

УДК: 519.87:614.849

Моделирование эвакуации людей различных возрастных групп

М. З. Максимова^а, Н. М. Барбин^б

Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России,
Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22

E-mail: ^а maxmar@e1.ru, ^б nmbarbin@mail.ru

*Получено 13 августа 2012 г.,
после доработки 6 июня 2013 г.*

Предложена и опробована программа для оценки расчетного времени эвакуации с возможностью выбора возрастной группы людей. Исследовано влияние возрастного состава групп людей на результаты расчета.

Ключевые слова: моделирование потока людей, расчетное время эвакуации, возрастные группы людей

Modeling of evacuation of people of various age groups

M. Z. Maksimova, N. M. Barbin

Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, 22 Mira str., Yekaterinburg, 620062, Russia

Abstract. — The program for an assessment of an estimated time of evacuation with possibility of a choice of age group of people is offered and tested. Influence of age structure of groups of people on results of calculation is investigated.

Keywords: modeling of a stream of people, estimated time of evacuation, age groups of people

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2013, vol. 5, no. 3, pp. 483–490 (Russian).

Введение

Проблемы прогнозирования развития ЧС определяют потребность в математическом моделировании движения людей в помещении с целью определения расчетного времени эвакуации при пожаре. Результаты моделирования предназначаются для дальнейшего использования при расчете индивидуального пожарного риска в зданиях различного назначения, как на стадии проектирования, так и в процессе строительства и эксплуатации. На сегодняшний день не существует общепринятых методик учета возрастной категории людей, и обычно моделируется поток взрослых лиц.

Целью работы явилась разработка программы для практической оценки расчетного времени эвакуации людей при пожаре из общественного здания с возможностью определения их возрастных групп с поиском оптимальной траектории движения.

Исходные данные для расчета

Помещение представляет собой плоскую область, разбитую на пиксели (один пиксель примем равным 0.04 м). С помощью загруженного плана помещения (в формате *bmp) создается массив пикселей размерностью, равной разрешению загруженного изображения.

В помещении могут находиться 4 типа людей с соответствующей площадью вертикальной проекции в летней одежде [Об утверждении методики ... , 2009]: дети до 9 лет (0.04 м²), дети 10-13 лет (0.06 м²), дети 14-16 лет (0.08 м²) и взрослые (0.10 м²). Проекцию человеческого тела примем в виде квадрата.

Предполагается, что люди двигаются независимо друг от друга в определенном направлении (к ближайшему выходу), выбирая наикратчайший путь, преодолевая (обходя) при этом все встречающиеся препятствия (в том числе в виде других людей). У каждого индивидуума есть своя площадь вертикальной проекции на пол и скорость в зависимости от того, к какой возрастной группе он принадлежит.

Скорость человека определим исходя из «Упрощенной аналитической методики расчета» [Об утверждении методики..., 2009].

Предметом моделирования является имитация движения людских потоков при их стремлении к выходу; в результате должно получиться значение величины расчетного времени эвакуации, то есть времени, которое затратит человек, покинувший последним помещение.

Математическая модель движения людского потока

Движение людей в помещении

Вышеупомянутое помещение рассмотрим как поле клеточного автомата, состоящего из совокупности одинаковых клеток, одинаково соединенных между собой. Размерность поля зависит от конкретного примера. Клеточные автоматы являются дискретными динамическими системами, поведение которых определяется в терминах локальных зависимостей [Тоффоли, Марголус, 1991]. Здесь клетка, занимаемая индивидуумом, представлена в виде конечного автомата, состояние которого зависит от состояния ее соседей. Окрестность образуется набором соседей и их расположением. В данном случае рассматриваются окрестность фон Неймана (четыре соседа, расположенные ортогонально клетке, занимаемой индивидуумом) и окрестность Мура (четыре соседа, прилегающие по диагоналям). При моделировании эвакуации людей ключевым моментом является достижение ими выхода из опасного помещения, что приводит к зависимости состояния клетки от клеток, не являющихся соседями — появляются «псевдососеди». Локальность, как одно из свойств клеточных автоматов, позволяет определить состояние клетки только состоянием ее соседей и ее самой (на предыдущем временном шаге). Состояние соседей может быть как занятым в случае каких-либо препятствий, так и свободным [Степанцов, 2004].

При моделировании движения людей сначала вычисляется траектория каждого индивидуума к ближайшему выходу, затем, если возник затор, определяется доступность иных направлений движения. Считается, что при выборе возможного направления индивидуум на протяжении 1 метра следует в доступном направлении, а затем анализирует окрестности и далее также движется по наикратчайшему пути к ближайшему выходу. Таким образом, происходит преодоление препятствий, и затем происходит перемещение всех людей одновременно.

В разработанной программе имитируется движение людей в помещении в соответствии с [Предтеченский, Милинский, 1979], его виды приведены на рисунке 1:



Рис. 1. Виды движения людей, заложенные в программе «Moving to exit»

Нахождение кратчайшего пути

Алгоритм поиска пути до ближайшего выхода построен по принципу детской игры «Холодно/горячо». В начале работы программа создает массив пикселей размерностью, равной разрешению загруженного изображения, и каждому пикселю присваивает нулевую температуру. Далее распознаются все выходы, существующие на плане. Центральным пикселям каждой двери присваивается определенное значение виртуальной температуры (для каждой двери одинаковое). Эти пиксели на карте являются самыми «горячими», и именно к ним будут стремиться люди во время эвакуации. Теперь задается распределение «температуры» на остальных пикселях карты, до этого равной «0». Здесь использован алгоритм проверки «температуры» соседних пикселей относительно данного, если «температура» окружающих пикселей ниже, относительно которого идет проверка, то этим пикселям присваивается температура на один градус ниже. Например, если центральный пиксель двери имел температуру 10 000, то пиксели сверху, снизу, слева и справа примут температуру 9999, и т.д. Таким образом, к окончанию выполнения алгоритма задания «температуры» полу каждая ячейка примет какое-то значение, и индивидуум, встав на любую ячейку пола, сможет проанализировать ячейки сверху, снизу, слева, справа, сверху слева, сверху справа и т. д. и, выбрав наиболее «горячую», двинется к ней. Избегая сложных дополнительных расчетов, индивидуум будет шаг за шагом двигаться к наиболее «горячему» пикселю, расположенному у ближайшей двери. Когда индивидуум попадает в «самую горячую» ячейку, то есть выход, то считается, что человек эвакуировался, и, соответственно, расчет данных для него останавливается.

Обход препятствий

Каждая ячейка (пиксель) имеет метку типа boolean и, если человеку можно по ней идти, то метку — «true», а если нет, то значение метки у этого пикселя — «false». Так, у всех препятствий (в том числе и стен) пиксели имеют метку «false», говорящую, что вставить на эти пиксели нельзя. Таким образом, индивидуум при движении выбирает самую "горячую" ячейку

ку не из всех окружающих, а только из возможных (которым присвоены значения «true»). На рисунке 2 приведен пример распределения «температур» по помещению со стенами и препятствиями – «горячим» пикселям соответствуют светлые тона. Размеры человека занимают одновременно определенное число пикселей (в зависимости от выбранной группы людей (дети определенного возраста или взрослые)). Занятые пиксели принимают метку «false», а другие индивидуумы, считая, что туда идти нельзя, выбирают какое-то другое направление движения, всегда двигаются без остановки к «горячим» доступным пикселям.

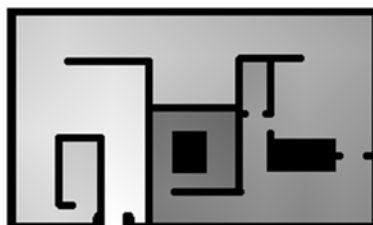


Рис. 2. Распределение «температур» пикселей по помещению

Определение скорости движения людского потока

Скорость движения людского потока определяется по таблице 1 [Об утверждении методики..., 2009] в зависимости от плотности однородного людского потока D в окрестности каждого индивидуума:

$$D_i = N_i \cdot f / S_i, \quad (1)$$

где N_i — число людей в окрестности i -го человека, чел.;

f — средняя площадь горизонтальной проекции человека, $m^2/чел.$, принимаемая в соответствии с выбранной категорией людей;

S_i — площадь окрестности i -го человека, m^2 .

Таблица 1. Интенсивность и скорость движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности

Плотность потока D , m^2/m^2	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q , м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин		Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0.01	100	1.0	1.0	100	1.0	60	0.6
0.05	100	5.0	5.0	100	5.0	60	3.0
0.10	80	8.0	8.7	95	9.5	53	5.3
0.20	60	12.0	13.4	68	13.6	40	8.0
0.30	47	14.1	16.5	52	15.6	32	9.6
0.40	40	16.0	18.4	40	16.0	26	10.4
0.50	33	16.5	19.6	31	15.6	22	11.0
0.60	28	16.3	19.05	24.5	14.1	18.5	10.75
0.70	23	16.1	18.5	18	12.6	15	10.5
0.80	19	15.2	17.3	13	10.4	13	10.4
0.90 и более	15	13.5	8.5	8	7.2	11	9.9

Примечание — интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0.9 и более равная 8.5 м/мин, установлена для дверного проема шириной 1.6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины интенсивность движения следует определять по формуле $q = 2.5 + 3.75 \cdot \delta$.

Для вычисления площади окрестности S в модели использован алгоритм ассоциации каждого человека с отдельно движущейся областью заданных размеров, в которой всегда можно вычислить плотность потока. При таком «динамическом» задании областей, каждый человек, находящийся в потоке сможет правильно оценить реальную плотность потока в окрестности своего положения.

Время движения людского потока считается по циклу «пока», условием которого является выход последнего человека наружу.

Блок-схема программы «Moving to exit»

На рисунке 4 представлена блок-схема программы «Moving to exit».

Численные результаты исследований

Анализ расчетного времени эвакуации для разных возрастных групп

При вычислении времени эвакуации необходимо учитывать группу лиц, проводящих эвакуацию. Для случаев отсутствия заторов, разница во времени эвакуации разных групп людей не будет зависеть от средней скорости движения группы. В случае образования заторов, ключевое значение будет иметь величина вертикальной проекции человека на пол. Группа людей с меньшей площадью вертикальной проекции эвакуируется в меньшее время.

Исследуем зависимость времени эвакуации из пустой прямоугольной комнаты (6 · 10) м² для разных групп людей для количества человек от 1 до 100 человек.

Графические зависимости расчетного времени эвакуации для разных групп людей будет иметь вид, представленный на рисунке 3.

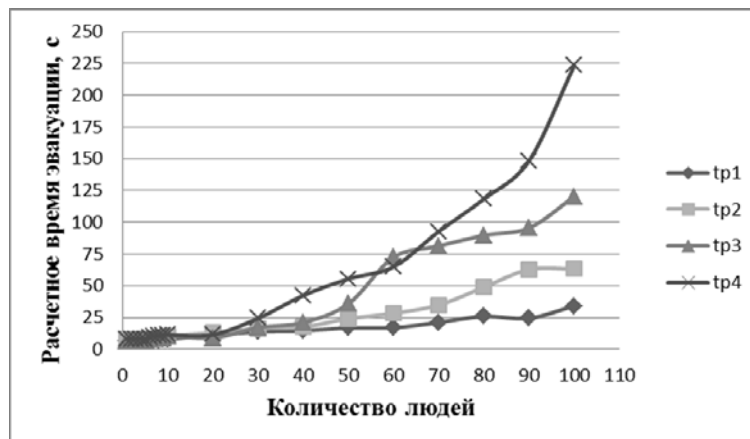


Рис. 3. Зависимость времени эвакуации от количества людей и их возрастных групп.

- tp1 — расчетное время эвакуации детей до 9 лет,
- tp2 — расчетное время эвакуации детей от 10 до 13 лет,
- tp3 — расчетное время эвакуации детей от 14 до 16 лет,
- tp4 — расчетное время эвакуации взрослых людей (от 17 лет)

Из рисунка 3 видно, что если количество людей в комнате не превышает 20, расчетное время эвакуации имеет одинаковое значение для всех сравниваемых групп людей. Чем больше количество людей в комнате (в случае затора), тем большую роль играет значение вертикальной проекции человека на пол. Так, для 100 взрослых человек это время составит порядка 224 с, в то время как для детей до 9 лет — 34 с. Таким образом, подтверждается утверждение о значимости моделирования движения людей с разделением их по возрастным группам.

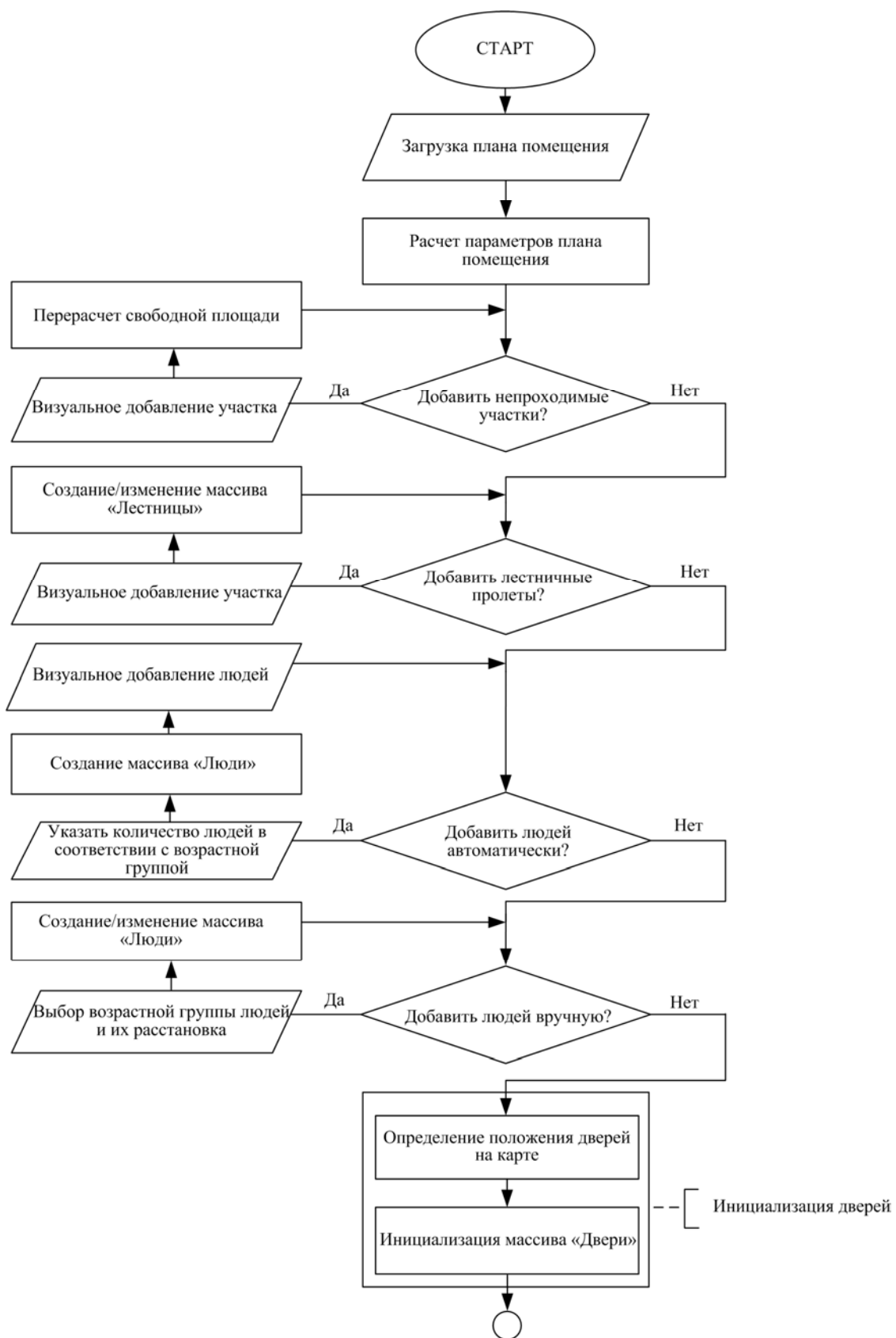


Рис. 4. Блок-схема программы «Moving to exit»

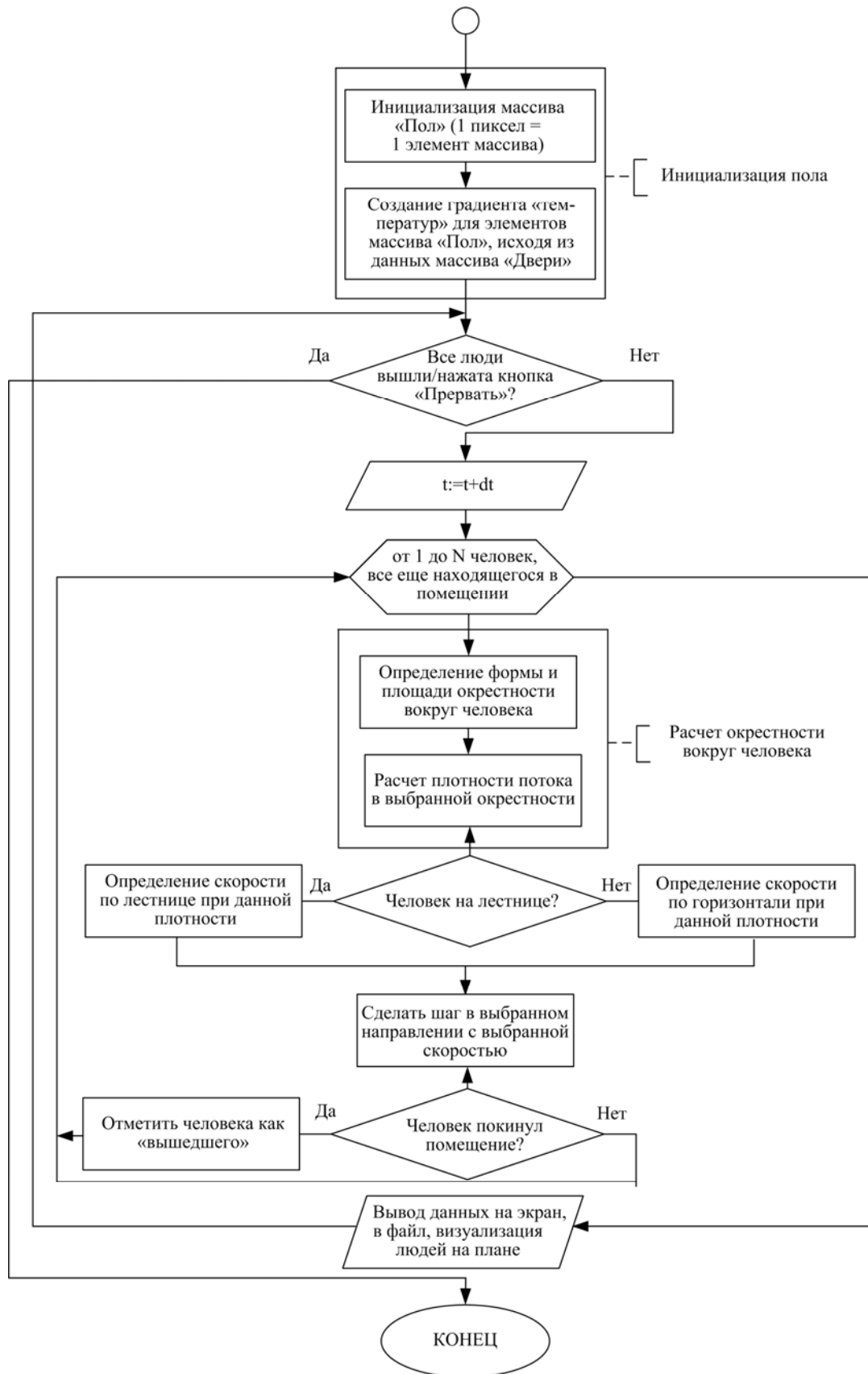


Рис. 4. Продолжение

Расчетное время эвакуации детей 10 - 13 лет в программе «Moving to exit» и подростков в программе СИТИС: Флоутек ВД 2.60 (имитационно-стохастическая модель)

Рассмотрим этаж с двумя выходами наружу, состоящий из 14 помещений, длина этажа — 16 м, ширина — 20 м. В каждое помещение расставим в наиболее удаленное от выхода место по персонажу. В программе «Moving to exit» — это дети 10–13 лет с площадью горизонтальной проекции 0.06 м²/чел., в программе СИТИС: Флоутек ВД 2.60 [СИТИС: Флоутек] — подростки, с площадью 0.07 м²/чел. В СИТИС Флоутек по 7 персонажей направим к выходам 1 и 2, в «Moving to exit» каждый персонаж «сам» найдет ближайший для себя выход и направится к нему с обходом всевозможных препятствий.

Расчеты, проведенные в СИТИС: Флоутек ВД 2.60.12301 (достоверность реализации имитационно-стохастической модели подтверждена Сертификатом соответствия № РОСС RU.СП15.Н00345 и заключением Академии ГПС письмом № 1539-1-14 от 06.10.2009), показали, что выходу 1 соответствует время 0.3 мин., для выхода 2 — 0.35 мин., следовательно, расчетное время эвакуации — 0.35 мин.

По «Moving to exit» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013611672) расчетное время эвакуации — 21,146 с (т.е. 0,352 мин.).

Заключение

Таким образом, в работе была рассмотрена модель движения потока людей в помещении. Проведен анализ и тестирование программы «Moving to exit» для случая пустой прямоугольной комнаты для различного количества людей в соответствии с их возрастными группами. Получены схожие результаты расчетного времени эвакуации с программой СИТИС: Флоутек в рассмотренном случае эвакуации 14 детей с этажа здания с двумя выходами. Отличительной особенностью предлагаемой программы является то, что можно задавать автоматически или вручную различное количество людей в любом свободном от препятствий месте помещения, в том числе и с развитой внутренней планировкой. Люди эвакуируются, выбирая наикратчайший путь до ближайшего выхода, включая при необходимости возможность эвакуации через смежные помещения. Присутствует анимация (имитация) движения людских потоков. Приведена блок-схема реализации программы.

Предлагаемая программа расчета времени эвакуации, основанная на моделировании оптимальной траектории движения людей различных возрастных групп, позволяет рассматривать и прогнозировать траекторию движения людей в условиях скопления при эвакуации. Приведенный анализ расчетного времени эвакуации разных возрастных групп и детей 7–9 лет в зависимости от их количества демонстрирует это.

Также программа является неотъемлемым инструментом при расчете индивидуального пожарного риска, облегчая и минимизируя затраты на расчет времени эвакуации людей из помещения.

Список литературы

- Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382. — М.: МЧС России, 2009. — 48 с.
- Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. — М.: Стройиздат, 1979. — 375 с.
- СИТИС: Флоутек 2.70. <http://sitis.ru/soft/flowtech>
- Степанцов М. Е. Математическая модель направленного движения группы людей // Математическое моделирование. — 2004. — Т. 16, № 3. — С.43–49.
- Торффоли Т., Марголуз Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991. — 280 с.