На правах рукописи

Теплова Виктория Валерьевна

Моделирование и разработка структурно-функциональной организации системы поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из образовательного учреждения

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Курск – 2012

Работа выполнена в Юго-Западном государственном университете

Научный руководитель доктор технических наук, профессор,

заслуженный деятель науки РФ,

**Сизов Александр Семенович**

Официальные оппоненты **Димов Эдуард Михайлович**

доктор технических наук, профессор,

Поволжский государственный университет

телекоммуникаций и информатики, профессор

кафедры Экономических информационных систем

**Тутов Александр Анатольевич**

кандидат технических наук,

комитет агропромышленного комплекса

Правительства Курской области, начальник

отдела информационного обеспечения

Ведущая организация **Всероссийский научно-исследовательский**

**институт по проблемам гражданской обороны**

**и чрезвычайных ситуаций МЧС России (г. Москва)**

Защита диссертации состоится «18» мая 2012 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.105.02 при Юго-Западном государственном университете, по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94 (конференц-зал)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета

Автореферат разослан «17» апреля 2012 г.



Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.105.02 Е.А. Титенко

**общая характеристика работы**

**Актуальность темы исследования.**

Современное образовательное учреждение (ОУ) представляет собой сложную социально-экономическую систему, в которой главным и наиболее активным элементом выступает человек. Одним из направлений управления этой системой является обеспечение поддержки принятия решений при эвакуации людей в случае возникновения пожара как техногенной чрезвычайной ситуации (ЧС).

В настоящее время в нашей стране сохраняется тенденция роста числа пожаров на объектах жилого, социально-бытового и культурного назначения и количества погибших людей в них. Участившиеся в последнее время пожары в ОУ показывают, что обеспечение безопасности людей при возникновении этой чрезвычайной ситуации во многом зависит от своевременности и беспрепятственности эвакуации и требует научно обоснованных планов эвакуации.

Оценки эвакуационных планов связаны с использованием математического моделирования движения потоков людей внутри здания, теоретические основы которого были заложены профессором С.В. Беляевым. Дальнейшие исследования связаны с именами А.И. Милинского, разработавшего графоаналитический метод расчета общего времени эвакуации, и В.М. Предтеченского, получившего эмпирические зависимости скорости движения людей от плотности людского потока.

Современный этап исследований характеризуется использованием ЭВМ. Большой вклад в развитие компьютерных имитационных моделей эвакуации (КИМЭ) внесли В.В. Холщевников, Д.А. Самошин, R. Fahy, E. Kuligowski и др. Однако, разработанные модели имеют ограничение, обусловленное отсутствием возможностей учета специфики ОУ и возникновения «конфликтных» ситуаций при эвакуации.

Здания ОУ по своим функциональным свойствам отличаются от промышленных, административных и жилых сооружений. В них есть как небольшие офисные помещения (например – помещения административно-хозяйственных служб), так и большие, объемные помещения (лекционные поточные аудитории, читальные залы и др.). Особенно усложняется задача эвакуации из лекционных аудиторий в связи с одновременным нахождением в них большого числа людей и низкой пропускной способностью проходов. Также в ОУ есть как помещения с малым присутствием горючих материалов (спортзал), так и помещения со значительным заполнением горючими материалами (книгохранилище). Эти обстоятельства обусловливают необходимость рассматривать ОУ как сложную организационную систему, состоящую из множества взаимосвязанных подсистем, различающихся по своим свойствам, назначению и требуемому уровню безопасности.

Следует также отметить, что особенностью зданий ОУ является нестационарность распределения людей по внутренним помещениям здания, связанная с расписанием занятий. В соответствии с учебным расписанием локальная концентрация людей внутри здания изменяется несколько раз в сутки. Это обстоятельство приводит к необходимости учета зависимости планов эвакуации от времени суток, а также требует оценки учебного расписания с точки зрения организации беспрепятственного движения людей при эвакуации. Решение этих задач для зданий ОУ осложняется наличием моментов времени, когда люди переходят из одних помещений в другие, в частности во время перерывов между занятиями.

При решении задач принятия управленческих решений по эвакуации людей при пожаре в ОУ необходимо рассматривать создавшуюся ситуацию как сложный динамический объект со специфическими характеристиками и свойствами, а также необходимо разработать основы создания систем информационной поддержки принятия решений в условиях пожара на основе имитационного моделирования.

Таким образом, в настоящее время имеет место **противоречие**, состоящее в том что, с одной стороны существует объективная необходимость повышения оперативности сбора, обработки данных и принятия решений при управлении процессом эвакуации людей из образовательного учреждения и с другой стороны отсутствуют адекватные модели и автоматизированные средства оценки пропускной способности маршрутов эвакуации в конкретных условиях.

В связи с этим **целью диссертационной работы** является разработка структурно-функциональной организации системы поддержки принятия решений для повышения оперативности управления эвакуацией людей из образовательного учреждения.

В соответствии с целью **научной задачей диссертационной работы** является разработка моделей и алгоритмов формирования и движения людского потока в образовательных учреждениях, учитывающих особенности и структуру препятствий на путях движения и позволяющих определить пропускную способность маршрута эвакуации из образовательного учреждения.

В соответствии с поставленной целью и научной задачей в работе решаются следующие **частные задачи:**

- анализ современного состояния вопроса автоматизации управления процессом эвакуации людей при пожаре;

- разработка структурно-системной модели процесса управления эвакуацией людей из образовательных учреждений;

- разработка математической модели и алгоритма процесса эвакуации людей из аудиторий при возникновении пожара;

- разработка структурно-функциональной организации системы поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из образовательных учреждений и определение экспертных оценок времени эвакуации.

**Объектом исследования** является система управления пожарной безопасностью в образовательном учреждении.

**Предметом исследования** являются модели, алгоритмы и средства поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из образовательного учреждения.

**В работе использованы методы** и положения теорий: управления в организационно-технических системах, математического и имитационного моделирования, множеств, террайнов, сетей Петри, случайных импульсных потоков, а также методы проектирования сложных информационных систем.

**Научная новизна результатов, выносимых на защиту.** В диссертационной работе получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Структурно-системная SADT-модель управления эвакуацией людей, особенностью которой является описание специфики образования и движения людских потоков в образовательном учреждении и управления ими.

2. Математическая модель формирования и движения людского потока, особенностью которой является описание преодоления препятствий аудиторий на основе теории террайнов и их освобождения на основе теории случайных импульсных потоков, позволяющей определить пропускную способность помещений образовательного учреждения.

3. Структурно-функциональная организация системы поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из аудиторий образовательного учреждения, особенностью которой является введение блоков: моделирования формирования людского потока, оценки пропускной способности выходов аудиторий, описания схемы помещения, а также связей между ними, которое позволяет определить время и маршруты эвакуации при различных вариантах движения людских потоков.

**Практическая ценность работы** заключается в следующем:

1. Разработанная модель процесса эвакуации людей, представленная в виде структурно-системного описания, является теоретической основой построения системы поддержки принятия решений управления эвакуацией людей из образовательного учреждения.

2. Математическая модель описания людского потока, представленная в диссертационной работе, позволяет определить пропускную способность маршрута эвакуации, формировать близкие к оптимальным планы эвакуации людей из аудиторий образовательного учреждения, а ее применение в системе поддержки принятия решений обеспечивает сокращение времени эвакуации и уменьшение числа «конфликтных» ситуаций на наиболее загруженных участках пути.

3. Предложенная в диссертационной работе структурно-функциональная организация системы поддержки принятия решений обеспечивает повышение качества (оперативность и обоснованность) управленческих решений по эвакуации людей из аудиторий образовательного учреждения при пожаре.

**Связь темы исследования с целевыми программами.**

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по теме «Разработка методологических основ создания информационно-аналитических систем органов власти субъектов РФ для мониторинга обстановки, прогнозирования возникновения природных и техногенных катастроф, а также ликвидации их последствий», а также в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» по проекту 2.2.3.2/6979 «Разработка и создание имитационных моделей прогнозирования и оценки рисков пожароопасных ситуаций в организациях высшего профессионального образования».

Исследование частично поддержано федеральной целевой программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по теме «Разработка теоретических основ построения распределенных информационно-аналитических систем, функционирующих на базе единого информационного пространства».

**Реализация и внедрение.** Результаты диссертационной работы внедрены в ОКУ «ЦОД ГОЧС Курской области» с целью развития возможностей информационно-телекоммуникационной системы Главного управления МЧС по Курской области по формированию управленческих решений по эвакуации людей при пожаре, а также в НИЦ (г. Курск) ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ. Научно-методические результаты, полученные в диссертационной работе, используются в учебном процессе Юго-Западного государственного университета (ЮЗГУ) в рамках дисциплин «Имитационное моделирование экономических процессов», «Основы управления социально-экономическими системами», «Компьютерные системы поддержки принятия решений», а также в учебном процессе Курской академии государственной и муниципальной службы (КАГМС) в рамках дисциплин «Защита территорий в чрезвычайных ситуациях» и «Устойчивость объектов экономики в чрезвычайных ситуациях».

**Апробация работы.**

Основные положения и научные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах: II Международной молодежной научной конференции «Молодежь и XXI век» (г. Курск), IX Международной конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации (Распознавание – 2010)» (г. Курск), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Наука и практика: от фундаментальных исследований до инноваций» (г. Екатеринбург), IV Международной научно-практической конференции «Наука в современном мире» (г. Москва), II Международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий» (г. Новосибирск), Международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии – 2011» (г. Пенза). Результаты диссертационной работы обсуждались на кафедре Информационных систем и технологий Юго-Западного государственного университета.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 15 научных работ, в том числе 6 статей в рецензируемых научных журналах и изданиях.

**Личный вклад автора.** В работах, выполненных в соавторстве и перечисленных в конце автореферата, лично автором в [1, 2, 7, 11, 12] разработана математическая модель формализованного описания аудиторий на основе теории террайнов; в [3] – теоретико-множественный подход к описанию ситуации; в [4, 14] – имитационная модель эвакуации на основе теории террайнов; в [5] – подход к оценке времени освобождения аудитории ОУ в процессе эвакуации; в [6] – модель оценки времени эвакуации людей с этажа образовательного учреждения.

**Соответствие паспорту специальности.**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.13.10 Управление в социальных и экономических системах: по пункту 2 «Разработка методов формализации и постановки задач управления в социальных и экономических системах» в части формализации задачи построения структурно-системной модели управления эвакуацией людей из ОУ при пожаре; по пункту 6 «Разработка и совершенствование методов получения и обработки информации для задач управления социальными и экономическими системами» в части разработки подхода к моделированию формирования и движения людского потока при пожаре.

**Структура и объем диссертационной работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, библиографического списка (120 наименований) и приложений. Основное содержание диссертации изложено на 125 страницах машинописного текста, включает 10 таблиц, 36 рисунков.

**основное содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость; приведены сведения об апробации результатов работы.

**Первый раздел** посвящен анализу современного состояния вопроса автоматизации управления процессом эвакуации людей при пожаре.

Рассмотрена общая характеристика процесса поддержки управленческих решений по эвакуации людей при пожаре. Сформулированы основные требования к системам оперативного управления (СОУ) в случае возникновения пожара в части принятия решений.

Формализация описания пожара в ОУ базировалась на понятии «сложная система». В общем случае ситуация возникновения пожара S(t) может быть описана кортежем вида:

S(t)=<X(t), F(t), U(t), C(t)>,

где X(t) – вектор переменных состояния обстановки в ОУ при возникновении пожара; F(t) – вектор дестабилизирующих факторов;U(t) – вектор управляющих воздействий, направленных на уменьшение масштабов и последствий развития пожара; C(t) – план эвакуации людей и ликвидации пожара.

Данное описание отражает необходимость комплексного рассмотрения как характера развития пожара, так и мер, направленных на предотвращение его негативных последствий.

Типовая структура СОУ в случае возникновения и развития пожара может быть представлена в виде схемы, представленной на рис. 1.

Ресурсы для эвакуации людей и ликвидации пожара

Подсистема принятия решений

Подсистема планирования выбора ресурсов

Подсистема управления ресурсами

F(t)

X(t)

U(t)

C(t)

Решение об эвакуации людей и ликвидации пожара

Пожар

Рис. 1 Типовая структурная схема системы оперативного управления в случае возникновения пожара

В разделе с учетом особенностей ОУ приведена схема оперативного управления эвакуацией людей из аудиторий.

При построении СОУ определяющим обстоятельством является математическая модель описания динамики пожара. В связи с этим проведен анализ существующих подходов к описанию динамики развития пожара (как техногенной чрезвычайной ситуации), в результате которого сделан вывод о том, что известные модели ориентированы на описание процесса развития пожара и прогноза его последствий. В то же время недостаточно разработаны модели, предназначенные для описания процессов, связанных с оценкой сложившейся обстановки, разработкой планов эвакуации людей и управления ресурсами, привлекаемыми для эвакуации и ликвидации пожара.

На основе анализа отечественной и зарубежной литературы представлена оценка современного состояния информационного обеспечения управления процессом эвакуации из аудиторий ОУ. Приведена сравнительная характеристика трех основных моделей людского потока: упрощенной аналитической, имитационно-стохастической и индивидуально-поточной.

В работе дана краткая характеристика 16 наиболее известных систем эвакуации людей при пожаре. Проведен анализ 4 систем эвакуации, официально используемых при проектировании зданий и сооружений с массовым пребыванием людей, который показал, что в этих системах не учитывается специфика формирования людского потока в ОУ, а также не оценивается полное время эвакуации с учетом возникновения «конфликтных» ситуаций на выходах аудитории.

На основе выполненного анализа определен круг частных научных и практических задач, решение которых позволит повысить оперативность управления эвакуацией людей из ОУ при пожаре.

**Второй раздел** посвящен разработке структурно-системной модели процесса эвакуации людей из ОУ.

Для обеспечения процесса управления эвакуацией разработана методология формирования описаний обстановки при моделировании рассматриваемого процесса. Оценка обстановки является неотъемлемым этапом процесса поддержки принятия управленческих решений по эвакуации людей из аудиторий. При этом формирование описания обстановки осуществляется путем последовательного объединения данных из распределенных источников.

В связи с этим выделены специфические особенности данных, используемых при формировании описаний обстановки, а именно они: являются распределенными и гетерогенными, характеризуются неточностью, поступают в виде асинхронных потоков, характеризуются неопределенностью и случайностью. Исходя из приведенных особенностей данных, в работе сформулированы требования к автоматизированным системам управления эвакуацией с точки зрения формирования описаний обстановки.

В рамках диссертационной работы разработана структурно-системная модель процесса управления эвакуацией людей из аудиторий ОУ при пожаре (), представляющая собой совокупность функциональной, информационной и поведенческой моделей процесса управления:

,

где , ,  – соответственно функциональная, информационная и поведенческая модели процесса управления эвакуацией.

Функциональная модель , для построения которой использована методология IDEF0, описывается совокупностью процессов ситуационного управления без учета их временных характеристик:

,

где  – функции, описывающие процессы управления эвакуацией людей в условиях возникновения и развития пожара;  – функциональные связи.

Информационная модель  процесса управления эвакуацией людей из аудиторий при пожаре, для построения которой использована нотация IDEF1X, базирующаяся на концепции «сущность – связь», описывается формулой:

,

где  – сущности;  – связи;  – атрибуты.

Поведенческая модель  процесса управления эвакуацией, для построения которой использована математическая модель в виде модифицированной сети Петри, отражает временные характеристики и взаимосвязь протекающих при пожаре процессов, сущность которых состоит в преобразовании параметров текущей обстановки во времени, и позволяющей прогнозировать характеристики реализуемого сценария эвакуации в зависимости от выбранного плана управления. Модифицированную сеть Петри, моделирующую процесс управления эвакуацией, можно представить шестеркой:

,

где  – множество позиций, соответствующих состояниям, при этом  – подмножество состояний развития пожара, а  – подмножество состояний, определяющих управляющие решения;  – множество переходов;  – множество параметров маркеров; ,  – функции инцидентности множеств позиций и переходов;  – начальная разметка сети, состоящая в наличии маркеров с заданными параметрами в определенных позициях-состояниях.

Для формализации описания пожара как элемента внешней среды, влияющего на эвакуацию, предложен теоретико-множественный подход, представленный в общем виде следующим образом:

,

где Sit – ситуация пожара; V – внутренние факторы системы (скопление большого количества людей, пропускная способность путей эвакуации и т.д.); W – внешние факторы окружающей среды (погодные условия, удаленность источников воды и т.д.); T – множество моментов времени; U – управляющие воздействия.

В качестве социально-экономической системы S рассмотрено ОУ. Функциональное описание рассматриваемой системы SФ в общем виде, согласно Дружинину, Конторову, задано шестеркой:

,

где SФ – функциональное описание системы;

T – множество моментов времени;

x – множество мгновенных значений входных воздействий (скорость распространения огня, скорость горения материалов и т.д.);

 – множество допустимых входных воздействий;

Q – множество параметров системы (количество людей, пропускная способность дверей и коридоров и т.д.);

y – множество значений выходных величин (время эвакуации и т.д.);

 – множество допустимых выходных величин.

Рассматриваемая социально-экономическая система S в общем случае выполняет N функций , зависящих от n процессов . В этом случае эффективность Э выполнения s-й функции можно определить, согласно Дружинину, Конторову, как:



Процессы  проявляются на выходе системы; это процессы взаимодействия со средой. Будем полагать, что они определяются:

1. параметрами системы  (количество людей, пропускная способность маршрута эвакуации и т.д.);

2. активными противодействующими параметрами среды  непосредственно направленными против системы для снижения ее эффективности (скорость горения материалов, скорость распространения огня и т.д.);

3. нейтральными (случайными) параметрами среды  (погодные условия, удаленность источников воды и т.д.);

4. благоприятствующими параметрами среды , непосредственно направленными на повышение эффективности системы.

Имея в виду, что , а , можно представить функциональное описание системы следующим образом:



Входами системы в этом описании являются элементы множества , выходами – значения Qj. Исходя из выше изложенного, возникновение в системе пожара может быть задано условными порогами ограничения эффективности :



Следовательно, если выполняется

1. первое неравенство системы, тогда рассматриваемая социально-экономическая система S находится в устойчивом состоянии;

2. второе неравенство системы, тогда будем полагать, что в системе S возник пожар.

**Третий раздел** посвящен разработке математической модели и алгоритма процесса эвакуации людей из аудиторий при возникновении пожара.

На основе использования теории террайнов, теории случайных импульсных потоков и графо-аналитической модели А.И. Милинского формализована задача управления людским потоком (его формированием и движением) на этаже ОУ, графическая интерпретация представлена на рис. 2.

1 –модель на основе теории террайнов

2 –модель на основе случайных импульсных потоков

3 – графо-аналитическая модель людского потока А.И. Милинского

1

1

1

1

1

1

2

2

2

2

2

2

3

3

3

3

Рис. 2 Модель формирования и движения людского потока

При формализации задачи управления людским потоком разработана математическая модель формализованного описания аудиторий на основе теории террайнов. Под террайном понимается толерантное пространство с заданным отношением видимости, внутри которого расположены препятствия, представляющие собой замкнутые непересекающиеся многоугольники с углами 90° и 270°. Построены модели для основных типов аудиторий в ОУ: аудитории для проведения семинарских (практических) занятий; специализированные лаборатории, в том числе компьютерные классы; поточные аудитории. В общем случае построение модели может быть разбито на следующие этапы (рис. 3).

Построение террайна аудитории

Разбиение террайна аудитории на классы видимости

Построение графа связей классов видимости

Расчет кратчайшего маршрута эвакуации из аудитории

1

2

3

4

Рис. 3 Этапы построения математической модели формализованного описания аудиторий на основе теории террайнов

На первом этапе строится террайн аудитории. На втором этапе построенный террайн разбивается на классы видимости с последующим применением процедуры редукции числа классов. В результате получается граф связей классов, который демонстрирует взаимосвязь классов видимости, выявленных в пределах рассматриваемого террайна. На третьем этапе по полученному графу с использованием алгоритма Дейкстры построения дерева кратчайших путей между заданной вершиной и всеми другими определяется кратчайший путь освобождения аудитории.

Базируясь на оценке кратчайшего пути движения людей, в диссертационной работе проведена оценка пропускной способности путей эвакуации при возникновении пожара. Возможные передвижения людей в помещении определены при помощи случайных импульсных потоков, слияние которых в суммарный происходит перед дверным проемом. При этом возникает совпадение случайных импульсных потоков, которое графически представлено на рис. 4.

X1

X2

XΣ

Поток

прохода

t1

t2

tk

t

t

t

t

Рис. 4 Формирование потока совпадений

На рис. 4 обозначено:  – образующиеся независимые людские потоки,  – суммарный поток,  – время прохождения дверного проема одним человеком из каждого людского потока,  – время совпадения потоков. В результате перекрытия времени прохождения дверного проема одним человеком из каждого людского потока образуется импульс совпадений, который по длительности превышает время прохождения дверного проема, т.е. возникает «конфликтная» ситуация. Предложена схема оценки времени освобождения аудитории, которая показана на рис. 5.

Построение террайна помещения и дерева кратчайших маршрутов

Определение количества независимых людских потоков в начальный момент времени

Расчет плотности  и интенсивности  для каждого людского потока

Расчет интенсивности  суммарного потока, пропускной способности  дверного проема и времени  движения через дверной проем

Сравнение  и 

Выявление «конфликтной» ситуации и определение параметров суммарного потока

Оценка времени освобождения аудитории Пауд

Рис. 5 Схема оценки времени освобождения аудитории образовательного учреждения

В результате выявления «конфликтных» ситуаций в процессе эвакуации может быть принято решение об изменении пути эвакуации или использовании помимо дверного проема дополнительных путей эвакуации (окон, запасных выходов и др.).

Для учета времени эвакуации с этажа образовательного учреждения для моделирования движения потока людей в ОУ использовался аппарат сетей Петри. Структура всего этажа разбивается на отдельные участки, которые можно условно разделить на две группы: пути следования людей (коридоры, лестницы и т.д.) и помещения ОУ (аудитории для проведения семинарских занятий, специализированные лаборатории, в том числе компьютерные классы, поточные аудитории). Оценка времени освобождения аудиторий ОУ представлена на рис. 5. Для оценки времени движения по путям следования использовалась графо-аналитическая модель А.И. Милинского, согласно которой рассчитывается время перехода , необходимое для перехода всех людей , находящихся на элементарном участке пути следования i на последующий участок i+1.

Предложена схема формализации задачи оценки времени эвакуации людей с этажа ОУ, которая представлена на рис. 6.

Таким образом, управление процессом эвакуации заключается в разработке рекомендаций по изменению структуры препятствий, расширению дверных проемов, использованию дополнительных путей эвакуации и т.д., с целью определения такого порядка эвакуации, при котором общее время эвакуации будет минимальным.

Ввод исходных данных

Определение случайных значений скорости свободного движения и времени начала эвакуации из помещений

Выбор и подготовка маршрута эвакуации к расчету

Расчет параметров движения людского потока по маршруту эвакуации

Определение параметров потока на каждом элементарном участке маршрута эвакуации в фиксированные моменты времени

Вывод результатов расчета выбранного маршрута эвакуации

Рис. 6 Схема формализации задачи оценки времени эвакуации людей с этажа образовательного учреждения

**Четвертый раздел** посвящен разработке структурно-функциональной организации системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении эвакуацией людей из аудиторий ОУ, а также информационного обеспечения этой системы.

С точки зрения повышение оперативности эвакуации людей из помещений одним из основных блоков системы обеспечения пожарной безопасности является модуль поддержки принятия решений. Его основным назначением является формирование плана эвакуации с целью повышение качества управленческих решений по эвакуации.

В связи с этим разработан алгоритм работы СППР, отражающий основные этапы работы модуля поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из аудиторий ОУ, представленный на рис. 7. Исходными данными для работы алгоритма являются модели аудиторий ОУ; количество людей в каждой аудитории; пропускная способность путей эвакуации и т.д. Результатом работы алгоритма является план эвакуации людей из аудиторий ОУ в сложившейся обстановке, разработанный на основе сформированного сценария управления.

На основе алгоритма разработана структурно-функциональная организация СППР при управлении эвакуацией людей, которая представлена на рис. 8. Ее особенностью является наличие: базы моделей элементов маршрута эвакуации, включающей модели аудиторий и помещений ОУ, учитывающие структуру препятствий; модулей формирования террайна аудитории, расчета кратчайшего пути эвакуации, формирования людского потока на выходах аудитории, оценки пропускной способности путей эвакуации, позволяющих определить время и маршруты эвакуации при различных вариантах движения людских потоков.

Начало

Исходные данные: модели аудиторий, время t, количество людей в аудитории, пропускная способность путей эвакуации, возможные зоны возгорания, скорость распространения пламени, время сгорания материалов и оборудования

Запрос изображения с камеры

Распознавание изображения

Построение террайна аудитории

Сравнение с моделью аудитории

Расчет нового кратчайшего пути эвакуации

Кратчайший путь эвакуации прежний

Определение местоположения людей в аудитории

Определение количества людских потоков в момент времени t

Расчет плотности и интенсивности каждого людского потока

Расчет интенсивности суммарного потока

Расчет времени движения через дверь

Выявление «конфликтной» ситуации в районе двери

Оценка времени освобождения аудитории с учетом «конфликтной» ситуации TЭ

Расчет возможного времени эвакуации TЭ

Расчет значений критического времени опасных факторов пожара: потеря видимости, повышенная температура, концентрация токсичных продуктов горения, пониженное содержание кислорода

Конец

Сравнение tпер и TЭ

Оценка возможного риска гибели людей

Формирование сценария управления

Поиск альтернативных путей эвакуации

Формирование плана эвакуации

Несовпадение

Совпадение

Есть

Нет

tпер≤TЭ

tпер>TЭ

Выходные данные: план эвакуации

Выбор минимального из рассчитанных значений

Расчет времени перекрытия эвакуационных путей tпер

t=1, 24

Рис. 7 Алгоритм работы СППР при управлении эвакуацией людей из аудиторий ОУ

Данные мониторинга

Средства анализа разнородных данных

Средства моделирования обстановки

Модуль формирования террайна аудитории

База моделей обстановок

База моделей элементов маршрута эвакуации

Изображение с камер наблюдения

Модуль расчета кратчайшего пути эвакуации

Модуль формирования людского потока на выходах аудитории

Модуль прогнозирова-ния развития пожара

Модуль оценки пропускной способности путей эвакуации

Модуль формирования альтернативных сценариев управления

Модуль отображения

Модуль принятия решения и формирования плана эвакуации

Модуль управления эвакуацией

АРМ оператора

СОУЭ

Модуль обучения и настройки системы

Рис. 8 Структурно-функциональная организация системы поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из аудиторий ОУ

Модуль формирования террайна аудитории и модуль расчета кратчайшего пути эвакуации позволяют построить модель формализованного описания аудиторий ОУ, на основе которой в модулях формирования людского потока на выходах аудитории и оценки пропускной способности путей эвакуации проводится оценка времени эвакуации людей с этажа ОУ. В дальнейшем на основе полученной информации формируется сценарий управления эвакуацией и рекомендации по ее проведению.

Внедрение разработанной структурно-функциональной организации СППР позволяет расширить оперативно-технические возможности автоматизированных средств управления процессом эвакуации за счет: автоматического сбора информации от периферийных и интеллектуальных устройств, формирования и передачи команд управления, автоматического отображения информации о возникновении пожара на мониторе оператора, представления информации о динамике изменения опасных факторов пожара, автоматического или по запросу отображения на мониторе оператора планов эвакуации с указанием возможного количества и места нахождения людей в помещениях, автоматического контроля времени начала эвакуации, автоматического контроля движения людей по маршруту эвакуации с возможностью его корректировки в реальных условиях.

С использованием метода Дельфи проведена экспертная оценка степени влияния перечисленных оперативно-технических возможностей на оперативность эвакуации, которая показала, что при использовании информационного обеспечения системы поддержки принятия управленческих решений улучшение в среднем составит 25 – 30% в зависимости от ситуации. Состав и характеристика экспертной группы приведены в диссертационной работе.

Приводятся результаты практического внедрения информационного обеспечения системы поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из ОУ.

**основные результаты и выводы**

В диссертационной работе решена научная задача разработки моделей и алгоритмов формирования и движения людского потока в ОУ, учитывающих особенности и структуру препятствий на путях движения и позволяющих определить пропускную способность маршрута эвакуации из ОУ.

В ходе решения этой задачи получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ современного состояния вопроса автоматизации управления процессом эвакуации людей при пожаре, в ходе которого в интересах повышения его эффективности показана необходимость моделирования и разработки структурно-функциональной организации информационной поддержки управления эвакуацией с учетом особенностей ОУ;

2. Разработана структурно-системная SADT-модель процесса управления эвакуацией людей из ОУ, особенностью которой является описание специфики формирования и движения людских потоков в ОУ и управления ими;

3. Разработана математическая модель и алгоритм процесса эвакуации людей из аудиторий при возникновении пожара, особенностью которой является описание преодоления препятствий аудиторий на основе теории террайнов и их освобождения на основе теории случайных импульсных потоков, позволяющей определить пропускную способность помещений ОУ;

4. Разработана структурно-функциональная организация системы поддержки принятия решений по управлению эвакуацией людей из аудиторий ОУ, особенностью которой является введение блоков: формирования людского потока, оценки пропускной способности выходов аудиторий, описания схемы помещения и связей между ними, которое позволяет уточнить экспертные оценки времени эвакуации и маршруты эвакуации при различных вариантах движения людских потоков.

**основные публикации по теме диссертации**

**в рецензируемых научных журналах:**

1. Сизов, А.С. Модель формализованного описания аудиторий и процесса эвакуации людей из них при пожаре / А.С. Сизов, С.Ю. Сазонов, С.А. Кужелева, В.В. Теплова // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. №11. С. 43 – 46.

2. Теплова, В.В. Математическое моделирование процесса эвакуации людей из помещения при пожаре на основе теории террайнов / В.В. Теплова, А.С. Сизов, А.Т. Миргалеев // Телекоммуникации. 2011. №3. С. 43 – 48.

3. Сизов, А.С. Подход к оценке эффективности функционирования системы мониторинга ситуаций на основе теории ценности информации / А.С. Сизов, Д.В. Титов, В.В. Теплова // Телекоммуникации. 2011. №6. С. 2 – 6.

4. Катыхин, А.И. Подход к формализации оперативной игры при создании автоматизированной обучающей системы / А.И. Катыхин, В.В. Макеев, А.С. Сизов, В.В. Теплова // Известия ЮЗГУ. 2011. №3. С. 65 – 71.

5. Титов, В.С. Оценка времени освобождения аудиторий образовательного учреждения при эвакуации людей / В.С. Титов, В.В. Теплова // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. №11. С. 77 – 80.

6. Миргалеев, А.Т. Подход к формализации задачи оценки времени эвакуации людей с этажа образовательного учреждения в информационно-аналитических системах пожарной безопасности / А.Т. Миргалеев, В.В. Теплова // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. №2. С. 45 – 49.

**В других изданиях:**

7. Теплова, В.В. Подход к построению математической модели процесса эвакуации студентов из аудитории / В.В. Теплова, А.С. Сизов // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2010: сб. материалов IX международной конференции. Курск: КГТУ, 2010. С. 238 – 240.

8. Теплова, В.В. Метод имитационного моделирования функционирования системы пожарной безопасности в образовательных учреждениях / В.В. Теплова // Наука и практика: от фундаментальных исследований до инноваций: сборник научных трудов. Екатеринбург, 2010. С. 68 – 70.

9. Теплова, В.В. Вариант структурно-функциональной организации системы обеспечения пожарной безопасности в образовательном учреждении / В.В. Теплова // Интеллектуальных потенциал XXI века: ступени познания: сборник материалов IV студенческой научно-практической конференции: в 2-х частях. Часть 2. Новосибирск: НГТУ, 2010. С. 62 – 66.

10. Теплова, В.В. Системный подход к моделированию процесса управления противопожарной деятельностью / В.В. Теплова // Наука в современном мире: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. М.: «Спутник+», 2011. С. 189 – 191.

11. Миргалеев, А.Т. Модель процесса эвакуации людей при пожарах и ее использование в информационно-аналитических системах пожарной безопасности / А.Т. Миргалеев, В.В. Теплова // Инновации в информационно-аналитических системах: сб. науч. трудов Вып. 1. Курск: Науком, 2011. С. 113 – 119.

12. Миргалеев, А.Т. Методический аппарат имитационного моделирования процесса управления противопожарной деятельностью в информационно-аналитических системах пожарной безопасности / А.Т. Миргалеев В.В. Теплова // Инновации в информационно-аналитических системах: сб. науч. трудов Вып. 1. Курск: Науком, 2011. С. 106 – 112.

13. Теплова, В.В. Функциональное описание возникновения пожароопасной ситуации в образовательном учреждении / В.В. Теплова // Перспективы развития информационных технологий: сборник материалов III Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. Часть 2. Новосибирск: НГТУ, 2011. С. 245 – 248.

14. Сизов, А.С. Формализация процесса эвакуации людей из помещения для создания автоматизированной обучающей игровой системы / А.С. Сизов, А.И. Катыхин, В.В. Теплова, В.В. Макеев // Современные информационные технологии: сборник статей Международной научно-технической конференции, Выпуск 13. Пенза: ПГТА, 2011. С. 77 – 81.

15. Теплова, В.В. Методический аппарат математического моделирования процесса управления эвакуацией людей из аудиторий образовательного учреждения / В.В. Теплова // Перспективы развития современного научного знания: сборник научных трудов. Чебоксары: Учебно-методический центр, 2011. С. 257 – 262.

Подписано в печать 12.04.2012. Формат 60х84 1/16.

Печатных листов 1,1. Тираж 120 экз. Заказ \_\_\_\_\_.

Юго-Западный государственный университет

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94 .