



На правах рукописи

Морозов Роман Викторович

**МОДЕЛЬ И МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОЖАРНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ СФЕРЫ ОБРАЗОВАНИЯ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(информатика, вычислительная техника, управление)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, г. Красноярск.

Научный руководитель: Ноженкова Людмила Федоровна
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Лепихин Анатолий Михайлович
доктор технических наук,
ФГБУН Специальное конструкторско-
технологическое бюро «Наука» КНЦ СО РАН
г. Красноярск, отдел «Информационные технологии
и методы риск-анализа», зам. директора по научной
работе, заведующий отделом

Николайчук Ольга Анатольевна
доктор технических наук,
ФГБУН Институт динамики систем
и теории управления имени В.М. Матросова
СО РАН, г. Иркутск, лаборатория 4.3 Информа-
ционных технологий исследования природной и
техногенной безопасности, старший научный
сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный технологический
университет», г. Красноярск

Защита состоится 04 февраля 2016 года в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 999.007.02 на базе ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и ФГБУН Института вычислительного моделирования СО РАН по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26Б, СФУ, уд. УЛК 115.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета и на сайте: <http://research.sfu-kras.ru/attestation/dissertations>.

Автореферат разослан «29» декабря 2015 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бронов
Сергей Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Развитие методологии системного анализа обусловлено необходимостью решения сложных системных проблем в различных прикладных областях. К числу таких проблем относится проблема поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска в зданиях и сооружениях сферы образования, которая представляет собой актуальную системную проблему, обладающую характерными признаками [Новосельцев В.И., 2006]: комплексностью, многоаспектностью и слабой формализуемостью.

Актуальность проблемы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска в зданиях и сооружениях сферы образования обусловлена, с одной стороны, необходимостью снижения уровня пожарного риска и с этой целью повышения эффективности управления пожарной безопасностью на объектах образования. С другой стороны, необходимость обеспечения комплексной автоматизированной поддержки управленческих решений по снижению пожарных рисков в зданиях сферы образования обусловлена сложностью проблемы расчета пожарного риска, требующей решения совокупности задач по моделированию процессов распространения пожара и эвакуации людей, обработке и анализу результатов моделирования и формированию эффективных управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности. Несмотря на активные исследования в этой области в настоящее время не все перечисленные задачи решены.

Моделированию распространения опасных факторов пожара посвятили свои работы многие авторы, а именно, Д. Драйдел, Ю. А. Кошмаров, Ю. А. Рыжов, А. А. Дектерев и др. Моделированием процессов эвакуации людей занимаются А. Schadschneider, Н. Kluepfel, В. В. Холщевников, В. М. Предтеченский, Д. А. Самошина, Е. С. Кирик и др. Эти разработки могут быть использованы при решении задачи расчета пожарного риска. Однако нерешенной остается задача автоматизации сопоставления и анализа результатов моделирования процессов распространения опасных факторов пожара (ОФП) и эвакуации для выявления опасных участков эвакуационных путей, оценивания степени влияния опасных факторов пожара на людей при эвакуации и т.п. В случае несоответствия величины индивидуального пожарного риска нормативным требованиям необходимо решить проблему интеллектуальной поддержки управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности технического объекта. Центральной задачей здесь является формализация и применение знаний экспертов в области снижения пожарного риска и повышения уровня пожарной безопасности. Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной.

Актуальность диссертационной работы подтверждается тем, что исследование выполнено в рамках междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН Проект № 49 «Разработка и исследование методов компьютерного моделирования и обработки данных для информационно-

управляющих систем поддержки принятия решений по повышению уровня пожарной безопасности зданий», номер государственной регистрации 01201268795; в рамках федеральной целевой программы «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года» по государственному контракту № 09.0708.11.014 «Разработка модели информационно-управляющей системы принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности на объектах сферы науки и образования на основе оценки рисков и моделирования последствий воздействия опасных факторов в условиях дефицита времени и пространства» от 19.03.2010 г., номер государственной регистрации 01201064980; в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН IV.31.1. проект IV.31.1.4. «Гибридные методы анализа данных, системы и технологии поддержки сложных задач организационного управления», № государственной регистрации 01201056405.

Цель диссертационной работы

Цель диссертационной работы – повышение эффективности решения системной проблемы комплексной интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности зданий и сооружений сферы образования за счет применения и развития методов консолидации и анализа данных и методов поддержки принятия решений.

Поставленная цель достигается путем решения следующих задач:

1. Исследование системной проблемы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска в зданиях и сооружениях сферы образования с целью анализа актуальности и характерных признаков системной проблемы.

2. Исследование функциональных задач в составе системной проблемы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска в зданиях и сооружениях сферы образования на основе построения концептуальной модели.

3. Анализ существующих методов, технологий и программного обеспечения: обзор методов моделирования распространения опасных факторов пожара и процесса эвакуации; анализ существующих решений задачи расчетов пожарных рисков; исследование методов слияния и анализа разнородных данных и технологий поддержки принятия решений в сфере пожарной безопасности.

4. Разработка структурно-функциональной модели автоматизированной системы комплексной поддержки принятия управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности зданий сферы образования.

5. Разработка и алгоритмическая реализация метода консолидации и анализа результатов моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей из здания.

6. Разработка метода формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе применения экспертных знаний. Формализация знаний в области организации мероприятий, направленных на повышение уровня пожарной безопасности здания.

7. Разработка системы комплексной поддержки принятия управленческих решений в части программной реализации разработанного метода консолидации и анализа результатов расчета моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей из здания, создания подсистемы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности зданий сферы образования. Апробация системы.

Объект исследования: управление пожарной безопасностью зданий и сооружений сферы образования.

Предмет исследования: методы и средства интеллектуальной поддержки управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности.

Область исследования. Работа выполнена в соответствии с пунктами 9 «Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов», 10 «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах» и 12 «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации» паспорта специальностей ВАК (технические науки, специальность 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации).

Методы исследования, использованные в работе, базируются на методологии системного анализа, методологии структурного анализа и проектирования (SADT), методологии инженерии знаний, теории баз данных, математических методах моделирования эвакуации людей из здания и распространения опасных факторов пожара.

Новые научные результаты:

1. Впервые разработана модель системы комплексной автоматизированной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности, отличающаяся от известных интеграцией средств моделирования пожара и эвакуации, алгоритмов консолидации и анализа результатов моделирования, а также средств интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, что позволяет повысить эффективность управления пожарной безопасностью зданий сферы образования.

2. Разработан новый метод консолидации и анализа результатов моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей из здания, впервые позволяющий автоматизировать сопоставление и аналитическую обработку разнородных данных моделирования для определения опасных участков эвакуационных путей, исследования влияния опасных факторов пожара на людей и возможности блокирования при эвакуации.

3. Впервые предложен метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска, основанный на формализации и применении экспертных знаний, и разработана база знаний, позволяющая на основе анализа технического состояния здания формировать решения по повышению уровня пожарной безопасности.

Апробация разработанного методического и алгоритмического обеспечения выполнена в рамках создания системы поддержки принятия решений по повышению защищенности объекта образования от угрозы пожара.

Теоретическая значимость

Диссертация содержит решение задач, имеющих существенное значение для развития методов и технологий комплексной поддержки управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности зданий сферы образования. Модель системы комплексной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности позволяет интегрировать в рамках единой системы не только средства моделирования пожара и эвакуации, но и алгоритмы консолидации и анализа результатов моделирования, а также средства интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности здания. Метод консолидации и анализа результатов моделирования эвакуации людей из здания и распространения опасных факторов пожара позволяет автоматизировать трудоемкий процесс сопоставления и анализа разнородных данных, полученных в результате моделирования пожара и эвакуации, для определения опасных участков эвакуационных путей, исследования влияния опасных факторов пожара на людей и возможности блокирования при эвакуации. Метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний позволяет осуществлять интеллектуальную поддержку принятия управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности здания объекта образования.

Практическая значимость

Практическим результатом диссертационной работы являются методические, алгоритмические и программные средства, которые могут быть использованы для оценки состояния пожарной безопасности, а также для комплексной поддержки управления пожарной безопасностью зданий сферы образования и других объектов с массовым пребыванием людей.

Результаты диссертационной работы используются в Сибирской пожарно-спасательной академии – филиале Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (г. Железногорск), а также в МАОУ «Общеобразовательное учреждение гимназия № 13» г. Красноярска в качестве учебного пособия при изучении пожарной безопасности на уроках по основам безопасности жизнедеятельности, а также на уроках информатики. Полученные в работе результаты согласно государственному контракту № 09.0708.11.014 от 19.03.2010 переданы для использования и тиражирования в Министерство образования и науки РФ и могут применяться для широкого круга задач управления пожарной безопасностью на объектах образования.

Достоверность и обоснованность

Проведенный анализ литературы, существующих разработок и решений в области поддержки управления пожарной безопасностью позволил обосновать

актуальность и выполнить постановку задач диссертационной работы. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается применением предложенных моделей, методов и алгоритмов в составе программной системы поддержки принятия решений по повышению защищенности объекта образования от угрозы пожара и исследованием эффективности ее применения. Проведена практическая апробация программной системы для исследования состояния зданий реальных объектов сферы образования и формирования решений по снижению пожарного риска. Апробация показала, что применение системы позволяет повысить эффективность управленческих решений за счет снижения временных затрат, повышения качества сопоставления и анализа данных моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации, формирования рекомендаций по выбору мероприятий, позволяющих снизить величину индивидуального пожарного риска и исключить влияние опасных факторов на людей.

Личный вклад автора

Основные результаты, представленные в работе, получены непосредственно автором: метод консолидации и анализа результатов моделирования эвакуации людей из здания и распространения опасных факторов пожара; метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний. Модель и система комплексной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности реализована коллективом отдела прикладной информатики ИВМ СО РАН при непосредственном участии автора, а именно, автором созданы блоки, отвечающие за формирование входных данных для моделирования процесса эвакуации, анализ результатов моделирования эвакуации и распространения ОФП, расчет пожарного риска, формирование рекомендаций по повышению уровня пожарной безопасности.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы, а также результаты конкретных прикладных исследований представлены на пятой международной конференции «Системный анализ и информационные технологии 2013», на всероссийской конференции «Индустриальные информационные системы» – ИИС (Новосибирск, 2013), на Всероссийской конференции «VII Всесибирский конгресс женщин-математиков» (Красноярск, 2012), на научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем пожарной безопасности» (Железногорск, 2012), на XIII всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Новосибирск, 2012), на международной научно-технической конференции «Технологии разработки информационных систем ТРИС-2011» (Таганрог, 2011), на XI всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Проблемы мониторинга окружающей среды» (Кемерово, 2011), на XII

Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы информатизации региона» (Красноярск, 2011).

Публикации

По результатам диссертационной работы опубликовано 16 работ, в том числе 6 статей в журналах из списка изданий, рекомендуемых ВАК для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, 1 свидетельство о государственной регистрации программного обеспечения.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы. Основное содержание работы изложено на 152 страницах текста, содержит 37 рисунков и 10 таблиц. Список литературы включает 114 наименований.

Основное содержание работы

Во введении раскрыта актуальность диссертационной работы, научная новизна, достоверность и обоснованность полученных результатов, показана их практическая значимость. Сформулированы цели и задачи диссертационной работы и положения, выдвигаемые на защиту, определен непосредственный вклад автора в представленные результаты.

В первой главе приведены результаты анализа системной проблемы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска в зданиях сферы образования. Показана актуальность повышения эффективности управленческих решений с целью снижения пожарных рисков и повышения уровня пожарной безопасности зданий и сооружений в сфере образования. Показано, что рассматриваемая проблема обладает характерными признаками системной проблемы – комплексностью, многоаспектностью и является плохо формализуемой. Построена концептуальная модель системы поддержки управления пожарной безопасностью. На основе системной модели исследован состав функциональных задач для комплексного решения системной проблемы поддержки управления пожарной безопасностью зданий сферы образования.

Выполнен анализ существующих методов, технологий и программного обеспечения: обзор методов моделирования распространения опасных факторов пожара и процесса эвакуации; анализ существующих решений задачи расчетов пожарных рисков; исследование методов слияния и анализа разнородных данных и технологий поддержки принятия решений в сфере пожарной безопасности. Выполнен обзор программных комплексов, решающих задачи расчета пожарного риска, рассмотрены их основные функции и спектр решаемых задач. Основным недостатком рассмотренных программных комплексов является использование для решения отдельных подзадач различных программных продуктов. Комплексы, решающие задачу расчета пожарного риска в рамках одного программного продукта, имеют ограниченный набор моделей эвакуации и распространения опасных факторов пожара. В результате исследования выявлена необходимость создания средств интеллектуальной поддержки управления

пожарной безопасностью и совместного анализа результатов моделирования распространения ОФП и эвакуации. Проведенное исследование, анализ методических и программных разработок показали актуальность данной работы и позволили сформулировать задачи диссертационной работы.

Во **второй главе** представлена модель системы комплексной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности. Основная задача системы – предоставление лицу, принимающему решения, инструмента для исследования условий текущей эксплуатации с целью обеспечения снижения влияния рискообразующих факторов и повышения уровня защищенности здания объекта образования от пожара. Исследования проводятся на основе анализа различных сценариев развития пожара и эвакуации. По результатам расчетов оценивается значение пожарного риска, формируются рекомендации по применению противопожарных и профилактических мер снижения пожарного риска и повышения уровня пожарной безопасности.

Модель системы представляется следующим образом:

$$M = \langle T, X, D, Mds, Minf, Mtr, F \rangle,$$

здесь T – множество целей использования модели, X – множество входных параметров, описывающих анализируемый объект. D – нормативные требования, Mds – модель подсистемы поддержки принятия решений, $Minf$ – модель подсистемы консультирования по пожарной безопасности, Mtr – модель подсистемы обучения и контроля знаний. F – функция выбора модели в зависимости от цели использования.

$$X = X' \cup X'', \quad X' \cap X'' = \emptyset, \text{ где}$$

X' – множество входных параметров, постоянных для анализируемого объекта, X'' – множество входных параметров, изменяемых для анализируемого объекта, что позволяет осуществлять поддержку управления пожарной безопасностью.

X' представляется в виде:

$$X' = \langle G, St, Nb \rangle,$$

где G – множество характеристик, определяющих геометрию здания, St – множество параметров, определяющих свойства лестничных маршей, Nb – множество параметров расчетной сетки для моделирования распространения ОФП.

X'' представляется в виде:

$$X'' = \langle Fl, Lf, W, Dr, Cr, Cg, Fr, Np, R, Ew \rangle,$$

где Fl – множество параметров, определяющих пожарную нагрузку в помещениях объекта, Lf – множество характеристик, определяющих расположение очага пожара, W – множество характеристик, определяющих свойства окон, Dr – множество характеристик, определяющих свойства дверей, Cr – множество контрольных помещений здания, Cg – множество контрольных групп людей, Fr – множество характеристик, определяющих размещение мебели, Np – количество людей в здании, R – множество параметров, характеризующих технические

средства пожарной защиты и сигнализации, E_w – множество характеристик эвакуационных путей.

F – функция выбора модели имеет вид:

$$F=f(T, Mds, Minf, Mtr), \text{ где } f:T \rightarrow M', M' \subseteq \{Mds, Minf, Mtr\}.$$

Для построения $M, Mds, Minf, Mtr$ выполнен структурно-функциональный анализ предметной области по методологии SADT, рассмотрены основные процессы функционирования модели (рис. 1). Методология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis and Design Technique) представляет собой методологию системного анализа, позволяющую обеспечить описание и понимание систем повышенной сложности. Для описания модели используется методология функционального моделирования и графической нотации IDEF0. Модель в нотации IDEF0 представляет собой совокупность иерархически упорядоченных и взаимосвязанных диаграмм (в работе приводится 11 основных диаграмм, полностью модель описана 34 диаграммами).

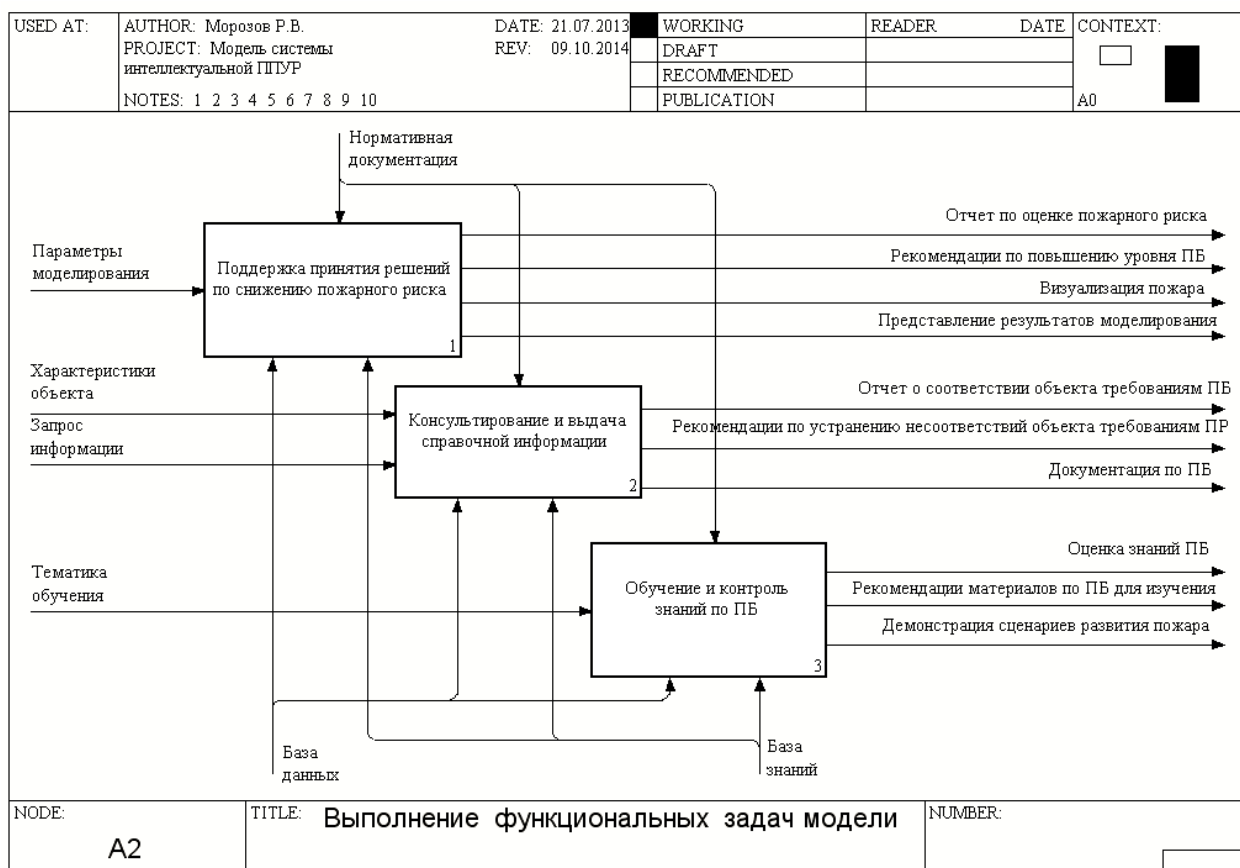


Рисунок 1 – Структурно-функциональное описание модели

Функционирование модели системы включает выполнение трех основных задач – поддержку принятия решений по снижению пожарного риска, консультирование и выдачу справочной информации, а также обучение и контроль знаний пожарной безопасности. Модель предусматривает оценку пожарного риска, формирует таблицы динамики ОФП в контрольных точках, время полной эвакуации из каждого помещения, сравнение полученных

временных величин между собой. Визуализация пожара позволяет выполнять динамическое 3D отображение распространения каждого из ОФП в отдельности (температура, задымленность, концентрация газов CO, CO₂, HCl и др.), а также движения потоков людей при эвакуации. Рекомендации по повышению уровня пожарной безопасности содержат перечень мероприятий, направленных на уменьшение времени эвакуации, ограничение распространения ОФП, повышение надежности систем активной противопожарной защиты и т.п.

Новизна разработанной модели заключается в интеграции в рамках единой системы не только средств моделирования пожара и эвакуации, но и алгоритмов консолидации и анализа результатов моделирования, а также средств интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.

Далее во второй главе представлен разработанный автором метод консолидации и анализа результатов моделирования распространения полей ОФП и процесса эвакуации людей из здания и выполнена его алгоритмизация. Предложенный метод позволяет проводить анализ двух одновременно происходящих процессов – распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей – с целью выявления угроз воздействия ОФП на участников эвакуации. По результатам анализа строятся сравнительные таблицы стадий развития пожара и эвакуации, которые могут быть использованы специалистами, ответственными за поддержание пожарной безопасности объектов образования для принятия решений и изменения условий текущей эксплуатации объекта.

В результате выполнения алгоритма (рис. 2) происходит консолидация данных моделирования эвакуации с данными распространения полей ОФП. Данные первоначально имеют разный шаг дискретизации по времени. Кроме того, данные распространения полей ОФП привязаны к ячейкам расчетной сетки, в то время как данные по эвакуации содержат конкретные координаты положения человека в определенный момент времени. После приведения двух массивов данных к одинаковому шагу по времени и единой пространственной привязке выполняется анализ, в результате которого определяются значения агрегированных показателей, таких как время блокирования эвакуационных путей, время эвакуации людей из здания, выявляются опасные участки эвакуационных путей и случаи влияния опасных факторов пожара на людей.

Применение метода позволяет автоматизировать трудоемкий процесс анализа данных моделирования эвакуации людей из здания и распространения опасных факторов пожара и получать различные срезы данных, необходимые для принятия управленческих решений по управлению пожарной безопасностью на объектах образования.

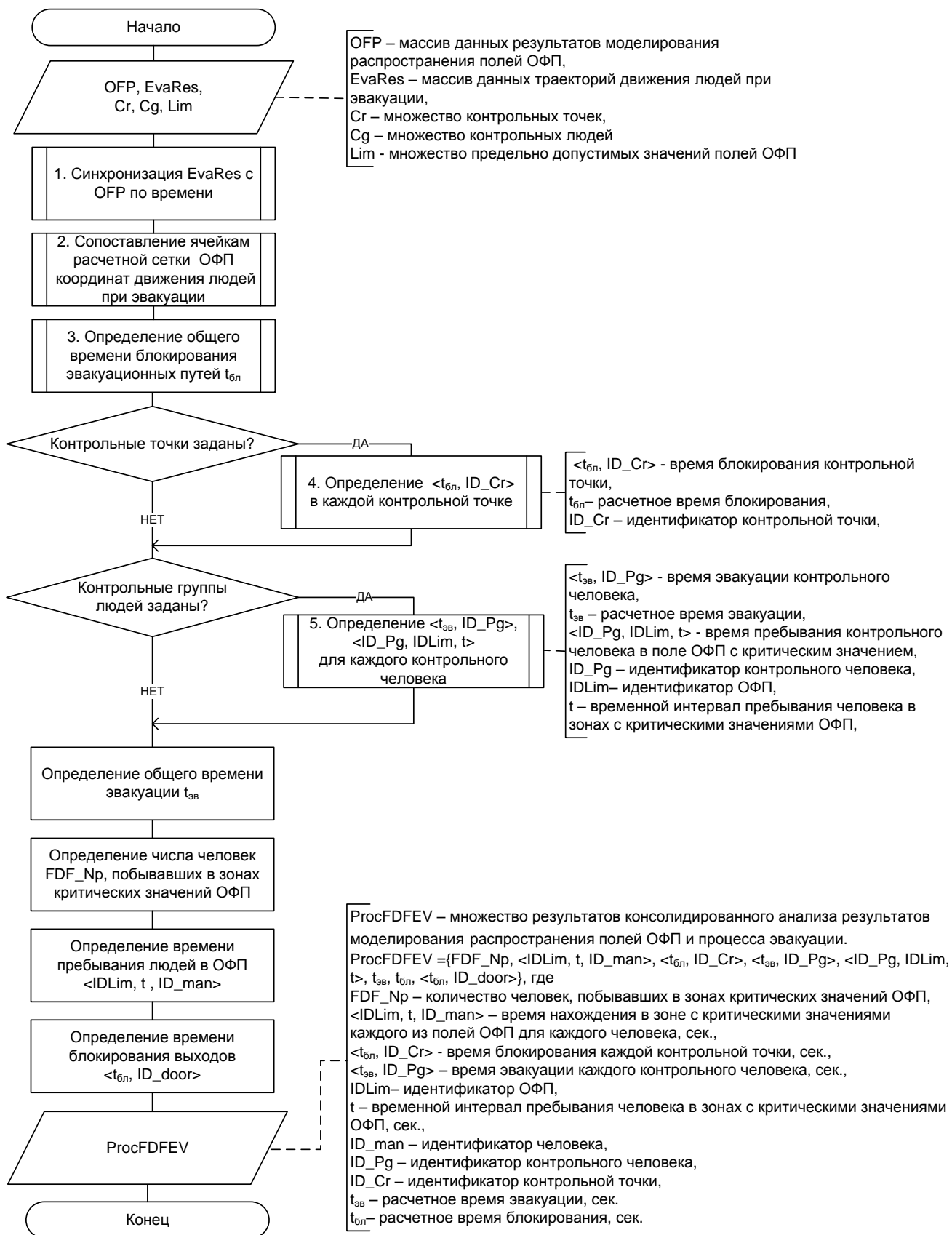


Рисунок 2 – Укрупненная блок-схема алгоритма консолидации и анализа данных результатов моделирования эвакуации и распространения ОФП

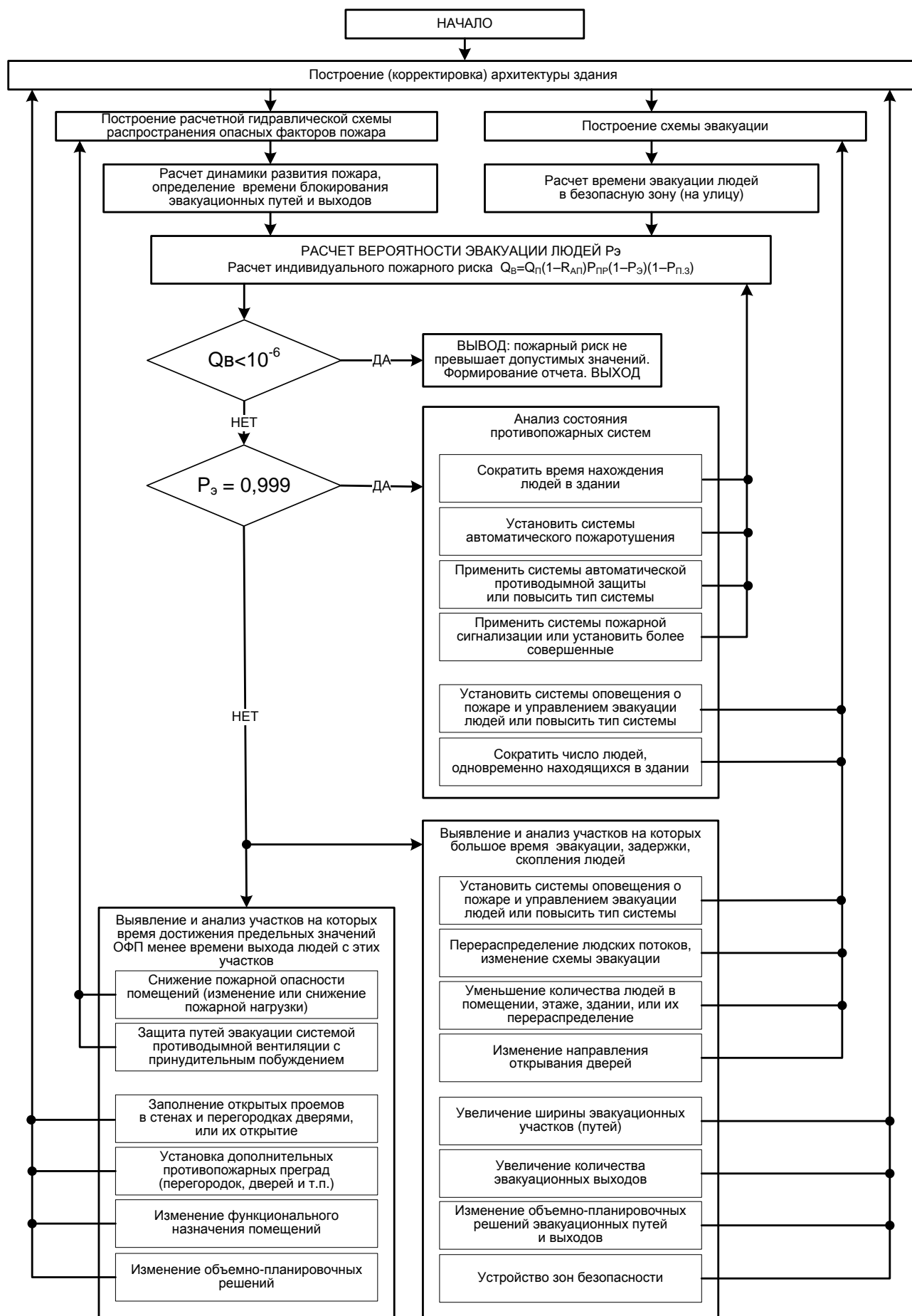


Рисунок 3 – Схема метода формирования рекомендаций

В главе 2 представлен оригинальный метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний. Схема метода представлена на рисунке 3.

Формирование рекомендаций осуществляется на основе анализа текущих условий эксплуатации объекта, результатов моделирования распространения полей ОФП, процесса эвакуации и расчета пожарного риска. Рекомендации направлены на снижение пожарного риска и повышение уровня пожарной безопасности за счет применения противопожарных и профилактических мер. В зависимости от величины рассчитанного для данного объекта пожарного риска и расчетного значения вероятности эвакуации выбираются мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска. Лицу, принимающему решения, предъявляется список упорядоченных по значимости мероприятий. Значимость мероприятий задается экспертом при формировании базы знаний.

Впервые разработаны база знаний и алгоритм автоматизации стратегии логического вывода, позволяющие на основе анализа технического состояния объекта образования формировать решения по повышению уровня пожарной безопасности.

Построение базы знаний включает в себя создание словаря фактовых переменных, формализацию правил и формирование базы правил. Словарь фактовых переменных содержит набор строго типизированных переменных (целое число, строка, список, и т.п.). Переменные могут входить как в левую, так и в правую часть продукционного правила. Выделено около 70 переменных, необходимых для формализации правил. Одна переменная может входить в состав как одного, так и нескольких правил. Полученные при концептуализации утверждения и правила с использованием словаря фактовых переменных представляются в форме продукционных правил вида:

$$N: K: \text{ЕСЛИ } P(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ ТО } \langle Q_1, Q_2, \dots, Q_n \rangle,$$

здесь N – уникальное имя правила; K – коэффициент значимости правила, x_1, x_2, \dots, x_n – фактовые переменные; P – предикат, задается в виде логико-лингвистического выражения; Q_1, Q_2, \dots, Q_n – элементарные действия.

Примеры правил:

N1:5: Если Входные данные для расчета риска = «определены» или Входные данные для расчета риска = «изменены частично» то @Расчитать вероятность эвакуации людей РЭ (Расчетное время эвакуации людей, Время начала эвакуации, Время блокирования, Время скопления людей);

N2:7: Если $Q_B < 10^{-6}$ то Пожарный риск не превышает допустимого значения = «истина».

N3:10: Если Возможно сократить время нахождения людей = «истина» то @Список рекомендаций («Необходимо сократить время нахождения людей в здании, что снизит вероятность присутствия людей в здании»);

Правила записываются в базу знаний с использованием разработанного автором редактора. В качестве внутреннего языка описания правил используется XML. Созданная продукционная база знаний включает в себя как знания экспертов, так и компиляцию нормативных требований.

По заданным пользователем входным данным из банка рассчитанных сценариев пожара выбираются результаты моделирования распространения полей опасных факторов пожара и процесса эвакуации. Затем выполняется обработка результатов моделирования и производится расчет пожарного риска. В случае если величина пожарного риска не соответствует нормативному значению, формируются рекомендации для проведения противопожарных мероприятий. Рекомендации не требуются, если эвакуация из здания прошла успешно, и пожарный риск соответствует норме.

Рекомендации направлены на повышение уровня пожарной безопасности. Пользователь после применения выданных ему ранее рекомендаций может повторно провести процедуру оценки объекта и проанализировать степень влияния проведенных мероприятий на величину пожарного риска.

В **третьей главе** представлены результаты применения предложенных в работе модели, методов и алгоритмов для информационно-аналитической поддержки управления пожарной безопасностью на объектах образования и повышения уровня знаний в области пожарной безопасности. На основе моделей и методов, предложенных в работе, создана информационно-управляющая система поддержки принятия решений по повышению защищенности объектов образования от угрозы пожара «ПБ ЭКСПЕРТ».

Схема функционирования системы представлена на рисунке 4. В схеме выделены блоки системы, источники данных и их взаимодействие друг с другом и с пользователями. Работа пользователей с системой осуществляется через интерфейс, обеспечивающий поддержку формирования исходных данных за счет связи с базой данных и базой знаний. Блоки системы объединяют функциональные возможности, поддерживаемые системой. *Блок формирования решений* предоставляет инструменты для исследования и анализа условий текущей эксплуатации объекта на предмет его опасности с точки зрения угрозы жизни людей в случае пожара. *Блок моделирования* выполняет моделирование распространения ОФП и эвакуации разными методами. *Блок визуализации* обеспечивает наглядное 3D представление результатов моделирования распространения ОФП и движения потоков людей. *Блок ввода данных* предоставляет пользователю возможность редактирования баз данных, описания характеристик объекта для определения условий безопасной эвакуации, задания сценариев пожара и эвакуации. *Блок виртуального тренажера* выполняет задачи обучения и оценки знаний в области пожарной безопасности.

Также в третьей главе приведены результаты апробации разработанной системы для анализа состояния пожарной безопасности на реальных объектах образования – зданиях учебного корпуса и общежития Сибирского федерального университета. Анализ результатов использования системы «ПБ ЭКСПЕРТ» позволяет утверждать, что за счет автоматизации применения методов консолидации и анализа результатов моделирования распространения полей ОФП и эвакуации людей из здания, применения базы знаний для формирования

рекомендаций, время принятия решений по повышению уровня пожарной безопасности сократилось до нескольких минут, повысилась их обоснованность и эффективность.

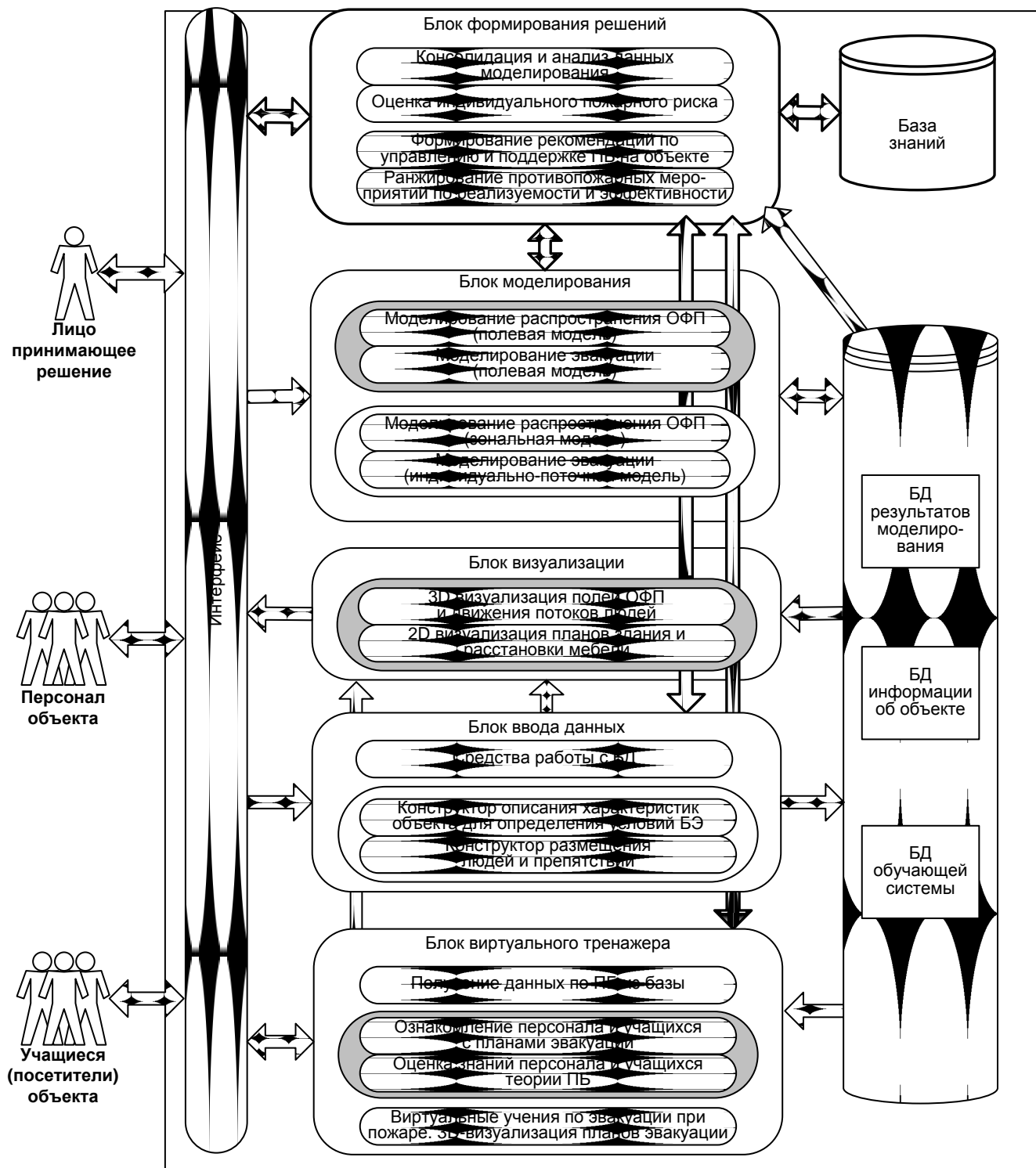


Рисунок 4 – Схема функционирования системы

Заключение

В процессе исследований, проведенных автором диссертационной работы, получены следующие результаты:

1. Выполнено исследование системной проблемы поддержки управления пожарной безопасностью зданий сферы образования. Показана актуальность повышения эффективности управленческих решений с целью снижения пожарных рисков и повышения уровня пожарной безопасности зданий и сооружений сферы образования. Показано, что рассматриваемая проблема обладает характерными признаками системной проблемы – комплексностью, многоаспектностью и является плохо формализуемой.

2. Построена концептуальная модель системы поддержки управления пожарной безопасностью, на основе системной модели исследован состав функциональных задач для комплексного решения системной проблемы поддержки управления пожарной безопасностью зданий сферы образования.

3. Выполнен анализ существующих методов, технологий и программного обеспечения: обзор методов моделирования распространения опасных факторов пожара и процесса эвакуации; анализ существующих решений задачи расчетов пожарных рисков; исследование методов слияния и анализа разнородных данных и технологий поддержки принятия решений в сфере пожарной безопасности.

4. На основе проведенного анализа существующих методов, технологий и программного обеспечения обоснована актуальность развития методов и средств поддержки управления пожарной безопасностью, выявлены задачи, которые необходимо решить в процессе создания системы комплексной интеллектуальной поддержки управления пожарной безопасностью зданий сферы образования.

5. Разработана структурно-функциональная модель автоматизированной системы комплексной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности на объектах образования. Новизна предложенной модели заключается в интеграции в рамках единой системы не только средств моделирования пожара и эвакуации, но и алгоритмов консолидации и анализа результатов моделирования, а также средств интеллектуальной поддержки принятия решений.

6. Разработан новый метод консолидации и анализа результатов моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей из здания, выполнена его алгоритмическая реализация. Предложенный метод позволяет анализировать разнородные данные моделирования эвакуации и распространения ОФП за счет приведения их к единой временной шкале и единой пространственной привязке с целью обнаружения опасных участков эвакуационных путей, исследования влияния опасных факторов пожара на людей и возможного блокирования при эвакуации.

7. Предложен метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний. Впервые

разработаны база знаний и алгоритм автоматизации стратегии логического вывода, позволяющие на основе анализа технического состояния объекта образования формировать решения по повышению уровня пожарной безопасности.

8. Разработана система комплексной поддержки принятия управленческих решений в части программной реализации разработанного метода консолидации и анализа результатов расчета моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей из здания, создания подсистемы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности зданий сферы образования.

9. Выполнена апробация разработанного методического и алгоритмического обеспечения выполнена в рамках реализации информационно-управляющей системы комплексной поддержки принятия решений по повышению защищенности объектов образования от угрозы пожара «ПБ ЭКСПЕРТ». Апробация позволила сделать вывод о непротиворечивости полученных результатов и, следовательно, об адекватности моделей и методов.

Результаты диссертационной работы используются в Сибирской пожарно-спасательной академии – филиале Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (г. Железногорск) и в гимназии № 13 г. Красноярска.

Дальнейшее развитие и применение методических и алгоритмических средств, предложенных в работе, представляется перспективным, так как они могут использоваться для широкого круга задач управления пожарной безопасностью на объектах защиты, а также как учебный материал для повышения уровня знаний в области пожарной безопасности.

Использование результатов диссертационной работы подтверждено актами внедрения. В **Приложении 1** приведены копии актов о внедрении результатов диссертационной работы и копия свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертация содержит решение задач, имеющих значение для развития методов и технологий комплексной поддержки управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности зданий сферы образования.

Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. **Морозов, Р.В.** Консолидация и анализ данных моделирования пожара и эвакуации / Р.В. Морозов // Информатизация и связь. – М., 2015. – № 2. – С. 94-99.
2. **Морозов, Р.В.** Модель системы поддержки принятия решений по снижению угроз пожарной безопасности на объектах образования / Р.В. Морозов // Информатизация и связь. – М., 2013. – № 5. – С. 47-52.

3. **Морозов, Р.В.** Формирование рекомендаций по пожарной безопасности на основе расчетов риска / Р.В. Морозов, К.В. Бадмаева // Информатизация и связь. – М., 2011. – № 3. – С. 69-71.

4. Ноженкова, Л.Ф. Проблемы построения управляющей системы поддержки принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности на объектах сферы науки и образования / Л.Ф. Ноженкова, А.А. Евсюков, К.В. Бадмаева, В.В. Ничепорчук, **Р.В. Морозов** и др. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М., 2011. – № 2. – С. 25-33.

5. Ноженкова, Л.Ф. Средства построения систем поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС / Л.Ф. Ноженкова, С.В. Исаев, В.В. Ничепорчук, А.А. Евсюков, **Р.В. Морозов**, А.А. Марков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М., 2008. – № 4. – С. 46-54.

6. Евсюков, А.А. Виртуальный 3D-тренажер эвакуации людей при пожарах / А.А. Евсюков, **Р.В. Морозов** // Информатизация и связь. – М., 2013. – № 2. С. 49-52.

7. Ноженкова Л. Ф. Система поддержки принятия решений по повышению защищенности объекта образования от угрозы пожара / Л. Ф. Ноженкова, **Р. В. Морозов**, В. В. Ничепорчук, К. В. Бадмаева, А. А. Евсюков, А. А. Марков, А. А. Мельник, Е. С. Кирик // Роспатент. Свидетельство № 2014617388 от 30.07.14.

8. **Морозов, Р.В.** Функциональная модель комплексной поддержки принятия решений по снижению пожарного риска на объектах сферы образования / Р.В. Морозов // Проблемы информатизации региона. ПИР-2015: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2015. – С. 156-160.

9. **Морозов, Р.В.** Аналитическая обработка результатов моделирования процессов пожара и эвакуации людей / Р.В. Морозов // Проблемы информатизации региона ПИР-2011: Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск, 2011. – С. 178-183.

10. **Морозов, Р.В.** Создание продукционной базы знаний для оценки состояния пожарной безопасности на объектах сферы образования / Р.В. Морозов // V Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии 2013»: Труды конференции. – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2013. – С. 253-258.

11. **Морозов, Р.В.** Алгоритм формирования рекомендаций по применению мер пожарной безопасности / Морозов Р.В., Бадмаева К.В. // Материалы II международной научно-технической конференции «Технологии разработки информационных систем ТРИС-2011». – Таганрог, 2011. – С. 55-57.

12. **Морозов, Р.В.** Использование современных информационных технологий для построения управляющей системы «ПБ Эксперт» / Р.В. Морозов // Материалы X Всероссийской заочной конференции по теоретическим основам проектирования и разработки распределенных информационных систем «ПРИС 2012». – Красноярск, 2012. – С. 104-108.

13. Ноженкова, Л.Ф. Функциональное моделирование процесса поддержки принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности на объектах

сферы науки и образования / Л.Ф. Ноженкова., К.В. Бадмаева, А.А. Мельник, **Р.В. Морозов** // Проблемы мониторинга окружающей среды. Сборник трудов в XI Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. – Кемерово: КемГУ, 2011. – С. 93-97.

14. Ноженкова, Л.Ф. Об инновационном подходе в области обучения пожарной безопасности в образовательных учреждениях / Л.Ф. Ноженкова, К.В. Бадмаева, **Р.В. Морозов**, Е.С. Кирик, А.А. Евсюков, В.В. Ничепорчук, А.А. Марков, А.В. Малышев, К.Ю. Литвинцев, А.В. Антонов // Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы информатизации региона ПИР-2011». – Красноярск, 2011. – С. 7-10.

15. **Морозов, Р.В.** Новые информационные технологии в области пожарной безопасности / А.А. Евсюков, Р.В. Морозов, А.А. Марков // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Материалы научно-практической конференции. – Железногорск, 2012. – С. 6-10.

16. **Морозов, Р.В.** Редактор баз знаний для адаптивного управления ликвидацией чрезвычайных ситуаций / Р.В. Морозов, В.В. Ничепорчук // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2011. – № 24. – С. 150-154.