

УДК 004.942:519.876.5

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

Колодкин В.М., Чирков Б.В.*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Ижевск,
e-mail: kolodkin@rintd.ru, b.v.chirkov@udsu.ru*

Представлены результаты компьютерного моделирования процесса эвакуации людей из здания при пожаре. Приведен обзор литературы по системам управления эвакуацией людей из здания при пожаре. При моделировании предполагается, что люди в условиях пожара подчиняются указаниям, которые формируются в режиме реального времени (во время эвакуации) специализированным адаптивным программно-аппаратным комплексом проектирования и указания маршрутов до эвакуационных выходов. Показана принципиальная возможность спасения людей из горящего здания, при использовании программно-аппаратного комплекса. При этом программно-аппаратный комплекс проектирует пути эвакуации, отвечающие условию безопасности маршрутов. Маршруты эвакуации проектируются с учетом состояния окружающей среды в помещениях здания в условиях пожара и плотности людского потока, даже если эти маршруты приводят к некоторому увеличению времени эвакуации.

Ключевые слова: моделирование эвакуации из здания, управление эвакуацией, программно-аппаратный комплекс

COMPUTER RESEARCH OF EVACUATION PROCESSES OF PEOPLE FROM BUILDING IN CASE FIRE

Kolodkin V.M., Chirkov B.V.*Udmurt State University, Izhevsk, e-mail: kolodkin@rintd.ru, b.v.chirkov@udsu.ru*

The results of computer simulation of the process of evacuation of people from the building in case of fire. The review of the literature on the evacuation management systems of people from the building in case of fire. In the simulation, it is assumed that people in fire conditions subject to the instructions that are generated in real time (during the evacuation) specialized adaptive software and hardware complex of designing and indications routes to emergency exits. The principle possibility of saving people from the burning knowledge, using hardware and software. This software and hardware designing escape routes, the routes meet safety conditions. Escape routes are designed taking into account the state of the environment in the premises of the building in fire conditions and the density of the flow of people, even if these routes lead to some increase in the time of evacuation.

Keywords: modeling of building evacuation, evacuation management, software and hardware system

Экстренная эвакуация из зданий с массовым пребыванием людей – это наиболее эффективный способ снижения ущерба при авариях, катастрофах и террористических проявлениях.

Во время эвакуации из-за быстрого развития чрезвычайной ситуации многие пути, ведущие в безопасные зоны, зачастую оказываются заблокированы. Об альтернативных, еще свободных путях, люди в здании могут не знать. Присутствие в здании интеллектуальной системы, которая способна в подобной ситуации подсказать людям безопасные пути к эвакуационным выходам из здания, могло бы сократить время эвакуации и тем самым спасти многие жизни.

Проблемы экстренной эвакуации людей из здания изучаются многими учеными и инженерами в мире. Так авторы Tatiana Tabirca, Kenneth N. Brown и Cormac J. Sreenan в своей работе [4] представляют динамическую модель для эвакуации при пожаре, основанную на сети распределенных сенсоров. Рассмотренная модель представляет собой два графа, где узлами явля-

ются сенсоры, расположенные в ключевых местах топографического плана здания, связанные ребрами, имеющими вес. Первый граф представляет топологические или навигационные веса, зависящие от времени прохождения человека из одной точки в другую. Второй граф представляет веса пожарной опасности, динамически меняющейся величины, зависящей от параметров, полученных с сенсоров. Вся модель начинает расчеты со статических графов, которые впоследствии меняют свои веса от 0 до ∞ , тем самым определяя кратчайшие пути по графу.

Работа авторов Pradeep Ramuhalli и Subir Biswas описывает [3] сеть распределенных датчиков, основными задачами которых является обработка событий, входящих в список чрезвычайных ситуаций для данного здания, и дальнейшее управление эвакуацией людей в случае наступления таких событий (пожар, землетрясение, химическое и биологическое заражение). Сеть распределенных датчиков проводит анализ параметров окружающей среды в здании:

дым, температуру, влажность, вибрации, и на основе результатов распределенных вычислений и данных о распределении людей производит управление эвакуацией людей при помощи аудиовизуальных индикаторов, включенных в систему автоматической эвакуации людей.

Практическое применение систем динамического управления эвакуацией частично получила система MILS [5]. Система представляет собой набор сенсорных датчиков, распределенных по объекту (сооружению), и набор светодиодных направляющих лент. Особенностью системы является возможность работать в двух режимах: статическом – все маршруты заранее рассчитаны, и динамическом – ленты загораются с приоритетным направлением, полученным с управляющего центра. Сложностью применения является необходимость настройки системы под каждый объект и конкретизация условий выбора маршрута эвакуации для данного объекта.

В данной работе на основе результатов компьютерного моделирования показана принципиальная возможность спасения людей из горящего здания, если здание будет оснащено адаптивным программно-аппаратным комплексом проектирования путей эвакуации, который проектирует пути эвакуации с учетом показаний датчиков, размещенных в здании.

Постановка задачи указания путей эвакуации людей из здания

Для конкретизации ограничимся рассмотрением процесса указания путей эвакуации из здания в условиях пожара. Процесс указания путей эвакуации в режиме реального времени предполагает постоянный мониторинг параметров среды в здании (температуры, задымленности, концентраций газов, опасных для человека). Кроме состояния среды, в случае возникновения чрезвычайной ситуации, необходима информация о распределении людей по помещениям здания. Эта информация собирается специальными устройствами – сенсорами (сенсорными блоками). На основе анализа информации в автоматическом режиме прогнозируется возможность пребывания людей в помещениях здания в данный момент времени. То есть формируется так называемая функция распределения проходимости по помещениям здания.

На основе информации по проходимости, по распределению людей по зданию, с использованием математической модели движения людей в условиях чрезвычайной ситуации [2], формируются команды

управления, которые доводятся до людей посредством специализированных аудиовидеосистем. Математическая модель движения людских потоков построена так, чтобы обеспечить кратчайшее время достижения людьми выходов из любой зоны здания по безопасным путям.

Мониторинг состояния здания осуществляется через распределенную беспроводную сеть сенсоров, снимающих показания по задымленности, температуре, содержанию газов и другим характеристикам, влияющим на процесс эвакуации в условиях пожара [1]. По результатам мониторинга в автоматическом режиме определяется факт возникновения и локализация места возгорания. При расчете безопасных путей эвакуации учитываются как уже образовавшиеся скопления людей, так и потенциальные скопления. Прогноз по образованию потенциальных скоплений людей делается на базе математического моделирования процесса движения людей при эвакуации.

Компьютерное исследование процессов эвакуации

Моделирование движения людских потоков позволяет спроектировать маршруты от каждой зоны здания до безопасной зоны. Маршрут строится с учетом значений функции проходимости и принципа минимизации времени движения до безопасной зоны [2].

Модель исследовалась на здании, схема которого представлена на рис. 1.

Здание состоит из двух этажей, связанных тремя лестничными пролетами, и имеет два выхода. Размеры здания – 28х20 метров, общее количество помещений – 22. Ширина дверных проемов – 1 м, входных дверей – 2,2 метра. Коридоры на этажах разбиты на несколько зон, обеспечивая топологическую связность при построении путей эвакуации.

На рис. 2 представлены результаты исследования процесса эвакуации в предположении отсутствия пожара в здании. Представлены графики зависимости относительного количества людей в здании от времени процесса эвакуации. Начальное количество людей в здании изменялось от 100 до 500 человек. Предполагалось, что люди в начальный момент времени распределены равномерно по зданию.

Из графиков рис. 2 следует, что динамика процесса эвакуации при максимальной плотности людского потока, меньшей 1 человек на квадратный метр, несущественно зависит от начального количества людей в здании при отсутствии изменений в состоянии среды в здании.

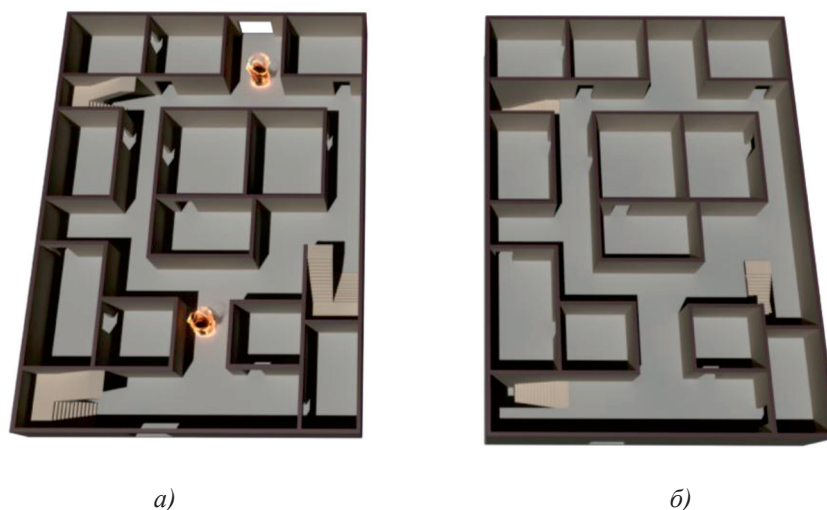


Рис. 1. Модель здания с местами возникновения возгорания: а) – первый этаж, б) – второй этаж

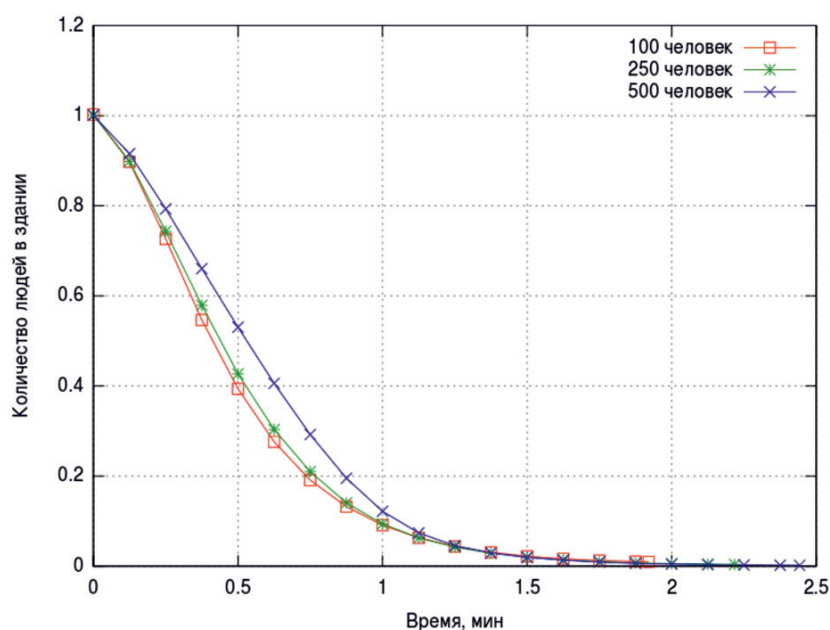


Рис. 2. График зависимости относительного количества людей в здании от времени с начала эвакуации

На рис. 2 представлены графики зависимости относительного количества людей в здании от времени при пожаре. По сценарию, в результате пожара в здании заблокированы участки здания (рис. 1), которые перекрывают пути к эвакуационным выходам из большей части первого этажа. Система указания путей эвакуации указывает путь эвакуации, начинающийся на первом этаже, через второй этаж и заканчивающийся на первом этаже, то есть спроектированные

системой пути эвакуации людей проходят через второй этаж здания. Эвакуационные пути удлиняются, что приводит к увеличению времени эвакуации. Кроме того, появляется зависимость динамики эвакуации от количества людей в здании в начальный момент времени.

На рис. 4–5 представлены графики зависимости относительного количества людей в здании от времени эвакуации при блокировании помещений предыдущего сценария

через 0,5 минуты и 1 минуту соответственно после начала эвакуации. Изменение угла наклона кривых «относительное количество людей в здании – интервал времени с начала процесса эвакуации» соответствует моменту изменения путей эвакуации.

Результаты моделирования, представленные на графиках, показывают, что время эвакуации увеличивается при блокировании помещений продуктами горения. Увеличение времени эвакуации обусловле-

но тем, что маршруты эвакуации, построенные с использованием модели движения людских потоков в условиях пожара, проектируются в обход помещений, где значения опасных факторов пожара превышают допустимые значения. Однако, несмотря на увеличение времени эвакуации, использование математической модели проектирования безопасных для человека путей эвакуации позволяет обеспечить эвакуацию всех людей из горящего здания.

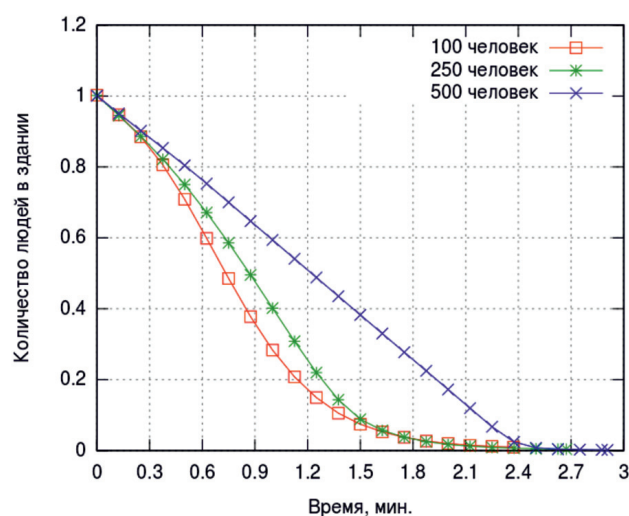


Рис. 3. График зависимости относительного количества людей в здании от времени эвакуации при блокировании помещений в момент начала эвакуации

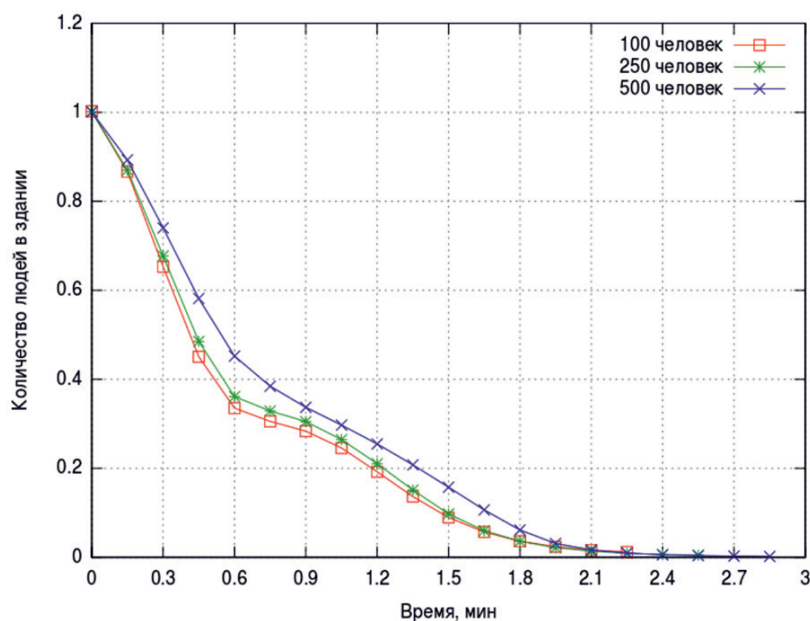


Рис. 4. График зависимости относительного количества людей в здании от времени эвакуации при блокировании помещений через 0,5 минуты после начала эвакуации

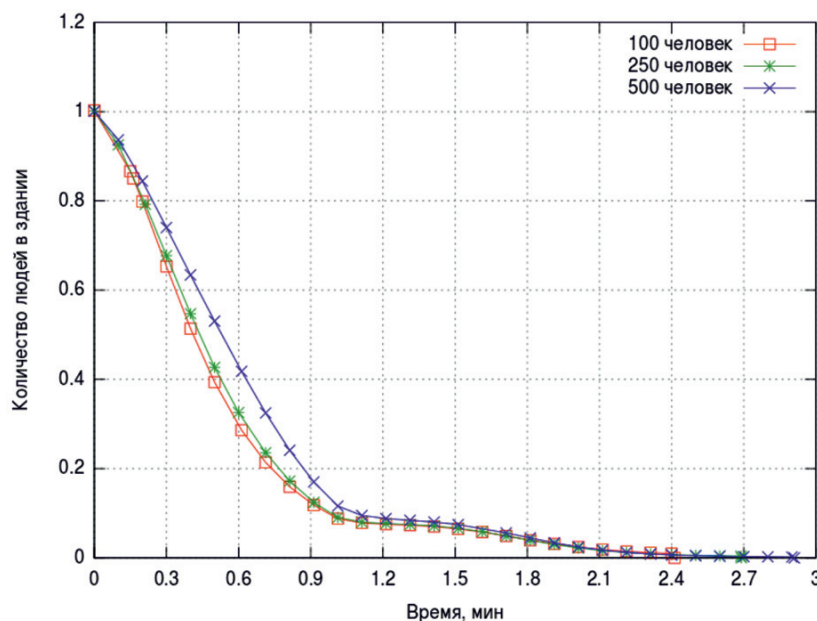


Рис. 5. График зависимости относительного количества людей в здании от времени эвакуации при блокировании помещений через 1 минуту после начала эвакуации

Заключение

Исследование показывает принципиальную возможность спасения людей при пожаре в здании при использовании специализированного программно-аппаратного комплекса указания путей эвакуации из здания в условиях чрезвычайных ситуаций в режиме реального времени. Комплекс позволяет проектировать пути движения людских потоков и представлять траектории движения людям, находящимся в здании. Спроектированные пути отвечают требованию минимальности времени освобождения людьми здания при пожаре и отвечают требованию безопасности, то есть траектории эвакуации автоматически прокладываются по доступным для человека зонам. Но, как показывают компьютерные исследования, при этом возрастает время эвакуации. Результаты работы служат основой для тестирования прототипа программно-аппаратного комплекса.

Работа поддержана грантом Минобрнауки № RFMEFI57414X0038 «Разработка и создание промышленного образца беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий».

Список литературы

1. Колодкин В.М., Варламов Д.В., Чирков Б.В., Романенко А.В., Чигвинцев Г.М. Пространственно-информационный мониторинг опасных факторов пожара на основе микропроцессорных сенсорных узлов системы управления эвакуацией // Безопасность в техносфере: сб. ст. 10 междунар. конф. – 2016. – № 10. – С. 17–27.
2. Колодкин В.М., Галиуллин М.Э. Программные алгоритмы, реализующие модель движения людских потоков в системе управления эвакуацией людей из здания // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, №10. – С. 75–85.
3. Ramuhalli P., Biswas S. Managed traffic evacuation using distributed sensor processing // Nondestructive Evaluation for Health Monitoring and Diagnostics. – International Society for Optics and Photonics, 2005. – P. 48–58.
4. Tabirca T., Brown K. N., Sreenan C. J. A Dynamic Model for Fire Emergency Evacuation Based on Wireless Sensor Networks // ISPD. – 2009. – P. 29–36.
5. MILS® Intelligent Guiding and Emergency Lighting Systems [Электронный ресурс]. – <http://www.marimils.com/> (дата обращения: 05.12.2016).