

ИТЕРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ФАКТИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Кадурина М.С.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Якунин Ю.Ю.

Сибирский федеральный университет

Все организации, проводящие экспертизы и делающие экспертные заключения о соответствии или не соответствии зданий существующим нормам пожарного риска руководствуются методикой [1], разработанной в МЧС, которая в свою очередь опирается на исследования учёных в этой области. При проведении экспертизы расчётное время эвакуации вычисляется для конкретного пути эвакуации из определённого начального участка до эвакуационного выхода с использованием упрощённой методики. Необходимое время эвакуации может определяться как по упрощённой модели распространения ОФП, так и по более точным моделям. Использование простых или сложных моделей обуславливается временем расчёта на современных вычислительных машинах и точностью выдаваемых ими результатов.

Расчет по упрощенной математической модели менее эффективен, так как расчет производится по всем участкам последовательно и люди всем количеством переходят из одного помещения в другое, собираясь на каждом участке. Математическая модель индивидуально-поточного движения людей характеризуется большим количеством вычислений, так как рассчитывает положение каждого человека, что при большом количестве людей в здании может создать проблемы для расчета. В начале 80-х годов прошлого века проф. В.В. Холщевниковым была разработана модель ADLPV, которая в рамках современной терминологии называется имитационно-стохастической. Эта модель значительно точнее за счет деления здания на элементарные участки шириной около 1м и выполнения нескольких расчетных операций в секунду для каждого участка. Тем не менее, применения модели затруднено при анализе индивидуальных особенностей эвакуации человека [2].

Учитывая недостатки описанных моделей, и объединяя достоинства, была разработана и предложена улучшенная модель расчета фактического времени эвакуации, которая была названа итерационной. Итерационная модель за отрезок времени t_0 перемещает некоторое количество людей на следующий эвакуационный участок, таким образом, люди эвакуируются со всех участков здания одновременно.

План здания можно представить в виде графа, в котором вершины – участки эвакуации, а ребра – возможные переходы, для упрощения моделирования движения и наглядного отображения переходов с участка на участок [3]. Весь граф можно разбить на уровни. Элементами первого уровня будут участки, из которых существует только выход. Следующий уровень будет состоять из участков, в которые существует переход из участка первого уровня и так далее.

Предположим, что люди на каждом участке эвакуации постоянно движутся по направлению к выходу из здания, последовательно переходя с одного участка на следующий. Граф задается с учетом следующего: эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной a_s и шириной b_s . Шириной участка, в случае выхода в вестибюль ($b_s > 4$ метров), если количество людей меньше 100 и ширина участка меньше или равна 6 метрам, принимается ширина людского потока, равная 4 метрам, в остальных случаях 6 метрам. Шириной выхода с эвакуационного участка является ширина дверного проема или меньшая ширина среди текущего и следующего эвакуационного участка. Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для

проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных – по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельными участками горизонтального пути, имеющими конечную длину a_s [1]. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз и лестница вверх). Теперь, построив граф плана эвакуации, становится возможным использование модифицированного итерационного алгоритма, построенного на основе упрощенной аналитической модели движения людского потока и математической модели индивидуально-поточного движения людей.

Основной идеей разработанного алгоритма является расчет относительно небольших отрезков времени, для того, чтобы модель оставалась простой, но и была достаточно приближена к реальности. Таким образом, люди эвакуируются с каждого участка эвакуации небольшими группами за одну итерацию расчета. Отрезок времени, относительно которого производится расчет, определяется как время, за которое человек преодолеет расстояние, равное длине текущего эвакуационного участка, и рассчитывается на каждом участке. Расчетное время может выбираться двумя способами. Для точного расчета время находится по формулам упрощенной аналитической модели, для менее точного по формуле интенсивности людского потока в дверном проеме (на выходе с эвакуационного участка).

Первый способ заключается в нахождении интенсивности в дверном проеме текущего участка, если количество людей на участке больше 0.

$$q^{(k)} = 2.5 + 3.75 \cdot c_s, \quad (1)$$

где c_s – ширина дверного проема или выхода с участка s , м.

Затем по таблице интенсивности и скорости движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности, находится соответствующая найденной интенсивности скорость движения $V^{(k)}$, м/мин. Далее рассчитывается искомое время.

$$t_{0_s}^{(k)} = \frac{a_s \cdot 60}{V^{(k)}}, \quad (2)$$

где $t_{0_s}^{(k)}$ – время, за которое человек преодолеет расстояние, равное длине текущего эвакуационного участка, сек.

Второй способ расчета использует формулы упрощенной аналитической модели движения людских потоков. По значениям плотности однородного людского потока (3) и интенсивности в дверном проеме (выходе с участка) (4) из таблицы находится значение скорости для текущего эвакуационного участка.

$$D_{s^{(k)}} = \frac{N_{s^{(k)}} \cdot f}{a_s \cdot b_s}, \quad (3)$$

где $N_{s^{(k)}}$ – число людей на s -том эвакуационном участке, чел.; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, m^2 ; a_s – длина s -го эвакуационного участка, м; b_s – ширина s -го эвакуационного участка, м.

$$q_s^{(k)} = \frac{q_s^{(k)} \cdot b_s}{c_s}, \quad (4)$$

где $q_s^{(k)}$ – интенсивность на s -ом эвакуационном участке, соответствующая найденной плотности потока $D_{s^{(k)}}$, м/мин.

Отрезок времени по второму способу $t_{0_s}^{(k)}$ рассчитывается по формуле (2).

Так как расчет времени происходит на каждой итерации для всех участков, необходимо определить отрезок времени $t_{0_s}^{(k)}$, относительно которого будем считать количество людей, переходящих на следующий участок. Для выбора расчетного времени так же предлагается два варианта. Первый вариант заключается в использовании формулы математического ожидания, для того чтобы получить расчетное время $t_0^{(k)}$, которое используется для расчета количества переходящих людей на следующий участок относительно одного общего расчетного времени (5), то есть используется одно расчетное время для всех эвакуационных участков.

$$t_0^{(k)} = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n t_{0_s}^{(k)}, \quad (5)$$

где s – эвакуационный участок; n – количество эвакуационных участков.

Второй вариант заключается в использовании расчетного времени $t_{0_s}^{(k)}$ для эвакуационного участка s , то есть расчетное время будет не общее для всего здания, а индивидуальное для каждого участка и оно будет равно времени, полученному на этом участке в начале расчета каждой итерации. Для того, чтобы синхронизировать расчет эвакуации по участкам, так как время на каждом участке будет разное, предлагается учитывать общее время процесса T . Выбор шага времени T выбирать в зависимости от требуемой точности расчета. В таком случае участки будут обрабатываться в логической последовательности и перерасчет количества людей на каждом участке происходит тогда, когда

$$\left(T - \sum_{k=1}^i t_0^{(k)} \right) \leq 0, \quad (6)$$

где i – количество итераций на данном участке.

То есть после очередного перерасчета количества людей на участке s на итерации $(k-1)$, следующий перерасчет будет через время $t_{0_s}^{(k)}$. Данный вариант выбора расчетного времени следует использовать для улучшенного моделирования эвакуации людей из здания при пожаре. Первый вариант является упрощенным, но его так же допускается использовать.

Расчеты, приведенные в формулах (7-9), следует повторить на каждой итерации для всех эвакуационных участков, если количество людей на текущем участке эвакуации больше 0. Для упрощения описания, в формулах перерасчета людей, расчетное время указывается как $t_0^{(k)}$, но следует учитывать, что если для выбора расчетного времени использовался второй вариант, то предполагается, что в формулах (7-9) $t_0^{(k)} \equiv t_{0_s}^{(k)}$.

Плотность людского потока и количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой в единицу времени, будут рассчитываться по формулам математической модели индивидуально-поточного движения людей. Для расчета плотности людского потока $Dv_{s(k)}(t_0^{(k)})$ на эвакуационном участке s , используем рассчитанный отрезок времени $t_0^{(k)}$ (7,8).

$$Dv_{s(k)}(t_0^{(k)}) = \frac{N_{s(k)} \cdot f \cdot t_0^{(k)}}{a_s \cdot b_s}. \quad (7)$$

Затем по таблице интенсивности и скорости движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности находится соответствующая плотности $Dv_{s(k)}(t_0^{(k)})$ интенсивность движения на выходе с участка $q_{s(k)}(t_0^{(k)})$, м/мин; затем вычисляется количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой за $t_0^{(k)}$, $Q_{s(k)}(t_0^{(k)})$, чел.

$$Q_{s(k)}(t_0^{(k)}) = \frac{q_{s(k)}(t_0^{(k)}) \cdot c_s \cdot t_0^{(k)}}{f \cdot 60} . \quad (8)$$

Количество человек, которые полностью перешли на следующий эвакуационный участок за $t_0^{(k)}$, вычтись из количества человек на текущем эвакуационном участке. Если участок s является участком первого уровня, по терминам графового представления плана эвакуации, значение $Q_{s-1(k)}(t_0^{(k)}) = 0$.

$$N_{s(k+1)} = N_{s(k)} - Q_{s(k)}(t_0^{(k)}) + Q_{s-1(k)}(t_0^{(k)}) . \quad (9)$$

В случае если последующий участок не один, люди будут распределяться либо в равных долях на каждый участок, либо распределение людских потоков между возможными эвакуационными выходами, когда они не блокированы, происходит согласно закономерностям, приведенным в методике [2]. Расчет провести для всех s эвакуационных участков, до тех пор, пока количество человек в здании не станет равным 0. Время эвакуации равно сумме $t_0^{(1)}, \dots, t_0^{(i)}$ каждой итерации.

Необходимо отметить, что расчетный отрезок времени прямо пропорционален длине участка, что иногда может быть не оптимальным для расчета. То есть для получения результатов, приближающихся к практическому времени эвакуации, слишком длинные участки следует разбивать на несколько коротких участков.

Внедрение предложенной итерационной модели расчета времени эвакуации людей при пожаре в методику расчета пожарного риска экономически выгодно, так как региональное отделение МЧС, в случае несоответствия проектируемого здания противопожарным нормам, сможет дать уточненные рекомендации. Это связано с тем, что при расчете по упрощенной аналитической модели малое значение имеет изменение ширины дверного проема или количества людей, так как расчет производится относительно людских потоков. А так же достигается минимальная погрешность, за счет меньшего времени задержки, чем в упрощенной модели.

Достигается небольшая вычислительная сложность, в отличие от модели индивидуально-поточного движения людей, так как для расчета по итерационной модели необходимо меньшее количество более простых вычислений. К тому же, расчет по итерационной модели возможно производить параллельно, что позволит более эффективно использовать вычислительное устройство, а так же все вышеописанное позволит сократить время расчета. Модель не вводит никаких новых расчетных величин, и за счет этого ее можно быстро ввести в эксплуатацию, что так же является ее преимуществом.

Список литературы

1. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
2. Самошин Д.А, Программные комплексы для расчета эвакуации людей // Материалы международной конференции "Производство. Технология. Экология". Ижевск. 2010. с 50-52
3. Алгоритм поиска наихудшего сценария возникновения пожара / А.А. Даничев, А.М. Даничев, А.В. Кузнецов, Ю.Ю. Якунин // Вестник сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнёва. – Красноярск: СибГАУ, 2011. – Вып. 7(40). – С. 20-24.