

УДК 004.942, 004.716

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Колодкин В.М.

Тел. 8(3412) 916-085

e-mail Kolodkin@rintd.ru

Аннотация: в работе по результатам натурных и вычислительных экспериментов выявлены основные факторы, влияющие на процесс управляемой эвакуации при возникновении ЧС. Процесс эвакуации управляется программно-аппаратным комплексом, который функционирует в автоматическом режиме. Показано, что для повышения достоверности прогнозирования путей эвакуации, программно-аппаратный комплекс должен быть дополнен подсистемой мониторинга людей в здании. Рассмотрен метод учета результатов измерительного мониторинга людей, проходящих через дверные проемы здания, на характеристики управляемой эвакуации.

Ключевые слова: моделирование эвакуации, программно-аппаратный комплекс, чрезвычайная ситуация, управление эвакуацией.

Развитие цифровых систем обеспечения безопасности обусловлено значительной величиной ущерба, которую несет общество при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) (пожар, взрыв, проявление террористической активности и т.д.). Учитывая, что во многих случаях обеспечение безопасности предполагает экстренную эвакуацию людей, остановимся на мерах по повышению эффективности эвакуации в процессе развития ЧС. В условиях развивающейся чрезвычайной ситуации, люди испытывают затруднения с принятием решений, испытывают затруднения с ориентацией в здании [1]. Ранее, задачи оповещения людей и управления людскими потоками в здании при возникновении ЧС обычно возлагались на лиц, ответственных за принятие решений. При этом использовались штатные технические средства систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)[2].. Автоматизированное управление эвакуацией обычно предполагало, что в случае ЧС оповещение и управление людскими потоками принимает на себя лицо, уполномоченное принимать решения в условиях ЧС[1,3].

Если лицо, принимающее решение в условиях ЧС, в нужный момент оказывается в нужном месте, лицо обладает достаточной информацией и достаточными техническими возможностями, то проблема обеспечения безопасности людей в здании успешно решается. Траектории движения людей при эвакуации должны строиться с учетом различных сценариев развития ЧС, изменений в обстановке, связанных с развитием чрезвычайной ситуации, то есть необходим переход от статических планов эвакуации к динамическим. Например, в условиях террористической активности может возникнуть необходимость собрать людей в определенной зоне здания. Эту зону, практически невозможно, определить заранее; затруднительно заранее указать людям пути движения. Следовательно, крайне желательно,

чтобы даже в директивном режиме указания цели движения людских масс при эвакуации людей в общественных зданиях со сложными объемно-планировочными решениями, построение путей эвакуации осуществлялось в автоматическом режиме.

Конечно, современное развитие техники и технологии позволяет построить техническую систему с любыми наперед заданными характеристиками. Вопрос в стоимости такой системы. Поэтому задача состоит в построении технической системы, адаптирующейся к изменяющимся условиям в здании, адаптирующейся к изменению целеуказания движения людей, функционирующей в режиме реального времени и по стоимости, соответствующей стоимости СОУЭ четвертого, пятого типов [2]. Причем принципиальное отличие разрабатываемой технической системы от существующих – автоматический режим проектирования путей эвакуации людей в пределах здания до зоны безопасности (по умолчанию зона безопасности – территория вне здания). Возможность создания технических средств СОУЭ, отвечающих заданным характеристикам, обусловлена развитием микропроцессорных систем. С использованием микропроцессорных систем был построен прототип программно-аппаратного комплекса (ПАК) управления людскими потоками при ЧС в процессе эвакуации людей[4]. Многочисленные вычислительные эксперименты, анализ траекторий эвакуации, спроектированных на прототипе ПАК, показали:

- ПАК адаптируется к изменениям окружающей среды в здании. При этом поддерживается автоматический режим проектирования путей эвакуации в пределах здания в режиме реального времени;

- Алгоритмическое и программное обеспечение, заложенное в ПАК, допускает увеличение его эффективности и расширение его возможностей.

В данной работе рассмотрим одно из существенных направлений развития ПАК, связанное с мониторингом людей в процессе эвакуации.

Будем характеризовать процесс эвакуации интервалом времени ΔT от начала процесса эвакуации до момента достижения зоны безопасности последним человеком, из числа людей, находящихся в здании. В таблице 1 представлены некоторые результаты натурных экспериментов, полученные на тренировке по эвакуации. Контролировалось время эвакуации людей ΔT из нескольких корпусов (№1, №2, , №7) ВУЗа. Для всех корпусов начальная плотность людей (количество человек на единицу площади на момент объявления тревоги) величина примерно постоянная, но корпуса различаются по количеству людей в здании.

Таблица 1.

Результаты замеров времени эвакуации людей ΔT из корпусов ВУЗа

	Здания учебных корпусов ВУЗа						
	№3	№5	№7	№2	№1	№4	№6
человек	110	223	335	534	637	1037	1325
с	120	159	265	267	292	305	327

Таблица 1 демонстрирует общую тенденцию – увеличение времени эвакуации при увеличении количества людей в здании.

Автоматическое проектирование и указание людям безопасных путей эвакуации из здания в условиях ЧС базируется на цифровой модели здания. В частности, использование цифровой модели здания в виде графа, позволило обеспечить управление эвакуацией в

горящем здании в режиме реального времени: время математического моделирования при этом сокращается на два-три порядка. Выявление связи между временем эвакуации людей из здания и имманентными свойствами здания предполагает количественную оценку сложности здания. Учитывая, что модель здания представляется графом, для здания определены следующие основные показатели:

- Количество вершин подмножества помещений (W) в модели здания - уровень разбиения пространства здания (исключая вершину уровня 0) - N_w .
- Количество вершин подмножества проемов (V) в здании - N_v .
- Максимальное количество вершин подмножества помещений (W) одного уровня (максимальная ширина графа по подмножеству помещений) - M_w .
- Количество уровней в графе (минимальное количество вершин помещений (W) при обходе графа в глубину) – K_w .

Количественная оценка, построенная на основе данных показателей, характеризует топологическую сложность цифровой модели здания - C . Количественная оценка топологической сложности цифровой модели здания в дальнейшем рассматривается в качестве одного из параметров, влияющих на время эвакуации. Если P_{ij} – численное значение i – го показателя модели здания ($i=1,2,3,4$) для корпуса j , то нормированное значение показателя H_{ij} , определено в виде:

$$H_{ij} = 1 + (P_{ij} - \langle P_i \rangle) / \langle P_i \rangle,$$

где $\langle P_i \rangle$ значение показателя усредненное по всей совокупности моделей зданий.

В качестве количественной оценки топологической сложности здания j принята величина равная относительной площади фигуры, ограниченной точками H_{ij} в пространстве показателей H_{ij} при $i=1,2,3,4$. Оценка площади S_j для модели j –го корпуса –

$$S_j = 0.5 * (H_{1j} * H_{2j} + H_{2j} * H_{3j} + H_{3j} * H_{4j} + H_{4j} * H_{1j}).$$

Площади S_j нормируются на площадь фигуры S_0 , построенной при средних значениях $P_i = \langle P_i \rangle$ в пространстве показателей H_i при $i=1,2,3,4$. В этом случае $H_i = 1$, $S_0 = 2$. Для расчета топологической сложности здания C имеем:

$$C_j = S_j / S_0 = 0.5 * S_j.$$

В таблице 2 показатели цифровых моделей корпусов представлены после ранжирования по величине топологической сложности. Корпуса университета расположены в виде ряды №3, №7, №2, №5, №6, №1, №4 по мере увеличения количественных оценок топологической сложности цифровых моделей корпусов.

Таблица 2.

Характеристики моделей зданий учебных корпусов ФГБОУ ВО «УдГУ»,
ранжированные по возрастанию топологической сложности

Корпус	$P_1 = N_w$	$P_2 = N_v$	$P_3 = M_w$	$P_4 = K_w$	C
№3	153	167	28	14	0,32
№7	286	322	31	24	0,81
№2	352	388	32	17	0,84
№5	316	374	54	14	0,95

№6	390	439	41	22	1,21
№1	419	466	42	24	1,36
№4	507	536	51	26	1,84

Наиболее значимой характеристикой, влияющей на время эвакуации для конкретного здания, является распределение и количество людей в здании. Как показывают результаты вычислительных экспериментов [4], изменения в распределении людей по зданию приводят к существенным изменениям времени эвакуации. Этим объясняется необходимость измерительного мониторинга людей по помещениям здания.

С целью определения количества людей в здании (в зонах здания) и распределения людей по зданию на границах зон (обычно, в дверных проемах) устанавливаются датчики подсчета людей [7-8], которые фиксируют людские потоки через дверные проемы. Скорость изменения количества людей N в некоторой зоне отвечает соотношению

$$\frac{dN}{dt} = - \sum_k (\vec{J}_k \cdot \vec{n}_k), \quad (2)$$

где \vec{J}_k – вектор людского потока через k -ый дверной проем зоны (здания), чел./с; \vec{n}_k – вектор нормали к плоскости k -ого дверного проема зоны (здания). Вектор нормали направлен из зоны, направление вектора людского потока соответствует направлению скорости потока. Если показания датчиков количества людей, фиксируются с периодом τ , то для количества людей $N(t+\tau)$, оказавшихся в зоне (в здании) к моменту времени $t+\tau$, имеем

$$N(t+\tau) = N(t) - \sum_k Q_k, \quad (3)$$

где $Q_k = (\vec{J}_k \cdot \vec{n}_k) \cdot \tau$ отвечает показанию датчика, размещенного в k -м дверном проеме. Датчик фиксирует количество и направление движения людей через дверной проем [7-8].

Контроль количества людей, проходящих через дверные проемы здания, позволяет весьма существенно увеличить точность проектирования путей эвакуации в рамках ПАК. В свою очередь, траектории движения людских потоков в каждом элементе здания проектируются в рамках ПАК на основе расчетов кратчайших по времени путей эвакуации. При этом используются выражения для модулей скорости движения людских потоков [9] и алгоритм Дейкстры [10] для выбора направлений движений.

Направление движения в каждом элемента здания, при работе ПАК в режиме обработки ЧС, рассчитывается на временном шаге проектирования Δt . Длительность временного шага проектирования $\Delta t = K \cdot r / V_0$, ($K=0.1$), r – характерный размер помещения в здании, V_0 – скорость свободного движения людей в здании [9]. В режиме обработки ЧС, период передачи информации от датчика к вычислительному модулю ПАК $\tau = 10 \cdot \Delta t \approx 3$ с, то есть через каждые 10 шагов (с периодом 3 с) может осуществляться корректировка распределения людей по зданию. Тем самым задача по проектированию траекторий, решается в рамках ПАК не на весь временной интервал эвакуации (5-10 минут), а на временной интервал τ . Соответственно, с уменьшением интервала прогнозирования, возрастает точность.

Подсистема мониторинга распределения людей по зданию, как составная часть ПАК, призвана существенно улучшить точность проектирования траекторий эвакуации за счет:

- Корректного определения количества людей в здании в момент наступления ЧС;
- Контроля количества людей, проходящих через дверные проемы здания. По выявленным в результате измерительного мониторинга потокам людей через дверные проемы проектируются уточненные траектории эвакуации.

Таким образом, один из путей снижения ущерба в условиях ЧС – широкое использование цифровых систем обеспечения безопасности. Одним из наиболее перспективных и существенных разработок ПАК является дополнение комплекса подсистемой измерительного мониторинга распределения людей в здании. Отметим, что проблема не в создании системы измерительного мониторинга, а в интеграции подсистемы измерительного мониторинга в ПАК управления эвакуацией. Решение этой сложной задачи обеспечит существенное уточнение траекторий движения людских потоков при эвакуации в условиях ЧС.

Литература

1. Шихалев Д.В. Информационно-аналитическая поддержка управления эвакуацией при пожаре в торговых центрах: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.10 / Шихалев Денис Владимирович. – М., 2015. – 176 с.
2. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]. - <https://kursprofi.ru/Library/sp/sp3.13130.2012.pdf> свободный (10.03.2019).
3. Ямалов И.У. Поддержка принятия решений для управления в условиях чрезвычайных ситуаций на основе когнитивных и динамических моделей: дис. ...доктора тех. наук: 05.13.01 / Ямалов Ильдар Уралович. – Уфа, 2007. – 352 с.
4. Колодкин В.М., Чирков Б.В. Система адаптивного управления экстренной эвакуацией при пожаре в здании // Безопасность в техносфере, 2017, вып. № 4(67), С. 58-65. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5a2907cc4f32d7.65348137
5. Болбаков Р.Г. Сложность информационных конструкций // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 4 (16). – С. 58-63. doi: 10.21777/2312-5500-2016-4-58-63
6. Галиуллин М.Э. Создание и использование Пространственно-Информационной модели здания (ПИМ) для расчета величины риска при составлении декларации пожарной безопасности // Безопасность в техносфере. Ижевск 2015, № 9. С. 60 – 81
7. Сивков А.М. Двухлучевой счетчик посетителей // Безопасность в техносфере. Ижевск 2017, № 11. С. 63 – 71
8. Сивков А.М., Семакина А.Н. Об электрической схеме подключения сенсора инфракрасных лучей // Безопасность в техносфере. Ижевск 2018, № 12. С. 53 – 55
9. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей при пожарах – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. - 212 с.
10. Алгоритм Дейкстры нахождения кратчайшего пути [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prog-cpp.ru/deikstra/> (дата обращения 15.03.2019).

Kolodkin V.M.

Tel. 8 (3412) 916-085

e-mail Kolodkin@rintd.ru

Annotation: the work on the results of field and computational experiments revealed the main factors affecting the process of controlled evacuation of people in public buildings in the event of an emergency. The evacuation process is controlled by a software and hardware complex, which operates in automatic mode. It is shown that in order to increase the reliability of the prediction of evacuation routes, the hardware and software complex should be supplemented with a subsystem for monitoring people in the building. The method of recording the results of measuring monitoring of people passing through the doorways of the building, on the characteristics of controlled evacuation is considered.

Key words: evacuation modeling, monitoring the distribution of people in a building, hardware and software system, emergency, evacuation management.