

УДК 614.84

С.В. Цвиркун, к.т.н., доц., Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ ГОСТИНИЦЫ ВЫСОТОЙ БОЛЕЕ 26,5 М.

Представлено расчеты критического значения опасных факторов пожара в помещении отеля
(высотой более 26.5 м)

Ключевые слова: опасные факторы пожара, необходимое время эвакуации, критическое значение опасного фактора пожара.

Постановка проблемы. Обеспечение безопасности людей в высотных зданиях при пожаре требует моделирования процессов движения людей, определяющих время их эвакуации ($t_{эв}$), и моделирования динамики распространения опасных факторов пожара (ОФП), определяющих время блокирования ($t_{бл}$) путей эвакуации.

Распространение ОФП – сложный физико-химический процесс, начало изучения которого приходится на середину XVIII века. Оно заложило основы термодинамики и математической модели пожара, практическая реализация которой стала возможной лишь в последние десятилетия, благодаря интенсивному развитию вычислительной техники. Сегодня для расчёта времени блокирования путей эвакуации используются интегральные, зонные и дифференциальные (полевые) модели пожара. Однако, сегодня программное обеспечение модели пожара отсутствует как в свободном доступе, так и для коммерческого пользования.

Анализ последних достижений и публикаций. Среди зарубежных программ можно выделить универсальные (ANSYS CFX, FLUENT, STAR-CD) и специализированные программы (JASMINE, SOFIE, SMARTFIRE, PHOENICS и FDS). Для возможности пользования в России из этих программ выделим SMARTFIRE, FDS и SOFIE. Однако, SMARTFIRE и SOFIE – коммерческие программы. Лишь FDS является свободно распространяемой, благодаря чему она может применяться широким кругом пользователей в различных странах. Это обеспечивает воспроизводимость результатов, полученных разными авторами, и возможность совместного поиска рационального решения общих задач обеспечения безопасности людей при пожаре. Поэтому программное обеспечение FDS было использовано при анализе вероятных значений $t_{бл}$ в высотных зданиях.

FDS [3,4] численно решает уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков, особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре.

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2)$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j h) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda}{c_p} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \dot{q}_j^R}{\partial x_j} \quad (3)$$

Основным алгоритмом является явная схема предиктора-корректора второго порядка точности по координатам и времени. Турбулентность решается с помощью модели Смагоринского «Масштабное моделирование вихрей» (LES). Прямое численное моделирование (DNS) можно выполнять, если расчетная сетка достаточно точна. Масштабное моделирование вихрей – режим работы по умолчанию.

В большинстве случаев в FDS применяется одноступенчатая химическая реакция, продукты которой рассчитываются через двухпараметрическую модель доли в смеси (mixture fraction model). «Доля в смеси» в данном смысле - это скалярная величина, которая предоставляет собой массовую долю одного или более компонентов газа в данной точке потока. По умолчанию рассчитываются два компонента смеси: массовая доля несгоревшего топлива и массовая доля сгоревшего топлива (т.е. продуктов сгорания). Двухступенчатая химическая реакция с трехпараметрическим разложением доли в смеси раскладывается на одноступенчатые реакции - окисление топлива до монооксида углерода и окисление монооксида до диоксида. Три компонента в данном случае - несгоревшее топливо, масса топлива, которая завершила первый шаг реакции, и масса топлива, которая завершила второй шаг реакции. Массовая концентрация всех основных реагентов и продуктов может быть получена с помощью «соотношения состояния». И, наконец, можно использовать многошаговую реакцию с конечной скоростью протекания.

Лучистый теплообмен включен в модель посредством решения уравнения переноса излучения для серого газа и, для некоторых случаев, с использованием широкодиапазонной модели. Уравнение решается с помощью метода, аналогичного методу конечных объемов для конвективного переноса, отсюда и название «метод конечных объемов» (FVM).

FDS решает основные уравнения на прямоугольной сетке. Препятствия обязаны быть прямоугольными, чтобы удовлетворять сетке. На всех твердых поверхностях задаются тепловые граничные условия, плюс данные о горючести материала. Тепло- и массоперенос с поверхности и обратно рассчитывается с помощью эмпирических соотношений, хотя при выполнении прямого численного моделирования (DNS) можно вычислить передачу тепла и массы напрямую.

PufoSim – графический интерфейс для программы FDS, разработанный компанией Thunderhead. Программа упрощает ввод и анализ исходных данных, облегчает процесс построения модели. Smokeview – программа, созданная для визуализации данных расчета FDS. Она позволяет наглядно увидеть распространение дыма, пламени, поля температур и других величин. Кроме того, немаловажным является тот факт, что модель FDS успешно прошла оценочные испытания: валидацию и верификацию.

Экспериментальная проверка моделей динамики ОФП, когда исходные данные для теоретических расчётов совпадают с исходными данными в эксперименте, позволяют судить только о корректности самой модели. При решении же задач по обеспечению безопасности людей, стоит задача не только правильно воспроизвести динамику процесса при заданных условиях, но также спрогнозировать возможную ситуацию при вероятных вариациях реальных условий, зависящих от множества изменяющихся факторов и комбинаций их сочетаний.

Постановка задачи и их решение. Расчет опасных факторов пожара в номере высотной гостиницы. Помещение – наиболее вероятное место возникновения очага пожара. В качестве объекта исследования использовалась модель помещения (рис. 1) площадью 4×6 м с размещением типовой для гостиниц пожарной нагрузки: мебель (столы, стулья, шкафы). Согласно требованиям норм пожарная нагрузка не должна превышать 50 кг/м² (при перерасчете на древесину). Величина пожарной нагрузки 377 МДж/м².

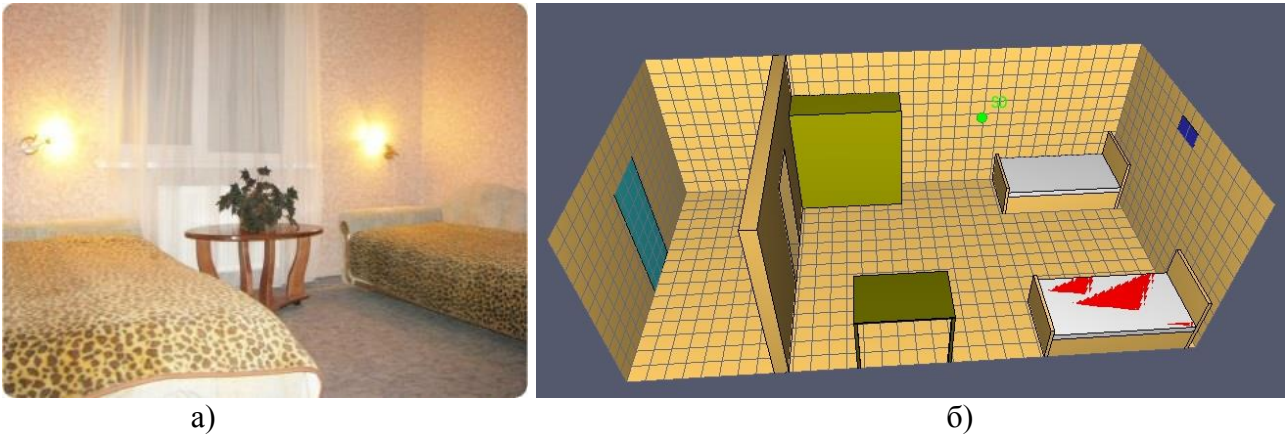


Рисунок 1 - Помещение для моделирования ОФП:

а) план моделируемого помещения,

б) моделируемое помещение в графическом редакторе Pyrosim.

Исходная позиция для моделирования: развитие пожара – в начальной стадии: внутри зоны горения возникшего неконтролируемого очага пожара и вокруг неё температура такова, что скорость тепловыделения выше скорости отвода тепла из зоны горения, что обуславливает ускорение процесса горения.

В результате этого процесса постепенно происходит распространение пламени на всё помещение. Поэтому распределение значений параметров опасных факторов пожара по объёму помещения неравномерное. В качестве контрольной точки значений ОФП установлена точка на выходе из помещения на высоте 1,7 м, поскольку при достижении в ней критического значения одного из опасных факторов пожара безопасная эвакуация человека из помещения становится невозможной.

Задача моделирования первого варианта развития пожара – определить время ($t_{кр}$) достижения критического уровня воздействия ОФП в контрольной точке и его носителя (температура, дым, токсичность составляющих образующейся газовой смеси) при нефункционирующих системах противодымной защиты и пожаротушения.

Поскольку система противодымной защиты здания, сооружения или строения должна обеспечивать защиту людей на путях эвакуации и в безопасных зонах от воздействия опасных факторов пожара в течение времени, необходимого для эвакуации людей в безопасную зону, то задача моделирования второго варианта развития пожара состояла в определении целесообразного месторасположения клапана системы дымоудаления и влияния его производительности (расхода воздуха) на увеличение значения $t_{кр}$.

Свойства пожарной нагрузки заданы по базе данных типовой горючей нагрузки [1]:

Мебель; дерево+облицовка (0,9+0,1)

- Низшая теплота сгорания 14,4 МДж/кг
- Линейная скорость пламени 0,0154 м/с
- Удельная скорость выгорания 0,0135 кг/м²с
- Дымообразующая способность 84,1 Нп·м²/кг
- Потребление кислорода 1,288кг/кг
- Выделение углекислого газа 1,55 кг/кг
- Выделение угарного газа 0,0367 кг/кг

Результаты расчётов распространения ОФП при моделировании трёх перечисленных вариантов развития пожара в помещении приведены в табл. 1.

Таблиця 1 – Время наступлення критического значения ОФП

Параметр	Значение параметра	Размер клапана, м	Время наступления критического значения ОФП на выходе из помещения, $t_{кр}$, с
Без систем противопожарной защиты	–	–	32
Расход воздуха через клапан дымоудаления	5 м ³ /с	0,25×0,25	98
	7 м ³ /с	0,25×0,25	135
	9 м ³ /с	0,25×0,25	160
	11 м ³ /с	0,25×0,25	не наступает
	3 м ³ /с	0,25×0,5	86
	5 м ³ /с	0,25×0,5	125
	7 м ³ /с	0,25×0,5	238
	9 м ³ /с	0,25×0,5	не наступает

Результаты моделирования пожара в помещении без функционирующих систем противопожарной защиты показывают, что фактором, значения которого первыми достигают критического уровня воздействия, является потеря видимости.

Второй вариант моделирования позволяет определить рациональное размещение клапана системы дымоудаления в помещении. В ходе моделирования, положение клапана регулировало направление воздушных потоков, обеспечивая смешивание продуктов горения со свежим воздухом, входящим в помещение. В этой серии экспериментов был выбран вариант расположения клапана, при котором опасные факторы пожара в помещении наступают за наибольшее время, а также 2 варианта площади сечения клапана.

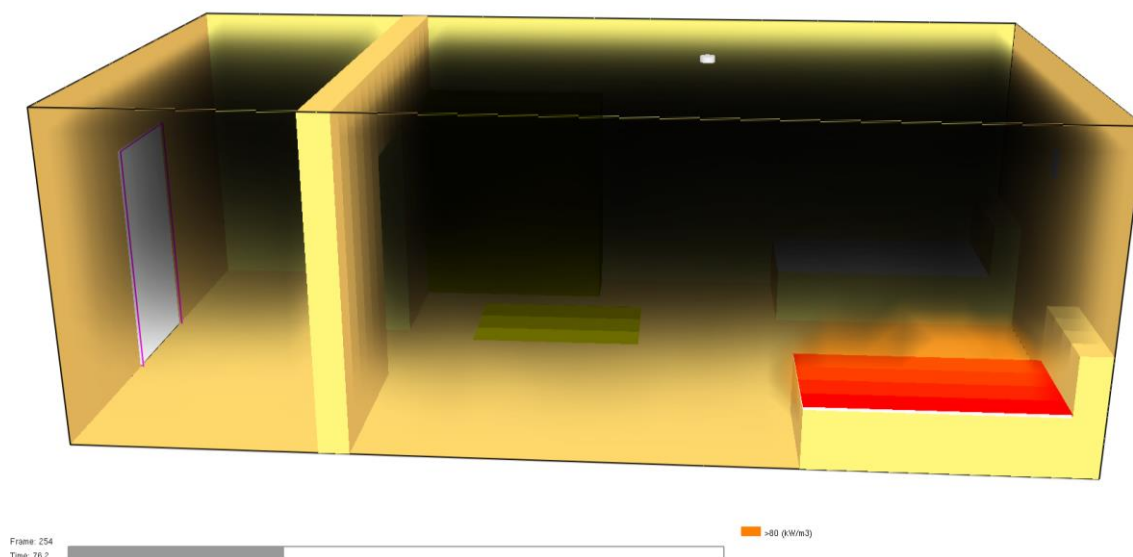
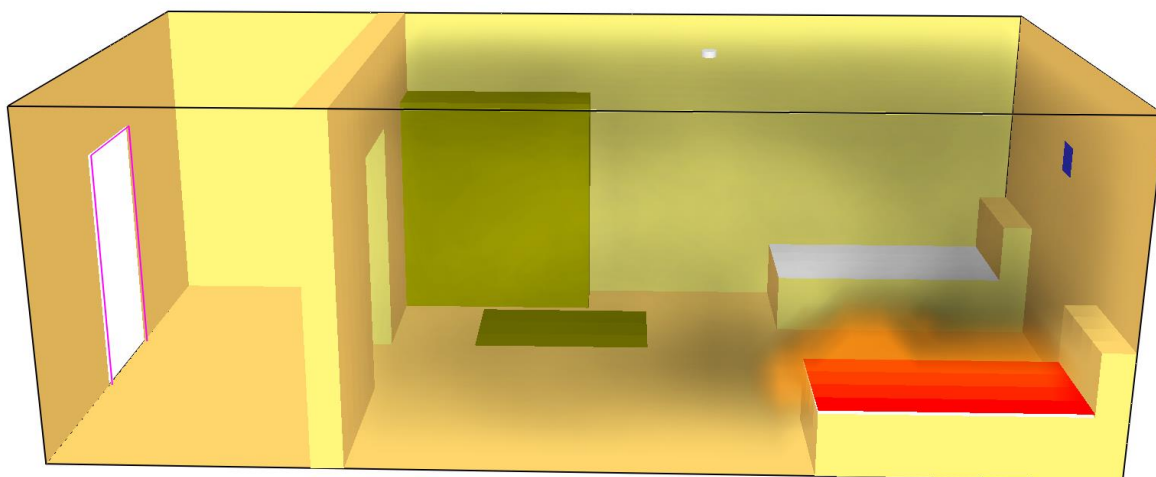


Рисунок 2 - Вид помещения без систем противопожарной защиты (76 с от начала пожара).



Frame: 256
Time: 76.8

>80 (кВт/м³)

Рисунок 3 - Вид помещения с системой противопожарной защиты (76 с от начала пожара, клапан дымоудаления размером 0,25×0,25 м и продуктивностью системы 11 м³/с).

После того, как было установлено оптимальное положение клапана, определялись количественные показатели системы дымоудаления. Расход воздуха повышался до таких значений, при которых опасные факторы пожара перестали выходить за пределы помещения.

Для недопущения распространения пожара за пределы помещения и удаления продуктов горения для безопасной эвакуации людей необходимо оборудовать систему дымоудаления, которая будет рассчитана на удаление количества дыма, образовавшегося до срабатывания системы пожаротушения.

Выводы. В работе представлены результаты моделирования развития опасных факторов пожара, а также рассчитаны показатели расхода и сечения клапана дымоудаления для безопасной эвакуации с номеров гостиницы.

Перспективы дальнейших исследований. Применение математического моделирования развития пожара есть одним из дальнейших исследований для решение задач обеспечения пожарной безопасности помещений и зданий различного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошмаров Ю.А. Развитие пожара в помещении // Научный сборник ВНИИПО МВД СССР "Горение и проблемы тушения пожаров". М.: ВНИИПО МВД СССР, 1977.
2. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
3. <http://fds.sitis.ru/>
4. <http://sitis.ru/media/documentation/PRS-sitis-4-12.pdf>