

УДК 004.942

А.М. Данченко, В.С. Тараканов, В.В. Штерн

Применение индивидуально-поточной модели эвакуации при оценке рисков пожарной опасности в общественных зданиях

Приведен обзор методик для расчета рисков пожарной опасности, представлена индивидуально-поточная модель эвакуации людей, описан программный эксперимент по моделированию процесса эвакуации людей в момент возникновения пожарной опасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность, эвакуация, опасные факторы пожара, индивидуально-поточная модель эвакуации.

Современные методики по расчету вероятности возникновения пожара активно продвигаются государством. Модели развития пожара и поведения людей при эвакуации представляют собой сложные математические модели, использовать которые для расчета вручную крайне затруднительно. Авторами статьи была запрограммирована одна из моделей эвакуации людей из здания, задача данной работы – показать соответствие реализованной модели государственной методике.

Методики расчета рисков пожарной опасности. В настоящее время пожарная безопасность получила широкое научное обоснование, описание физических закономерностей пожара, различные математические модели для прогнозирования развития пожара. Государство активно участвует в продвижении методик для расчета индивидуального пожарного риска: №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (ред. от 12.12.2011) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», а также поправки к приказу №382 от 6.08.2009.

Согласно правилам пожарной безопасности из вышеперечисленных законов и приказов индивидуальный пожарный риск не должен превышать нормативный пожарный риск, который равен 10^{-6} год⁻¹. Расчетная величина индивидуального пожарного риска рассчитывается посредством проектной документации и указанию назначения здания. Но для получения двух переменных – времени эвакуации людей из здания и времени блокировки путей эвакуации необходимо использовать самостоятельные математические модели.

В приказе МЧС России № 382 обозначены 3 математические модели движения людей из здания для определения расчетного времени эвакуации:

– Упрощенная аналитическая модель движения людского потока, позволяющая устанавливать основные расчетные зависимости между параметрами и закономерностями движения людских потоков. Областью применения являются оценочные и приближенные расчеты, простейшие ситуации движения людских потоков.

– Математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания, в которой объектом моделирования является отдельный человек.

– Имитационно-стохастическая модель движения потоков. Эта модель производит более точные расчеты, так как делит здание на элементарные участки шириной около 1 м и выполняет несколько расчетных операций в секунду для каждого участка, тем не менее применение модели затруднительно при анализе индивидуальных особенностей эвакуации человека.

Так как при моделировании эвакуации людей из здания наибольшее влияние оказывает структура здания и его помещений, а пребывание людей в здании носит вероятностный характер, к указанным в методике моделям можно добавить моделирование процесса эвакуации людей с помощью нечетких временных сетей Петри. Описание и моделирование процесса эвакуации осуществляются посредством механизма потоковых и стохастических или нечетких сетей Петри, основанных на графовом представлении. Нечеткие сети Петри позволяют решать задачи нечеткого моделирования и нечеткого управления. Введение неопределенности в описание исходной математической структуры нечетких временных сетей Петри предполагает задание одной или нескольких структур с неопределенностью, которая может отображать стохастический, нечеткий или комбинированный харак-

тер ее проявления [1]. Достоинством сетей Петри является математически строгое описание модели, что позволяет проводить их анализ с помощью современной вычислительной техники [2].

Выбор математической модели расчета времени эвакуации производится с учетом специфических особенностей объемно-планировочных решений здания, однородности людей, площади горизонтальных проекций людей, находящихся в здании, а также параметров движения людей различных групп мобильности [3].

Имитационно-стохастическая модель является наиболее эффективным инструментом для решения многих инженерных задач. Но в случае необходимости учета сложных сценариев организации эвакуации людей, а также движения людских потоков с различной мобильностью, например, при эвакуации медицинских учреждений, наиболее отражающей реальность является модель индивидуально-поточного движения [4].

Согласно приказу МЧС России №382, путь эвакуации является заблокированным, если на любом из его участков, по которым предстоит ещё передвигаться людям, превышено хотя бы одно предельно допустимое значение ОФП. Такими факторами являются:

1. Повышенная температура (более 70°C).
2. Тепловой поток (более 1400 Вт/м^2).
3. Потеря видимости (менее 20 м).
4. Пониженное содержание кислорода (менее $0,226 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$).
5. Концентрация токсичных продуктов горения ($\text{CO}_2 - 0,11 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; $\text{CO} - 1,16\cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; $\text{HCL} - 23\cdot 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$).

Следовательно, необходимо найти время блокировки путей эвакуации, т.е. время, за которое хоть один из этих факторов превысит предельно допустимое значение.

Прежде чем высчитывать эти показатели, необходимо выбрать метод расчёта. Выбор метода зависит от типа здания [5]:

– Интегральный метод: для зданий с развитой системой помещений малого объёма простой геометрической конфигурации, для предварительных расчетов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара.

– Зонный (зональный) метод: для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации с линейными размерами, соизмеримыми между собой (размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз), для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения, например зрительный зал кинотеатра.

– Полевой метод: для помещений сложной геометрической конфигурации (атриумы с системой галерей и примыкающих коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей), для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади), для иных случаев, не предусмотренных в интегральной и зонной модели.

Кроме всего прочего, в приказе №382 прописан метод, который заключается в использовании аналитических соотношений для определения критической продолжительности пожара. Однако этот метод можно использовать только в том случае, если нет факторов, влияющих на развитие пожара, например системы автоматического тушения пожара.

Из расчета по данным в методике формулам относительно каждого помещения можно получить время блокировки, которое показывает через сколько времени после начала пожара будет заблокирован путь эвакуации.

После нахождения переменных можно судить о величине индивидуального пожарного риска и в зависимости от результата проводить различные противопожарные работы.

Программная реализация индивидуально-поточной модели эвакуации. Для программной реализации авторами статьи была выбрана индивидуально-поточная модель движения людей из здания [5]. На блок-схеме (рис. 1) отражена последовательность расчета времени эвакуации. Суть данной математической модели заключается в учете значения локальной плотности потока для определения скорости человека. Расчет проводится для каждого человека отдельно в каждый момент времени, пока все люди не покинут здание.

Для валидации и верификации реализованной вычислительной модели были проведены следующие эксперименты:

1. Проверка выполнения зависимости скорости от плотности потока. Время, рассчитанное в программе, сравнивается с рассчитанным по формулам методике МЧС [5] для различных плотно-

стей людского потока. Время движения по методике определяется по формуле $t = l/v$, где l – длина коридора, v – скорость потока.

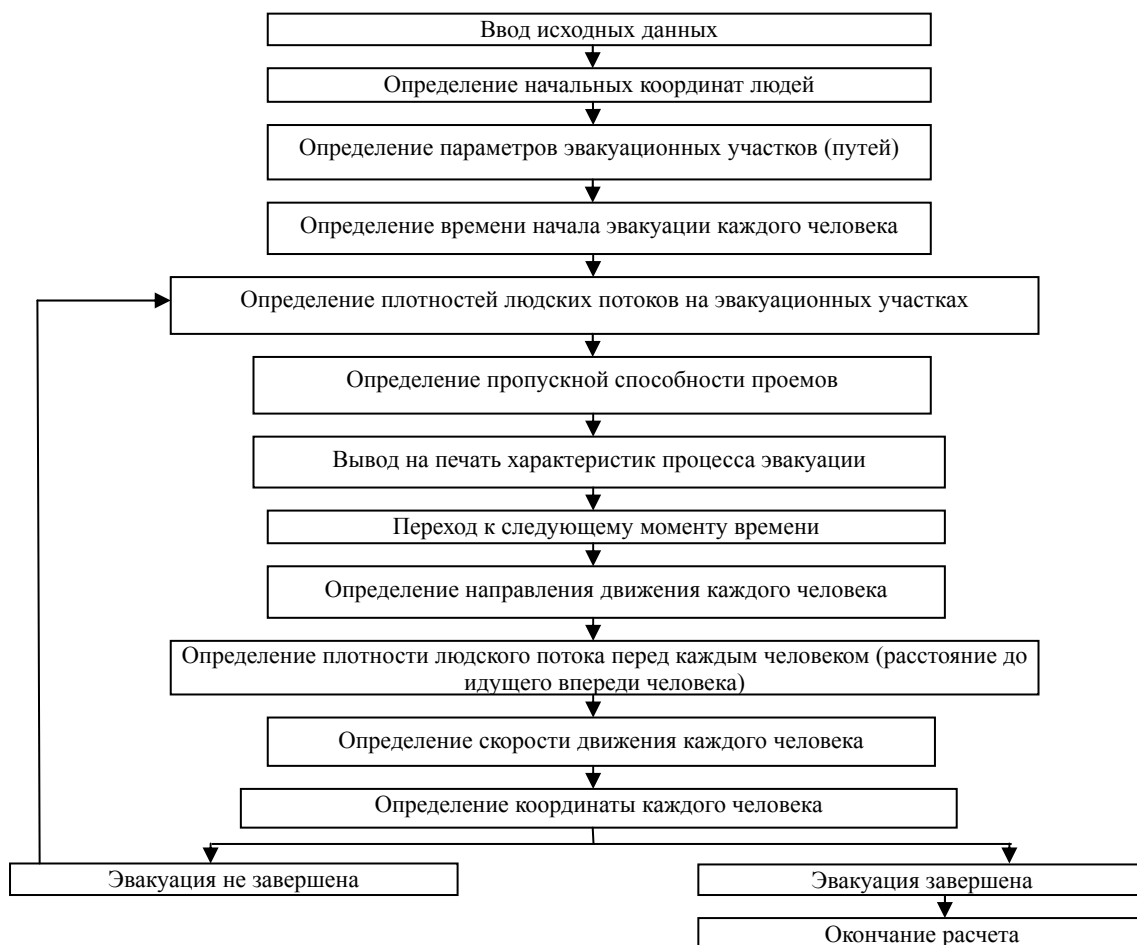


Рис. 1. Блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания

Условие задачи: коридор шириной 2 м и длиной 50 м, наполненный людьми с различной плотностью, площадь проекции человека 0,12 м². Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Время движения в зависимости от плотности

Плотность людского потока, м ² /м ²	Количество человек	Методика, с	Реализованная модель, с	Отклонение, %
0,04	40	29,94	30,00	-0,2
0,08	80	34,53	32,40	6,16
0,16	160	45,16	44,00	2,6
0,24	240	55,14	55,60	-0,8
0,32	320	65,37	67,60	-3,4
0,4	400	76,38	75,74	0,83
Среднее отклонение				0,86

На основе анализа проведенного эксперимента можно сделать вывод, что наблюдается идентичная зависимость скорости движения от плотности потока как в реализованной модели, так и в государственной методике (рис. 2). При этом, исходя из табл. 1, время движения превышает время методики с запасом 0,86%.

2. Для численной верификации было проведено сравнение реализованной модели с другой моделью методики, а именно упрощенной аналитической моделью движения людского потока.

Условие задачи: сужающийся коридор – первый участок с шириной 4 м и длиной 20 м, второй участок с шириной 2 м и длиной 20 м, наполненные людьми с различной плотностью, площадь проекции человека 0,125 м². Результаты представлены в табл. 2.

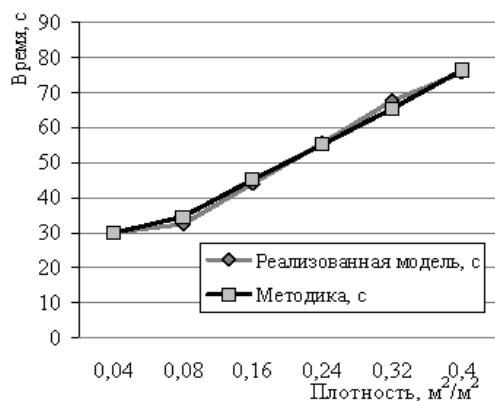


Рис. 2. Зависимость скорости от плотности потока

Таблица 2

Время эвакуации различных моделей

Плотность людского потока, м ² /м ²	Количество людей	Упрощенная аналитическая модель, с	Реализованная модель, с	Отклонение, %
0,075	60	36	34,55	4,02
0,15	120	52,8	53,43	-1,2
0,3	240	93,6	91,5	2,24
0,45	360	132	129,9	1,59
			Среднее отклонение	1,662

Из данных, приведенных в табл. 2, можно сделать вывод, что для простых расчетов упрощенная аналитическая модель и реализованная индивидуально-поточная модель выдают близкое по значению время с незначительным отклонением, равным 1,7%.

Исходя из проведенных экспериментов, можно сделать вывод о соответствии реализованной индивидуально-поточной модели требованиям из приказа МЧС России №382.

Литература

1. Гриценко Ю.Б. Использование сетей Петри для оценки времени эвакуации людей в зданиях и сооружениях при возникновении пожара. Алгоритм / Ю.Б. Гриценко, О.И. Жуковский, О.Г. Загальский // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21), ч. 2. – С. 213–218.
2. Гриценко Ю.Б. Анализ процесса эвакуации людей нечеткими временными сетями Петри / Ю.Б. Гриценко, А.А. Голубева // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24), ч. 2. – С. 276–281.
3. Холщевников В.В. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пособие / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 212 с.
4. Самошин Д.А. Программные комплексы для расчета эвакуации людей // Матер. междунар. конф. «Производство. Технология. Экология». – Ижевск, 2010. – С. 50–52.
5. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 № 382 (ред. от 12.12.2011). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 06.03.14).

Данченко Анна Матвеевна

Студентка гр. 401 ТУСУРа
Тел.: 8-923-425-79-20
Эл. почта: danchenko_ann@mail.ru

Тараканов Вадим Сергеевич

Студент гр. 421-1 ТУСУРа
Тел.: 8-923-433-44-05
Эл. почта: qpalzz@mail.ru

Штерн Владимир Владимирович

Студент гр. 401 ТУСУРа
Тел.: 8-952-806-15-71
Эл. почта: destroyer-1@mail.ru

Danchenko A.M., Tarakanov V.S., Shtern V.V.

The use of individual-stream model of evacuation in the risk assessment of fire danger in public buildings

This article provides an overview of methods for calculating the risk of fire hazards, and describes the individual-stream evacuation model, and the software experiment on process modeling of people evacuation at the fire danger.

Keywords: fire safety, evacuation, fire hazards, the mathematical model of individual-stream model.