
УДК 614.840

С.В. Куценко

Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, Черкассы

ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Проведен сравнительный обзор программных комплексов, которые используются для расчета времени эвакуации людей из зданий и сооружений.

Ключевые слова: программный комплекс, эвакуационные модели, время эвакуации.

Введение

Постановка проблемы. Расчет времени эвакуации людей является основной частью при оценке уровня безопасности жизнедеятельности в зданиях и сооружениях. В одном случае специалисты пожарной безопасности используют ручные методы расчета оценки безопасности, в другом случае используют эвакуационные модели. Ручной расчет позволяет рассчитать только массовый поток людей. В процессе эвакуации люди скапливаются в дверных проемах каждого этажа. Расчет ориентирован главным образом на места сужения здания (обычно две-

ри), при этом рассчитывается время нахождения человека в потоке в этих местах [1].

Анализ последних достижений и публикаций. Данной проблемой занимаются такие ведущие ученые как В.В. Холщевников, Д.А. Самошин, А.П. Парфененко. В настоящее время существует большое количество эвакуационных моделей, каждая со своими особенностями, характеристиками и спецификой.

Цель работы. Провести аналитический обзор программных комплексов для расчета эвакуации людей из зданий и сооружений с описанием моделей эвакуации, с их преимуществами, недостатками и особенностями.

Основной раздел

Эвакуационные модели можно разделить на три основных типа[1]:

- **Модель поведения.** Агенты (люди) объединяются, выполняя одинаковые действия в дополнении к движению. Данная модель может объединять принятие решений и/или действия в зависимости от окружающей среды.

- **Модель движения.** Агенты перемещаются из одной точки в здании в другую (обычно это выход или безопасное расстояние). Результаты расчетов данных моделей являются показатели задержек и блокировки. Тем самым они являются оптимизационными моделями (оптимизация времени эвакуации).

- **Частичная модель поведения.** В первую очередь рассчитывается движение людей, но расчет начинается с моделирования их поведения, такие как обгон, а также добавление опасного фактора пожара – дым. Движение происходит на основании наблюдаемых данных за поведением агента. Программные комплексы, реализующие данные модели, способны моделировать все здание целиком.

Поведение людей представлено большим количеством различных видов эвакуационных моделей.

- **Неявное поведение.** Поведение моделируется неявно, присваиваются определенные задержки, реакции или характеристики людей, которые влияют на движение в процессе эвакуации [9].

- **Условное (или правила) поведение.** Присваиваются индивидуальные действия агенту или группе агентов, на которых влияют окружающие условия эвакуации.

- **Искусственный интеллект.** Реализация человеческого интеллекта в процессе эвакуации.

- **Вероятностная.** Означает, что большое количество правил или основные условия модели являются стохастическими, что позволяет изменять конечный результат, повторяя определенные моделирования.

Некоторые модели имеют возможность присвоения вероятностей определенного поведения, специфичных для каждой группы агентов. Многие из частично поведенческих моделей позволяют производить вероятностное распределение до начала эвакуации, такие как скорость перемещения, и/или влияние дыма.

Движение. Данный тип описывает то, как агенты будут двигаться в процессе эвакуации. Для большинства моделей пользователь сам присваивает определенные скорости агентам (без учета препятствий). Различия в агентных моделях проявляются к тому моменту, когда плотность становится высокой, люди стоят близко друг к другу и в результате чего

образуются блокировки и задержки. Движения людей в здании можно промоделировать различными способами, перечисленными ниже:

- **Зависимость от плотности.** Модель устанавливает скорость, поток для агентов или группе агентов в зависимости от плотности. При расчете скорость зависит от плотности.

- **Пользовательский выбор.** Пользователь сам задает скорость, поток и плотность агентов для помещений.

- **Межагентная дистанция.** Каждый агент полностью окружен “окружностью”, которая позволяет ему придерживаться минимальной дистанции от других агентов, препятствий и различных частей здания (стены, углы и т.д.).

- **Потенциал.** Каждая ячейка в пространстве задается определенным числовым значением (или потенциально возможным), которое будет перемещать агента в определенном направлении. Вероятный маршрут может быть выбран исходя из таких данных, как терпение агента, привлекательность выхода, знакомство с другими агентами в здании и т.д. (которые, как правило, указывает пользователь).

- **Пустая следующая ячейка.** В некоторых моделях агент не будет двигаться в следующую ячейку, потому что она уже занята другим агентом. Таким образом, агент будет ждать, пока не освободится соседняя ячейка, и если более одного агента ждут одной и той же ячейки, то модель разрешает любые конфликты, которые возникают при выборе агентом маршрута движения.

- **Условное.** Движение по всему зданию зависит от условий окружающей среды, структуры и различной эвакуационной и/или пожарной ситуации. Задержкам уделяется небольшое внимание.

- **Функциональные аналогии.** Такие как движение жидкости или магнетизм. В некоторых случаях уравнения зависят от плотности пространства.

- **Накапливание знаний.** Движение основано исключительно на приобретенных знаниях, полученных в течение эвакуации. Для этой модели нет никаких реальных алгоритмов движения, потому что время эвакуации не рассчитывается, рассчитываются только места возникновения задержек.

- **Беспрепятственный поток.** Рассчитывается только беспрепятственное перемещение. Расчетное время эвакуации, задержки и оптимизация времени складываются или вычитаются для получения конечного результата.

- **Клеточный автомат.** Агенты в этой модели переходят из одной ячейки в другую ячейку. Имитируется бросание игральной кости [8].

Пожар. Некоторые модели позволяют пользователю добавить фактор пожара в процесс эвакуации. Однако пожар можно добавить различными способами и это важно для пользователя, в понима-

нии всей сложности связи. Модель может включать пожар одним из следующих способов: импорт пожара из других моделей, что позволяет пользователю ввести конкретные данные о пожаре в определенные периоды времени, в течение времени эвакуации, или модель эвакуации может иметь свои собственные модели пожара [1]. В качестве отдельных моделей пожара могут выступать такие бесплатные программные пакеты, как CFAST и FDS, разработанные NIST (National Institute of Standards and Technology).

Упрощенная аналитическая модель. Основной концепцией этой модели является то, что для каждого эвакуационного участка определяется плотность потока. По плотности определяется интенсивность движения, которая зависит от ширины следующего участка. По интенсивности движения, согласно табличным константам, определяется скорость движения и, зная длину эвакуационного участка, определяется время прохождения данного участка. Слияние потоков происходит по соответствующей формуле. Область применения – здания с простой внутренней планировкой, где нет необходимости вести учет за каждым человеком, и нет сложности в создании людского потока. Например – школы, учебные заведения. Процесс расчета происходит следующим образом: из дерева выбирается самая отдаленная вершина, далее расчет происходит вверх по дереву. Если дерево имеет еще самые отдаленные вершины, тогда процедура повторяется n -раз. По результатам расчета выбирается самое большое время эвакуации – самый неблагоприятный сценарий.

Математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания. Моделируется движение каждого, отдельно взятого человека, а не целого потока, как описано в методике выше. Известно время эвакуации при достижении опасных факторов пожара. В течение данного промежутка времени происходит эвакуация. Расчет движения каждого человека происходит с заданным промежутком времени Δt . В каждый момент Δt определяется координата человека. Вычисляется плотность человека в группе и по тем же самым зависимостям, что и в первой методике (скорости от плотности), определяется скорость каждого человека. Область применения – здания со сложной внутренней планировкой, где затруднено создание потоков и важен учет индивидуального движения человека. Например – торговые центры.

Программные комплексы.

Ситис Эватек. Данный программный комплекс может быть использован для различных типов зданий. Реализован алгоритм в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 [3].

Тип модели: частичная модель поведения/модель движения. По умолчанию моделируется

только движение. Пользователь может задать несколько различных профилей, ролей агентам и сценарии их поведения:

- расчет времени эвакуации людей с учетом особенностей индивидуального движения людей в потоке на основе российских стандартов скорости человека от плотности людей в прямоугольной области вокруг человека;
- ввод исходных данных для расчета с помощью встроенного графического редактора, возможность импорта геометрии из DXF файлов;
- отображение карты плотностей, пройденных и текущих путей всех агентов;
- возможность воспроизведения и записи результатов расчета;
- 2D/3D режимы визуализации движения;
- формирование отчета, включающего исходные данные, результаты моделирования, графики максимальной и средней плотности в моменты времени, процент используемых выходов;
- экспорт оформленного отчета в формат DOC-файла.

Ситис Флоутек. Данный программный комплекс может быть использован для различных типов зданий. Реализован алгоритм в соответствии с [3].

Тип модели: модель движения.

Основные характеристики системы:

- ввод исходных данных для расчета с помощью встроенного графического редактора на основе сканированных планов здания;
- поддержка параметризации. Значения некоторых свойств, например количество человек, плотность, время начала эвакуации можно задавать в виде математических выражений;
- работа с единым файлом проекта в составе комплекса программ СИТИС для расчета пожарного риска;
- возможность создания нескольких сценариев эвакуации;
- отображение карты расчетных участков и пути эвакуации;
- 2D/3D анимация движения людских потоков с возможностью пошагового просмотра;
- просмотр основных параметров для каждого расчетного участка;
- формирование отчета, включающего исходные данные, таблицы расчета времени эвакуации из каждого помещения, таблицы времени выхода с этажей, таблицы участков с задержкой движения, сводную таблицу времени эвакуации для всех сценариев, карты участков расчета, изображения путей эвакуации.

Evacnet 4. Данный программный продукт может быть использован для различных типов зданий, таких как офисы, стадионы, высотные здания, отели, рестораны и школы. Основной задачей модели является

оптимизация эвакуации из здания. Это значит, что сводится к минимуму время эвакуации из здания [1, 5].

Тип модели: модель движения. Структура модели: сетевая модель. Поведение агентов: нет.

Building Exodus. Целью этой модели является моделирование эвакуации большого числа людей из различных типов зданий. В building EXODUS принята попытка рассмотреть “Люди-люди, люди-пожар и взаимодействие людей”. Модель состоит из шести подмоделей, некоторые из них взаимодействуют друг с другом для передачи информации о процессе эвакуации моделирования, данные об агентах, движение, поведение, токсичности, опасности и геометрии [1;4].

Simulex. Эвакуационная модель с возможностью моделирования большого числа людей из зданий со сложной геометрической архитектурой [1, 7].

Тип модели: частично поведенческая модель. Опирается на расстояние между агентами, отчего зависит их скорость. Кроме того, модель позволяет совершать обгон, повороты, движение боком и движение назад. Структура модели: «регулярная сетка». План этажа и сетки разделены на ячейки размерами $0,2 \times 0,2$ м. Модель содержит алгоритм, который рассчитывает расстояние от каждого блока до каждого выхода. А полученные данные отображаются на карте. Поведение агентов: неявное поведение. Движение агентов: флуктуация в скорости движения, шаги в сторону и деформация тела, обгон и т.д., основано на результатах многих видеонаблюдений и на анализе отдельных движений, и дополнительные результаты ряда научных исследований [10].

PedGo. Моделирует перемещение толпы, имитирует эвакуацию людей из зданий, кораблей, самолетов и других видов общественного транспорта [1, 6].

Тип модели: движение/частичная модель поведения.

Структура модели: «мелкая сетка», которая делит этаж на $0,4 \times 0,4$ м и представляет собой места, занимаемого человеком. Стены, мебель и другие препятствия представлены в ячейках.

Поведение агентов: неявное поведение. Модель предлагает перед началом расчетов задать для агентов определенные характеристики, такие как: задержка перед началом эвакуации, терпение, реакцию, бездействие, власть. Этот набор параметров используется для характеристического поведения. Два из этих параметров, время задержки и власть, являются стохастическими.

Pathfinder это новый симулятор эвакуации. Pathfinder использует современные методы исследований в области информатики для моделирования движения людей, опираясь на технологии, применяемые в игровой и компьютерной графике. Pathfinder предоставляет инструменты, необходимые для проектирования надежных решений отно-

сительного расположения зданий и конструктивных систем противопожарной защиты. Несколько режимов моделирования и настраиваемых свойств агентов позволит исследовать различные сценарии, позволяющие выполнить осторожные и оптимистичные оценки ожидаемого времени эвакуации. Pathfinder является агентом-симулятором, т.е. каждый агент использует набор отдельных параметров и принимает решения независимо друг от друга на протяжении всей симуляции. В дополнение к передовому симулятору движения агентов, Pathfinder включает в себя интегрированный пользовательский интерфейс и 3D-визуализацию результатов.

Многие программные продукты рассчитывают только время эвакуации людей, не учитывая влияние опасных факторов пожара на людей. Например, просчитано время эвакуации, все люди покинули помещение за определенное время. В результате получено время, которое по своей сути ничего не в полной мере отражает условия вынужденной эвакуации. Если же добавить в процесс эвакуации фактор пожара, с установкой точки возгорания в самом людном месте (например, центральный вход или какой-нибудь коридор), то такая система будет учитывать опасные факторы пожара и их влияние на людей при эвакуации. Кроме того, необходимо учитывать и условия распространения пожара. Через некоторое время имеющиеся основные пути эвакуации фактически не будут являться эвакуационными. В этом случае необходимо будет искать другой путь и условия эвакуации людей. С учетом этого на выходе получается другой результат времени эвакуации, который будет отражать более реальные данные пожара. Учитывая указанные особенности эвакуации людей, необходимо внести модели пожара в программные комплексы для расчета времени эвакуации людей из зданий и сооружений.

Выводы

Проведен обзор типов эвакуационных моделей. В программных комплексах для расчета времени эвакуации из зданий и сооружений необходимо учитывать влияние опасных факторов пожара на людей. Для перемещения людей в учебных заведениях следует использовать поточную модель.

Перспективы дальнейших исследований. В дальнейшем планируется провести сравнительный анализ результатов расчетов представленных программных комплексов, а также сравнение полученных результатов с экспериментальными.

Список литературы

1. *Technical Note 1471 A Review of Building Evacuation Models* Erica D. Kuligowski Richard D. Peacock.
2. Холщевников В.В. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации зданий и сооружений / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин, Н.Н. Галушка // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2002. – № 5. – С. 40-49.

3. ГОСТ 12.1.004-91 (1999) - ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.fseg.gre.ac.uk/index.html.

5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet.

6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.traffgo-ht.com/en/pedestrians/products/pedgo/index.

7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.iesve.com/Software/VE-Pro/Simulex.

8. Olenick S.M. Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke / S.M. Olenick, D.J. Carpenter // *Journal of Fire Protection Engineering*. – 2003. – 13. – P. 87-110.

9. Gwynne S. A Review of the Methodologies used in the Computer Simulation of Evacuation from the Built Environment / S. Gwynne, E.R. Galea, P.J. Lawrence, M. Owen, L. Filippidis // *Building and Environment*. – 1999. – 34. – P. 741-749.

10. [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: www.ies4d.com/content/default.asp?page=s1_2_1.

Поступила в редколлегию 27.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.П. Мусиенко, Черноморский государственный университет имени Петра Могилы, Николаев.

ОГЛЯД ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЧАСУ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ З БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

С.В. Куценко

Проведений порівняльний огляд програмних комплексів, які використовуються для розрахунку часу евакуації людей з будівель і споруд.

Ключові слова: програмний комплекс, евакуаційні моделі, час евакуації.

THE REVIEW OF PROGRAMMATIC COMPLEXES FOR TIMING EVACUATION OF PEOPLE FROM BUILDINGS AND BUILDINGS

S.V. Kucenko

Is Conducted comparative review of program complexes which are used for timing evacuation people from buildings and buildings.

Keywords: programmatic complex, evacuation models, time of evacuation.