

к. т. н., старший преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве
УНК ППС Академии ГПС МЧС России Д. А. САМОШИН

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ

УДК 004.05,
УДК 614.849

Дан обзор наиболее часто применяемых в мире компьютерных моделей для расчета эвакуации людей. Рассмотрен математический аппарат и сделаны выводы о достоинствах и недостатках моделей различных классов.

Ключевые слова: эвакуация, моделирование эвакуации, модели людского потока

Обеспечение пожарной безопасности людей требует, за редким исключением, организации их безопасной эвакуации. Критерии безопасной эвакуации человека — своевременность и беспрепятственность — в настоящее время проверяются расчетами с использованием тех или иных моделей людского потока (или шире — моделей эвакуации), реализованных в исполнительных алгоритмах для ЭВМ.

С законодательной точки зрения, такие расчеты нужны при определении пожарных рисков [1–3], а также при проектировании системы оповещения людей о пожаре (п. 2 ст. 82 [1]), элементов противодымной защиты (п. 6 ст. 85 и п. 4 ст. 138 [1]); линий связи автоматических установок пожарной сигнализации (п. 2 ст. 103 [1]) и др. Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в свою очередь требует сохранения устойчивости здания или сооружения, а также прочности несущих строительных конструкций в течение времени, необходимого для эвакуации людей (п. 1 ст. 8).

На сегодняшний день в мире насчитывается несколько десятков моделей, которые используют различные способы представления внутренней среды здания (точная либо грубая сеть), моделирование движения людей (индивидуальное, групповое /поточное), по-разному учитывают психологические аспекты поведения человека (действия при получении сигнала о пожаре, выбор маршрута), влияние опасных факторов пожара [4, 5].

В нашей стране приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 [2] допускает использование для расчетов трех моделей людского потока: упрощенной аналитической, имитационно-стохастической и индивидуально-поточной.

Упрощенная аналитическая модель (рис. 1) «пришла» в методику [2] из ГОСТ 12.1.004–91* «Пожарная безопасность. Общие требования», а в него, в свою очередь, из СНиП II-2–80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений». Следует отметить,



Рис. 1. Иллюстрация математического аппарата упрощенно-аналитической модели (ближайшая аналогия — «коробка» военнослужащих на параде): однородный состав людского потока, отсутствие учета его растекания и переформирования

© Д. А. Самошин, 2011

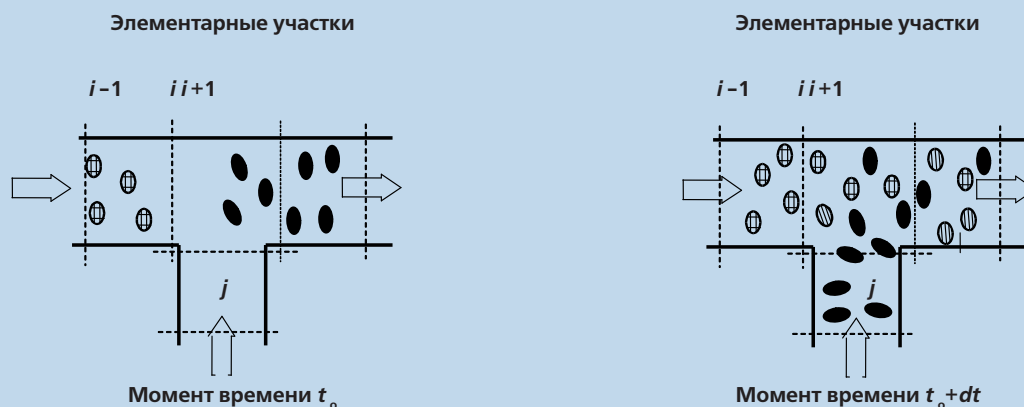


Рис. 2. Имитационно-стохастическая модель (изменение состояния людского потока в последовательные моменты времени)

что для рассматриваемой предметной области именно данный этап ознаменовал переход к гибкому нормированию — до этого согласно СНиП II-A.5–70 все расчеты сводились к требованию: 0,6 м ширины выхода или прохода на 100 эвакуирующихся. Отдавая дань сложившимся стереотипам, ограниченный набор формул мы называем «моделью», хотя, на самом деле, это лишь основные расчетные зависимости между параметрами и закономерностями движения людских потоков. Сказанное обуславливает область их применения: расчеты простейших ситуаций движения людских потоков, оценочные и приближенные расчеты, которые также допустимо использовать в комбинации с более точными методами.

В начале 80-х годов прошлого века проф. В. В. Холщевниковым была разработана модель ADLVP [6] (рис. 2), которая в рамках современной терминологии называется имитационно-стохастической. Эта модель стала значительно точнее за счет деления здания на элементарные

участки шириной около 1 м и выполнения нескольких расчетных операций в секунду для каждого участка. Например, для двухэтажного здания с площадью этажа около 1000 м² потребуется почти 40 тыс. операций машинного счета. Тем не менее, использование данной модели затруднено для анализа индивидуальных особенностей эвакуации человека.

Для реализации рассмотренных моделей (упрощенной аналитической и имитационно-стохастической) разработано программное обеспечение — модель «СИТИС: Флоутек ВД».

В описанных выше моделях объектом моделирования является людской поток, в индивидуально-поточных моделях — отдельный человек (индивид), что открывает большие возможности, ограниченные лишь профессионализмом разработчиков и пользователей. Сравнение математического аппарата моделей приведено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение математического аппарата различных моделей

Параметр	Модель		
	упрощенная	имитационно-стохастическая	индивидуально-поточная
Пересечение границы смежного участка пути	+	+	+
Переформирование	-	+	+
Растекание	-	+	+
Расчленение	+	+	+
Слияние	+	+	+
Неодновременность слияния	-	+	+
Образование и рассасывание скоплений	+	+	+
Разуплотнение	-	+	+
Вариабельность физического и эмоционального состояния людей в потоке	-	*	+

Примечание: «+» — описывается точно; «-» — не учитывается; «*» — описывается неточно по сравнению с процессом, происходящим в реальности.

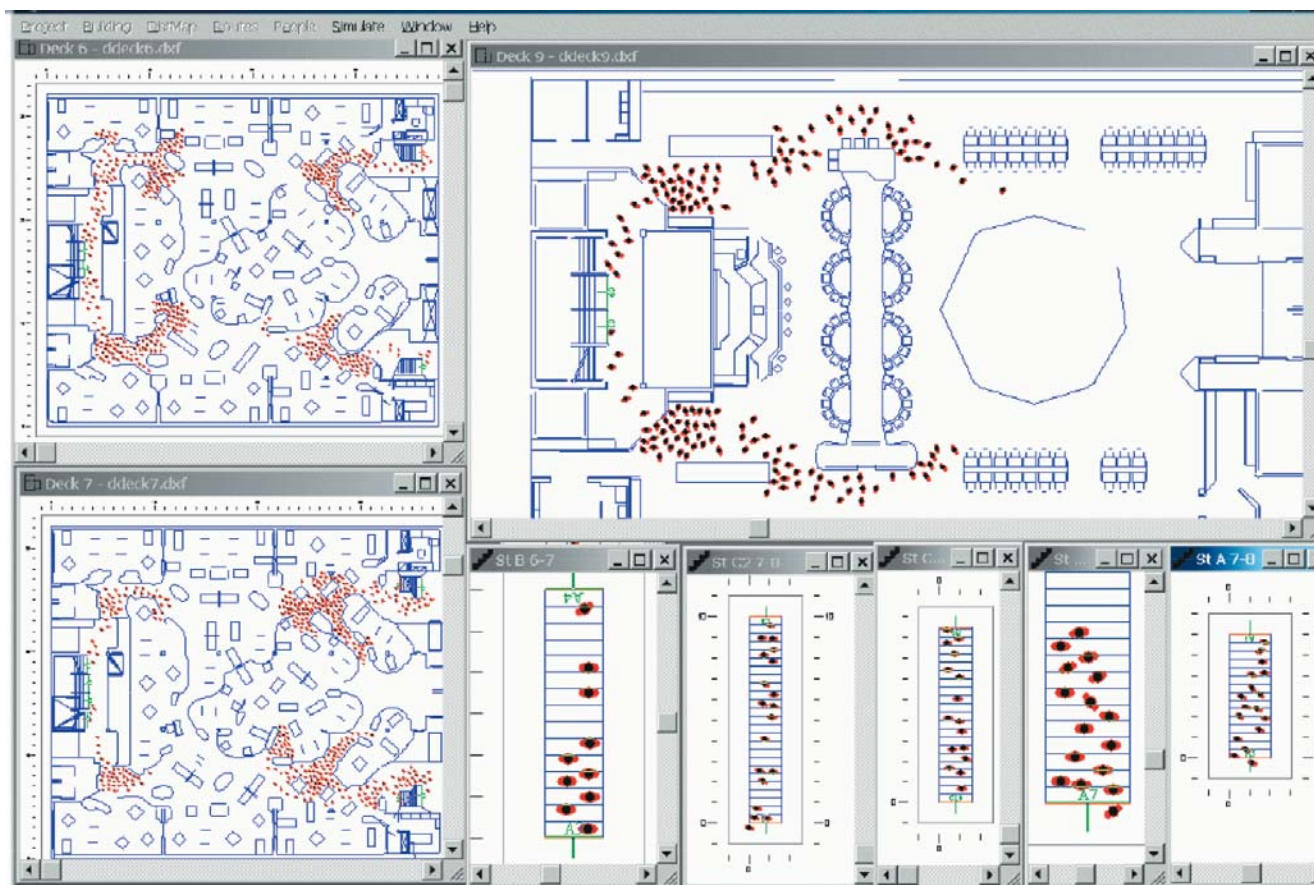


Рис. 3. Рабочие окна программы моделирования эвакуации SIMULEX: видны участки здания, заданные пользователем для визуального контроля (зальные помещения и лестничные клетки)

Во всем мире именно модели класса *индивидуально-поточное движение* получили широкое распространение. Наиболее известными и прошедшими проверку практикой (официально использовались при проектировании зданий и сооружений с массовым пребыванием людей) являются модели SIMULEX [7], Pathfinder [8], STEPS [9], BuildingExodus [10].

SIMULEX предназначена в основном для моделирования пешеходного движения людей при эвакуации (рис. 3). Для каждого человека можно задавать время реакции на сигнал тревоги и скорость движения. Эвакуирующихся можно объединять в группы, которые будут передвигаться со скоростью самого медленного ее члена.



Рис. 4. Визуализация результатов расчетов в модели Pathfinder

В модели Pathfinder (рис. 4) реализован более точный алгоритм движения, учитывающий маневрирование людей в потоке (например, ускорение при наличии свободного пространства либо уклонение от столкновений с другими пешеходами).

Программный комплекс STEPS имеет два режима моделирования: нормальный и эвакуация. Режим эвакуация принципиально не отличается от описанных выше программ, за исключением возможности учитывать лифты для эвакуации. В нормальном режиме можно моделировать, например, целые транспортные узлы: пешеходные потоки с учетом прибытия общественного транспорта, покупку пассажирами билетов, проход через турникеты, движение по распределительному залу станции метрополитена и убытие с учетом движения поездов.

Возвращаясь к моделированию эвакуации, самой интересной моделью можно назвать Building Exodus (рис. 5) С ее помощью можно учитывать массу психологических особенностей человека — влияние системы управления эвакуацией, дополнительных обязанностей (например, членство в добровольной пожарной дружине) и даже такого параметра, как «резвость», что находит свое отражение в поведении людей при движении в составе потока. Одна из последних работ по совершенствованию этой модели была направлена на учет культурологических отличий [11]. Как правило, BuildingExodus используется совместно с моделью для расчета пожара SmartFire, поэтому эвакуирующиеся дополнительно характеризуются ростом и массой тела.



Рис. 5. Модель BuildingExodus функционирует и обменивается данными в процессе моделирования с дифференциальной моделью SmartFire (а), учитывает взаимное влияние динамики распространения ОПП и эвакуации людей (б)

Более того, в случае опускания припотолочного слоя дыма запрограммирована возможность эвакуации людей на четвереньках с целью снижения уровня воздействия на них опасных факторов пожара.

Для решения большинства инженерных задач имитационно-стохастическая модель является наиболее эффективным инструментом. Однако в случае, если необходимо учесть сложные сценарии организации эвакуации людей, а также движения людских потоков, со-

стоящих из людей различной степени мобильности, более того, немобильных людей, например при эвакуации больничных комплексов, то более точно отражающими реальность выступают модели индивидуально-поточного движения. В нашей стране работа над такими моделями ведется и уже можно говорить о результатах — разработка модели «СИТИС: Эватек» [12, 13], позволяющей учитывать индивидуальные особенности эвакуирующихся.

Список литературы

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2008. — № 30 (часть I). — Ст. 3579.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приложение к Приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистр. в Минюсте РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 29.11.2010).
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приложение к Приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 : зарегистр. в Минюсте РФ 17 августа 2009 г., рег. № 14541 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 29.11.2010).
4. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Галушка Н. Н. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации из зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 5. — С. 40–49.
5. Kuligowski E., Peacock R. Review of Building Evacuation Models : Technical Note 1471A. — NIST, 2005.
6. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983.
7. Thompson P., Marchant E. A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. — 1994. — Vol. 24. — P. 131–148.
8. Pathfinder : Technical reference. Thunderhead engineering, 2009 [электронный ресурс]. URL : <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder>.
9. Интернет-ресурс : <http://www.mottmac.com> (дата обращения: 29.11.2010).
10. Owen M., Galea E. R., Lawrence P. J. The Exodus evacuation model applied to building evacuation scenarios // J. of Fire Protection Engr. — 1996. — 8(2). — P. 65–86.
11. Galea, E. R., Deere S., Sharp G., Filippidis L., Hulse L. Investigating the impact of culture on evacuation behavior // Proceedings of the 12th International Fire Science & Engineering Conference «Interflam 2010», 5–7 July 2010, University of Nottingham, UK. — Vol. 1. — P. 879–892.
12. Пранов Б. М., Самошин Д. А. К математическому моделированию людских потоков // 9-я Научно практическая конф. «Системы безопасности». М. : АГПС МВД РФ, 2000.
13. Карькин И. Н., Скочилов А. Л., Зверев В. В., Контарь Н. А. Валидация и верификация эвакуационной модели СИТИС: Эватек. No. 4152-ТТ2.5. — Екатеринбург : СИТИС, 2008. — 29 с.