пожарных извещателей определялось с учетом радиуса зоны контроля, высота размещения — в пределах от 0,1 до 0,6 м от уровня перекрытия.

Прямое моделирование работы дымового пожарного извещателя в работе не рассматривалось.

Расчетное время обнаружения пожара (время срабатывания автоматической пожарной сигнализации) соответствует времени достижения оптической плотности дыма в одной или двух из контрольных точек, соответствующей допустимой чувствительности ДПИ, в зависимости от применяемых алгоритмов принятия решения о пожаре А или В по СП 484.1311500.2020.

Время обнаружения пожара для алгоритма А принималось как наименьшее время срабатывания одного из ДПИ.

Время обнаружения пожара для алгоритма В определялось идентично по времени срабатывания второго ДПИ, но с учетом интервала не более 60 с от срабатывания первого ДПИ.

Для реализации алгоритмов А и В защищаемое помещение контролировалось 15 ДПИ при условии, что каждая точка помещения контролируется одним ДПИ.

Время обнаружения пожара для алгоритма С в работе не рассматривалось.

Оценивалось время срабатывания ДПИ как при минимальной допустимой чувствительности 0,05 дБ/м, так и при максимальной 0,20 дБ/м.

Вид пожарной нагрузки и ее количество принимались в соответствии с базой данных [11, 12].

На рис. 1 представлена схема моделируемого сценария пожара, а именно пожар в помещении площадью 1000 м² и высотой 3,5 м в здании I степени огнестойкости (горючая нагрузка: здание I степени огнестойкости; мебель + ткани (0,75 + 0,25) [11]).

В данной серии численных экспериментов проведена оценка влияния размеров ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области на время срабатывания ДПИ. Размеры ячеек вычислительной сетки принимались таким образом, чтобы учитывалась высота размещения ДПИ. Форма ячеек — куб. При указании размера ячеек указывается размер стороны куба.

При однородной вычислительной области размеры ячеек варьировались от 0,05 до 0,5 м. При неоднородной вычислительной области (в одной вычислительной области применялись сетки с различными размерами ячеек: по высоте области от 0 до 3 м и от 3 м до перекрытия помещения) размеры ячеек варьировались в нижней части области от 0,5 до 1 м, в верхней части — от 0,05 до 0,25 м.

В работе было проведено моделирование следующих сценариев:

- сценарий 1: вычислительная область однородная, размер ячеек 0,05 м;
- сценарий 2: вычислительная область однородная, размер ячеек 0,1 м;
- сценарий 3: вычислительная область однородная, размер ячеек 0,25 м;
- сценарий 4: вычислительная область однородная, размер ячеек 0,5 м;

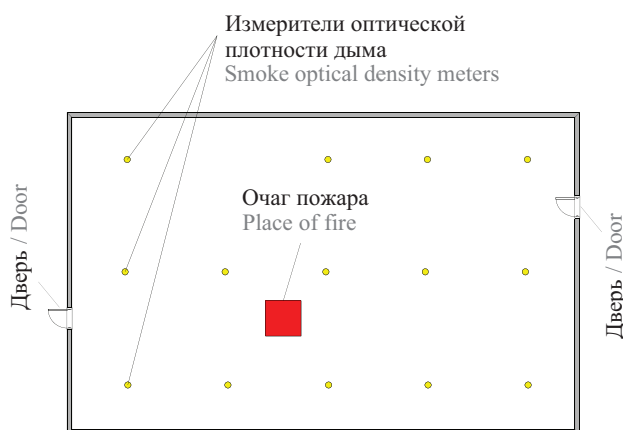


Рис. 1. Схема моделируемого сценария пожара

Fig. 1. Scheme of the simulated fire scenario

- сценарий 5: вычислительная область неоднородная, размер ячеек в нижней части области 0,5 м, в верхней — 0,25 м;
- сценарий 6: вычислительная область неоднородная, размер ячеек в нижней части области 1 м, в верхней — 0,05 м;
- сценарий 7: вычислительная область неоднородная, размер ячеек в нижней части области 1 м, в верхней — 0,1 м;
- сценарий 8: вычислительная область неоднородная, размер ячеек в нижней части области 1 м, в верхней — 0,25 м.

Результаты и их обсуждение

Результаты численных экспериментов представлены на рис. 2–9:

- рис. 2: вычислительная область однородная, размер ячеек 0,05 м;
- рис. 3: вычислительная область однородная, размер ячеек 0,1 м;
- рис. 4: вычислительная область однородная, размер ячеек 0,25 м;
- рис. 5: вычислительная область однородная, размер ячеек 0,5 м;
- рис. 6: вычислительная область неоднородная, размер ячеек в нижней части области 0,5 м, в верхней — 0,25 м;
- рис. 7: вычислительная область неоднородная, размер ячеек в нижней части области 1 м, в верхней — 0,05 м;
- рис. 8: вычислительная область неоднородная, размер ячеек в нижней части области 1 м, в верхней — 0,1 м;

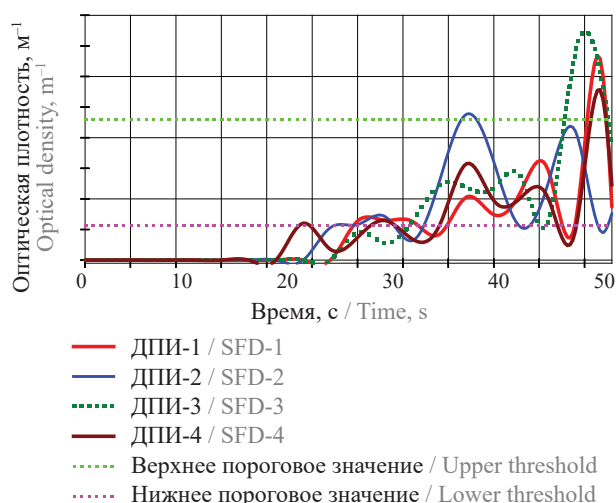
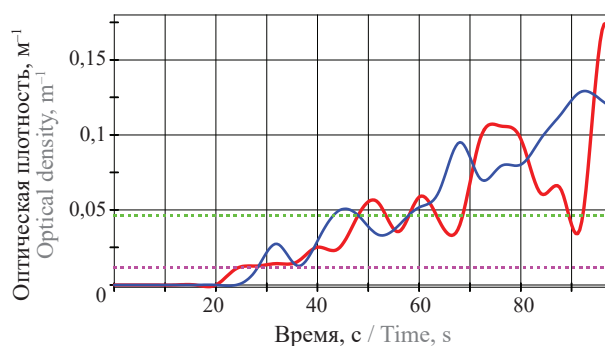


Рис. 2. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольных точках расчетной области — сценарий 1

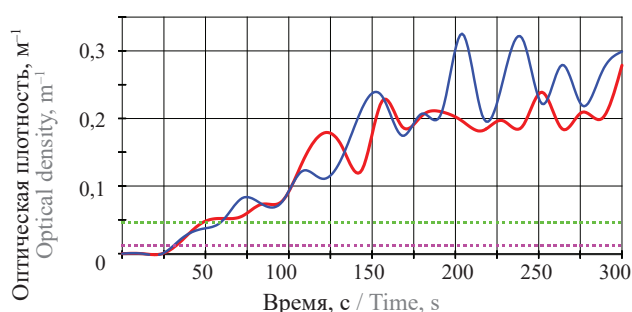
Fig. 2. Change in the optical density of smoke during a fire at the control points of the computational domain — scenario 1



— DPI-1 / SFD-1
 — DPI-2 / SFD-2
 Верхнее пороговое значение / Upper threshold
 Нижнее пороговое значение / Lower threshold

Рис. 3. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольных точках расчетной области — сценарий 2

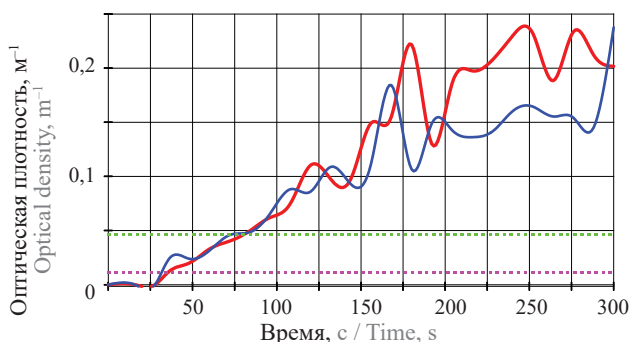
Fig. 3. Change in the optical density of smoke during a fire at the control points of the computational domain — scenario 2



— DPI-1 / SFD-1
 — DPI-2 / SFD-2
 Верхнее пороговое значение / Upper threshold
 Нижнее пороговое значение / Lower threshold

Рис. 4. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольных точках расчетной области — сценарий 3

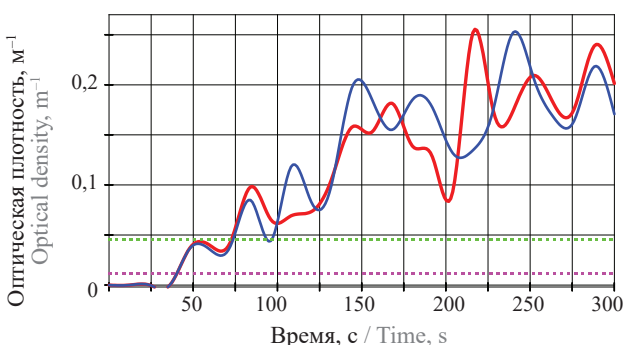
Fig. 4. Change in the optical density of smoke during a fire at the control points of the computational domain — scenario 3



— DPI-1 / SFD-1
 — DPI-2 / SFD-2
 Верхнее пороговое значение / Upper threshold
 Нижнее пороговое значение / Lower threshold

Рис. 5. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольных точках расчетной области — сценарий 4

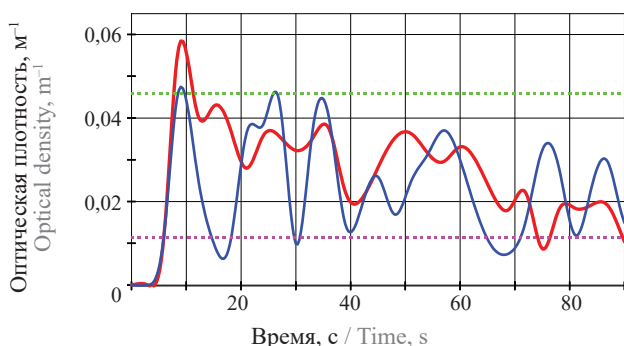
Fig. 5. Change in the optical density of smoke during a fire at the control points of the computational domain — scenario 4



— DPI-1 / SFD-1
 — DPI-2 / SFD-2
 Верхнее пороговое значение / Upper threshold
 Нижнее пороговое значение / Lower threshold

Рис. 6. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольных точках расчетной области — сценарий 5

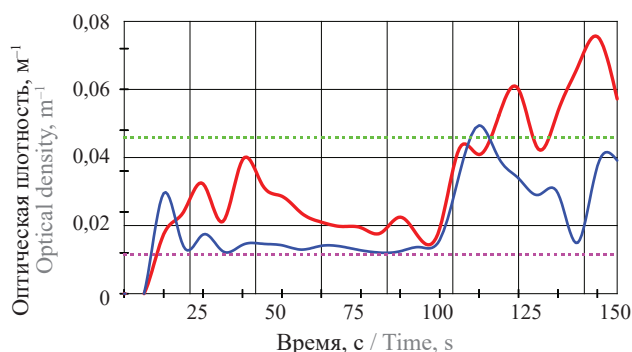
Fig. 6. Change in the optical density of smoke during a fire at the control points of the computational domain — scenario 5



— DPI-1 / SFD-1
 — DPI-2 / SFD-2
 Верхнее пороговое значение / Upper threshold
 Нижнее пороговое значение / Lower threshold

Рис. 7. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольных точках расчетной области — сценарий 6

Fig. 7. Change in the optical density of smoke during a fire at the control points of the computational domain — scenario 6



— DPI-1 / SFD-1
 — DPI-2 / SFD-2
 Верхнее пороговое значение / Upper threshold
 Нижнее пороговое значение / Lower threshold

Рис. 8. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольных точках расчетной области — сценарий 7

Fig. 8. Change in the optical density of smoke during a fire at the control points of the computational domain — scenario 7

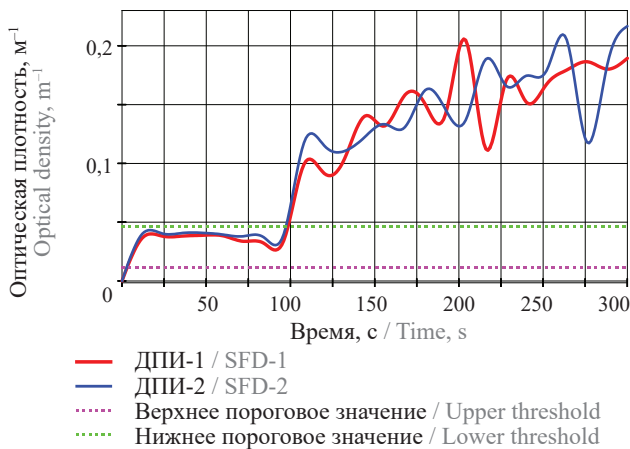


Рис. 9. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольных точках расчетной области — сценарий 8

Fig. 9. Change in the optical density of smoke during a fire at the control points of the computational domain — scenario 8

- рис. 9: вычислительная область неоднородная, размер ячеек в нижней части области 1 м, в верхней — 0,25 м.

Обобщенные данные по времени обнаружения пожара представлены в таблице.

Анализ полученных результатов численных экспериментов позволяет установить, что размеры ячеек вычислительной сетки и неоднородность вычислительной области оказывают значительное влияние на время обнаружения пожара (срабатывания ДПИ).

На основе анализа полученных данных установлено:

- минимальное время обнаружения пожара по алгоритму А при минимальной допустимой чувствительности составляет 8,1 с, а максимальной — 8,3 с;
- минимальное время обнаружения пожара по алгоритму В при минимальной допустимой

чувствительности составляет 8,3 с, а максимальной — 8,4 с;

- максимальное время обнаружения пожара по алгоритму А при минимальной допустимой чувствительности составляет 41,4 с, а максимальной — 98,7 с;
- максимальное время обнаружения пожара по алгоритму В при минимальной допустимой чувствительности составляет 42 с, а максимальной — 99,5 с.

Минимальное и максимальное время обнаружения пожара среди всех сценариев по алгоритму А при допустимом диапазоне чувствительности варьируется от 8,3 до 98,7 с, а по алгоритму В — от 8,4 до 99,5 с (значения отличаются почти в 12 раз).

Значения времени обнаружения пожара при однородной расчетной сетке с размерами ячеек 0,05 и 0,5 м по алгоритму А при минимальной допустимой чувствительности составляют 23,1 и 34,8 с (отличие в 1,5 раза), а при максимальной допустимой чувствительности — 41,9 и 58 с соответственно (отличие в 1,4 раза), по алгоритму В при минимальной допустимой чувствительности 29,1 и 36,1 с (отличие в 1,2 раза), а при максимальной допустимой чувствительности — 43,8 и 58,9 с (отличие в 1,3 раза).

Значения времени обнаружения пожара при однородной расчетной сетке имеют вполне сопоставимый характер, особенно в диапазоне размеров ячеек от 0,05 до 0,25 м.

Для оценки достоверности получаемых на основе компьютерного моделирования значений времени обнаружения пожара необходимо их сопоставление с экспериментальными данными. Однако такое сравнение связано с рядом сложных многофакторных задач, одной из которых является воспроизведение исходных данных, заложенных

Расчетное время обнаружения пожара

Estimated fire detection time

Номер сценария Scenario number	Время от начала пожара до достижения пороговых значений для ДПИ, с Time from the start of a fire to reaching the threshold values for a smoke detector, s			
	Алгоритм А (0,05 дБ/м) Algorithm A (0.05 dB/m)	Алгоритм В (0,05 дБ/м) Algorithm B (0.05 dB/m)	Алгоритм А (0,2 дБ/м) Algorithm A (0.2 dB/m)	Алгоритм В (0,2 дБ/м) Algorithm B (0.2 dB/m)
1	23,1	29,1	41,9	43,8
2	24,1	26,5	41	43,1
3	27,9	29,7	42,3	48,3
4	34,8	36,1	58	58,9
5	41,4	42	77,4	77,4
6	8,1	8,3	8,3	8,4
7	13,2	13,7	98,7	99,5
8	8,8	9	96,9	97,2

в программные комплексы, при проведении натурных экспериментов и наоборот. Особенную сложность представляет воспроизведение свойств пожарной нагрузки, которые будут определять динамику пожара.

В качестве ориентира для значений времени обнаружения пожара можно использовать данные, указанные в работе [22]. Они находятся в диапазоне от 5 до 30 с. Но в этой работе не указано, в каких помещениях (размеры, геометрия, назначение) и при каких исходных данных получены эти значения. Следовательно, вопрос экспериментального обоснования размера ячеек расчетной области требует дополнительных исследований и проработки.

Фактическое время моделирования динамики пожара в достаточно больших по площади и объему помещениях в расчетной области с размерами ячеек до 0,25 м может исчисляться часами, а иногда и сотнями часов. Применение сеток с различными размерами ячеек позволяет значительно сократить количество ячеек в вычислительной области и, как следствие, время вычислений. При этом многие специалисты, выполняющие подобного вида расчеты, зачастую вынуждены идти на это. Однако подобный подход приводит к достаточно противоречивым результатам. Минимальные значения времени сокращаются почти в 3–4 раза по сравнению с однородной расчетной сеткой, а максимальное увеличивается в 2 раза.

Кроме того, время начала эвакуации для помещения очага пожара площадью 1000 м² согласно приказу МЧС России № 382 «Об утверждении мето-

дики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» составляет 15 с, что в 2 раза больше минимального и в 6 раз меньше максимального времени обнаружения пожара, полученного в результате моделирования, описанного в данной статье.

Выводы

1. Установлено, что размеры ячеек вычислительной сетки и неоднородность вычислительной области оказывают значительное влияние на время обнаружения пожара.

2. Достаточно большой разброс значений времени обнаружения пожара, полученных при всех равных исходных данных, но при различных размерах ячеек вычислительной сетки и неоднородности вычислительной области в численных экспериментах на основе современных программных комплексов, и существенное отличие этих значений от значения, получаемого на основе существующего способа определения времени начала эвакуации, может свидетельствовать о недостоверной оценке в целом времени начала эвакуации и получении некорректных выводов о безопасной эвакуации людей и/или о вероятности эвакуации людей.

3. Для корректной оценки времени начала эвакуации, принимаемого с учетом расчетного времени обнаружения пожара, рекомендуется производить моделирование пожара на однородных вычислительных сетках вычислительной области с размерами ячеек, не превышающими 0,25 м.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Калмыков С.П., Есин В.М. Время обнаружения очага пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 11. С. 52–63. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63
2. Хасанов И.Р., Карпов А.В., Лобова С.Ф., Петрова Н.В. Полевое моделирование динамики пожара при ответе на вопрос о выполнении системой пожарной сигнализации своих функций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 5. С. 40–50. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.05.40-50
3. Schiffliti R.P., Custer R.L.P., Meacham B.J. Design of detection systems // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Chapter 40. 5th Edition. Society of Fire Protection Engineers. New York : Springer, 2016. Pp. 1314–1377. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
4. Zheng R., Cheng Yu., Lu S. Improved simulation method for optimizing optical chamber of photoelectric smoke detectors // 2016 IEEE/CSAA International Conference on Aircraft Utili-
- ty Systems (AUS). IEEE, 2016. DOI: 10.1109/AUS.2016.7748085
5. Müller K., Loepfe M., Wieser D. Optical simulation for fire detectors // Fire Safety Journal. 2006. Vol. 41. Issue 4. Pp. 274–278. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2005.09.005
6. Fitzgerald R.W., Meacham B.J. Fire Detection // Fire Performance Analysis for Buildings. 2017. Pp. 193–202. DOI: 10.1002/9781118926321.ch11
7. Khrapskii S.F., Bedrina E.A. Fire detection system call points types selection based on the gas and smoke environment physical parameters dynamic study in different premises // Journal of Physics Conference Series. 2022. Vol. 2182. Issue 1. P. 012053. DOI: 10.1088/1742-6596/2182/1/012053
8. Hong Z., Tang Z., Pan H., Zhang Y., Zheng Z., Zhou R. et al. Active fire detection using a novel convolutional neural network based on Himawari-8 satellite images // Frontiers in Environmental Science. 2022. Vol. 10. P. 794028. DOI: 10.3389/fenvs.2022.794028

9. Su-Gil Choi, Jin-Se Young, Sang-Min Park, Yeong-Jae Nam, Si-Kuk Kim. Basic research on potential application of fire detection by measuring fire detection tendency of indoor air quality measurement factors // *Fire Science and Engineering*. 2020. Vol. 34. Issue 1. Pp. 37–46. DOI: 10.7731/KIFSE.2020.34.1.037
10. Anwar F., Bobby R.I., Rashid M.M., Alam M.M., Shaikh Z. Network-Based Real-time integrated Fire Detection and Alarm (FDA) system with building automation // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 260. Issue 1. P. 012025. DOI: 10.1088/1757-899X/260/1/012025
11. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Андреев В.В., Козлов Ю.И. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учеб. пос. М. : АГПС МВД РФ, 2000. 126 с.
12. Абашкин А.А., Карпов А.В., Ушаков Д.В., Фомин М.В., Гилетич А.Н., Комков П.М. и др. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М. : ВНИИПО, 2014. 226 с.
13. Rubini P., Evans A., Bressloff N. Simulation of Fire in Enclosures : user guide. Cranfield University, 2006.
14. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамика жидкостей. М. : Энергоатомиздат, 1984. 150 с.
15. Svobodová N., Benýšek M., Štefan R. Analysis of zone fire models and their application in structural fire design // *Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena*. 2021. Vol. 322. Pp. 127–135. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.322.127
16. Blahova M., Hromada M. Principles for verification of mathematical fire models // 25th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC). IEEE, 2021. DOI: 10.1109/CSCC53858.2021.00027
17. McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., McDermott R., Vanella M. NIST Special Publication 1018-1 // Sixth Edition Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. 2021. Vol. 1. DOI: 10.6028/NIST.SP.1018
18. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD) // *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Chapter 32. Fifth Edition. Society of Fire Protection Engineers. 2016. Pp. 1034–1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
19. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. Fire dynamics simulator user's guide: NIST special publication 1019 // Sixth Edition. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology. 2013. 262 p.
20. Patankar S.V., Spalding D.B. A computer model for three-dimensional flow in furnaces // 14th Symp. (Int.) Combust. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA. 1973. Pp. 605–614.
21. Hongjie Dong, Qi S. Zhang. Time analyticity for the heat equation and Navier-Stokes equations // *Journal of Functional Analysis*. 2020. Vol. 279. Issue 4. P. 108563. DOI: 10.1016/j.jfa.2020.108563
22. Самошин Д.А. Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре : автореф. дис. ... д-ра тех. наук. М. : АГПС МЧС России, 2017. 22 с.

REFERENCES

1. Kalmykov S.P., Esin V.M. Fire detection time. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(11):52-63. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63 (rus).
2. Khasanov I.R., Karpov A.V., Lobova S.F., Petrova N.V. Field modeling of the fire dynamics as an answer to the question about the fire alarm performance. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(5):40-50. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.05.40-50 (rus).
3. Schifiliti R.P., Custer R.L.P., Meacham B.J. Design of detection systems. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Chapter 40. 5th Edition. Society of Fire Protection Engineers*. New York, Springer, 2016; 1314-1377. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
4. Zheng R., Cheng Yu., Lu S. Improved simulation method for optimizing optical chamber of photoelectric smoke detectors. *2016 IEEE/CSAA International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS)*. IEEE, 2016. DOI: 10.1109/AUS.2016.7748085
5. Müller K., Loepfe M., Wieser D. Optical simulation for fire detectors. *Fire Safety Journal*. 2006; 41(4):274-278. DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.09.005
6. Fitzgerald R.W., Meacham B.J. Fire Detection. *Fire Performance Analysis for Buildings*. 2017; 193-202. DOI: 10.1002/9781118926321.ch11
7. Khrapskii S.F., Bedrina E.A. Fire detection system call points types selection based on the gas and smoke environment physical parameters dynamic study in different premises. *Journal of Physics Conference Series*. 2022; 2182(1):012053. DOI: 10.1088/1742-6596/2182/1/012053
8. Hong Z., Tang Z., Pan H., Zhang Y., Zheng Z., Zhou R. et al. Active fire detection using a novel convolutional neural network based on Himawari-8 satellite images. *Frontiers in Environmental Science*. 2022; 10:794028. DOI: 10.3389/fenvs.2022.794028
9. Su-Gil Choi, Jin-Se Young, Sang-Min Park, Yeong-Jae Nam, Si-Kuk Kim. Basic research on potential application of fire detection by measuring fire detection tendency of indoor air quality measurement factors.

- Fire Science and Engineering*. 2020; 34(1):37-46. DOI: 10.7731/KIFSE.2020.34.1.037
10. Anwar F., Bobby R.I., Rashid M.M., Alam M.M., Shaikh Z. Network-based real-time integrated Fire Detection and Alarm (FDA) system with building automation. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2017; 260(1):012025. DOI: 10.1088/1757-899X/260/1/012025
 11. Koshmarov Yu.A., Puzach S.V., Andreev V.V., Kozlov Yu.I. *Modeling and analysis of human movements in various buildings : textbook*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2000; 126. (rus).
 12. Abashkin A.A., Karpov A.V., Ushakov D.V., Fomin M.V., Gilechich A.N., Komkov P.M. et al. *Manual on the application of "Methods for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard"*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2014; 226. (rus).
 13. Rubini P., Evans A., Bressloff N. *Simulation of Fire in Enclosures : user guide*. Cranfield University, 2006.
 14. Patankar S. *Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984; 150. (rus).
 15. Svobodová N., Benýšek M., Štefan R. Analysis of zone fire models and their application in structural fire design. *Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena*. 2021; 322:127-135. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.322.127
 16. Blahova M., Hromada M. Principles for verification of mathematical fire models. *25th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC)*. IEEE, 2021. DOI: 10.1109/CSCC53858.2021.00027
 17. McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., McDermott R., Vanella M. NIST Special Publication 1018-1. *Sixth Edition Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide*. 2021; 1. DOI: 10.6028/NIST.SP.1018
 18. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter 32. Fifth Edition. Society of Fire Protection Engineers*. 2016; 1034-1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
 19. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. Fire dynamics simulator user's guide: NIST special publication 1019. *Sixth Edition. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology*. 2013; 262.
 20. Patankar S.V., Spalding D.B. A computer model for three-dimensional flow in furnaces. *14th Symp. (Int.) Combust. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA*. 1973; 605-614.
 21. Hongjie Dong, Qi S. Zhang. Time analyticity for the heat equation and Navier-Stokes equations. *Journal of Functional Analysis*. 2020; 279(4):108563. DOI: 10.1016/j.jfa.2020.108563
 22. Samoshin D.A. *Methodological bases of regulation of safe evacuation of people from buildings in case of fire : abstract dis. ... doctor of technical sciences*. Moscow, Acad. state fire service EMERCOM of Russia, 2017; 22. (rus).

Поступила 30.03.2022, после доработки 06.05.2022;

принята к публикации 10.06.2022

Received March 30, 2022; Received in revised form May 6, 2022;

Accepted June 10, 2022

Информация об авторе

КАЛМЫКОВ Сергей Петрович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 758175; ResearcherID: B-5446-2016; ORCID: 0000-0002-3444-086X; e-mail: k_sp@bk.ru

Information about the author

Sergey P. KALMYKOV, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of Fire Safety in Construction Department, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 758175; ResearcherID: B-5446-2016; ORCID: 0000-0002-3444-086X; e-mail: k_sp@bk.ru