

УДК 614.8:004.896

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ

С. С. ВАЛЕЕВ¹, Н. В. КОНДРАТЬЕВА², А. Ф. ЯНГИРОВА³

¹vss2000@mail.ru, ²knv24@mail.ru, ³ya_aliyusha@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 12.11.2013

Аннотация. Рассматривается задача построения иерархической системы поддержки принятия решений в критических ситуациях при эвакуации людей из зданий на основе использования результатов моделирования распространения пожара и позволяющая определять оптимальные маршруты эвакуации.

Ключевые слова: иерархическая система поддержки принятия решений; эвакуация; база данных; моделирование; оптимальный маршрут эвакуации.

ВВЕДЕНИЕ

Решение задачи снижения рисков, возникающих при эвакуации из больших зданий, имеющих сложную инфраструктуру и характеризующихся большим скоплением людей (аэропорты, вокзалы, торговые центры и т.д.) в настоящее время является актуальной. Крупные аэропорты и другие аналогичные сооружения представляют собой сложные организационно-технические системы, в том числе и с точки зрения обеспечения безопасности в критических ситуациях. Система обеспечения эвакуации из здания может включать в себя технические средства обнаружения и оповещения о критической ситуации, разнообразные первичные источники информации (пожарные датчики, видеокамеры и т. п.), средства обработки информации, телекоммуникации, а также организационные ресурсы в лице сотрудников инженерных служб и служб безопасности здания [1–3]. Помимо этого критическая ситуация сопровождается множеством различных факторов неопределенности, которые необходимо принимать во внимание в процессе принятия решений [4].

В связи с этим представляется целесообразной разработка иерархической системы поддержки принятия решений (ИСППР), обеспечивающей эффективность процедуры выбора плана эвакуации на основе анализа текущей информации о состоянии параметров, характеризующих критическую ситуацию и результатов

моделирования различных вариантов распространения пожара. Построение иерархической СППР оправдано для организационно-технических систем со сложной структурой [5]. Принятие решений в ходе эвакуации из больших зданий обычно базируется на основе единого утвержденного плана эвакуации. Этот план содержит обобщенные траектории эвакуации без учета различных факторов неопределенности, в значительной мере влияющих на выбор конкретного маршрута эвакуации.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ИСППР

На рис. 1 представлена информационная структура предлагаемой трехуровневой ИСППР, состоящей из исполнительного уровня, уровня координации и уровня планирования. Восходящий информационный поток I_1 исполнительного уровня, поступающий с первичных источников информации, поступает на уровень координации [6]. В обратном направлении передаются управляющие воздействия I_2 на исполнительные механизмы и технические устройства (системы противопожарной безопасности, автоматизированные запасные выходы, световые дорожки и т.п.), используемые при эвакуации. База данных (БД), хранящая информацию с датчиков и информацию о состоянии исполнительных механизмов Q_3 , используется в случае необходимости при обучении ИСППР на уровне планирования.

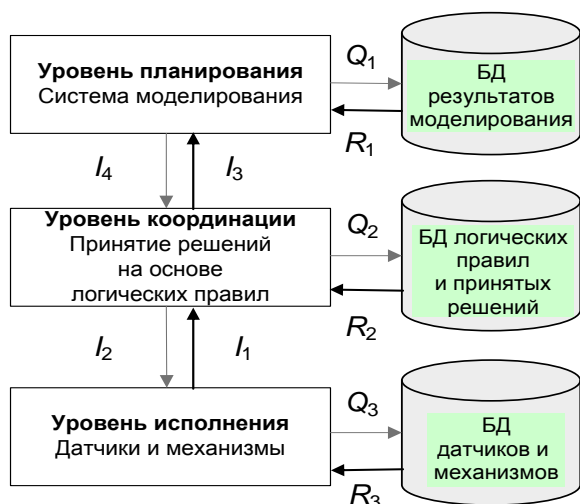


Рис. 1. Информационная структура ИСППР

В случае необходимости на уровень исполнения в обратном направлении передается информация R_3 , содержащая алгоритмы функционирования датчиков и исполнительных механизмов. Принятие решений в реальном масштабе времени на уровне координации осуществляется на основе логических правил R_2 , хранящихся в БД логических правил. Одновременно в БД логических правил поступает информация о конкретных принятых решениях Q_2 . Уровень координации передает информацию о возникшей критической ситуации I_3 на уровень планирования, который в свою очередь вырабатывает стратегические решения для уровня координации I_4 на основе непрерывного имитационного моделирования возможных критических ситуаций [7]. Результаты моделирования Q_1 передаются в БД моделирования. В случае необходимости они могут служить исходными данными R_1 для следующего этапа моделирования.

Для организации эффективного информационного взаимодействия и создания интегрированной базы данных возможно использование современных технологий сбора и обработки информации о текущем состоянии объекта [6, 8].

В качестве показателя эффективности работы ИСППР выбран риск неэффективной эвакуации [2]:

$$Q_3 = 1 - P_3, \quad (1)$$

где P_3 – вероятность эвакуации людей при пожаре.

Вероятность P_3 при условии, что время скопления людей на пути эвакуации $t_{ск} \leq 6$ мин, можно определить с помощью следующей формулы [7]:

$$P_3 = \frac{0,8 \cdot t_{бл} - t_p}{0,8 \cdot t_{бл}} \text{ при } t_p < 0,8 \cdot t_{бл}, \quad (2)$$

где $t_{бл}$ – время блокирования выходов из здания (в нашем случае $t_{бл} = 288$ с); t_p – расчетное время эвакуации, определяемое для каждого найденного оптимального пути эвакуации.

Расчетное время эвакуации t_p напрямую зависит от принятого в критической ситуации решения по эвакуации. Иными словами

$$t_p = f(I_1, I_2, I_3, R_1, R_2, R_3, Q_1, Q_2, Q_3). \quad (3)$$

Информационные потоки в ИСППР обладают большой мощностью, их необходимо передавать в реальном времени, при этом передаваемая информация имеет весьма разнородную и сложную структуру. С учетом этого практическая реализация ИСППР также является сложной задачей.

АРХИТЕКТУРА ИСППР

Для практической реализации системы необходима информационная интеграция большого количества разнородных технических и программных средств. Архитектура рассматриваемой ИСППР представлена на рис. 2.

Подсистема сбора информации включает в себя различные датчики, средства работы с RFID-метками и штрихкодами, а также системы видеонаблюдения.

Среди множества задач, связанных с первичным сбором информации, можно выделить автоматическую идентификацию (распознавание и классификацию) динамических объектов. Реализация этой задачи предполагает выполнение следующих шагов:

- присвоение каждому динамическому объекту заранее заданного идентификатора (номера или кода);
- нанесение специализированной метки, содержащей идентификатор объекта;
- считывание данных с метки цифровым устройством;
- перевод данных метки в электронный вид.

В качестве идентификатора могут быть использованы графические, магнитные, радиочастотные и электронные метки.

За последние годы организация видеонаблюдения стала неотъемлемой частью обеспечения комплексной безопасности зданий, поскольку современные системы видеонаблюдения позволяют не только вести наблюдение и записывать видео-информацию, но и программировать реакцию всей системы безопасности при возникновении тревожных событий или ситуаций.

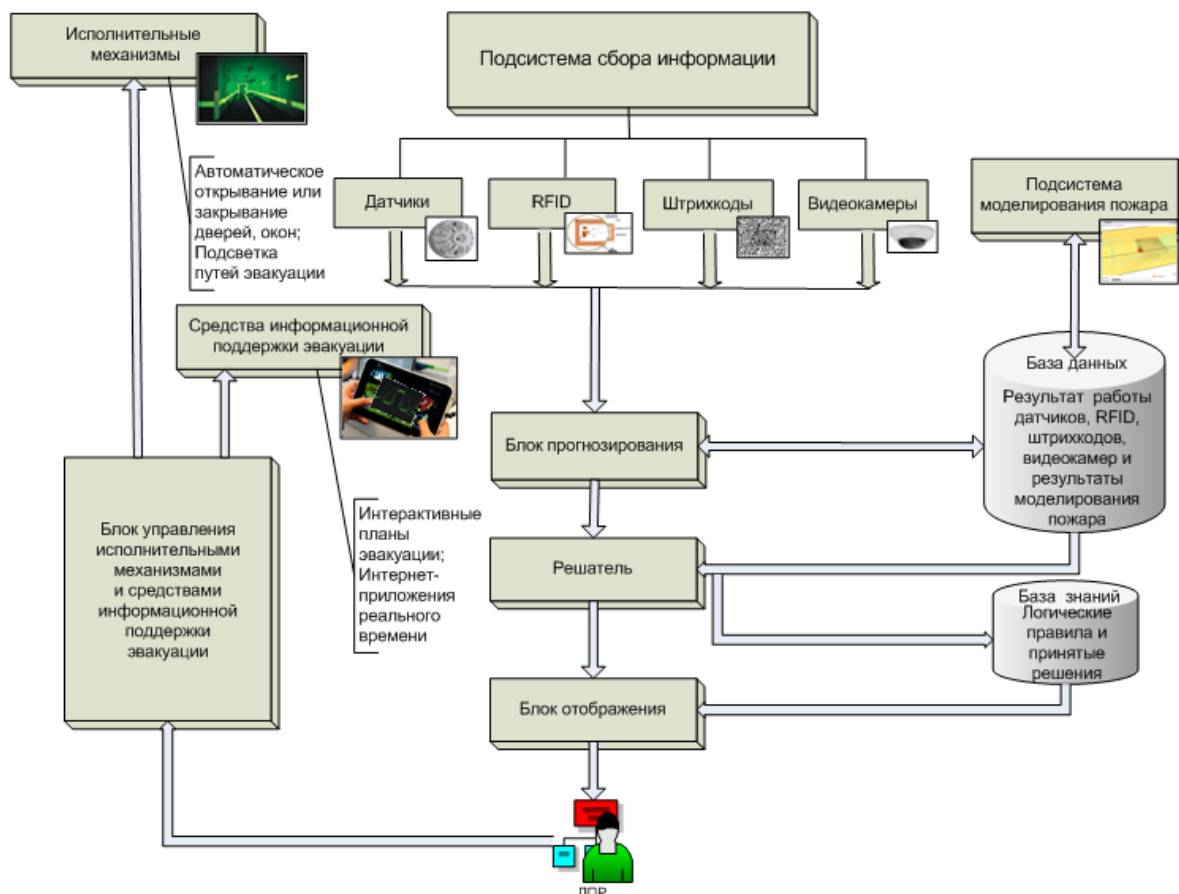


Рис. 2. Архитектура ИСППР

Оцифрованная информация от этих устройств поступает в подсистему моделирования пожара, в которой на основе исходных данных, плана здания и уравнений динамики пожара моделируется распространение огня и дыма.

Подсистема моделирования пожара позволяет учитывать многие параметры, например, испарение жидкого топлива, пиролиз твердого топлива и т. д. [1]. При наличии достаточных исходных данных можно непосредственно моделировать возгорание предметов обстановки, прогрев материалов, распространение пламени с объекта на объект, различные реакции горения твердой фазы и т. д.

Однако чем точнее используемая модель, тем точнее должны быть исходные данные. В случае решения задач на определение времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара разработчик обычно не имеет достаточно точных данных о пожарной нагрузке и ее расположении. Невозможно заранее знать, на каком месте в кабинете будет стоять стол, и из какого материала он будет выполнен [6]. Поэтому при расчетах используется простейший способ моделирования источника по-

жара – модель с predetermined скоростью горения. На рис. 3 представлены результаты моделирования распространения пожара в здании.

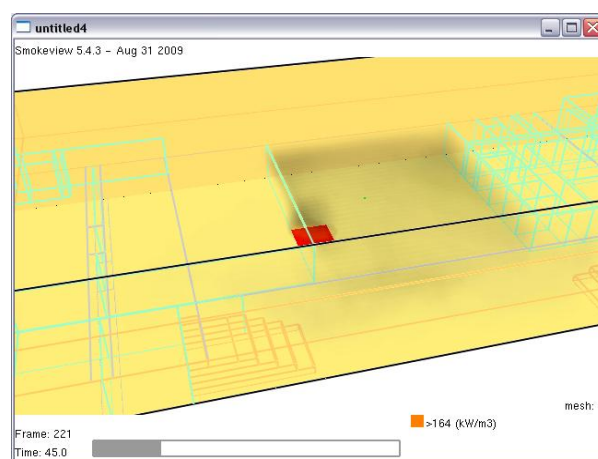


Рис. 3. Результат моделирования пожара

Моделирование пожаров охватывает физическое и математическое представление всех процессов, так или иначе связанных с возникновением и развитием пожара, включая физическое, физико-химические и химические процес-

сы, сопровождающие пожар, воздействие опасных факторов пожара на человека, поведение людей в экстремальных ситуациях, стратегию и тактику пожаротушения, оценку потенциального и фактического ущерба от пожаров [9, 10].

В ходе моделирования можно получить следующие критические данные:

- время наступления опасных факторов пожара;
- температурный режим пожара;
- время срабатывания извещателей (дымовой и тепловой датчики);
- время вскрытия оросителей;
- влияние интенсивности подачи воды на эффективность тушения пожара и т.д.

Различные варианты решений для поиска наиболее эффективного могут быть опробованы на модели, подробно проанализированы и проработаны. В условиях влияния различных факторов неопределенности особенно актуальным является использование интеллектуальных алгоритмов управления [5].

Как следует из рис. 2, результаты моделирования поступают в блок прогнозирования и базу данных. В базе данных хранятся модели различных сценариев распространения пожара в здании. В блоке прогнозирования с учетом полученных данных и результатов моделирования определяются доступные пути эвакуации. Информация из базы данных и блока прогнозирования поступает в блок «Решатель». В блоке «Решатель» определяется оптимальный путь эвакуации на основании логических правил и алгоритмов. Информация из блока «Решатель» поступает в базу знаний, в которой хранятся логические правила, а также в блок отображения, который передает информацию о пути эвакуации лицу, принимающему решение (ЛПР). ЛПР передает информацию в блок управления. Блок управления исполнительными механизмами и средствами информационной поддержки эвакуации формирует управляющее воздействие на исполнительные механизмы, обеспечивающие эффективную эвакуацию. К исполнительным механизмам относятся автоматическое открывание или закрывание дверей, окон, подсветка пути эвакуации. Помимо этого управляющие воздействия передаются к средствам информационной поддержки выбора пути эвакуации.

Дальнейшее расширение возможностей программного обеспечения интегрированных систем позволит разрабатывать дружественный интерфейс, обеспечивая возможность работы

оператора одновременно с несколькими интегрированными системами на различных объектах, а встроенные в пожарные панели сенсорные дисплеи, отображающие поэтажную планировку здания, значительно облегчат контроль и управление автоматизированной системой эвакуации.

Объединение вычислительной техники, датчиков позиционирования людей и систем видеонаблюдения в единую коммуникационную сеть с датчиками противопожарной системы позволит в рамках предлагаемого подхода прогнозировать развитие и управлять критической ситуацией на основе использования результатов моделирования в режиме реального времени.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСППР ПРИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗДАНИЯ АЭРОПОРТА

В качестве примера рассматривался процесс принятия решений при эвакуации из здания аэропорта, имеющего четыре выхода. Целью численного эксперимента было определение пути эвакуации, обеспечивающего минимальное значение риска неэффективной эвакуации Q , с учетом результатов моделирования пожара.

Результат работы ИСППР представлен на рис. 4. Исходный граф G отражает все возможные пути эвакуации людей из здания. На графе вершины 0, 1, 2 и 3 соответствуют выходам из здания. Исходной точкой для поиска оптимального маршрута выступает вершина 4, т. к. рядом с ней находится очаг возгорания. Из рисунка видно, что оптимальный путь к выходу № 3 проходит через вершины 4-5-15-11-10-9-3. Анализ результатов работы ИСППР показывает, что с учетом моделирования распространения пожара оптимальным является маршрут к выходам №№ 2 и 3. Хотя выходы №№ 0 и 1 являются ближайшими, из-за наличия в смежных к ним секторах пламени и дыма невозможно рассматривать их при разработке маршрута эвакуации.

Оценка эффективности предлагаемого подхода на основе применения ИСППР в штатной и критической ситуации проводилась на основе сравнительного расчета рисков неэффективной эвакуации Q , при пожаре в условиях применения ИСППР и отсутствия таковой. Штатная ситуация соответствует эвакуации людей при отсутствии пожара и факторов неопределенности. Критическая ситуация отражает условия пожара и блокирования определенных зон здания.

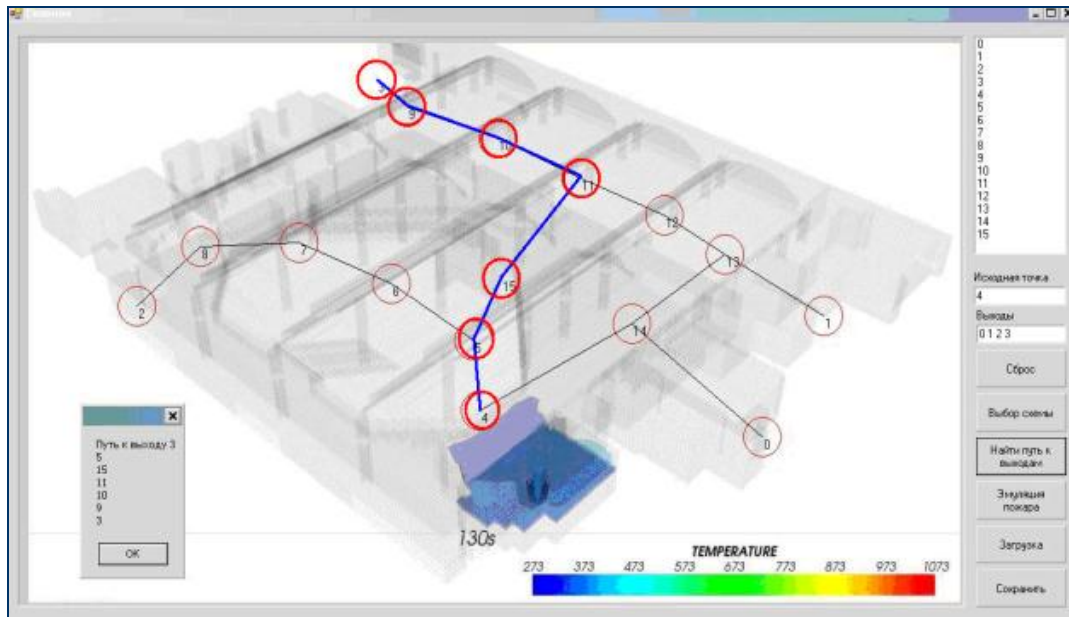


Рис. 4. Результат работы ИСППР при поиске маршрута к выходу № 3

Таблица

Выход из здания	Ситуация	$t_{\text{бл}}$, сек	t_p , сек	$t_p(\text{СППР})$, сек	P_3	Q_3	$P_3(\text{СППР})$	$Q_3(\text{СППР})$	$\frac{Q_3}{Q_3(\text{СППР})}$
№3	Штатная	288	16	12	0,93	0,07	0,947	0,053	1,3
	Критическая		12	9	0,947	0,053	0,96	0,04	1,32
№2	Штатная	288	14	11	0,939	0,061	0,952	0,048	1,27
	Критическая		10	8	0,96	0,04	0,97	0,03	1,33

Величины риска Q_3 и вероятности эвакуации P_3 определялись по формулам (1) и (2). Расчет необходимого времени эвакуации t_p проведен по методике, изложенной в п. 2.5. ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования». Возможно также использование усовершенствованных методик расчета с учетом дополнительных факторов [11]. Результаты сравнительной оценки эффективности приведены в таблице.

Из таблицы видно, что во всех рассмотренных случаях использования ИСППР вероятность эвакуации близка к единице. При этом риск неэффективной эвакуации минимален. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования рассматриваемого подхода, основанного на использовании иерархической СППР для поиска оптимальных решений в критических ситуациях, возникающих в организационно-технических системах.

ВЫВОДЫ

Анализ причин неэффективной эвакуации из зданий с массовым пребыванием людей показывает, что основной из них в подавляющем большинстве случаев является отсутствие эф-

фективной информационной и технической поддержки при эвакуации.

Рассматривается концепция трехуровневой СППР, учитывающей результаты моделирования распространения пожара, что позволяет выбирать оптимальный путь эвакуации, а также обеспечивать информационную поддержку эвакуируемых людей и техническую поддержку в ходе эвакуации.

Внедрение разработанной ИСППР позволяет снизить время эвакуации и снизить риск неэффективной эвакуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Chu Y., Zhang H., Yang R., Chen T.** Building fire smoke control strategies simulation using fire and evacuation information // *Journal of Tsingai University*. 2010. Vol. 50, no. 8. P. 1158–1162. [Y. Chu, H. Zhang, R. Yang, and T. Chen, "Building fire smoke control strategies simulation using fire and evacuation information," *Journal of Tsingai University*, vol. 50, no. 8, pp. 1158–1162, 2010.]
2. **Obes M., Post J. G., Oberijé N., Groenewegen K., Helsloot I., De Vries B.** Way finding during fire evacuation; an analysis of unannounced fire drills in a hotel at night// *Building and Environment*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2010. Vol. 45, no. 3. P. 537–548. [M. Obes, J. G. Post, N. Oberijé, K. Groenewegen, I. Helsloot, and B. De Vries, "Way

finding during fire evacuation: an analysis of unannounced fire drills in a hotel at night," *Building and Environment*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Vol. 45, no. 3. pp. 537-548, 2010.]

3. **Kondratyeva N. V., Yangirova A. F.** Information support system for passenger at the airport based on bar coding // *Proc. Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2012* (Ufa – Hamburg – Norwegian Fjords, Sep. 20–26). Ufa: UGATU, 2012. Vol. 2. P. 5–8. [N. V. Kondratyeva and A. F. Yangirova, "Information support system for passenger at the airport based on bar coding," (in Russian), in *Proc. of the Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2012*, Ufa, Russia, 2012, vol. 2. pp. 5-8.]

4. **Fridolf K., Nilsson D., Frantzych H.** Fire evacuation in underground transportation systems: a review of accidents and empirical research // *Fire Technology*. Springer Science + Business Media B. V. 2011. Vol. 2, no. 3. P. 1–22. [K. Fridolf, D. Nilsson, H. Frantzych, "Fire evacuation in underground transportation systems: a review of accidents and empirical research," *Fire Technology*, Springer Science+Business Media B.V., Vol. 2, no. 3, pp. 1-22, 2011.]

5. **Интеллектуальные** системы управления: колл. монография / Под ред. С. Н. Васильева. М: Машиностроение, 2010. 544 с. [S. N. Vasilyev (Ed.), *Intelligent Control Systems*, (in Russian). Moscow: Mashinostroyeniye, 2010.]

6. **Валеев С. С., Таймурзин М. И., Кондратьева Н. В.** Адаптивная система сбора информации в технических системах безопасности // *Автоматизация в промышленности*. 2011. № 4. С. 11–14. [S. S. Valeev, M. I. Taymurzin, and N. V. Kondratyeva, "Adaptive data collection system in technical security systems," (in Russian), *Automation in Industry*, vol. 4, pp. 11-14, 2011.]

7. **Кондратьева Н. В.** Моделирование критических ситуаций в крупных пассажирских терминалах // *Транспорт XXI века: исследования, инновации, инфраструктура: международный науч.-техн. конф.* (Екатеринбург, 15–16 нояб. 2011): матер. конф. в 2 т. Екатеринбург: УРГУПС, 2011. Вып. 97 (180), Т. 1. С. 47–53. [N. V. Kondratyeva, "Simulation of critical situations in the major passenger terminals," (in Russian), in *Proc. Of International Conf. Transport of 21 Century: Research. Innovation. Infrastructure*, Yekaterinburg, Russia, 2011, vol. 1, pp. 47-53.]

8. **Юсупова Н.И., Еникеева К.Р.** Системный анализ и модели поддержки принятия решений при стратегическом управлении аварийно-спасательным формированием // *Вестник УГАТУ*. 2013. Т. 17, № 5 (58). С. 3–11. [N. I. Yusupova, K. R. Enikeeva, "The system analysis and models of decision-making support at strategic management of rescue division," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 17, no. 5 (58), pp. 3-11, 2013.]

9. **Tuovinen H.** Validation of ceiling jet flows in a large corridor with vents using the CFD code JASMINE // *Fire Technology*. Springer Science + Business Media B. V. 1997. Vol. 33, no. 2, P. 183-186. [H. Tuovinen, "Validation of ceiling jet flows in a large corridor with vents using the CFD code JASMINE," *Fire Technology*, Springer Science + Business Media B. V., Vol. 33, no. 2, pp. 183-186, 1997.]

10. **Касьянов Н. А., Михайлов Д. В.** Компьютерное моделирование динамики опасных факторов пожара // *Вестник ВНУ им. В. Даля*. 2003. № 8 (66). С. 99–103. [N. A. Kasyanov and D. V. Mikchaylov, "Computer simulation of dynamics of fire dangerous factors," (in Russian), *Vestnik Dal' VNU* (scientific journal of Dal' Eastern Ukrainian National University), no. 8 (66), pp. 99-103, 2003.]

11. **Пузач С. В., Смагин А. В., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С.** Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. 222 с. [S. V. Puzach, A. V. Smagin, O. S. Lebedchenko, and E. S. Abakumov, *New ideas on the calculation of the required time of evacuation of people and the effectiveness of the use of portable filter self-rescuers on fire during the evacuation*, (in Russian). Moscow: Russian Academy of SFS MES, 2007.]

ОБ АВТОРАХ

ВАЛЕЕВ Сагит Сабитович, проф., зав. каф. информатики. Дипл. инж.-электромех. (УАИ, 1980). Д-р техн. наук. (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. интеллект. упр. сложными объектами и орг.-техн. системами.

КОНДРАТЬЕВА Наталья Владимировна, доц. каф. информатики. Дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 1998). Канд. техн. наук по тепл., электроракетн. двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. имитационного моделирования и эффективности сл. систем.

ЯНГИРОВА Алия Фаритовна, соискатель каф. информатики. Дипл. инж. в обл. моделир. и исслед. операций в орг.-техн. системах (УГАТУ, 2009). М-р техн. и технол. в обл. автоматизации и управления орг.-техн. систем.

METADATA

Title: The hierarchical decision support system for evacuation of people from a building in an emergency.

Authors: S. S. Valeev¹, N. V. Kondratyeva², A. F. Yangirova³

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹vss2000@mail.ru.

Language: Russian.

Source: *Vestnik UGATU* (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 1 (62), pp. 161-166, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The problem of constructing a hierarchical decision support system in critical situations during the evacuation of people from buildings based on modeling the spread of fire is considered. It allows to determine the optimal evacuation routes.

Key words: The hierarchical decision support system; evacuation; database; modeling; optimal evacuation route

About authors:

VALEEV, Sagit Sabitovich, Prof., Dept. of Informatics. Dipl. Eng. Electromechanics (Ufa State Aviation Technical Univ., 1980). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 1991), Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2005).

KONDRATYEVA, Natalya Vladimirovna, Ass. Prof., Dept. of Informatics. Dipl. Eng. (UGATU, 1998). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2004).

YANGIROVA, Aliya Faritovna, Lecturer, Dept. of Informatics. Dipl. Eng. (UGATU, 2009). Master of Technique & Technology (UGATU, 2011).