УДК 614.8:004.942:519.2

В.А. Лыфарь, канд. техн. наук, рук. отдела, НЦ ИР «Ризикон»,
М.Л. Угрюмов, д-тор техн. наук, профессор, НАКУ «ХАИ»,
Ю.А. Скоб, канд. техн. наук, доцент, НАКУ «ХАИ»

МЕТОД И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА ЗДАНИЙ

(представлено д-ром техн. наук А.Н. Лариным)

Предложен метод и описана автоматизированная компьютерная система оценки основных показателей риска пожароопасных зданий и сооружений.

Ключевые слова: математическая модель, пожар в здании, эвакуация, вероятность поражения, индивидуальный, социальный риск, автоматизированная компьютерная система.

Постановка проблемы. Пожары в зданиях наряду с распространением огня сопровождаются повышением температуры как вблизи очага пожара, так и в соседних помещениях, выделением токсичных продуктов, задымлением, понижением концентрации кислорода, обрушением зданий и т.д. В помещениях с большим количеством людей масштабы последствий зависят как от эффективности применяемых систем защиты от пожара, так и от того, как организована система оповещения и эвакуации. Для решения задач, направленных на защиту жизни, здоровья, имущества граждан и юридических лиц, государственного и муниципального имущества от пожаров, требуется разработка методов и программных средств, позволяющих моделировать динамические процессы возникновения и распространения пожара в зданиях и сооружениях, эвакуации людей, локализации и ликвидации пожара.

Анализ последних достижений и публикаций. В связи с необходимостью введения в действие законодательного регулирования пожарной безопасности на основе пожарного риска (см., например,[1]), моделирование пожара и эвакуации людей из зданий для реализации требований этого закона становится актуальным. В тоже время существующие методы [2] недостаточно корректны, не позволяют непосредственно получить показатели риска и требуют значительных трудозатрат. Представленный в [3] метод лишь частично позволяет оценить рисковые показатели и не может быть представлен связной моделью. Основная трудность применения этих методов на практике обусловлена взаимозависимостью сложных динамических

процессов, возникающих при пожаре, для которых получение основных показателей риска поражений возможно на основе компьютерного моделирования.

Постановка задачи и ее решение. Для решения представленной задачи необходимо разработать динамические модели, отображающие процессы возникновения и распространения опасных факторов пожара, происходящие синхронно с эвакуацией людей.

В данной работе представлен метод и описаны программные средства, позволяющие моделировать динамические процессы возникновения и распространения пожара в зданиях и сооружениях, эвакуации людей, локализации и ликвидации пожара, реализующие следующие функции:

- задание графическими программными средствами метрических и объектных свойств пространства («дверь», «выход», «лестница» и др),
- создание и редактирование объемных пространств («комнат») с возможностью представления их в формате входных графических данных и автокоррекцией в метрическом пространстве;
- моделирование и получение динамических характеристик опасных факторов пожара на основе двухзонной модели;
- моделирование эвакуации людей (при заданном начальном произвольном размещении в отдельных помещениях здания) по заданным целевым путям эвакуации, установленным исследователем;
- моделирование стохастических характеристик поражений людей и построение массивов значений P и N, $P=\{P_j\}$, $N=\{N_j\}$,где P_j – вероятность сложившейся ситуации, при которой поражено N_j людей.

В результате численных экспериментов определяются основные показатели пожарного риска для людей:

- индивидуальный риск персонала, расположенного в зданиях;
- социальный риск персонала в зданиях.

Структурная схема программных средств приведена на рис.1.

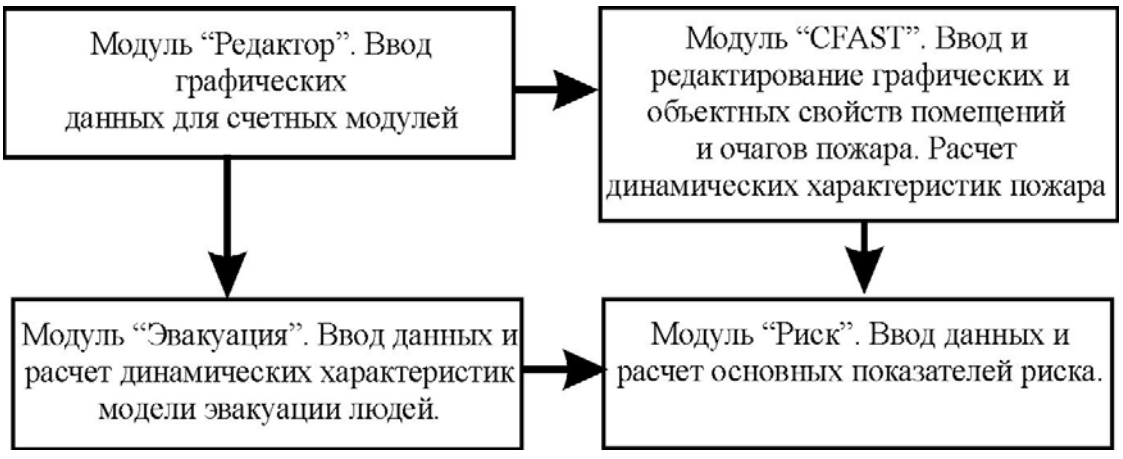

Рис.1 – Структурная схема связей и функций программного обеспечения

Моделирование процесса эвакуации людей по доступному пространству здания осуществляется при помощи метода, основанного на модифицированном волновом алгоритме [4]. Данная модификация предполагает учет переменной скорости движения волны в пространстве плоских ячеек в соответствии с типом плоскости и ее характеристиками. В результате применения волнового алгоритма, каждый человек движется по кратчайшему доступному пути. Пример полученных в результате применения модели путей эвакуации представлен на рис. 2.

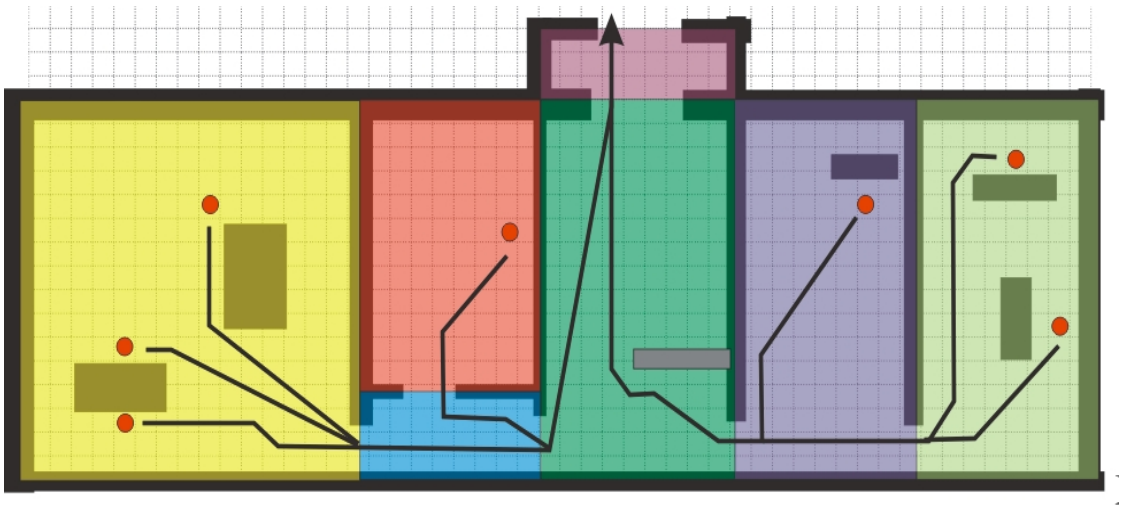

Рис.2 – Пример расчета путей эвакуации людей, находящихся на первом этаже исследуемого здания

Для определения временных характеристик пространственного распределения поражающих факторов пожаров используется модель, основанная на разработанной в Национальном институтом стандартов и технологии США [5] в международной кооперации с научно-исследовательскими организациями США, Канады и Финляндии двухзонной модели расчета тепломассопереноса при пожаре, в основе которой лежит выделение двух контрольных объемов. На рис. 3 приводится пример графического отображения результатов работы двухзонной модели. Модель прошла полную верификацию [6].

В результате расчета динамических характеристик пожара создается файл, содержащий количественную информацию о динамике показателей, характеризующих поражающие факторы. Для каждого случая возникновения и развития пожара, определяется его вероятность методом построения «деревьев отказов» для производственных зданий [7] или на основе обработки статистических данных для жилых и общественных объектов. В результате расчета динамических показателей эвакуации людей определяется возможность их поражения в процессе эвакуации. Эти файлы используются модулем «риск» для итогового определения количественных показателей риска.

Работа модуля «Риск» основана на следующем алгоритме.

При определении индивидуального риска здания делается предположение, что нахождение любого индивидуума в любой точке территории здания равновероятно. Исходя из этого, индивидуальный риск здания определяется как отношение площади комнат, в которых были расположены люди в начальный момент времени, пораженные в процессе эвакуации и распространения пожара, к площади здания, умноженной на вероятность возникновения и развития пожара (для заданного источника и времени окончания пожара) с последующим суммированием полученных значений.

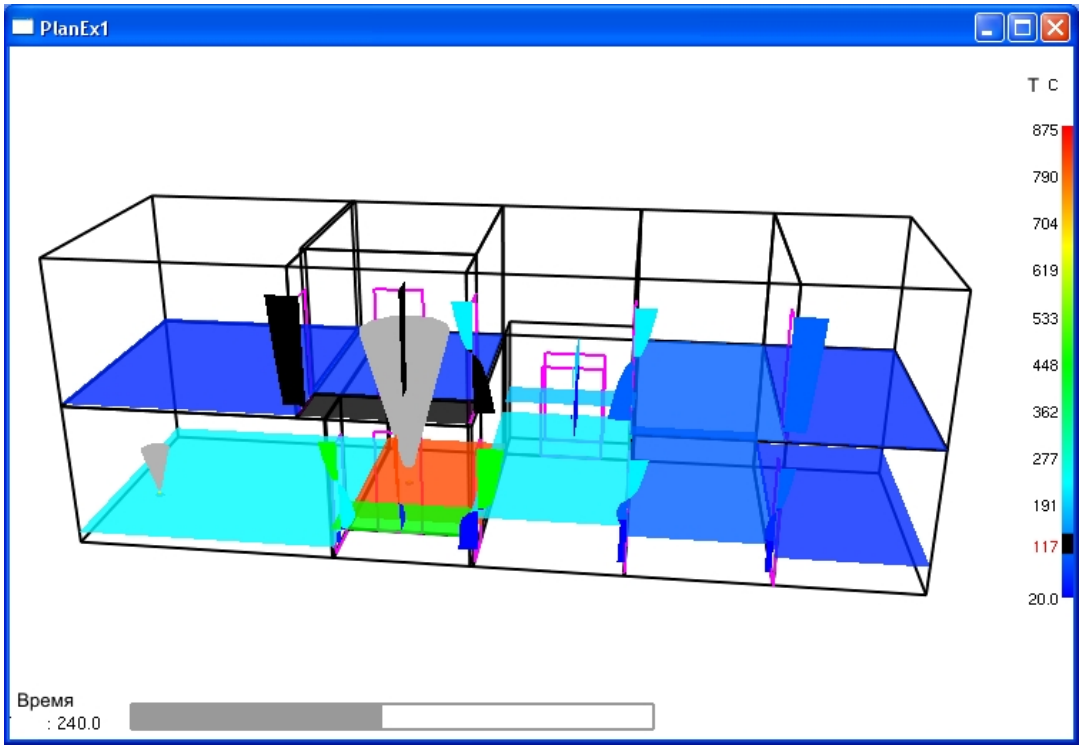

Рис.3 – Пример расчета динамических характеристик поражающих факторов пожара в двухэтажном здании с использованием двухзонной модели

В расчетах использовались следующие входные данные.

1. Параметры модели:

- $P_{f\,j}$ - вероятность возникновения и реализации j- го пожара;

- P_a - вероятность размещения людей и их нахождения в такой пропорции в заданном эксперименте.

Поражающие факторы: ограничение видимости, превышение концентраций CO_2, CO, HCl, недостаток кислорода.

Алгоритм построения массивов P и N включает последовательность следующих операций.

1. Для каждого j-го пожара из проведенных ранее k экспериментов по пожарам с использованием двухзонной модели выполняется цикл – $j := 1...k$, где k – число вероятных источников пожаров в здании (число проведенных численных экспериментов по возникновению и распространению пожара в здании).

1.1. Выполняется цикл с шагом по времени Δt, полученном как минимальное время дискретизации при работе модели эвакуации людей. Окончание цикла по времени происходит при достижении минимального из времен модели эвакуации и модели распространения поражающих факторов пожара.

1.2. Осуществляется осмотр по помещениям. Определяется значение поражающих факторов в каждом помещении и делается вывод о превышении критических параметров. При обнаружении превышения хотя бы одного поражающего фактора критического значения, помещению присваивается признак «поражение».

Контролируется значение опасных факторов на высоте рабочей зоны (1.7 метров). Для каждого опасного фактора мы имеем значение в верхнем и в нижнем слоях. Поэтому изменение значения опасного фактора на высоте рабочей зоны определяется следующим образом:

- если высота дымового слоя больше высоты рабочей зоны, значение опасного фактора на высоте рабочей зоны принимается равным значению фактора в нижнем слое (см. рис. 4);
- если высота дымового слоя меньше высоты рабочей зоны, значение опасного фактора на высоте рабочей зоны принимается равным значению фактора в верхнем слое.

Если хотя бы одному помещению присвоен признак «поражение», выполняется осмотр по людям. Если рассматриваемый человек в данный момент времени оказался в помещении с признаком «поражение», то он считается пораженным и исключается из списков в дальнейшем рассмотрении для данного j-го пожара. Определяется помещение, из которого данный человек начинал эвакуацию и этому помещению присваивается признак «погибшие».

1.3. Суммируется площадь всех помещений, имеющих признак «погибшие» – $\sum_{d} S_{kd}$.

1.4. Находим условный индивидуальный риск по формуле:

$$P_{in} := P_{in} + P_{fj} \cdot \left(\frac{\sum_{d} S_{kd}}{S_b} \right) \qquad (1)$$

1.5. Получаем значение $P_j \rightarrow N_j$, где $P_j = P_{fj} \cdot P_a$.

2. Определяем окончательное значение *индивидуального риска* как $P_{in} := P_{in} \cdot P_a$.

3. *Возможное число пораженных* – сумма произведений элементов массивов P_j и N_j: $\sum_{j} \left(P_j \cdot N_j \right)$.

Социальный риск, определяемый путем обработки массивов P_j и N_j, может быть представлен гистограммой. Для построения гистограммы проводится сортировка по N_j (от минимального к макси-

мальному) значений P_j, которые сохраняют свою связь с соответствующими значениями N_j. Если в значениях элементов массива N встречается одинаковое число людей, то для совпадающих значений числа людей суммируются значения вероятностей, соответствующих этому числу людей. В массива N остается единственное уникальное значение числа людей и соответствующая ему сумма вероятностей.

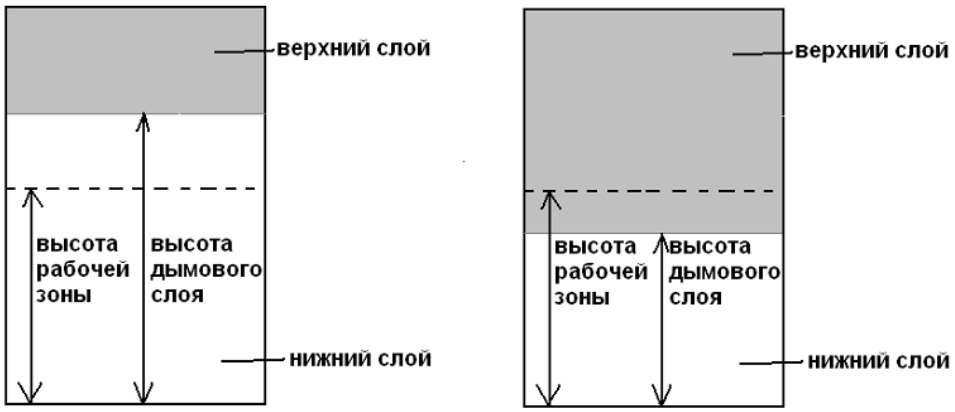

Рис.4 – Параметры контроля для двухзонной модели

Далее массивы $P \to N$ пересчитываются в новые массивы ($P_g \to N_g$), где N_{g_i} – число людей, соответствующее правой границе текущего i - го диапазона, $P_{g_i} = \sum_j P_{j_i}$ – сумма вероятностей P_{j_i}, входящих в значения вектора, начиная от N_{g_i} и далее до конца.

Гистограмма условного риска, соответственно будет иметь вид, представленный на рис. 5.

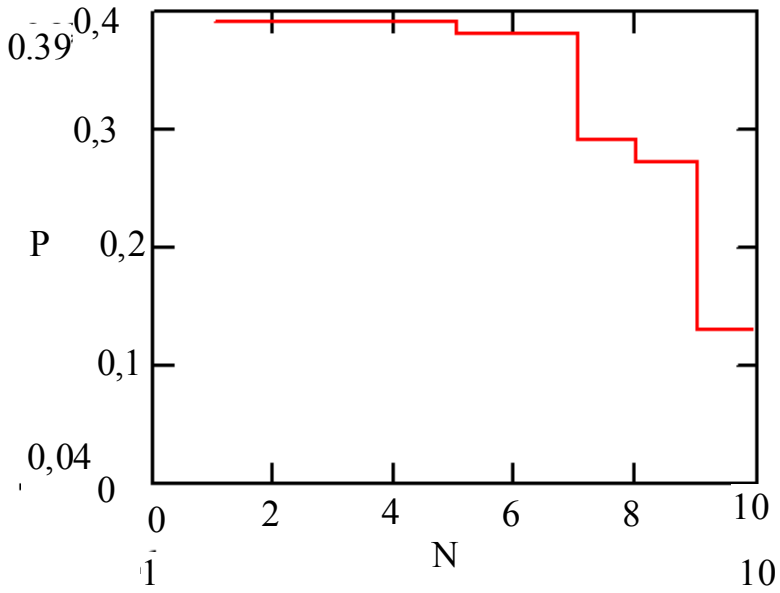

Рис. 5 – Пример построения [P,N] -гистограммы для условного социального риска

Количественным значением социального риска в этом случае будет величина вероятности, соответствующая по гистограмме заданному для социального риска числу пострадавших людей (вероятность того, что пострадает не менее N_j людей).

Выводы. Предложенные метод и программные средства позволяют в полной мере провести оценку пожарного риска зданий и сооружений. Разработанная на основе двухзонной модели развития пожара и распространения поражающих факторов информационная технология позволяет моделировать динамические процессы возникновения и распространения пожара в зданиях и сооружениях, эвакуации людей, локализации и ликвидации пожара.

Применение в синхронном режиме работы двухзонной модели и модели эвакуации людей позволяет оценить надежность и эффективность средств противопожарной защиты, а также организационных мер, направленных на спасение людей при пожаре, уточнить планы тушения пожара и содействовать принятию решений относительно уровня безопасности зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 года: официальный текст: принят Государственной Думой 4 июля 2008 года/ Российская Федерация. - Москва: ЭНАС, 2008. - 183 с.

2. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы / М-во РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. - М. : МЧС России, 2009. - 43 с.

3. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 1998 – 65 с.

4. Dijkstra E. W.: A note on two problems in connexion with graphs. In Numerische Mathematik, 1 (1959), S. 269–271.

5. NIST Special Publication 1041. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). User's Guide. – NIST, 2005. / CFAST – Руководство пользователя.

6. NUREG-1824. Verification & Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications. Volume 5: Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model (CFAST). NUREG/ERPI, 2007 / Tom 5: CFAST.

7. Грановский Э.А., Лыфарь В.А. Анализ риска возникновения аварий (пожара, взрыва) // Пожежна безпека. – 2001. – № 2(29) – С. 13-15.

В.О. Лифар, М.Л. Угрюмов, Ю.О. Скоб

Моделі і метод визначення пожежного ризику будівель.

Запропоновані моделі та метод інформаційного забезпечення що до визначення основних показників пожежного ризику будівель та споруд.

Ключові слова: модель, пожежа в будівлі, споруді, ймовірність загибелі, індивідуальний, соціальний ризик.

V.O. Lyfar, M.L. Ugryumov, Yu.O. Skob

Models and method for determination of the fire risk of buildings.

Models and method of the informative providing are offered for determination of basic indexes of the fire risk of buildings.

Key terms: model, fire in building, evacuation, hit probability, individual risk, social risk.