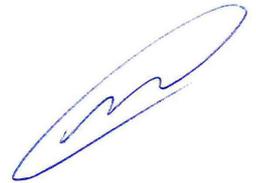


**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительного моделирования
Сибирского отделения Российской академии наук**



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 и управление)

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель
доктор технических наук
Л.Ф. Ноженкова

Красноярск – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Анализ системной проблемы и подходов к ее решению	15
1.1 Особенности системной проблемы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска зданий сферы образования	15
1.2 Концептуальная модель принятия управленческих решений по снижению пожарного риска и анализ функциональных задач	21
1.3 Анализ существующих методов, технологий и программного обеспечения ...	24
1.3.1 Обзор методов моделирования распространения опасных факторов пожара и процессов эвакуации	24
1.3.2 Существующие решения задачи расчета пожарного риска.....	28
1.3.3 Методы слияния и анализа разнородных данных	38
1.3.4 Поддержка принятия решений в сфере пожарной безопасности.....	41
1.4 Задачи диссертационной работы	44
1.5 Выводы к главе 1	45
2 Модель и методы интеллектуальной поддержки принятия решений по пожарной безопасности	47
2.1 Модель системы комплексной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности.....	47
2.1.1 Формальное описание модели	48
2.1.2 Структурно-функциональное описание модели	49
2.1.3 Формирование входных данных в зависимости от цели использования.....	51
2.1.4 Функционирование модели.....	60
2.2 Метод консолидации и анализа данных моделирования процессов распространения ОФП и эвакуации	68
2.2.1 Типы входных данных, принципы их консолидации и анализа	68
2.2.2 Алгоритм консолидации и анализа данных результатов моделирования.....	71
2.2.3 Алгоритм синхронизации данных по времени	74
2.2.4 Алгоритм приведения данных к единой пространственной привязке	76
2.2.5 Алгоритмы определения времени блокирования	78

2.2.6 Алгоритм анализа эвакуации	80
2.3 Метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний	85
2.3.1 Схема формирования рекомендаций.....	85
2.3.2 Формализация знаний.....	97
2.3.3 Алгоритм логического вывода для формирования рекомендаций	99
2.4 Выводы к главе 2	101
3 Система поддержки принятия решений по повышению защищенности зданий сферы образования от угрозы пожара.....	103
3.1 Общее описание системы	103
3.2 Функционирование системы.....	106
3.2.1 Поддержка управления пожарной безопасностью	107
3.2.2 Моделирование распространения ОФП и эвакуации.....	113
3.2.3 Виртуальный тренажер	116
3.3 Апробация системы поддержки принятия решений по повышению защищенности объектов образования.....	120
3.4 Анализ эффективности применения предложенных подходов в задачах управления пожарной безопасностью.....	134
3.5 Выводы к главе 3	136
Заключение.....	138
Список литературы.....	141
Приложение 1 Копии свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ	153
Приложение 2 Копии документов о внедрении результатов диссертационной работы.....	155

Введение

Развитие методологии системного анализа обусловлено необходимостью решения сложных системных проблем в различных прикладных областях [37]. 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 [49]: 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 [1, 2] 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 [24], 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 [28], Ю. А. Кошмаров [39], Ю. А. Рыжов, А. А. Дектерев [27] и др. Моделированием процессов эвакуации людей занимаются А. Schadschneider [110], Е. Kuligowsky [103], В. В. Холщевников [70], В. М. Предтеченский [59], Д. А. Самошина [61], Е. С. Кирик [32, 100-101] и др. Эти разработки могут быть использованы при решении задачи расчета пожарного риска. Однако нерешенной остается задача автоматизации сопоставления и анализа результатов моделирования процессов рас-

пространения 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 [4, 5] необходимо решить проблему интеллектуальной поддержки управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности технического объекта [52]. Центральной задачей здесь является формализация и применение знаний экспертов в области снижения пожарного риска и повышения уровня пожарной безопасности [50]. 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 управлен-

ческих 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 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, позволяющие 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.

Положения, выдвигаемые на защиту:

1. 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.

2. 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, а также обнаруживать опасные участки эвакуационных путей, исследовать влияние опасных факторов пожара на людей и случаи блокирования при эвакуации.

3. 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 зданий сферы 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 гимназии № 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

Достоверность и обоснованность результатов диссертации определяются результатами исследования системной проблемы, проведенным анализом литературы, существующих разработок и решений в области поддержки управления пожарной безопасностью, обоснованием постановки задач диссертационной работы, результатами применения предложенных моделей, методов и алгоритмов.

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.

Краткое 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 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 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 по-

жара 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. Рассмотрены основные процессы функционирования. Результаты представлены в виде функциональных диаграмм, выполненных в нотации IDEF0.

Основная задача системы – предоставление лицу, принимающему решения, инструмента для исследования условий текущей эксплуатации объекта с целью обеспечения снижения влияния рискообразующих факторов и повышения уровня защищенности объекта образования от пожара. Исследования объекта 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.

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.

Предложен метод, позволяющий 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. Метод позволяет реализовать функциональные задачи модели системы интеллектуальной поддержки управления пожарной безопасностью.

Разработан оригинальный метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний. 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.

Впервые разработана база знаний, позволяющая на основе анализа технического состояния объекта образования формировать решения по повышению уровня пожарной безопасности.

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».

Также в третьей главе приведены результаты апробации разработанной системы для анализа состояния пожарной безопасности на реальных объектах образования: здании общеобразовательной школы, учебном корпусе Сибирского фе-

дерального 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.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационного исследования, отмечены перспективы развития и практического применения результатов, представленных в работе.

В **приложении** 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.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору Л.Ф. Ноженковой за всестороннюю поддержку и помощь в выполнении работы. Автор признателен коллегам из Института вычислительного моделирования СО РАН, в особенности, К.С. Кирик и К.В. Бадмаевой.

Автор признателен подполковнику внутренней службы, к.т.н, доценту, заместителю начальника филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России по научной работе, начальнику Центра НИОКР А.А. Мельнику и майору внутренней службы, к.т.н., начальнику отдела экспериментальных исследований и опытно-конструкторских разработок Центра НИОКР Сибирской пожарно-спасательной академии А.В. Антонову за экспертный вклад в работу.

1 Анализ системной проблемы и подходов к ее решению

1.1 Особенности системной проблемы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска зданий сферы образования

Развитие методологии системного анализа обусловлено необходимостью решения сложных системных проблем в различных прикладных областях. К числу таких проблем относится проблема комплексной поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска в зданиях и сооружениях сферы образования. Комплексная поддержка принятия управленческих решений по снижению пожарного риска представляет собой актуальную системную проблему, обладающую характерными признаками [49]: комплексностью многоаспектностью и слабой формализуемостью.

Актуальность проблемы комплексной поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска в зданиях и сооружениях сферы образования обусловлена, с одной стороны, необходимостью повышения уровня пожарной безопасности и с этой целью повышения эффективности управления пожарной безопасностью на объектах образования. С другой стороны, для повышения эффективности управления пожарной безопасностью необходимо обеспечить комплексную автоматизированную поддержку управленческих решений, основанную как на использовании существующих методов системного анализа, так и на создании новых методов обработки и анализа данных и поддержки управления.

Необходимость повышения уровня пожарной безопасности обусловлена высокими значениями пожарного риска в нашей стране в целом и в том числе на объектах сферы образования [33]. На сегодняшний день относительные показатели гибели людей на пожарах в России одни из самых высоких в мире. На 1000 человек населения происходит на 40% пожаров больше, чем в среднем в мире. Количество погибших в 9-10 раз больше, чем в среднем по другим странам мира. Так, на каждые 100 тысяч россиян приходится 10.2 погибших в огне, в то время как в США, Польше – 1.4, Великобритании – 1.2, Швеции – 0.8, Германии, Авст-

рии – 0.7 [36]. Такая картина в России наблюдается во всех областях деятельности человека, в том числе и на объектах сферы образования.

Согласно статистике за последние годы происходит снижение количества пожаров на объектах образования. Это связано с большой работой по приведению зданий к требованиям норм пожарной безопасности, защите зданий современными системами противопожарной защиты, усилению профилактической работы с персоналом и учащимися [62]. Наблюдается тенденция снижения количества погибших в пожарах. Однако это не должно быть поводом для уменьшения внимания к вопросу обеспечения пожарной безопасности, поскольку пожары на объектах образования могут сопровождаться тяжелыми последствиями.

Спектр объектов сферы образования очень широк – это образовательные учреждения среднего общего и профессионального образования, высшего профессионального образования, научно-исследовательские учреждения.

Здания объектов образования отличаются от промышленных, административных и жилых сооружений по своим функциональным свойствам. В них имеются как объемные помещения – библиотеки, лекционные и спортивные залы, так и маленькие офисные помещения, помещения хозяйственных служб. Задача обеспечения нормативного значения пожарного риска в больших помещениях усложняется в связи с одновременным нахождением в них большого числа людей и пониженной пропускной способностью эвакуационных выходов. При оценке пожарных рисков и моделировании распространения опасных факторов пожара необходим учет горючих материалов, объем которых сильно варьируется в зависимости от назначения помещений. Объекты образования включают в себя широкий спектр общественных и даже производственных помещений. Каждый из этих объектов характеризуется своей пожарной опасностью, особенностями объемно-планировочных и технологических решений. При этом в ряде случаев подход к обеспечению пожарной безопасности имеет свои принципиальные особенности.

Важной особенностью зданий объектов образования является неравномерность распределения людей в течение дня по помещениям, связанная с расписа-

нием занятий. В соответствии с учебным расписанием количество людей и их распределение по помещениям внутри здания изменяется несколько раз в сутки. Такие изменения в распределении людей приводят к необходимости учета зависимости планов эвакуации от времени суток, а также требуют анализа расписания с точки зрения организации эвакуации без скоплений и задержек. Решение таких задач усугубляется наличием моментов времени, когда люди переходят из одних помещений в другие, обычно это происходит во время перерывов между занятиями [43]. В связи с этим в зданиях размеры эвакуационных путей и выходов определяются согласно нормам или специальным расчетам.

Для обеспечения поддержки управленческих решений по пожарной безопасности на объектах образования необходимо рассматривать техническое состояние здания как сложный объект со специфическими характеристиками и свойствами. При создании модели системы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности необходимо уделить внимание анализу мест возникновения пожаров на объектах образования, определить пожарную нагрузку. Необходимо предусмотреть сопоставление результатов моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей из здания с целью формирования решений по снижению пожарного риска [40].

Необходимость обеспечения комплексной автоматизированной поддержки управленческих решений по снижению пожарных рисков в зданиях и сооружениях сферы образования обусловлена сложностью проблемы расчета пожарных рисков, требующей решения целого комплекса задач по моделированию процессов распространения пожара и эвакуации людей, обработке и анализу результатов моделирования и формированию эффективных управленческих решений по снижению пожарной опасности [54]. Несмотря на активные исследования в этой области в настоящее время не все перечисленные задачи решены. В то время как для задач моделирования пожара и эвакуации людей имеются методические и программные средства, остаются нерешенными задачи автоматизированной обработки результатов моделирования и формирования эффективных решений по сниже-

нию пожарного риска. Развитие средств автоматизации управления пожарной безопасностью является актуальной проблемой, поскольку существующие методы и программные средства решают ее лишь частично.

Исследование характерных признаков системной проблемы поддержки принятия решений по снижению пожарных рисков позволяет построить адекватную концептуальную модель системы и найти «золотую середину» в пространстве аспектов, которые требуется учесть при ее решении [49, 72].

Комплексность проблемы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска проистекает из необходимости решения целого ряда разнородных задач, ни одна из которых в отдельности не может предложить способы целостного разрешения проблемы. Только решение задач совместно приводит к эффективному разрешению системной проблемы, привлекая комплекс методов, охватывающих все многообразие сторон и свойств исследуемого объекта [65].

Поддержка принятия решений по снижению пожарных рисков – сложный процесс, который опирается на работу нескольких функциональных подсистем, для функционирования которых как единого целого необходимо обеспечить взаимодействие модулей системы и организовать информационный обмен, унифицировав форматы обмена данными. Хранение и анализ больших объемов результатов моделирования также является проблемой. Необходимо выполнить организацию эффективного хранения и анализа полученных результатов моделирования. Для формирования управляющих воздействий и рекомендаций на основе результатов моделирования необходимо систематизировать рискообразующие факторы, определить параметры, влияющие на величину пожарного риска, и диапазоны их возможных значений, разработать алгоритмы выбора управляющих воздействий.

Для решения рассматриваемой проблемы необходимо создание интеллектуальной системы формирования управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности зданий в качестве системообразующего механизма, спо-

собного управлять его составляющими и согласовывать работу подсистем. Такая система должна интегрировать функции анализа данных математического моделирования процессов распространения пожара и эвакуации, расчета пожарного риска, анализа состояния объекта защиты и формирования управленческих решений.

Многоаспектность. Проблема комплексной поддержки управленческих решений по снижению пожарных рисков затрагивает множество разных сторон, связанных с вопросами из разных областей: информатики, математики, газодинамики, теплофизики и др.

Эффективное решение данной проблемы возможно лишь на основе интеграции современных информационных технологий: организации хранения, обработки и анализа данных, наглядной графической визуализации процессов моделирования и, наконец, интеллектуальной поддержки принятия решений.

Например, построение и изменение геометрии зданий является важным фактором для проведения исследований влияния конструкции здания на эвакуацию и развитие пожара, но является трудоемким процессом, для выполнения которого необходимы соответствующие знания и навыки. Для решения этой проблемы требуется разработка специализированного строителя геометрии зданий, который обеспечит возможность простого построения и изменения геометрии зданий пользователем. Для того чтобы пользователь мог работать с поэтажным планом здания, формировать сценарии, устанавливать количество и характеристики людей, участвующих в процессе эвакуации, размещать мебель и др., необходимо разработать специализированный конструктор, решающий ряд задач. Требуется организация размещения людей и мебели по объекту в зависимости от распорядка дня, реализация работы с объектами сложной геометрии, обеспечение связности соединений внутри плана здания.

Наглядное представление результатов моделирования неотъемлемая функция системы поддержки принятия управленческих решений. Организация информа-

тивной и зрелищной 3D-визуализации движения людей по объекту и распространения ОФП позволит эффективнее проводить исследования объекта защиты [30].

Для обеспечения поддержки управленческих решений по пожарной безопасности необходимо рассматривать техническое состояние здания как сложный объект со специфическими характеристиками и свойствами. При создании модели системы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности необходимо уделить внимание анализу мест возникновения пожаров, определить пожарную нагрузку. Необходимо предусмотреть сопоставление результатов моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей из здания с целью формирования решений по снижению пожарного риска [3].

Слабая формализуемость. При поддержке формирования решений по снижению пожарных рисков приходится проводить расчеты в условиях недостаточного описания и отсутствия формализации исходных данных. Имеющиеся утвержденные описания моделей эвакуации и развития опасных факторов пожара недостаточны для их программной реализации, поэтому необходим дополнительный поиск информации, обращение к экспертам, в некоторых случаях разработка новых алгоритмов или наложение дополнительных ограничений на использование моделей. Для обеспечения максимально приближенного к реальности процесса моделирования эвакуации и развития пожара необходимо разработать методы интеграции моделей эвакуации и развития распространения ОФП, формализации реакции человека на признаки пожара и создания устойчивых алгоритмов развития ОФП, поддерживающих динамические граничные условия. Существует проблема верификации реализованных моделей эвакуации и распространения ОФП. Она заключается в сложности получения экспериментальных данных.

Слабая формализуемость обусловлена также конфликтностью и неоднозначностью возможных решений. Конфликтность обусловлена необходимостью разрешения противоречия между эффективностью и затратами на выполнение реше-

ний, а неоднозначность заключается в необходимости выбора наиболее эффективных решений из совокупности возможных.

Для оценки соответствия объекта защиты условиям безопасной эксплуатации в области пожарной безопасности требуется использовать экспертные знания, которые являются трудно структурируемыми и обобщаемыми из-за уникальности описываемых объектов.

1.2 Концептуальная модель принятия управленческих решений по снижению пожарного риска и анализ функциональных задач

Исследование характерных признаков системной проблемы поддержки принятия решений по снижению пожарных рисков позволило построить концептуальную модель системы, отображающую основные функциональные задачи и их взаимосвязи.

На рисунке 1.1 представлена концептуальная модель системы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска.

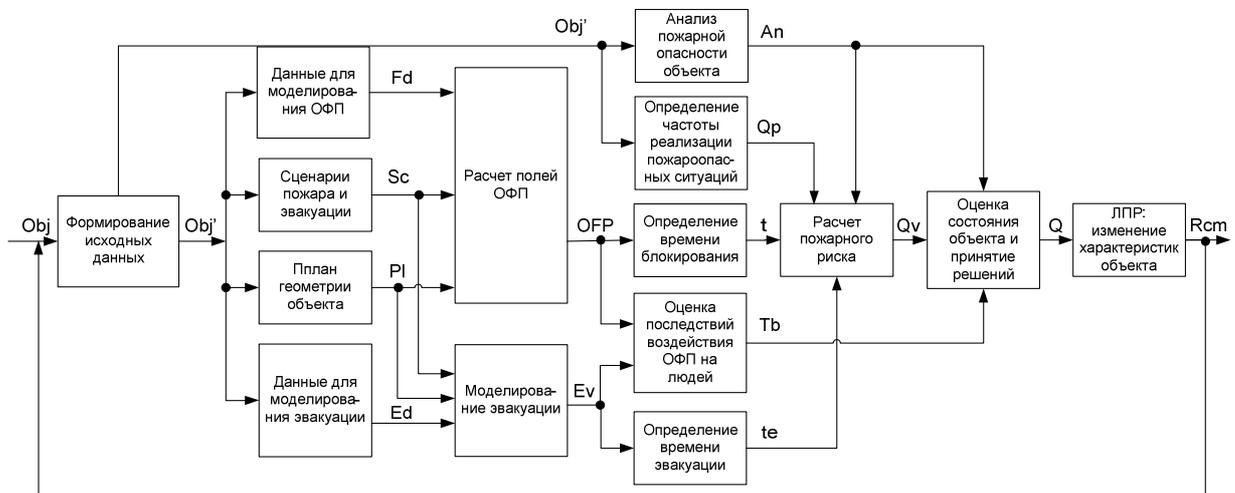


Рисунок 1.1 – Концептуальная модель системы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска

Концептуальная модель построена с целью определения основных функциональных задач, которые необходимо решить лицу, принимающему решения, для оценки состояния объекта и выбора мероприятий по снижению пожарного риска.

Определены следующие функциональные задачи: формализация исходных

данных, характеризующих исследуемый объект, формирование сценариев пожара и эвакуации, построение цифрового плана объекта, моделирование распространения полей опасных факторов пожара, моделирование процесса эвакуации людей из здания, анализ последствий воздействия ОФП на людей при эвакуации, анализ пожарной опасности объекта и расчет индивидуального пожарного риска. В случае несоответствия величины индивидуального пожарного риска установленному нормативному значению необходимо разработать перечень мероприятий по снижению уровня пожарного риска.

Входные данные *Obj* представляют собой характеристики объекта защиты, такие как описание геометрии здания в виде цифровых, бумажных планов, описание расстановки мебели в помещениях, описание типов, видов, количества пожарной нагрузки, режимы функционирования здания, систем защиты и сигнализации и т.д. Для решения задачи расчета пожарного риска и оценки состояния пожарной безопасности объекта необходимо формализовать входные данные. Формализованные данные *Obj'* включают в себя несколько подмножеств: *Fd* – данные для моделирования ОФП, *Ed* – данные для моделирования эвакуации, *Pl* – план геометрии здания, *Sc* – сценарии пожара и эвакуации, характеристики систем защиты и сигнализации, характеристики класса пожарной опасности здания и др. Моделирование распространения полей опасных факторов пожара (ОФП) и процесса эвакуации можно проводить разными методами. Лицо, принимающее решения, может воспользоваться существующим специализированным программным обеспечением. *ОFP* – массив данных, характеризующий распространение полей ОФП в зависимости от времени, формируется в результате моделирования пожара в здании. Моделирование процесса эвакуации приводит к формированию массива *Ev*, который описывает траектории движения людей при эвакуации в зависимости от времени. Для выполнения расчетов эвакуации людей из здания необходимо оценить объемно-планировочные решения здания и проверить соответствие путей эвакуации требованиям пожарной безопасности, составить расчетную схему эвакуации и выполнить расчет по одной из моделей эвакуации. Расчетная схема эвакуации представляет собой схему [42], на которой отражены количество людей на начальных участках, направление их движения (маршруты),

геометрические параметры участков пути (длина, ширина) и виды участков пути. Для моделирования распространения полей опасных факторов пожара необходимо выбрать места расположения первоначального очага пожара и закономерности его развития, задать расчетные области (выбор рассматриваемой при расчете системы помещений, определение учитываемых элементов внутренней структуры помещений, состояние дверей и проемов), задание параметров окружающей среды и начальных значений внутренних параметров.

Для расчета индивидуального пожарного риска необходимо определить t_e – время эвакуации, t – время от начала возгорания до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, Q_p – частоту возникновения пожара в здании в течение года и характеристики систем сигнализации и пожаротушения. Для определения времени блокирования, времени существования скопления людей на участках путей эвакуации, времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей необходимо провести *совместный* анализ результатов моделирования эвакуации и распространения полей ОФП. Поддержка принятия решений и формирование рекомендаций опирается на расчетную величину индивидуального пожарного риска Q_v , результаты анализа воздействия ОФП на людей при эвакуации T_b и на результаты анализа пожарной опасности объекта A_n . Q – перечень рекомендаций по повышению уровня пожарной безопасности объекта и снижению величины индивидуального пожарного риска. Лицо, принимающее решения, применив требуемые рекомендации, может изменить некоторые характеристики объекта, тем самым повлиять на состояние пожарной безопасности и величину пожарного риска. R_{cm} – перечень примененных рекомендаций, повлиявших на величину индивидуального пожарного риска. После выбора предложенных рекомендаций лицо, принимающее решения, может повторить процедуру с целью проверки полученного значения пожарного риска.

1.3 Анализ существующих методов, технологий и программного обеспечения

1.3.1 Обзор методов моделирования распространения опасных факторов пожара и процессов эвакуации

Задаче моделирования распространения опасных факторов пожара посвятили свои работы многие авторы [23, 27, 28, 45], как и моделированию процессов эвакуации людей из зданий [43, 70]. Эти разработки могут быть использованы при решении задачи расчета индивидуального пожарного риска.

Методы моделирования процессов распространения пожара

Методы математического моделирования пожара предусматривают применение трех основных групп моделей: интегральные, зонные (зональные) и полевые. Выбор конкретной модели осуществляется, исходя из особенностей объемно-планировочных решений объекта, характеристик возможного очага пожара, целей моделирования и других предпосылок.

Интегральный метод применяется для зданий, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации, при этом характерный размер очага пожара должен быть соизмерим с характерными размерами помещения пожара, размеры помещения должны быть соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз). В некоторых случаях этот метод может применяться для предварительных расчетов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара. Интегральный метод самый простой и быстрый, в то же время он предусматривает самое большое количество допущений.

С учётом вышесказанного применение интегральных моделей совместно с математическими моделями индивидуально-поточного движения людей и имитационно-стохастическими моделями движения людских потоков затруднительно. Интегральные модели позволяют определить аналитические соотношения для определения критической продолжительности пожара и оперативно рассчитать время превышения критических значений ОФП. За пределами возможностей интегрального метода оказывается моделирование пожаров, не достигших стадии объ-

емного горения, и особенно моделирование процессов, определяющих пожарную опасность при локальном пожаре. Наконец, в ряде случаев даже при объемном пожаре распределением локальных значений параметров пренебрегать нельзя.

Более детально развитие пожара можно моделировать с помощью *зонного (зонального) метода*, основанного на предположении о формировании в помещении двух слоев: верхнего слоя продуктов горения (задымленная зона) и нижнего слоя невозмущенного воздуха (свободная зона). Состояние газовой среды в зональных моделях оценивается через осредненные термодинамические параметры не одной, а нескольких зон, причем межзонные границы обычно считаются подвижными. Зональные модели расчетов несколько сложнее, чем интегральные, при этом они лишены части их недостатков, имеют большие возможности и более точны.

В практике используются двухзонные модели. Двухзонная модель тепломассопереноса при пожаре предполагает разделение каждого расчетного помещения на два контрольных объема – верхний (дымовой) слой и нижний слой. Дополнительными контрольными объемами в помещении пожара являются дымовая и припотолочная струя дыма, так называемая конвективная колонка. Двухзонные модели демонстрируют довольно достоверную картину пожара – горячие дымовые газы скапливаются под потолком, образуя дымовой слой, параметры внутри слоя отличаются незначительно, по сравнению с различием параметров между верхним и нижним слоем.

Преимущества зональной модели заключаются в относительно быстром и низкотрудоемком инженерном расчёте динамики опасных факторов пожара. При этом модель учитывает закономерности теплового и гидродинамического взаимодействия струйного течения со строительными конструкциями. Интегральная и зональная модели в большинстве случаев с достаточной точностью могут применяться для расчета времени наступления критических значений опасных факторов пожара на путях эвакуации.

Исходя из анализа работ, посвященных моделированию опасных факторов пожара, в мире, благодаря развитию вычислительной техники и информационных технологий, все большее распространение при оценке пожарной опасности объек-

тов защиты получает применение математического моделирования развития пожара на базе полевых моделей. *Полевые модели* являются наиболее мощным и универсальным инструментом компьютерного моделирования. В полевых моделях выделяется расчетная область, которая делится на большое количество контрольных объемов. Для каждого из этих объемов с помощью численных методов решается система уравнений в частных производных, выражающих принципы локального сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов. С его помощью можно рассчитать температуры, скорости, концентрации компонентов смеси, тепловые потоки и т.д. в каждой точке расчетной области.

Используя полевые модели, можно проводить расчеты пожара на объекте практически любой геометрической формы с учетом основных физико-химических процессов [77]. Как правило, полевые методы применяются для помещений сложной геометрической конфигурации, помещений с большим количеством внутренних преград, а также для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных. Примерами таких помещений могут быть: атриумы с системой галерей и примыкающих коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей; тоннели, закрытые автостоянки большой площади и др.

Применение полевого метода целесообразно, когда применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение (уникальные сооружения, распространение пожара по фасаду здания, необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и т.д.).

Моделирование эвакуации людей при пожаре

Определение расчетного времени эвакуации людей из помещений и зданий осуществляется с помощью одной из моделей движений людских потоков: упрощенной аналитической модели, модели индивидуально-поточного движения людей или имитационно-стохастической модели движения людских потоков [60]. Выбор модели для расчета времени эвакуации осуществляется с учетом особенностей объемно-планировочных решений здания, а также особенностей контин-

гента (его однородности) людей, находящихся в нем.

Упрощенная аналитическая модель движения людского потока основана полностью на модели, представленной в ГОСТ 12.1.004-91, которая была расширена и дополнена, введён ряд новых показателей. Данная модель является наиболее простой и отработанной. Затруднения вызывает использование этой модели, когда имеется разнородный контингент эвакуирующихся (иными словами, в помещении присутствует маломобильные люди).

Развитием этой модели является *имитационно-стохастическая модель* движения людских потоков. Обе модели оперируют понятием потока (весь путь эвакуации делятся на участки, на каждом из которых рассматривается поток со своими характеристиками), не предполагая возможность моделировать и воспроизводить поведение отдельного человека. Тем самым исключается возможность использование этих моделей для расчета времени эвакуации смешанного контингента людей (различных групп мобильности), расчет может быть произведен только по одной группе мобильности.

Индивидуально-поточные модели относятся к классу моделей, которые предполагают моделирование передвижения отдельного человека (в том числе в потоке) и используются для обсчета помещений со сложной внутренней планировкой, где затруднено формирование потоков, и важен учет индивидуального движения человека. Такой класс моделей может быть использован для расчета различных сценариев эвакуации с учетом задания индивидуальных ролей эвакуирующихся и выбора наиболее оптимального сценария с точки зрения критериев безопасности.

В настоящее время активно продолжаются исследования и разработки по моделированию движения людей. Методы математического моделирования движения людей, реализованные в виде программных продуктов, являются востребованным последние 10-15 лет. Сложились два направления исследований в рамках математического моделирования движения людей – модели индивидуально-поточного типа и модели поточного типа. Первый характерен тем, что движение каждого человека (частицы) описывается отдельно, второй – моделирует изменение плотности потока. В рамках индивидуально-поточного подхода различают два направления: дискретное и непрерывное. В первом случае область покрывает-

ся равномерной сеткой, частицы (люди) могут занимать только одну клетку в каждый момент времени, передвижение на каждом временном шаге осуществляется одновременно всеми участниками и подчинено определенным правилам переходов. В случае непрерывных моделей движение на плоскости каждой частицы определенного радиуса описывается дифференциальным уравнением.

1.3.2 Существующие решения задачи расчета пожарного риска

На основе анализа результатов моделирования ОФП и процессов эвакуации людей выполняется расчет индивидуального пожарного риска. Расчет индивидуального пожарного риска производится по методике, утвержденной Приказом МЧС России от 30 июня 2009 года «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», зарегистрированной в установленном порядке Министерством Юстиции [6].

Согласно методике расчетный индивидуальный пожарный риск Q_v в здании определяется по формуле:

$$Q_v = Q_n * (1 - R_{ан}) * P_{пр} * (1 - P_{э}) * (1 - P_{н.з.}),$$

где Q_n – частота возникновения пожара в здании в течение года, $R_{ан}$ – вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения, $P_{пр}$ – вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения $P_{пр} = t_{функц}/24$, $t_{функц}$ – время нахождения людей на объекте в часах, $P_{э}$ – вероятность эвакуации людей, а $P_{н.з.}$ – вероятность эффективной работы технических решений противопожарной защиты, направленных на обеспечение безопасной эвакуации людей.

Вероятность эвакуации людей из помещений и зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1.2, Ф2, Ф3, Ф4, и ряда помещений класса Ф5 определяется согласно формуле:

$$P_3 = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нэ}}}, & \text{если } t_p < 0,8 \cdot t_{\text{бл}} < t_p + t_{\text{нэ}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин.} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{\text{нэ}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин.} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин.} \end{cases}$$

где t_p – расчетное время эвакуации людей, $t_{\text{нэ}}$ – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), $t_{\text{бл}}$ – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), $t_{\text{ск}}$ – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение 0,5).

Согласно методике для оценки вероятности эвакуации людей из помещений и зданий при возможных пожарах необходимо провести анализ пожарной опасности здания, определить частоты реализации пожароопасных ситуаций, построить поля опасных факторов пожара для различных сценариев его развития и оценить последствия воздействия опасных факторов пожара на людей. Это требует большого объема экспертной работы, при этом, чем ниже квалификация (опыт) эксперта, тем большее количество возможных сценариев развития пожара необходимо рассматривать.

Частота реализации пожароопасных ситуаций определяется частотой возникновения пожара в здании в течение года, которая получается на основании статистических данных. Для некоторых объектов эта величина представлена в Приложении 1 к методике [6]. Для построения полей опасных факторов пожара проводится экспертный выбор сценария или сценариев пожара, при которых ожидаются наихудшие последствия для находящихся в здании людей. Таким образом, процесс оценки величины вероятности эвакуации людей при пожаре можно условно разделить на два этапа: первый – работа эксперта, определяющего сценарии пожара и частоты их реализации, второй – проведение расчётов распространения опасных факторов пожара и процесса эвакуации людей и определение вероятности

сти эвакуации и величины пожарного риска.

На сегодняшний день на российском рынке представлено достаточно большое количество компаний, предоставляющих услуги по расчету пожарных рисков. Расчет рисков производится как с применением специализированных программных комплексов, так и в ручном режиме с использованием Microsoft Excel, MathCAD.

Специализированные программные комплексы реализуют положения, описанные в приложениях методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, а также другие модели расчета времени эвакуации и распространения полей ОФП.

Один из самых мощных комплексов в нашей стране, решающий поставленные задачи в области расчетов пожарных рисков разработан компанией «СИТИС» (ООО «Строительные информационные технологии и системы») [81]. Можно выделить ряд достоинств программных средств «СИТИС»:

- наглядный ввод и редактирование данных;
- демонстрация результатов расчета;
- воспроизведение движения людских потоков;
- детальное представление результатов отчета;
- использование нескольких моделей движения людского потока (аналитической, индивидуально-поточной, имитационно-стохастической);
- расчет необходимого времени эвакуации при помощи интегральной, полевой и зонной моделей;
- все программы комплекса используют единообразные файлы проектов.

В то же время с точки зрения эффективности функционирования комплекс имеет ряд спорных функций, таких как:

- визуализация данных не соответствует физической природе процесса;
- выходные данные представляют собой массив, непригодный для моментального формирования отчета;

– комплекс состоит из набора программ для решения частных задач: СИТИС: Флоутек, СИТИС: Блок, СИТИС: Эватек, СИТИС: Спринт [74].

Работа в программах «СИТИС: Флоутек ВД», «СИТИС: Блок», «СИТИС: ВИМ», «СИТИС: Фламмер» и «СИТИС: Спринт» выполняется с одним и тем же файлом проекта. Для расчета пожарного риска необходимо построить топологию объекта в одной из расчетных программ («СИТИС: Флоутек ВД», «СИТИС: Блок» или «СИТИС: ВИМ»). Сохранить построенную топологию в виде файла проекта и продолжать работать в других программах именно с этим же файлом. При этом с файлом проекта в разных программах нужно работать последовательно. То есть открыть файл проекта, например, в «СИТИС: Флоутек ВД», внести коррективы, сохранить изменения, закрыть и только после этого открыть его в другой программе комплекса. При открытии одного и того же файла проекта одновременно в нескольких программах может возникнуть ошибка в ключе, программы закроются из-за ошибки, и данные будут потеряны. При работе с комплексом также возможны проблемы, связанные с различием версий программ, поскольку для решения задачи расчета пожарного риска необходимо последовательно использовать несколько разных программ.

Другой большой программный комплекс, позволяющий решать задачи расчета пожарного риска, разработан компанией Интернэкс (ООО «Институт технического регулирования и независимой экспертизы») [79]. Его название «Фогард. Комплекс позволяет производить расчеты в области пожарной безопасности через Интернет. На сегодняшний день в этом комплексе имеются программы по расчету времени блокирования путей эвакуации, времени эвакуации людей, пожарного риска, категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. Комплекс состоит из отдельных программ:

– «Фогард-Нв» – для расчета времени блокирования путей эвакуации с использованием интегральной и двухзонной моделей распространения полей ОФП (с учетом распространения ОФП по этажам через горизонтальные проемы, изменения состояний проемов (закрытия дверей/вскрытия окон), результатов работы

системы вытяжной и приточной противодымной вентиляции). Модуль также содержит аналитическую модель определения необходимого времени эвакуации людей при пожаре из помещений высотой не более 6 м;

– «Фогард-ПМ» – для расчета времени блокирования путей эвакуации по полевой математической модели расчета газообмена в здании при пожаре. Отдельно предоставляется программа для редактирования параметров расчета «Fogard Client».

– «Фогард-Рв» – для определения расчетного времени эвакуации на основе упрощенной аналитической модели, основы которой представлены в приложении 2 к методике [6];

– «Фогард-Рп» – для определения расчетного времени эвакуации людей из помещений и зданий на основе математической модели индивидуально-поточного движения людей;

– «Фогард-риск» – для определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (за исключением производственного и складского назначения);

– «Фогард-ПР» – для определения расчетных величин пожарного риска производственных объектов в соответствии с методикой, ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» [8];

– «Фогард-К» – для определения категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. Разработан на основе методики, которая представлена в своде правил СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [21].

Графический интерфейс программы «Фогард-РВ» реализован в приложении «TimeCAD» на базе программы AutoCAD (версии 2007-2011) и применяется для формирования геометрии здания, расчетной схемы эвакуации, получения и передачи чертежей в формате AutoCAD на серверы «Фогард» для последующих расчетов.

Сервис «Фогард» доступен с любого компьютера, подключенного к сети Интернет, при этом не требуется установка дополнительного программного обеспечения (за исключением «TimeCAD» или «Fogard Client»). Пользователю всегда доступны последние версии программ, так как программы размещены в сети Интернет и не требуют дополнительного обновления на локальном компьютере. К компьютеру не предъявляется никаких особых требований по производительности, поскольку все расчеты проводятся на сервере компании. Необходимо лишь обеспечить скорость по сети Интернет не менее 512 кБ/с. На сайте разработчика пользователю предлагается также бесплатный калькулятор пожарного риска для экспресс-анализа объекта в режиме он-лайн. Для расчета величины пожарного риска пользователю необходимо воспользоваться несколькими программами комплекса «Фогард», затем полученные данные ввести в интерфейс калькулятора расчета пожарного риска.

Компанией MST (ЗАО «Современные программные технологии») разработан программный комплекс «Fenix+» [82]. В данном комплексе при расчете времени эвакуации из здания применяется индивидуально-поточная модель движения людей. Для расчета времени достижения критических значений ОФП и блокирования эвакуационных путей – полевой метод моделирования пожара. В качестве расчетного ядра используется программа FDS (Fire Dynamics Simulator), разработанная Национальным институтом стандартов и технологии (НИСТ/NIST) Министерства торговли США при содействии Технического научно-исследовательского центра VTT [83].

Программа FDS реализует вычислительную гидродинамическую модель тепломассопереноса при горении. FDS численно решает уравнение Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков. В методике расчета пожарного риска особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре. При создании модели для FDS важным параметром является область расчета или MESH в терминах FDS. В программе есть возможность задать область, в которой необходимо моделировать развитие пожара.

«Fenix+» позволяет автоматически определить степень дискретизации расчетной области. Программа управляет правильным разбиением области на ячейки, а также осуществляет автоматическое согласование нескольких расчетных областей. Программа включает в себя инструмент, позволяющий установить в произвольном месте сцены на произвольной высоте измерительную линию – регистратор. Обычно он размещается около двери и одновременно с измерением опасных факторов пожара автоматически производит учет людей, которые пересекают его линию. Для контроля моделирования пожара, на протяжении всего процесса расчета ОФП, имеется возможность следить за распространением дыма и огня в отдельном окне «SmokeView». По окончании расчета опасных факторов пожара можно просмотреть результаты моделирования в виде удобных графиков. Калькулятор расчета пожарного риска встроен непосредственно в программу. Методика расчета пожарного риска, реализуемая в программе «Fenix+», оперирует понятием сценария пожара. Сценарий пожара представляет собой вариант развития пожара с учетом принятого места возникновения и характера его развития. Сценарий пожара определяется на основе данных об объемно-планировочных решениях, о размещении горючей нагрузки и людей на объекте. Методика пожарного риска «Fenix+» позволяет в рамках одного проекта создавать несколько сценариев, каждый из которых позволяет моделировать эвакуацию, развитие пожара и рассчитывать пожарный риск. Любой сценарий можно представить как объединение трех независимых составляющих:

- топологическая составляющая (топология) – включает в себя объемно-планировочные решения, реализованные на объекте;
- эвакуационная составляющая – включает в себя людей и эвакуационные выходы, через которые эвакуируются люди;
- пожарная составляющая – включает в себя источники огня.

Таким образом, когда необходим расчет пожарных рисков, методика при объединении одной и той же топологии с разными эвакуационными составляющими, будет приводить к различным сценариям. Справедливо и обратное утвер-

ждение, что при объединении разных топологий с одной и той же эвакуационной составляющей будут получаться разные сценарии. Все вышесказанное справедливо и для пожарной составляющей сценария. Это является особенностью используемой в «Fenix+» методики расчета рисков.

Достоинство комплекса «Fenix+» состоит в том, что комплекс является целостным решением, объединяющим в себе весь функционал, необходимый инженеру для расчета пожарного риска. К минусам данного комплекса можно отнести крайне ограниченный набор расчетных моделей эвакуации и распространения опасных факторов пожара.

ООО НПП «Авиаинструмент» предлагает вертикально-интегрированную информационную систему – программный комплекс «Русь», версия 5.1, блок «Пожарная безопасность» для расчета пожарного риска [80]. Назначение данного программного продукта – прогнозирование, расчет пожарного риска в общественных зданиях, на производственных объектах и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, ущерба при пожарах третьим лицам, определения категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, определение времени эвакуации, определение времени блокировки, развития опасных факторов пожара.

Блок «Пожарная безопасность» программного комплекса «Русь» предназначен для обеспечения единой информационно-технологической цепочки расчета пожарного риска:

- определения времени эвакуации и времени блокировки;
- определения динамики развития опасных факторов пожара;
- расчета пожароопасных аварийных ситуаций в общественных зданиях на опасных производственных объектах;
- определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности;
- определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах

- определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности;
- обеспечения единой информационно-технологической цепочки сбора, хранения, обработки информации в области прогнозирования, расчета риска и ущерба при пожарах, аварийных ситуациях в общественных зданиях, на производственных объектах;
- проверки достоверности представления и обработки информации по расчету пожарного риска на опасных производственных объектах по всей информационной вертикали;
- создания единой базы данных с целью снижения угроз здоровью людей, работающих на объектах, населения, проживающего в зонах расположения опасных объектов, природной среде.

Расчет времени блокирования эвакуационных путей производится комплексом по одной из двух моделей: аналитической или интегральной. Аналитическая модель считает по упрощенным формулам, при этом не учитывается распространение пламени между помещениями, а все здание рассматривается как единое помещение, т.е. расчет предназначен для одноэтажного здания, не разделенного на отдельные помещения (торговый центр, выставочный зал), высотой не более 6 метров. Проведение расчета времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП по аналитическим соотношениям для определения критической продолжительности пожара состоит в следующем: определяются численные значения времени достижения опасных факторов пожара критических значений, таких как потеря видимости, повышенная температура, концентрация токсичных продуктов горения (CO_2 , CO , HCl), пониженное содержание кислорода.

Время эвакуации людей из здания рассчитывается по упрощенной аналитической модели движения людского потока. Для расчета времени эвакуации используются следующие элементы схемы: рабочее место, участок пути эвакуации, лестничная клетка и выход. Их можно задавать графически или занести в таблицу

«Список элементов схемы» самостоятельно. Заполнение таблиц необходимо проводить от первого этажа к вышеследующим, сначала обозначив рабочее место, затем указать все выходы, потом обозначить участки путей эвакуации и лестничные клетки. В расчетной схеме учитываются только те пути движения людей, которые отвечают требованиям, предъявляемым к путям эвакуации. Расчетная схема эвакуации должна учитывать ситуацию, при которой хотя бы один человек находится в наиболее удаленной от выхода из здания (или сооружения) точке. При составлении расчетной схемы эвакуации пользователь наносит на план рабочие места (начальные участки с указанием количества людей), направления движения людей (маршруты), геометрические параметры участков пути (длина, ширина) и виды участков пути. Определение ширины пути вызывает затруднение только при выходе людей на участок «неограниченной» ширины, например в вестибюль. В этом случае ширина потока зависит от количества людей и длины участка.

Программный комплекс «Русь. Пожарная безопасность» включает в себя порядка 40 пакетов прикладных программ для решения обширного спектра задач. Расчет пожарного риска – это лишь одна из таких задач. Комплекс крайне сложен, и для его правильного использования необходимо обучение. К тому же набор моделей расчета времени эвакуации и времени блокирования крайне примитивен.

Наряду с рассмотренными комплексами необходимо отметить также программы:

– PojRCalc – для определения расчетных величин пожарного риска, в которой возможно использование результатов расчетов программ: GreenLine (для расчета фактического времени эвакуации по упрощенной аналитической модели движения), TCalc (для расчета необходимого времени эвакуации с использованием аналитических соотношений для времени достижения критических значений ОФП), Z-Model (для расчета времени блокирования эвакуационных путей с использованием зонной модели [84]).

– FireGuide – программа для расчета риска на основе моделей FDS+EVAC. Расчет эвакуации производится совместно с расчетом распространения опасных

факторов пожара. Для выполнения расчета риска пользователю необходимо задать источник огня, группу эвакуирующихся, эвакуационный выход и детектор. Для каждого эвакуационного выхода рассчитывается вероятность эвакуации [78].

Решение задач расчета пожарного риска в настоящее время реализовано во многих программах и программных комплексах. Но главный недостаток этих комплексов – это разрозненность, то есть для решения отдельных задач используются различные программные модули. Наиболее эффективными являются комплексы, позволяющие проводить полный расчет времени эвакуации и времени блокирования эвакуационных путей и расчетных показателей пожарного риска в одном продукте, и в рамках одного проекта. Важным аспектом является также наличие набора моделей, предлагаемого пользователю для расчета [66]. Задача разностороннего анализа результатов моделирования эвакуации и распространения полей ОФП не решается, как и не решается задача оценки состояния пожарной безопасности объекта защиты.

1.3.3 Методы слияния и анализа разнородных данных

Современные системы поддержки принятия решений, прогнозирования и анализа данных ориентированы на обработку больших массивов данных, полученных в результате моделирования или мониторинга изучаемых явлений [99]. При этом исходные массивы могут храниться распределенно и содержать разнородные данные, представляемые различными форматами и структурами, быть различными как по своей природе, так и по степени достоверности. Главной задачей технологии слияния данных (Data fusion) является объединение данных для решения последующих задач принятия решений, определения состояния объектов, оценки ситуации и т.д. [22]. Решение задачи поддержки принятия решений основывается на анализе предварительно собранных и подготовленных данных, полученных в результате работы процесса Data Fusion.

Другие технологии слияния данных опираются на класс методов и средств, использующих данные нескольких сенсоров различной природы для повышения качества информации, содержащейся в этих данных [107]. Например, для полу-

чения качественного изображения поверхности Земли можно применять методы слияния нескольких снимков одного и того же места, полученных разными спутниками в разное время. При слиянии изображений часто приходится привлекать дополнительные данные (топографические карты, GPS-координаты, геофизическую информацию, и т.д.). В литературе к методам слияния изображений относятся такие методы, как анализ комбинированных, согласованных, комплементарных, совмещенных, составных изображений [91, 105].

Согласно анализу публикаций можно сделать вывод, что программные разработки в сфере слияния данных направлены на решение вопросов слияния данных, представленных цифровыми изображениями и массивами данных [87, 95, 109]. В центре внимания находится решение разных прикладных задач [22].

Развитие технологий и программная реализация консолидации разнородной информации из различных источников требует решения следующих вопросов:

- каким образом будет решена проблема слияния разнородных данных, полученных из распределенных источников;
- как может быть решена проблема сопоставления данных об одном и том же объекте, представленном в различных источниках;
- как решить проблему разнообразия шкал измерения и структур представления данных в различных источниках;
- каким образом организуется слияние данных, полученных на основе различных методов классификации;
- какова архитектура системы слияния данных, и как необходимо распределить задачи между ее различными подсистемами.

Для автоматизации совместного анализа результатов моделирования распространения ОФП и эвакуации необходимо выполнить процедуру консолидации двух массивов данных [47]. Под *консолидацией* понимается комплекс методов и процедур, направленных на извлечение данных из различных источников, обеспечение необходимого уровня их информативности и качества, преобразование в единый формат, в котором они могут быть загружены в хранилище данных или

аналитическую систему [55]. При консолидации решаются сопутствующие задачи: оценка качества данных и их обогащение. Обогащение – процесс дополнения данных информацией, позволяющей повысить эффективность решения аналитических задач. Выделяют несколько основных критериев оптимальности с точки зрения консолидации данных: поддержка целостности структуры данных, контроль непротиворечивости данных, обеспечение высокой скорости доступа к данным, компактность хранения. В основе процедуры консолидации лежит процесс ETL (extraction, transformation, loading) [55].

Процесс ETL является начальным этапом при реализации любой задачи или проекта, связанных с анализом больших объемов данных. В его основе лежит процесс сбора и хранения данных в виде, оптимальном с точки зрения их обработки на выбранной аналитической платформе для решения поставленной задачи [88].

ETL-система должна обеспечивать выполнение трех основных шагов процесса слияния данных. *Извлечение данных.* На этом шаге данные извлекаются из одного или нескольких источников и подготавливаются к преобразованию. При извлечении должна учитываться информация, описывающая структуры данных, для формирования метаданных в хранилище. На втором шаге выполняется *преобразование данных.* Происходит преобразование форматов представления данных и кодировок, а также их очистка и обобщение. На заключительном шаге выполняется *загрузка данных.* Происходит запись преобразованных данных в соответствующую систему хранения.

Одна из важнейших и трудно формализуемых проблем аналитических технологий это проблема «грязных» данных [111]. Наиболее распространены проблемы, связанные с нарушением структуры данных:

- корректность форматов и представлений данных;
- уникальность первичных ключей в таблицах базы данных;
- полнота и целостность данных;
- полнота связей;

– соответствие некоторым аналитическим ограничениям и т.д.

Очистка данных необходима при их загрузке в хранилище. При разработке стратегии ETL этой проблеме уделяется большое внимание. В данных, извлекаемых из различных источников, могут содержаться проблемы, из-за которых выполнить загрузку данных в хранилище будет невозможно.

Некоторые виды ошибок (аномальные значения и противоречия) могут быть обнаружены только после слияния данных. Предварительно нельзя сделать вывод, что некоторое значение является аномальным, пока не произведено его сравнение с соседними значениями в массиве.

Очистка данных в процессе ETL носит технический характер. Ее главная задача – подготовить данные к загрузке в хранилище. Вторичная очистка в аналитической системе является пользовательской, она направлена на подготовку данных к решению конкретной аналитической задачи. Поэтому оба этапа очистки одинаково важны и необходимы.

Разработка методов, реализующих технологию ETL [92-94], позволит подготовить данные и выполнить совместный анализ двух массивов данных, таких как данные моделирования распространения полей опасных факторов пожара и данные моделирования эвакуации людей из здания. Анализ этих двух массивов позволяет определить значения параметров, необходимых для расчета величины индивидуального пожарного риска, а также позволяет обнаружить проблемные места в здании.

1.3.4 Поддержка принятия решений в сфере пожарной безопасности

Информационной поддержке принятия решений в области пожарной безопасности посвящено достаточно много работ. Можно выделить две основных разновидности систем поддержки принятия решений, над которыми активно работают отечественные и зарубежные ученые. Первая – системы поддержки принятия решений по управлению пожарными подразделениями [86, 90, 98, 104] и вторая – системы поддержки принятия решений по тушению пожаров [35, 42, 97, 114].

Krasuski и Kreński в своей работе [102] обосновывают актуальность создания системы поддержки управления ресурсами группы пожарных подразделений с целью предотвращения ситуации «блокировки» подразделения из-за дефицита ресурсов. Под «блокировкой» авторы понимают отсутствие возможности среагировать на поступивший сигнал о пожаре. Как правило, возможность изменить количество пожарных станций или их расположение отсутствует. Следовательно, для решения проблемы «блокировки» необходимо грамотное планирование распределения сил и средств, которое должно опираться на широкий спектр факторов, таких как национальные и европейские правила по пожарной безопасности, частота и география вызовов, характеристика дорожной сети и т.д. Авторы предлагают метод прогнозирования нагрузки на пожарные подразделения, который может быть основой для создания системы поддержки принятия управленческих решений по руководству силами и средствами пожарных подразделений.

Задача поддержки управления пожарными подразделениями решается с использованием ГИС-технологий и Web-сервисов группой авторов [64]. Для случая пожара вначале Web-сервис, отвечающий за взаимодействие с пользователем, получает от диспетчера данные о месте возникновения пожара, степени сложности пожара, предварительном количестве потерпевших. Эти данные используются для генерации карты региона, в котором возник пожар. Затем на карту наносятся объекты, заданные в абстрактном контексте, и указывается место пожара. К таким объектам относятся имеющиеся в данном регионе строения, в частности больницы, дороги, медицинские и пожарные бригады вместе с используемыми ими транспортными средствами. Для нанесения объектов используется информация, предоставляемая Web-сервисами. Карта региона с нанесенными на нее объектами предоставляется лицу, принимающему решения. Предполагается, что на основании имеющейся информации могут быть приняты решения о том, какие медицинские и пожарные подразделения должны принять участие в ликвидации последствий пожара, и могут быть выбраны маршруты движения этих бригад. Такое реше-

ние является комплексным решением для задач выбора пожарных, медицинских и других бригад, а также больниц и транспортных путей.

Китайские специалисты решают задачи поддержки управления аварийно-спасательной службой крупного города с помощью ГИС-технологий [113]. За основу взята мощная ГИС-система ArcGIS. Система на базе ГИС-технологий позволяет обеспечить более точное и быстрое принятие решений, избежать задержек, снизить ущерб и количество жертв пожара.

Ведутся работы по созданию системы поддержки управления тушением пожара [34, 67]. Система предназначена для повышения достоверности управленческих решений руководителя при прогнозировании динамики распространения пожара и определения необходимых сил и средств в условиях неопределенности. Для решения задачи прогнозирования площади пожара и определения оптимального количества ресурсов применяется нечеткая нейронная сеть ANFIS [99]. Авторами создана база данных параметров пожара, обеспечивающая использование их при прогнозе динамики возгорания и расчете необходимых сил и средств для тушения пожара. Реализована возможность пополнения базы данных пользователем в процессе работы. Решена задача формирования обучающих выборок для системы поддержки принятия решений.

Большое внимание ученые уделяют созданию систем поддержки принятия решений по анализу и ликвидации лесных пожаров [69, 89, 112]. Системы позволяют моделировать распространение лесного пожара в зависимости от местности, состава леса, погодных условий. Прогнозировать возможный ущерб и формировать рекомендации по необходимым для ликвидации пожара силам и средствам, мероприятиям обеспечения безопасности близлежащих населенных пунктов и т.д.

Структурно-функциональная организация системы поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из образовательных учреждений представлена в работах В. В. Тепловой, А. С. Сизова, А.Т. Миргалеева и др. [63, 44]. Авторы утверждают, что с точки зрения повышения оперативности эвакуации людей из помещений одним из основных блоков системы обеспечения пожарной безопасности является модуль поддержки принятия решений. Основное назначе-

ние этого модуля – формирование плана эвакуации с целью повышения эффективности управленческих решений по эвакуации людей из здания. Использование разработанной структурно-функциональной организации системы поддержки управления позволяет расширить оперативно-технические возможности 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.

Анализ существующих систем поддержки принятия управленческих решений в области пожарной безопасности показал, что нерешенной остается задача поддержки управления по повышению уровня пожарной безопасности зданий объектов образования на основе анализа пожарного риска и их технического состояния. Существуют отдельные продукты, которые могут помочь лицу, принимающему решение, произвести расчеты эвакуации людей и распространения полей опасных факторов пожара, а также рассчитать величину пожарного риска. Однако комплексная задача поддержки принятия управленческих решений и формирования рекомендаций по снижению величины пожарного риска остается нерешенной.

1.4 Задачи диссертационной работы

Результаты исследования актуальных проблем поддержки управления пожарной безопасностью зданий сферы образования позволили обосновать следующие задачи диссертационной работы.

1. Исследование системной проблемы поддержки управления пожарной безопасностью зданий 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.

1.5 Выводы к главе 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.

Построена концептуальная модель системы поддержки управления пожарной безопасностью. На основе 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. 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.

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 людей на объектах образования.

На основании проведенного исследования системной проблемы поддержки управленческих решений по повышению пожарной безопасности зданий сферы образования сформулированы задачи диссертационной работы.

2 Модель и методы интеллектуальной поддержки принятия решений по пожарной безопасности

2.1 Модель системы комплексной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности

Модель системы комплексной поддержки принятия управленческих решений разработана с целью совершенствования управления пожарной безопасностью зданий сферы образования за счет интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений на основе анализа технического состояния здания, моделирования пожара, процесса эвакуации, оценки пожарного риска [46]. Основой для создания модели послужила концептуальная модель системы поддержки принятия управленческих решений по снижению пожарного риска (п. 1.2), полученная в результате системного анализа исследуемой проблемы.

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.

Основная задача системы – предоставление лицу, принимающему решения, инструмента для исследования условий текущей эксплуатации здания 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.

Важная функциональная задача разработанной модели – предоставление справочной информации по пожарной безопасности. Обучение и контроль знаний

по пожарной безопасности персонала и посетителей (учащихся) объекта являются еще одной функциональной задачей модели.

2.1.1 Формальное описание модели

Модель представляется следующим образом:

$$M = \langle T, X, D, Mds, Minf, Mtr, F \rangle, \text{ здесь}$$

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:

$$X' = \langle G, St, Nb \rangle, \text{ где}$$

G – множество характеристик, определяющих геометрию здания,

St – множество параметров, определяющих свойства лестничных маршей,

Nb – множество параметров, определяющих параметры расчетной сетки для моделирования распространения ОФП.

X'' представляется в виде:

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

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,

Ew – множество характеристик эвакуационных путей.

F – функция выбора модели имеет вид:

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

В зависимости от цели использования происходит выбор одной или нескольких моделей подсистем для решения функциональных задач и формирования выходных данных.

2.1.2 Структурно-функциональное описание модели

Для построения M , Mds , $Minf$, Mtr выполнен структурно-функциональный анализ предметной области по методологии SADT, рассмотрены основные процессы функционирования модели системы [75]. Методология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis and Design Technique) [29, 68] представляет собой методологию системного анализа, позволяющую обеспечить описание и понимание систем повышенной сложности. Для описания предложенной модели используется методология функционального моделирования и графической нотации IDEF0. Модель в нотации IDEF0 представляет собой совокуп-

ность иерархически упорядоченных и взаимосвязанных диаграмм (в работе приводится 11 основных диаграмм, полностью модель описана 34 диаграммами).

Описываемая модель содержит два типа диаграмм: контекстную диаграмму и диаграммы декомпозиции. Диаграммы декомпозиции являются подробным описанием функционального блока, расположенного на предыдущем уровне [41].

На рисунке 2.1 приведена контекстная диаграмма, которая представляет собой общее описание разработанной модели системы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности и взаимодействие ее с внешней средой.

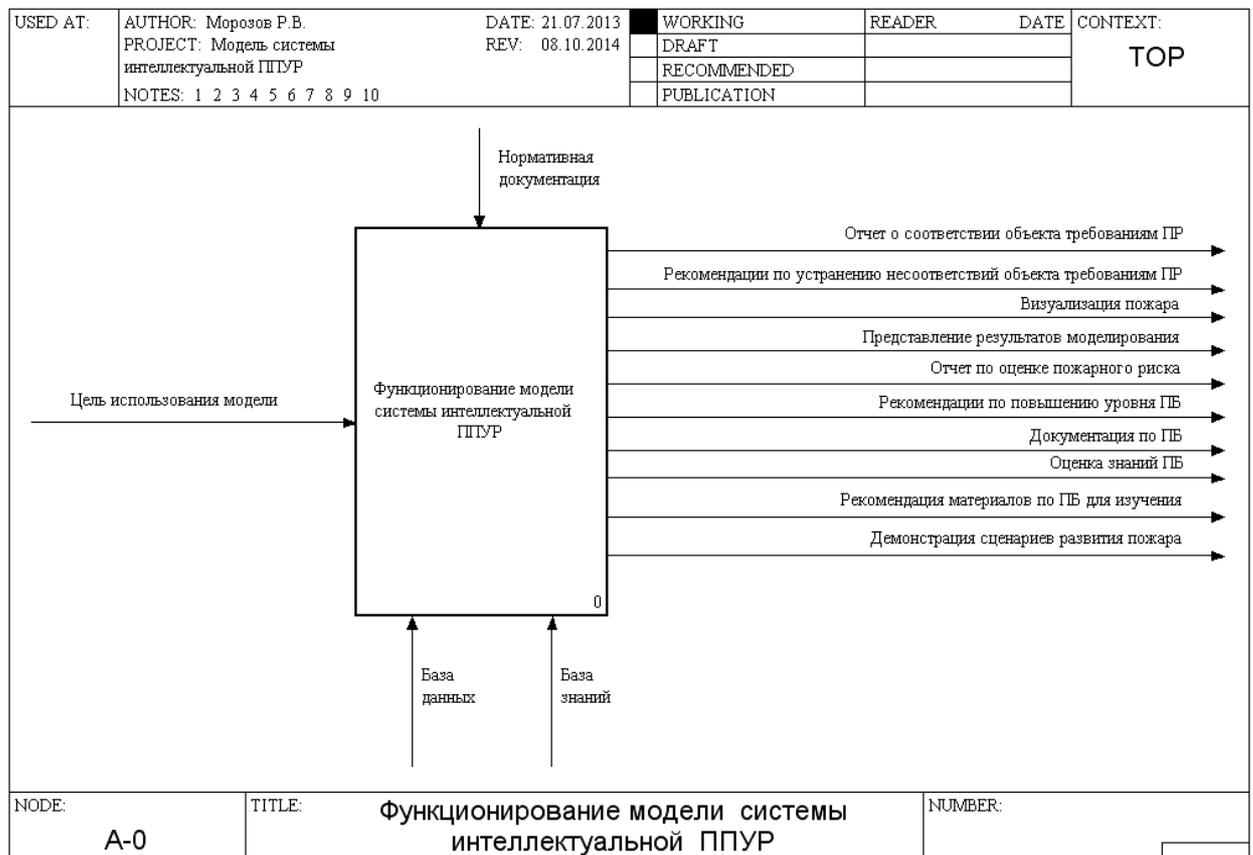


Рисунок 2.1 – Контекстная диаграмма модели

Поскольку модель обладает широкой функциональностью и ориентирована на обеспечение потребностей различных пользователей, выдаваемый результат зависит от выбора пользователя – цели использования. В зависимости от цели, которую преследует пользователь при работе с системой, формируются входные

данные (рисунок 2.2). Формирование данных осуществляется на основе нормативной документации, базы данных и базы знаний.

На вход модели поступают сформированные данные (параметры моделирования, характеристики объекта, запрос информации, тематика обучения), и по результатам работы модель формирует соответствующий выход.

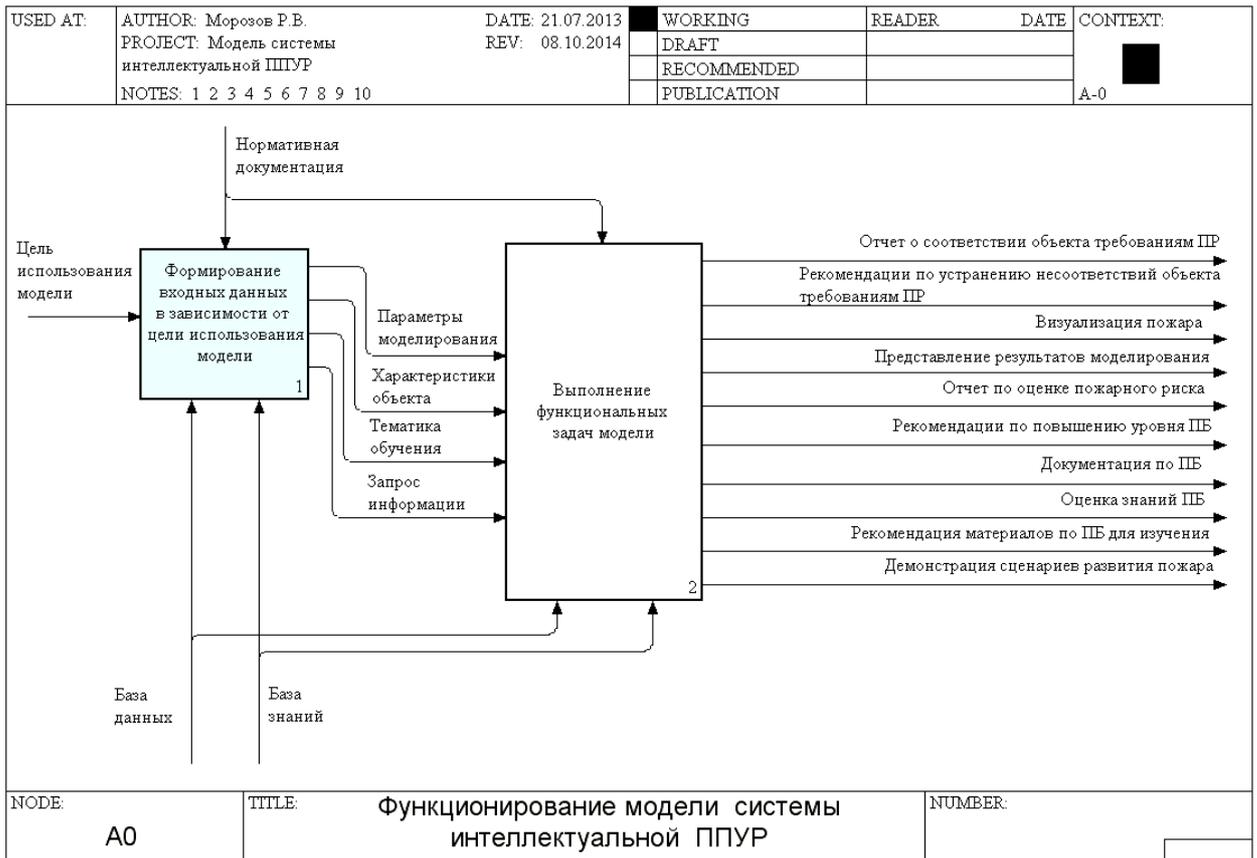


Рисунок 2.2 – Диаграмма декомпозиции функционирования модели

2.1.3 Формирование входных данных в зависимости от цели использования

Диаграмма декомпозиции процесса «Формирование входных данных в зависимости от цели использования системы» представлена на рисунке 2.3.

Если поставлена задача оценить пожарный риск или исследовать процесс эвакуации, то необходимо задать параметры для моделирования развития пожара и эвакуации, либо выбрать имеющийся в базе данных сценарий. Параметры моде-

лирования включают описание геометрии здания, расположение мебели, начальное расположение людей и характеристики угроз пожарной безопасности.

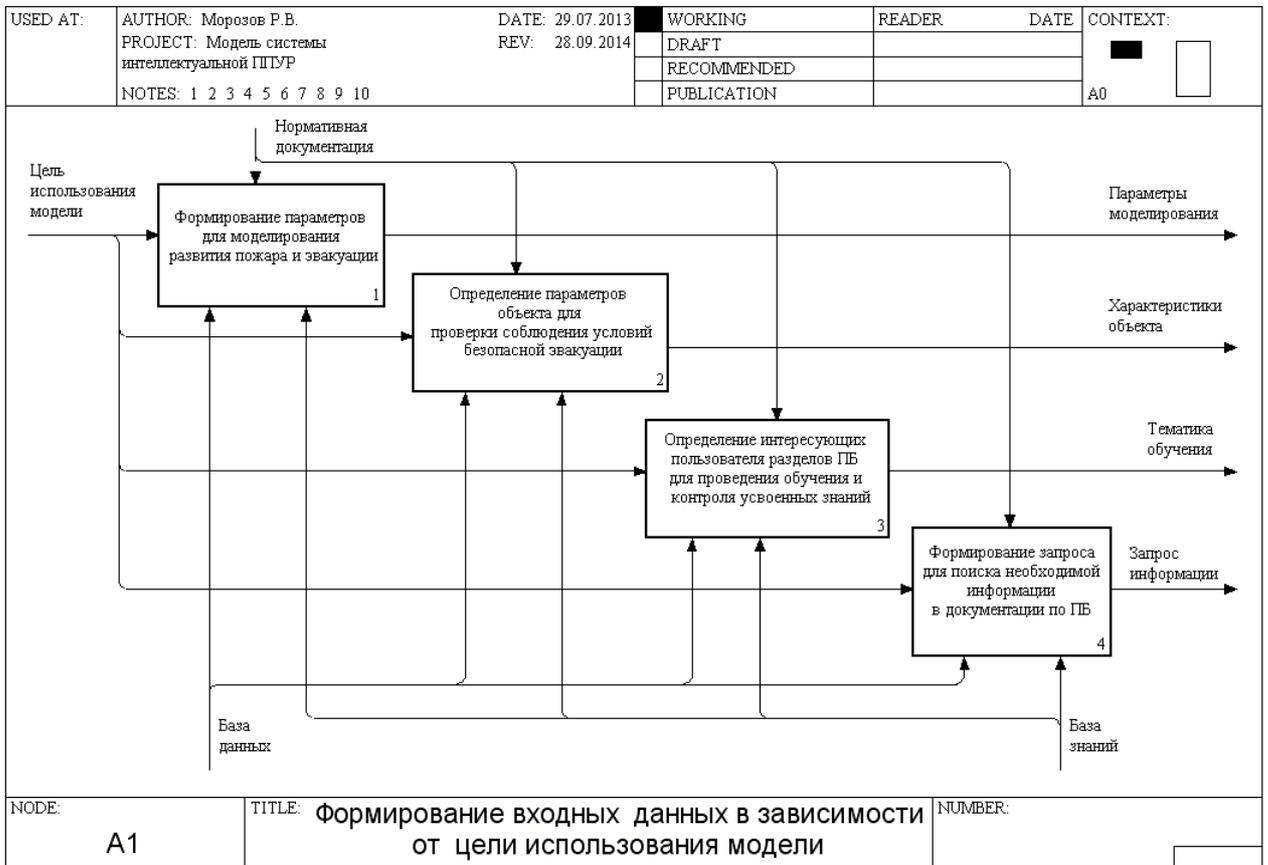


Рисунок 2.3 – Диаграмма декомпозиции процесса «Формирование входных данных в зависимости от цели использования модели»

При необходимости проверки технических характеристик здания на соответствие требованиям пожарной безопасности и соблюдения условий безопасной эвакуации задаются характеристики объекта, по которым осуществляется проверка. Значения требуемых параметров задаются пользователем в режиме «вопрос-ответ» по вопроснику, сформированному на основе знаний экспертов и анализа нормативной документации и свода правил по пожарной безопасности.

Согласно диаграмме декомпозиции процесса «Формирование входных данных в зависимости от цели использования системы» подпроцесс «Определение интересных пользователю разделов пожарной безопасности для проведения обучения и контроля усвоенных знаний» выполняет действия по определению разделов пожарной безопасности. Тематика обучения задается путем выбора

пользователем одного из разделов пожарной безопасности для определения области его интересов и проведения ознакомления с соответствующей информацией. Такими разделами являются, например, содержание территории, содержание зданий и помещений, пути эвакуации и эвакуационные выходы, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. В зависимости от выбранной тематики обучения выдается подборка материалов для самостоятельного изучения или проводится тестирование для оценки знаний.

Результатом выполнения процесса «Формирование входных данных в зависимости от цели использования системы» являются входные данные для работы модели системы, а именно:

1. *Параметры моделирования* – набор геометрических и функциональных параметров объекта защиты, характеристик угроз пожарной безопасности необходимых для расчета развития пожара и для исследования процесса эвакуации в заданном интервале времени.

2. *Характеристики объекта* – набор параметров объекта, по которым осуществляется проверка соблюдения требований пожарной безопасности и оценка соответствия здания условиям безопасной эвакуации.

3. *Тематика обучения* – выбранный пользователем один из разделов пожарной безопасности для проведения ознакомления с соответствующей информацией или для оценки знаний.

4. *Запрос информации* – сформулированный пользователем запрос для формирования выборки из общей базы документов.

Диаграмма декомпозиции процесса «Формирование параметров для моделирования развития пожара и эвакуации» представлена на рисунке 2.4. Процесс включает: определение характеристик сценария пожара; определение характеристик сценария эвакуации; определение характеристик работы системы противопожарной защиты; определение параметров расчета для исследования процесса эвакуации.

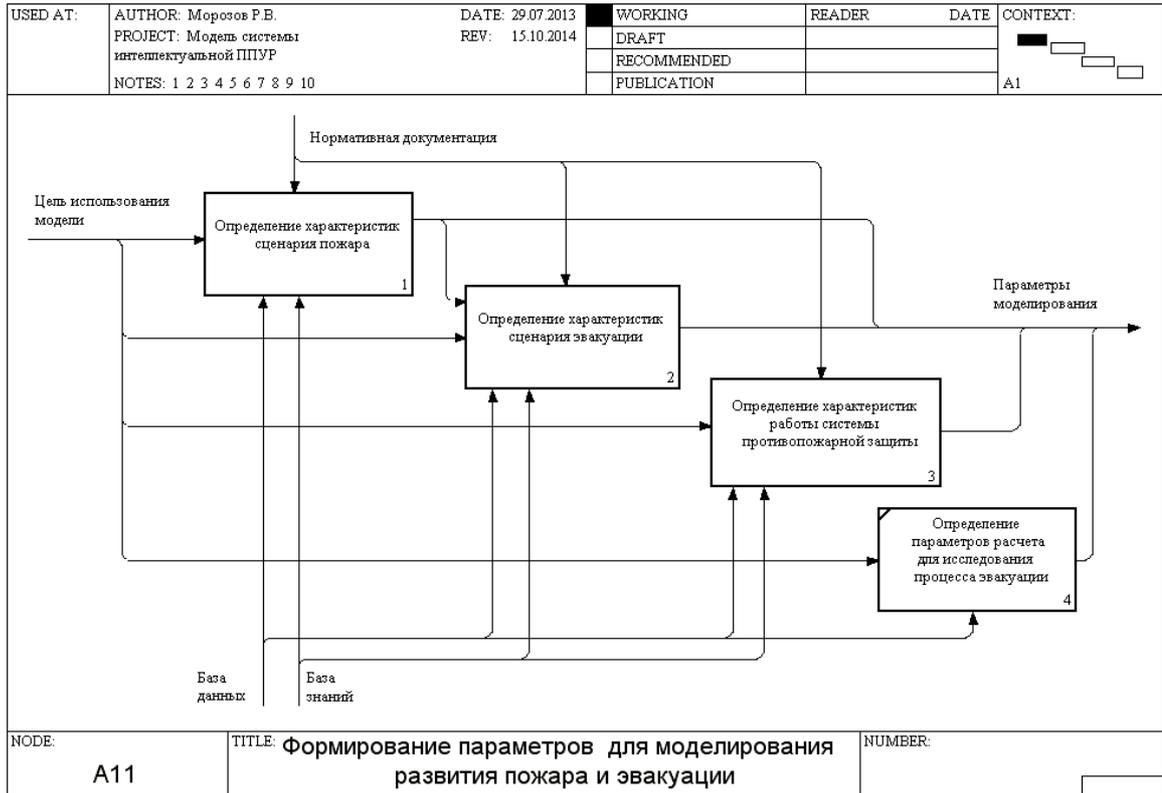


Рисунок 2.4 – Диаграмма декомпозиции процесса «Формирование параметров для моделирования развития пожара и эвакуации»

Для анализа распространения ОФП пользователь может выбрать заранее просчитанный сценарий из базы или сформировать новый (рисунок 2.5).

Для моделирования распространения ОФП входными параметрами являются: множество параметров, определяющих геометрию здания; множество параметров, определяющих пожарную нагрузку помещений здания; множество параметров, определяющих расположения очага пожара; множество параметров, определяющих свойства окон; множество параметров, определяющих свойства дверей; множество параметров, определяющих свойства системы вентиляции; множество параметров, определяющих свойства системы противопожарной защиты.

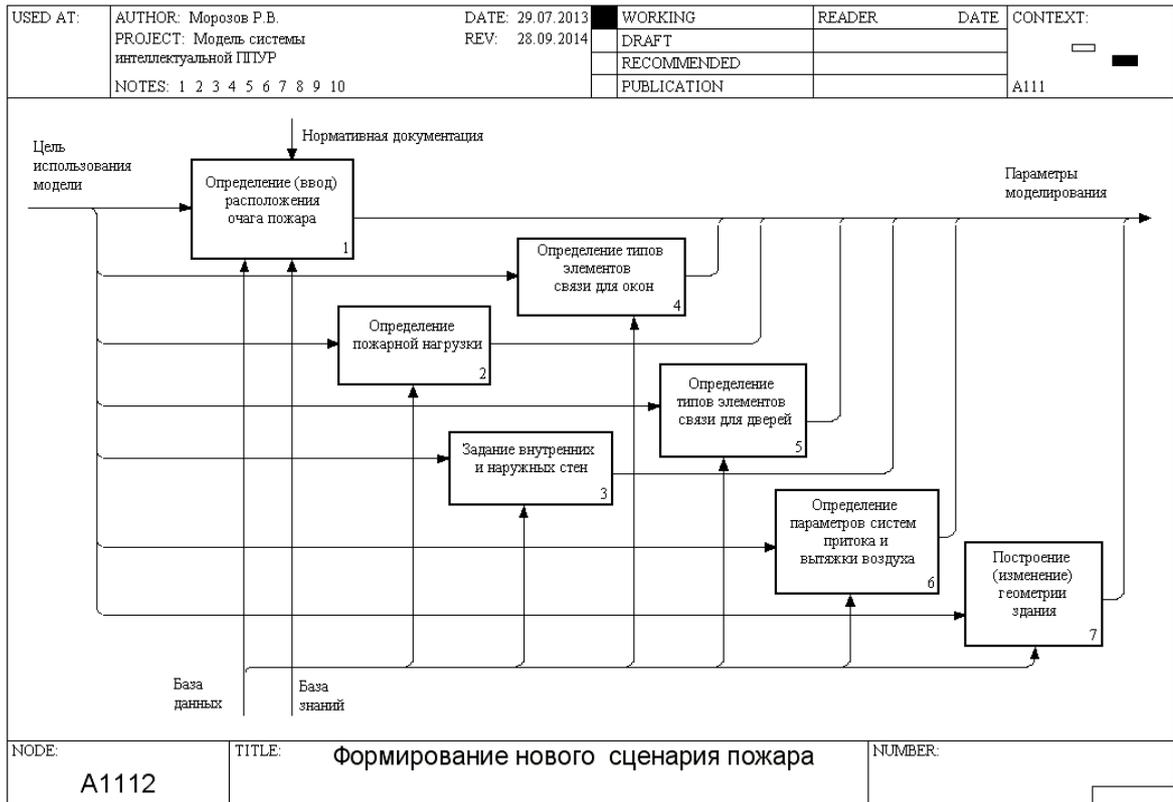


Рисунок 2.5 – Диаграмма декомпозиции процесса
«Формирование нового сценария пожара»

Для поддержки формирования сценария пожара используется база данных, а также нормативная документация, которая является руководством для задания параметров. Все подпроцессы формирования нового сценария должны использовать информацию об объекте, спецификацию систем вентиляции и прочую справочную информацию из базы данных. Определение вероятного места расположения очага возгорания должно опираться на знания экспертов. Возможность изменения расположения очага пожара необходимо для исследования влияния риск-образующих факторов на распространение ОФП и эвакуацию в условиях текущей эксплуатации объекта.

Пожарная нагрузка определяет выделения конструкцией или материалом в элементе конструкции тепловой энергии при горении. Значения данного параметра по умолчанию определяются в соответствии со значениями типовой горючей нагрузки, указанными в методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях [6]. Для того чтобы провести исследование эффективности применения воздействий на объект защиты средней степени влияния, необходимо

изменить характеристики пожарной нагрузки помещений в здании, поменять типы окон и типы дверей (установка противопожарных дверей, более жаропрочных окон). Для исследования эффективности применения воздействий высокой степени влияния на объект защиты необходимо изменять геометрию здания и технические характеристики работы системы противопожарной защиты и вентиляции.

Для формирования характеристик сценария эвакуации необходима информация о расположении мебели, количестве человек, состоянии дверей и т.д. Пользователь для моделирования процесса эвакуации может выбрать заранее сформированный сценарий движения людей или сформировать новый. Для моделирования процесса эвакуации необходимы следующие входные параметры: время, прошедшее с момента возгорания до его обнаружения (мин.); время, прошедшее с момента обнаружения возгорания до начала эвакуации (мин.); количество людей в здании; множество параметров, определяющих размещение людей в здании; множество параметров, определяющих физические характеристики людей; множество параметров, определяющих геометрию здания; множество параметров, определяющих характеристики и состояние дверей здания; множество параметров, определяющих размещение мебели.

Для формирования сценария эвакуации используются база данных и нормативная документация. Чтобы сформировать новый сценарий эвакуации, пользователю требуется задать время обнаружения возгорания и время начала эвакуации. При необходимости пользователь может изменить распорядок дня, по которому проходит деятельность людей, а также изменить количество людей в здании (рисунки 2.6).

Время обнаружения возгорания определяет момент времени, когда возгорание было обнаружено. Значение данного параметра зависит от установленного в здании типа систем обнаружения пожара или их отсутствия. ГОСТ Р 50898-96 определяет предельно допустимое время срабатывания, зависящее от минимальной скорости развития пожара, для шести тестовых типов пожаров. Для каждого типа пожара (ТП) заданы максимальные величины оптической плотности среды, кон-

центрации продуктов горения (Y) и температуры (T), соответствующие времени окончания испытаний, указано предельно допустимое время срабатывания пожарной сигнализации, зависящее от минимальной скорости развития пожара: ТП-1 (горение древесины) – $Y = 6$, время срабатывания не более 370 с.; ТП-2 (тление древесины) – $m = 2$, время срабатывания не более 840 с.; ТП-3 (тление со свечением хлопка) – $m = 2$, время срабатывания не более 640 с.; ТП-4 (горение полимерных материалов) – $Y = 6$, время срабатывания не более 180 с.; ТП-5 (горение легковоспламеняющейся жидкости с выделением дыма) – $Y = 6$, время срабатывания не более 240 с.; ТП-6 (горение легковоспламеняющейся жидкости без выделения дыма) – $T = 60$ °С, время срабатывания не более 510 с.

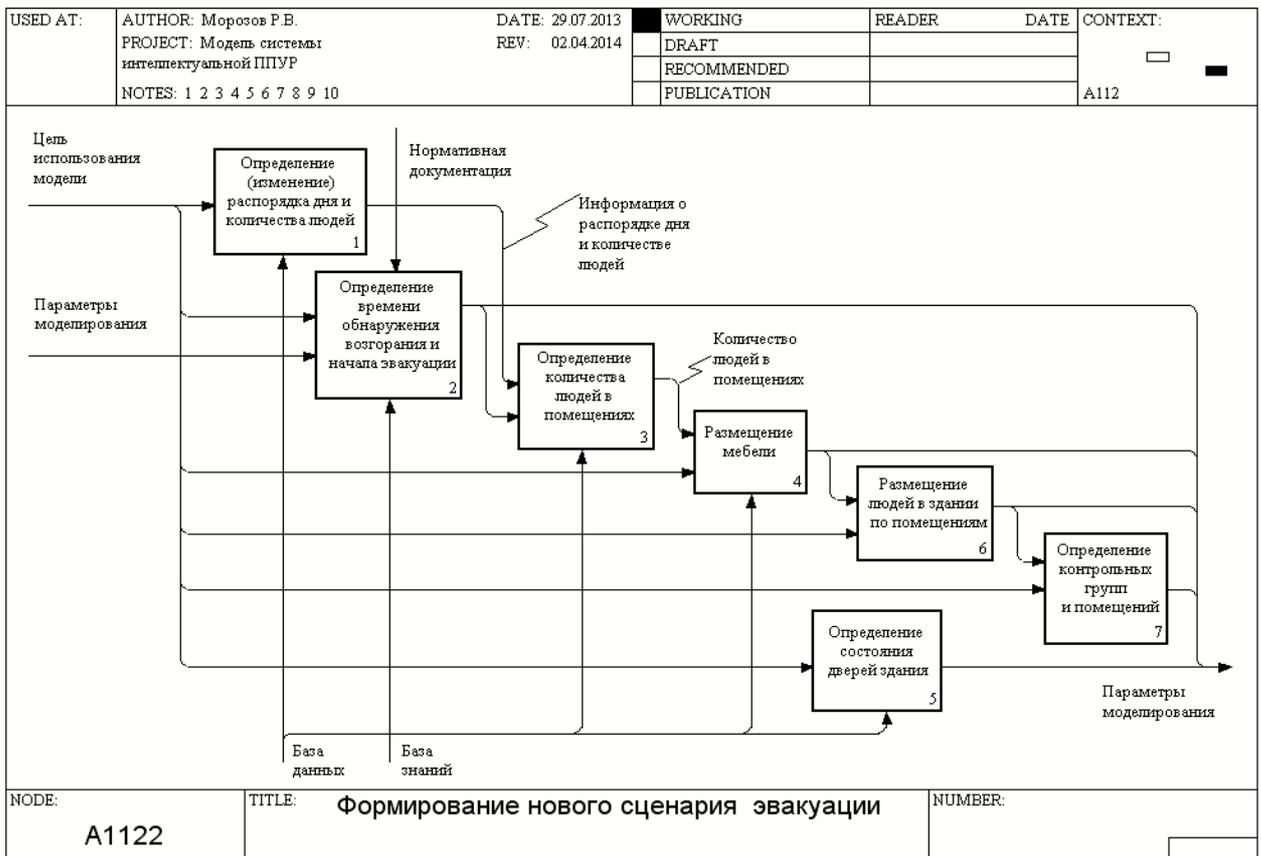


Рисунок 2.6 – Диаграмма декомпозиции процесса «Формирование нового сценария эвакуации»

Время начала эвакуации определяется с момента обнаружения возгорания и является показателем организованности эвакуирующихся людей. Значение данного параметра зависит от класса функциональной пожарной опасности здания и

характеристики контингента людей, находящихся в нем. По умолчанию устанавливается в соответствии с приложением 5 к методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях [6]: 1,5 мин. для зданий, оборудованных системой оповещения и управления эвакуацией людей III – V типа; 3 мин. для зданий, оборудованных системой оповещения и управления эвакуацией людей I – II типа; 6 мин. для зданий, оборудованных системой оповещения и управления эвакуацией людей III – V типа.

Количество людей, одновременно пребывающих в здании, определяется исходя из вместимости учебных помещений. Превышение данных норм ведет к увеличению времени эвакуации из здания в случае возникновения угроз пожара. На основе информации о распорядке дня, количестве людей и времени начала эвакуации автоматически определяется количество людей в помещениях. При необходимости пользователь задает контрольные группы и контрольные помещения для проведения детального анализа процесса эвакуации и воздействия на людей ОФП.

Лицу, принимающему управленческие решения по пожарной безопасности, предоставляется возможность оценки и сравнения различных сценариев эвакуации, которые могут отличаться как количеством и начальным расположением эвакуирующихся, так и расположением предметов мебели, характеристиками дверей и т.д.

Следующей группой входных параметров являются характеристики работы систем противопожарной защиты, которые определяются пользователем самостоятельно на основе технической и нормативной документации. Значения этих параметров могут быть установлены по умолчанию в соответствии с методикой определения расчетных величин пожарного риска [6].

Характеристики работы системы противопожарной защиты включают расположение элементов системы противопожарной защиты и технические характеристики элементов системы противопожарной защиты. По техническим характеристикам элементов системы противопожарной защиты рассчитываются: вероят-

ность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения $R_{ан}$ и вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты $P_{пз}$, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей.

Для расчета вероятности эффективной работы системы противопожарной защиты требуется вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации $R_{обн}$, условная вероятность эффективного срабатывания системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации $R_{COVЭ}$, условная вероятность эффективного срабатывания системы противодымной защиты в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации $R_{ПДЗ}$. Техническая надежность элементов установок автоматического пожаротушения $R_{ан}$ задается в технической документации. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать $R_{ан} = 0,9$. При отсутствии в здании систем автоматического пожаротушения $R_{ан}$ принимается равной нулю. Техническая надежность элементов системы пожарной сигнализации $R_{обн}$ также задается в технической документации. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать $R_{обн} = 0,8$. Техническая надежность элементов системы оповещения людей о пожаре и управлением эвакуацией людей $R_{COVЭ}$ приводится в технической документации. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать $R_{COVЭ} = 0,8$. Значение параметра технической надежности элементов автоматики управления противодымной защиты $R_{ПДЗ}$ определяется технической надежностью элементов противодымной защиты, приводимых в технической документации. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать $R_{ПДЗ} = 0,8$ [9].

Параметры, отвечающие за характеристики эвакуирующихся людей, учитываются при моделировании процесса эвакуации из здания. Параметр «обученность» может принимать одно из двух значений: человек, участвующий в процессе эвакуации проинструктирован о расположении эвакуационных выходов и в случае возникновения угрозы пожара направляется к ближайшему из них, либо

человек, участвующий в процессе эвакуации, не проинструктирован о расположении эвакуационных выходов и в случае возникновения угрозы пожара направляется к главному выходу.

Состояние эвакуационных выходов определяет возможность эвакуации через запасные выходы в случае возникновения угрозы пожара и представляет собой явное нарушение норм пожарной безопасности в случае, если выходы закрыты. Соответственно данный параметр принимает значения: «эвакуационные выходы открыты» и «эвакуационные выходы закрыты» и учитывается моделью расчета эвакуации.

2.1.4 Функционирование модели

Сформированные в зависимости от цели использования модели данные поступают на вход блока, отвечающего за выполнение задач модели. Диаграмма декомпозиции процесса «Выполнение функциональных задач модели» представлена на рисунке 2.7.

Работа разработанной модели включает выполнение следующих функциональных задач: поддержку принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности; консультирование и выдачу рекомендаций; обучение и контроль знаний по пожарной безопасности.

Результатом процесса «Выполнение функциональных задач модели» являются следующие выходные данные:

- отчет по оценке пожарного риска, включающий: таблицы динамики ОФП в контрольных точках, время полной эвакуации из каждого помещения, сравнение полученных временных величин между собой, расширенный отчет по результатам моделирования развития пожара и эвакуации.

- рекомендации по повышению уровня пожарной безопасности – мероприятия, направленные на уменьшение времени эвакуации, на ограничение распространения ОФП, на повышение надежности систем активной противопожарной защиты;

- визуализация пожара – 3D визуализация распространения каждого из ОФП

в отдельности – температуры, задымленности, концентрации газов CO, CO₂, HCl); движения потоков людей;

- представление результатов моделирования – отображение распространения ОФП и эвакуации в табличном виде;
- отчет о соответствии объекта требованиям пожарной безопасности, рекомендации по устранению несоответствий объекта требованиям пожарной безопасности;

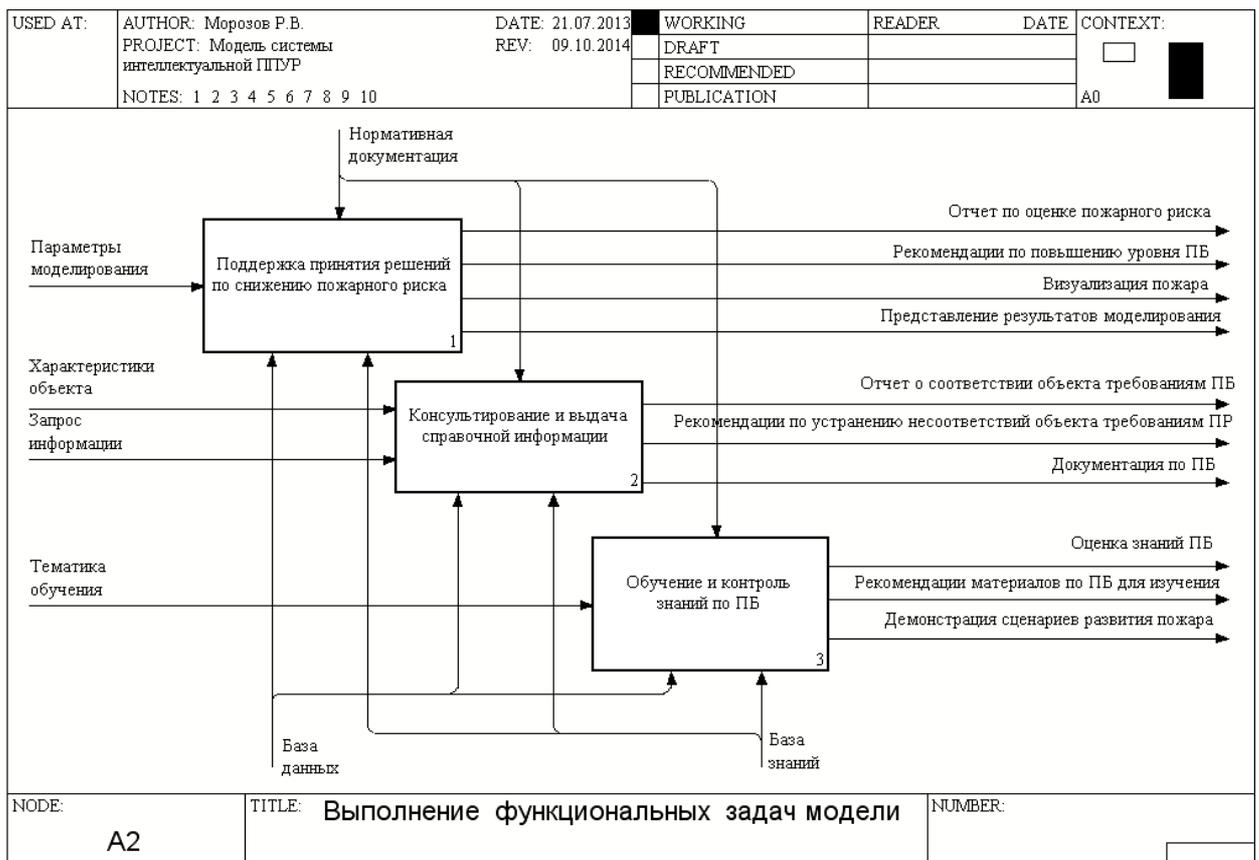


Рисунок 2.7 – Диаграмма декомпозиции процесса «Выполнение функциональных задач модели»

- документация по пожарной безопасности – подборка актуальных справочно-информационных материалов ;
- оценка знаний пожарной безопасности – оценивается знание норм и правил пожарной безопасности;
- рекомендации материалов по пожарной безопасности для изучения – подборка материалов, рекомендуемых для изучения по заданной тематике.

– демонстрация сценариев развития пожара и эвакуации – демонстрация сценариев с ранжированием по зонам безопасности.

Модель обеспечивает поддержку принятия управленческих решений по пожарной безопасности путем сравнительного анализа результатов моделирования распространения полей ОФП и эвакуации людей, формирования рекомендаций по устранению несоответствия объекта требованиям пожарной безопасности, а также визуальной демонстрации пожара и процесса эвакуации (рисунок 2.8).

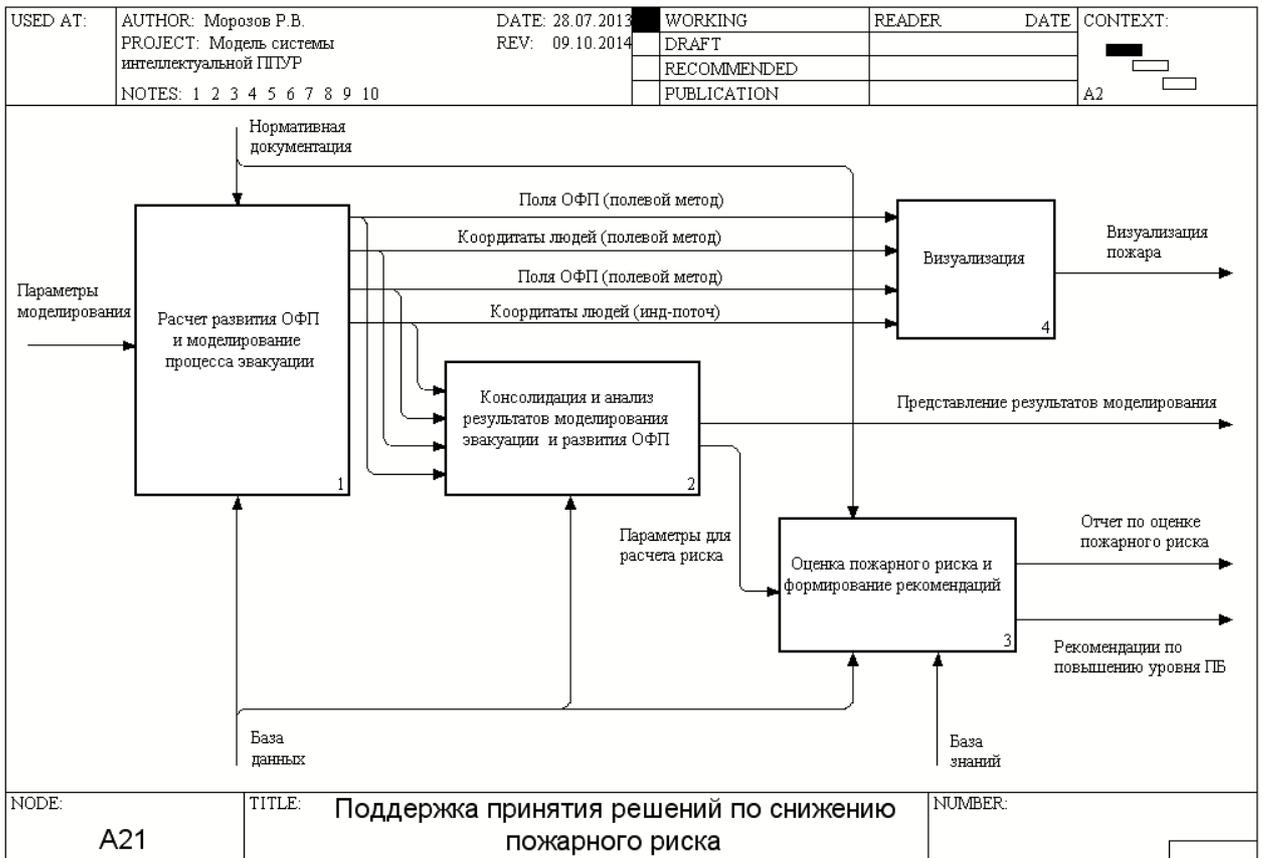


Рисунок 2.8 – Диаграмма декомпозиции процесса «Поддержка принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности»

Визуальный анализ динамики пожара и процесса эвакуации людей из здания позволяет выявлять «проблемные места» и попытаться исключить их, например, за счет изменения распорядка дня в учреждении.

Диаграмма декомпозиции процесса «Расчет развития ОФП и моделирование процесса эвакуации» представлена на рисунке 2.9.

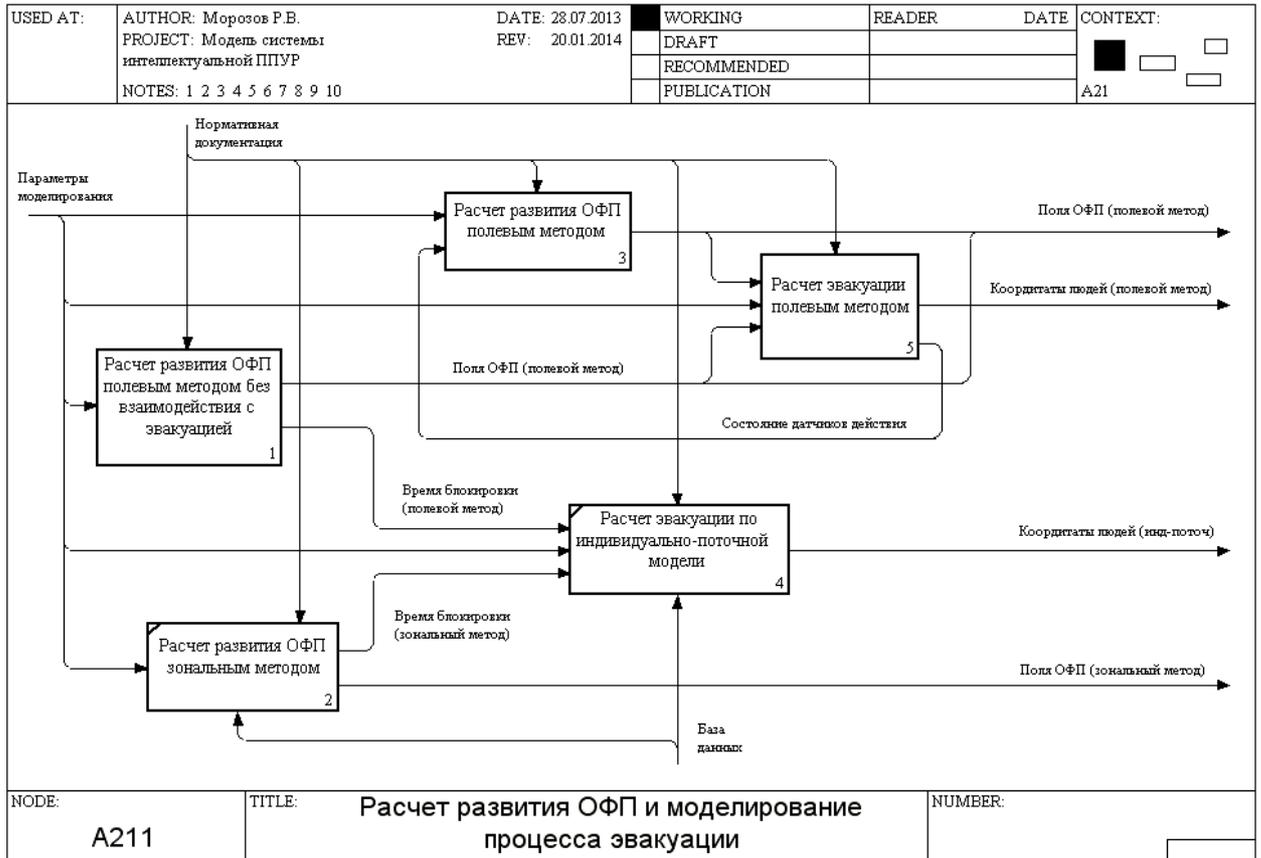


Рисунок 2.9 – Диаграмма декомпозиции процесса
«Расчет развития ОФП и моделирование процесса эвакуации»

Первоначально процесс «Расчет развития ОФП и моделирование процесса эвакуации» выполняется со значениями параметров моделирования, заданными пользователем, для формирования рекомендаций осуществляется повторное выполнение процесса с автоматически заданными управляющими воздействиями. Данные, полученные при моделировании ОФП, анализируются, и определяется время блокировки эвакуационных выходов. Результаты анализа моделирования распространения полей ОФП и процесса эвакуации используются для оценки пожарного риска.

Процесс «Расчет развития ОФП и моделирование процесса эвакуации» (рисунок. 2.9) включает:

- расчет развития ОФП полевым методом без взаимодействия с эвакуацией – выполняет расчет полей ОФП полевым методом, не учитывая действия людей в процессе эвакуации;

- расчет развития ОФП полевым методом – расчет развития ОФП осуществляется полевым методом с учетом действий эвакуирующихся людей;
- расчет эвакуации полевым методом – выполняет расчет движения людей полевым методом;
- расчет развития ОФП зональным методом – выполняет расчет значений полей ОФП зональным методом;
- расчет эвакуации по индивидуально-поточной модели – выполняет расчет движения людей по индивидуально-поточной модели.

Зональный метод расчета распространения ОФП и индивидуально-поточная модель эвакуации достаточно просты и не требуют больших вычислительных ресурсов. Их можно применять для экспресс-оценки состояния здания. Для расчетов, более приближенных к реальности, целесообразно использовать полевой метод и индивидуально-поточную модель движения людей при эвакуации.

В модель системы включена возможность моделирования ОФП без эвакуации. Для возможности детального исследования данного процесса расчет ОФП осуществляется полевым методом с последующей визуализацией. Для установки взаимосвязи людей и процесса развития ОФП в параметры моделирования включаются датчики событий, которые при срабатывании влияют на изменение распространения полей ОФП (например, открытие дверей).

Расчет эвакуации по индивидуально-поточной модели выполняется с использованием рассчитанного времени блокирования эвакуационных путей и заданных пользователем параметров. Расчет эвакуации полевым методом может выполняться на основе рассчитанных полей ОФП без учета действия людей или на основе получения значений полей ОФП в каждый расчетный момент времени, при проверке состояний датчиков событий.

На диаграмме декомпозиции процесса «Поддержка принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности» обработка результатов моделирования выполняется подпроцессом «Консолидация и анализ результатов моделирования эвакуации и развития ОФП» (рисунок. 2.10). Сначала происходит консо-

лидация, то есть приведение результатов моделирования к единообразному формату: синхронизация по времени и преобразование к единой пространственной привязке. Затем выполняется анализ данных.

Консолидация и анализ результатов моделирования позволяют обосновать мероприятия по снижению пожарного риска. На основе результатов моделирования эвакуации определяется расчетное время эвакуации и время скопления людей для дальнейшего расчета вероятности эвакуации и вычисления пожарного риска. Анализ моделирования развития ОФП позволяет определить время блокирования эвакуационных путей, которое также используется при расчете пожарного риска.

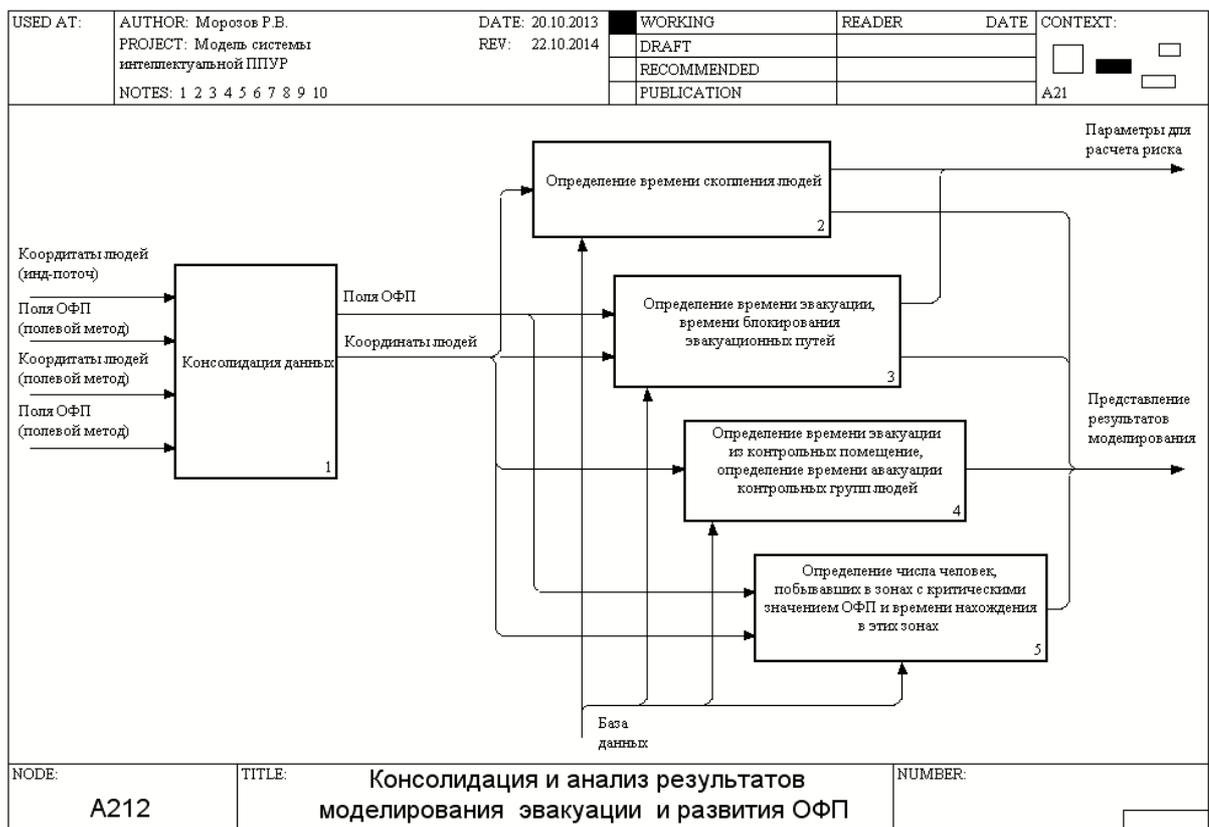


Рисунок 2.10 – Диаграмма декомпозиции процесса «Консолидация и анализ результатов моделирования эвакуации и развития ОФП»

При необходимости определяется информация по заданным пользователем контрольным группам людей и контрольным помещениям. Определяется число человек, побывавших в зонах с критическими значениями ОФП, происходит определение времени нахождения людей в зоне с критическими значениями каждо-

го из полей ОФП для каждого человека, определение общего времени нахождения людей в зонах с критическими значениями ОФП и др.

Определение расчетных величин пожарного риска заключается в расчете индивидуального пожарного риска для персонала и посетителей в здании (рисунок 2.11). Численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия ОФП на человека, находящегося в здании. Частота воздействия ОФП определяется для пожароопасной ситуации, которая характеризуется наибольшей опасностью для жизни и здоровья людей, находящихся в здании [6]. Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с нормативным значением пожарного риска [1]. В случае несоответствия расчетного значения индивидуального пожарного риска нормативному происходит запуск процесса формирования управляющих воздействий и рекомендаций. Следует предусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре и повышение уровня пожарной безопасности здания. Выбор управляющих воздействий выполняется из общего множества применимых вариантов в базе знаний, формируются рекомендации проведения противопожарных мероприятий.

Эффективность каждого типа противопожарных мероприятий определяется степенью влияния на время начала эвакуации, время блокирования эвакуационных путей ОФП и расчетное время эвакуации. Для системы пожарной сигнализации, противодымной защиты и системы оповещения людей при пожаре и управления эвакуацией людей эффективность определяется условной вероятностью выполнения задачи при пожаре.

Применяется в качестве дополнительного противопожарного мероприятия изменение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара, оно достигается изменением технических характеристик здания, а именно обеспечением нормируемых пределов огнестойкости и пониженной пожарной опасности облицовочных строительных материалов, используемых в ограждающих конструкциях помещения, в котором находится ве-

роютный очаг пожара.

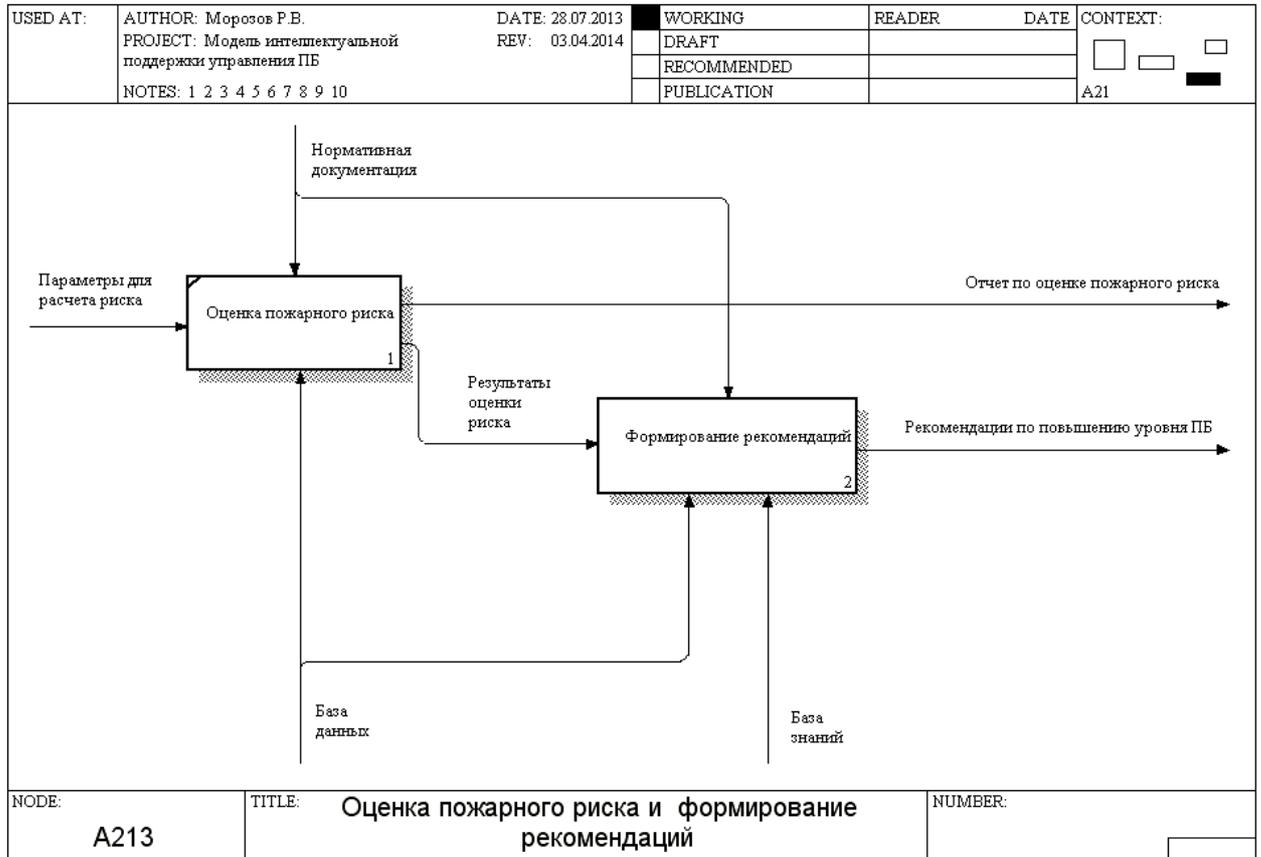


Рисунок 2.11 – Диаграмма декомпозиции процесса «Оценка пожарного риска и формирование рекомендаций»

Влияние системы противодымной защиты на уровень обеспеченности безопасной эвакуации людей при пожаре оценивается посредством расчета значения времени блокирования эвакуационных путей ОФП с учетом технических характеристик применяемого вентиляционного оборудования противодымной защиты. Подбор параметров вентиляционного оборудования осуществляется в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности. При этом для выполнения расчетов следует применять зонную (зональную) или полевою модели распространения ОФП.

Ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания при пожаре, учитывается посредством повторного расчета значения расчетного времени эвакуации при существующих

объемно-планировочных решениях и ограниченном значении количества эвакуирующихся при пожаре.

Модель позволяет выявить степень влияния тех или иных мероприятий на величину пожарного риска и тем самым оценить эффективность применения выданных рекомендаций на повышение уровня пожарной безопасности объекта.

2.2 Метод консолидации и анализа данных моделирования процессов распространения ОФП и эвакуации

2.2.1 Типы входных данных, принципы их консолидации и анализа

Для оценки и исследования состояния пожарной безопасности здания разработан оригинальный метод консолидации и анализа данных результатов моделирования эвакуации людей из здания и распространения опасных факторов пожара [47]. Суть метода заключается в совместном анализе двух одновременно происходящих процессов (распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей) с целью выявления угроз воздействия ОФП на участников эвакуации. Разработанный метод позволяет получить агрегированные показатели о процессе эвакуации людей, о блокировании эвакуационных путей, о попадании эвакуируемых в зоны с предельно допустимыми значениями опасных факторов пожара. В результате применения метода строятся сравнительные таблицы стадий развития пожара и эвакуации, которые могут быть использованы специалистами по пожарной безопасности для принятия решений и анализа условий текущей эксплуатации объекта.

Входные данные для анализа разделяются на два типа. Первый – это данные, полученные в результате моделирования процесса развития пожара. Массив данных содержит информацию о концентрации и величине семи видов полей опасных факторов пожара в определенный момент времени для конкретной ячейки расчетной сетки. Данные состоят из повторяющихся последовательностей значений полей, пример данных приведен в таблице 2.1.

Значения концентрации и величины ОФП в каждой ячейке расчетной сетки рассчитываются для определенного количества (порядка 200) моментов времени с заданным шагом (обычно 5 секунд). Расчетная сетка принимается размером 20 на 20 сантиметров, и покрывает всю площадь помещений, в которых производится моделирование развития пожара.

Таблица 2.1 – Пример представления результатов моделирования ОФП

Данные моделирования распространения полей ОФП										
Номер ячейки по оси X	Номер ячейки по оси Y	Момент времени	Этаж	Температура	Величина теплового потока	Оптическая видимость	Содержание кислорода	Содержание CO ₂	Содержание CO	Содержание HCL
2	84	5	2	23,2791	50,1021	0,0337	0,2669	0,0005	0	0

Для анализа берется срез полей ОФП на высоте 1,7 либо 1,2 метра, что соответствует средней высоте расположения органов чувств эвакуирующегося человека. Даже при расчете распространения ОФП в небольших зданиях, размеры массива данных с результатами приближаются к половине гигабайта.

Второй тип входных данных – это результаты моделирования процесса эвакуации людей из здания (таблица 2.2). Данные содержат дискретную по времени траекторию движения каждого человека, находившегося в здании на момент начала эвакуации, от его первоначального положения до выхода из здания. Шаг дискретизации по времени составляет одну четвертую секунды.

Таблица 2.2 – Пример представления результатов моделирования процесса эвакуации

Данные моделирования процесса эвакуации					
Идентификатор человека	Идентификатор помещения	Момент времени	Этаж	Координата по оси X	Координата по оси Y
11	247	3,25	1	-26,65	6,81

Для выполнения любого аналитического запроса необходимо выполнить полный перебор элементов одного из массивов данных или же двух массивов одновременно. При анализе двух массивов данных, описанных выше, необходимо осуществлять поиск с полным перебором по одному из массивов с сопоставлением значений с элементом из другого массива и фиксацией итоговых результатов. Например, для того чтобы проанализировать время пребывания конкретного человека, участвующего в процессе эвакуации, в зонах с критическими значениями ОФП нужно рассмотреть всю траекторию движения этого человека с привязкой к процессу распространения полей ОФП. Траектория движения человека – это множество точек, определяющих положение человека в конкретный момент времени. Соответственно необходимо найти значения полей ОФП в каждой точке в определенный момент времени, а также сопоставить эти значения с предельно допустимыми. Перебрав все точки траектории движения конкретного человека и определив, в скольких точках было зафиксировано превышение предельно допустимых значений полей ОФП, можно вычислить общее время воздействия на человека полей ОФП, превысивших предельно допустимые значения.

Для ускорения процесса сопоставления элементов двух массивов данных необходимо привести их к единообразной пространственной привязке и одному шагу дискретизации времени расчета.

Массив данных результатов моделирования распространения полей ОФП имеет пространственную привязку к узлам расчетной сетки, которая в свою очередь привязывается начальными координатами к объекту исследования. Другими словами – нам известны данные ОФП для ячейки расчетной сетки с номером (i, j) , где i – номер ячейки по горизонтали и j – номер ячейки расчетной сетки по вертикали. Зная начальные координаты расчетной сетки, номер ячейки и шаг сетки, можно осуществить переход к координатной привязке ячейки расчетной сетки.

Данные моделирования процесса эвакуации людей из здания имеют координатную привязку. Точка начала координат задается при формировании данных о геометрии объекта. Для обеспечения единообразной пространственной привязки

данных производится сопоставления координат движения человека при эвакуации ячейкам расчетной сетки, использованной при моделировании распространения полей ОФП.

Поскольку данные моделирования распространения полей ОФП и эвакуации рассчитываются с разными шагами дискретизации необходимо выполнить сопоставление временных интервалов и приведение данных к одному шагу дискретизации.

В результате два массива входных данных пересекаются по следующим полям: этаж, момент времени и номер ячейки расчетной сетки. Это упрощает процесс анализа.

2.2.2 Алгоритм консолидации и анализа данных результатов моделирования

Разработанная блок-схема алгоритма консолидации и анализа данных результатов моделирования эвакуации людей из здания и распространения ОФП представлена на рисунке 2.12.

На вход алгоритму поступают два ранее рассчитанных массива: данные моделирования распространения полей ОФП (*OFP*) и данные моделирования процесса эвакуации людей из здания (*EvaRes*), а также множество контрольных точек (*Cr*), множество контрольных людей (*Cg*) и множество предельно допустимых значений (*Lim*), которые могут принимать поля ОФП.

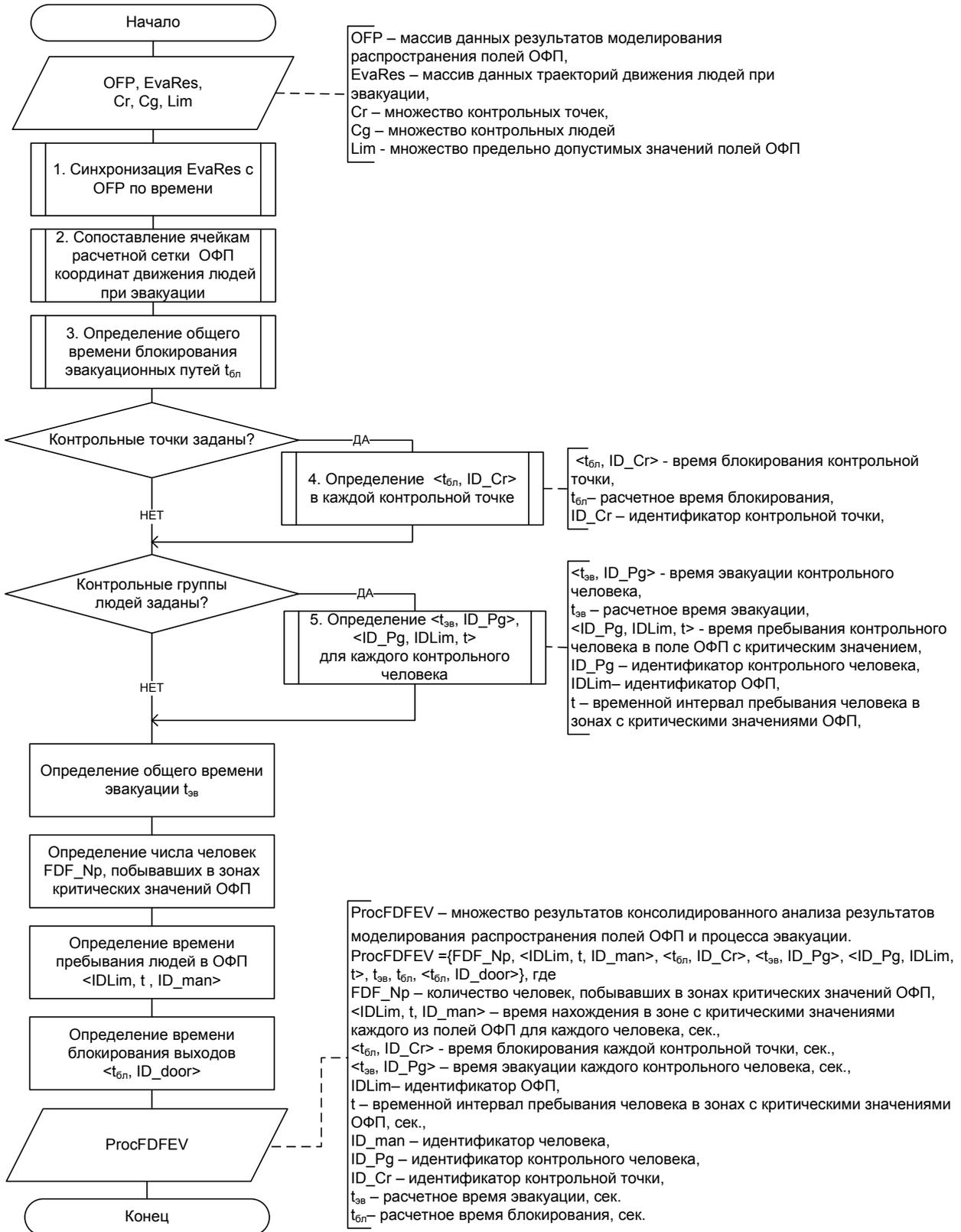


Рисунок 2.12 – Укрупненная блок-схема алгоритма консолидации и анализа данных результатов моделирования эвакуации и распространения OFP.

Множество контрольных точек и множество контрольных людей задается пользователем системы на этапе формирования сценария с целью более детально

оценить процесс эвакуации из конкретных помещений и оценить блокирование полями ОФП отмеченных мест (участков эвакуационных путей) на объекте. Участок считается заблокированным, когда хотя бы одно из полей ОФП превысило предельно допустимое значение.

На первом шаге алгоритма происходит синхронизация по времени результатов моделирования распространения ОФП и эвакуации. Данные приводятся к единому шагу по времени. Затем выполняется сопоставление координат движения людей ячейкам расчетной сетки ОФП. После приведения двух массивов данных к одинаковому шагу по времени и единой пространственной привязке (к ячейкам расчетной сетки) можно выполнить анализ и получить требуемые агрегированные показатели и различные срезы данных: определяется общее время блокирования эвакуационных путей; в случае, если заданы контрольные точки или контрольные группы людей, определяется время блокирования контрольных точек; определяются параметры воздействия ОФП на контрольных людей. Далее происходит определение общего времени эвакуации и других итоговых показателей, таких как общее число человек, побывавших в зонах с критическими значениями ОФП, времени пребывания конкретного человека в ОФП и т.д.

На выходе алгоритма формируется множество результатов анализа $ProcFDFEV$. $ProcFDFEV = \{FDF_Np, \langle IDLim, t, ID_man \rangle, \langle t_{\bar{ol}}, ID_Cr \rangle, \langle t_{\bar{ev}}, ID_Pg \rangle, \langle ID_Pg, IDLim, t \rangle, t_{\bar{ev}}, t_{\bar{ol}}, \langle t_{\bar{ol}}, ID_door \rangle\}$, где FDF_Np – количество человек побывавших в зонах критических значений ОФП, $\langle IDLim, t, ID_man \rangle$ – время нахождения в зоне с критическими значениями каждого из полей ОФП для каждого человека, сек., $\langle t_{\bar{ol}}, ID_Cr \rangle$ – время блокирования каждой контрольной точки, сек., $\langle t_{\bar{ev}}, ID_Pg \rangle$ – время эвакуации каждого контрольного человека, сек., $IDLim$ – идентификатор ОФП, t – временной интервал пребывания человека в зонах с критическими значениями ОФП, сек., ID_man – идентификатор человека, ID_Pg – идентификатор контрольного человека, ID_Cr – идентификатор контрольной точки, $t_{\bar{ev}}$ – расчетное время эвакуации, сек., $t_{\bar{ol}}$ – расчетное время блокирования, сек.

Время блокирования эвакуационных путей t_{bl} рассчитывается из времени достижения каждым из опасных факторов пожара предельно допустимого значения на путях эвакуации в соответствии с приложением 6 к методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях [6]. Критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации.

Предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара составляют: по повышенной температуре – 70°C ; по тепловому потоку – 1400 Вт/м^2 ; по потере видимости – 20 м ; по пониженному содержанию кислорода – $0,226 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; по каждому из токсичных газообразных продуктов горения (CO_2 – $0,11 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; CO – $1,16\cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; HCL – $23\cdot 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$).

2.2.3 Алгоритм синхронизации данных по времени

Детализация первого шага предложенного алгоритма консолидации представлена в виде блок-схемы на рисунке 2.13. На вход алгоритму поступает массив данных моделирования эвакуации *EvaRes* размерности N и временные параметры обоих массивов данных (*EvaRes*, *OFP*), такие как t_{off} – шаг дискретизации времени *OFP*, T_{off} – временной интервал расчета массива данных *OFP*, t_s – время задержки начала эвакуации от момента возгорания, T_{eva} – временной интервал расчета массива данных *EvaRes*. Изначально временные параметры содержатся внутри массивов *EvaRes*, *OFP* и на этапе предварительной обработки запоминаются в специальные переменные.

В результате выполнения алгоритма выполняется проверка соответствия временных интервалов расчета процесса эвакуации и распространения ОФП с учетом времени задержки начала эвакуации. Это действие выполняется для исключения ситуаций, когда эвакуация людей из здания не завершилась, а моделирование распространения полей ОФП уже остановлено. В такой ситуации проведение анализа становится невозможным.

Необходимость синхронизации по времени двух массивов данных (*EvaRes* и *OFP*) возникает из-за разного шага дискретизации времени. Данные эвакуации

рассчитываются с шагом одна четвертая секунды, в то время как данные распространения полей ОФП с шагом пять секунд. Соответственно в один шаг данных ОФП попадает сразу несколько шагов по времени данных моделирования процесса эвакуации.

1. Синхронизация EvaRes с OFP по времени.

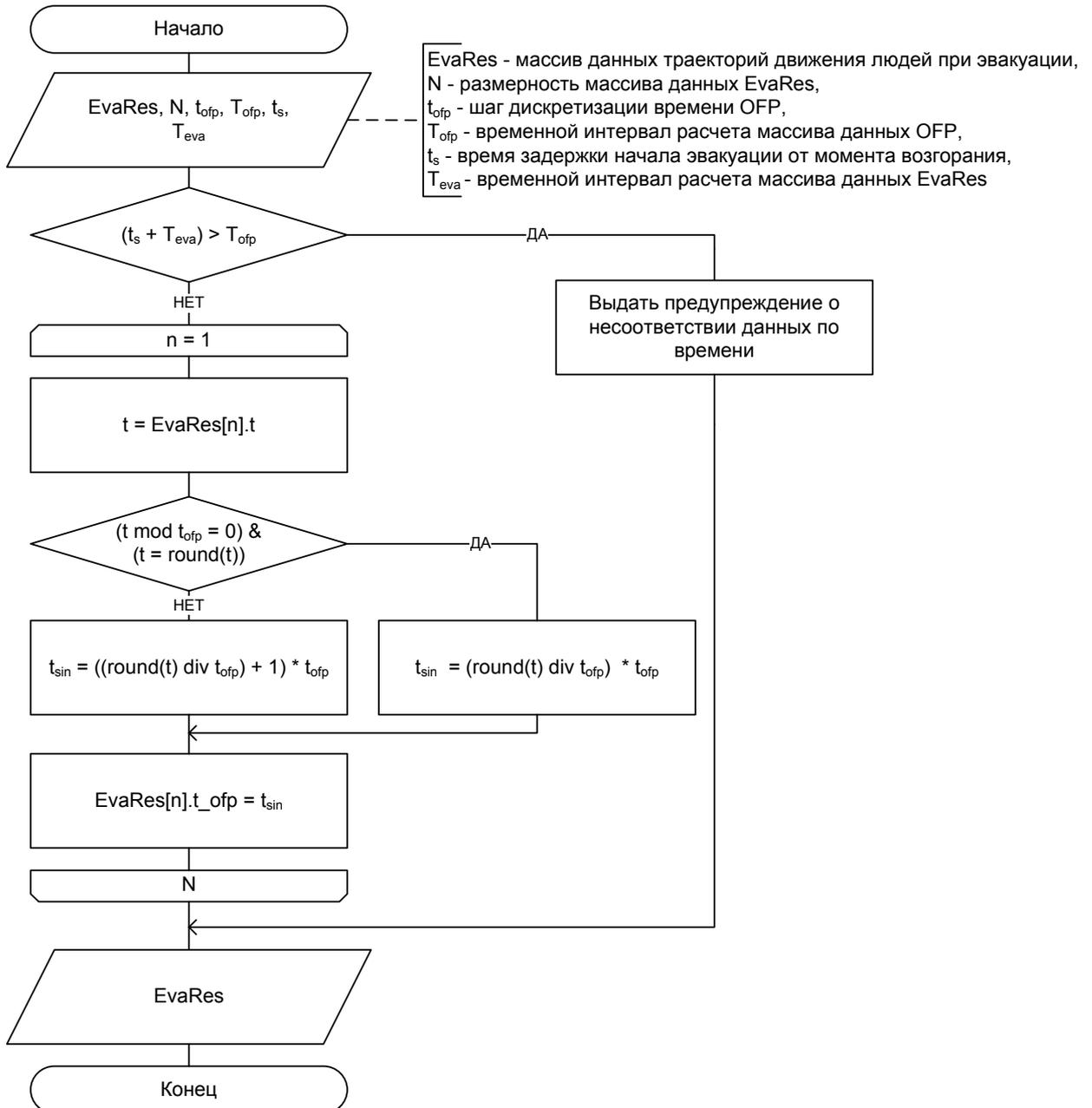


Рисунок 2.13 – Блок-схема алгоритма синхронизации по времени данных моделирования эвакуации и распространения ОФП.

На выходе алгоритма получается массив модифицированных данных моделирования процесса эвакуации (траекторий движения людей) с сопоставленными

шагами по времени, то есть каждой точке траектории движения людей назначено значение шага по времени данных ОФП.

2.2.4 Алгоритм приведения данных к единой пространственной привязке

На рисунке 2.14 представлена блок-схема разработанного алгоритма сопоставления ячейкам расчетной сетки координат движения людей. Блок-схема детализирует второй шаг алгоритма консолидации и анализа (рисунок 2.12).

На вход алгоритма поступает массив данных моделирования процесса эвакуации *EvaRes* размерности N и характеристики расчетной сетки, использованной при моделировании распространения полей ОФП. Расчетная сетка состоит из квадратов размера L и покрывает всю площадь исследуемого объекта. Параметры x_0, y_0 определяют точку начала расчетной сетки.

Цель алгоритма – сопоставить каждой точке из массива *EvaRes*, определяющей положение человека в конкретный момент времени, номера ячеек расчетной сетки (i, j) , которые покрывает человек. Для получения более точных результатов моделирования распространения полей ОФП используется расчетная сетка размером двадцать на двадцать сантиметров. В модели движения людей проекция человека имеет форму круга определенного радиуса R_0 . Соответственно на конкретном шаге проекция человека лежит сразу в нескольких ячейках расчетной сетки.

На выходе алгоритма получается модифицированный массив данных *EvaRes*, где для каждой точке положения человека в конкретный момент времени сопоставлен занимаемый список ячеек расчетной сетки, то есть в каких ячейках в данный момент времени человек располагался.

2. Сопоставление ячейкам расчетной сетки
координат движения людей при эвакуации

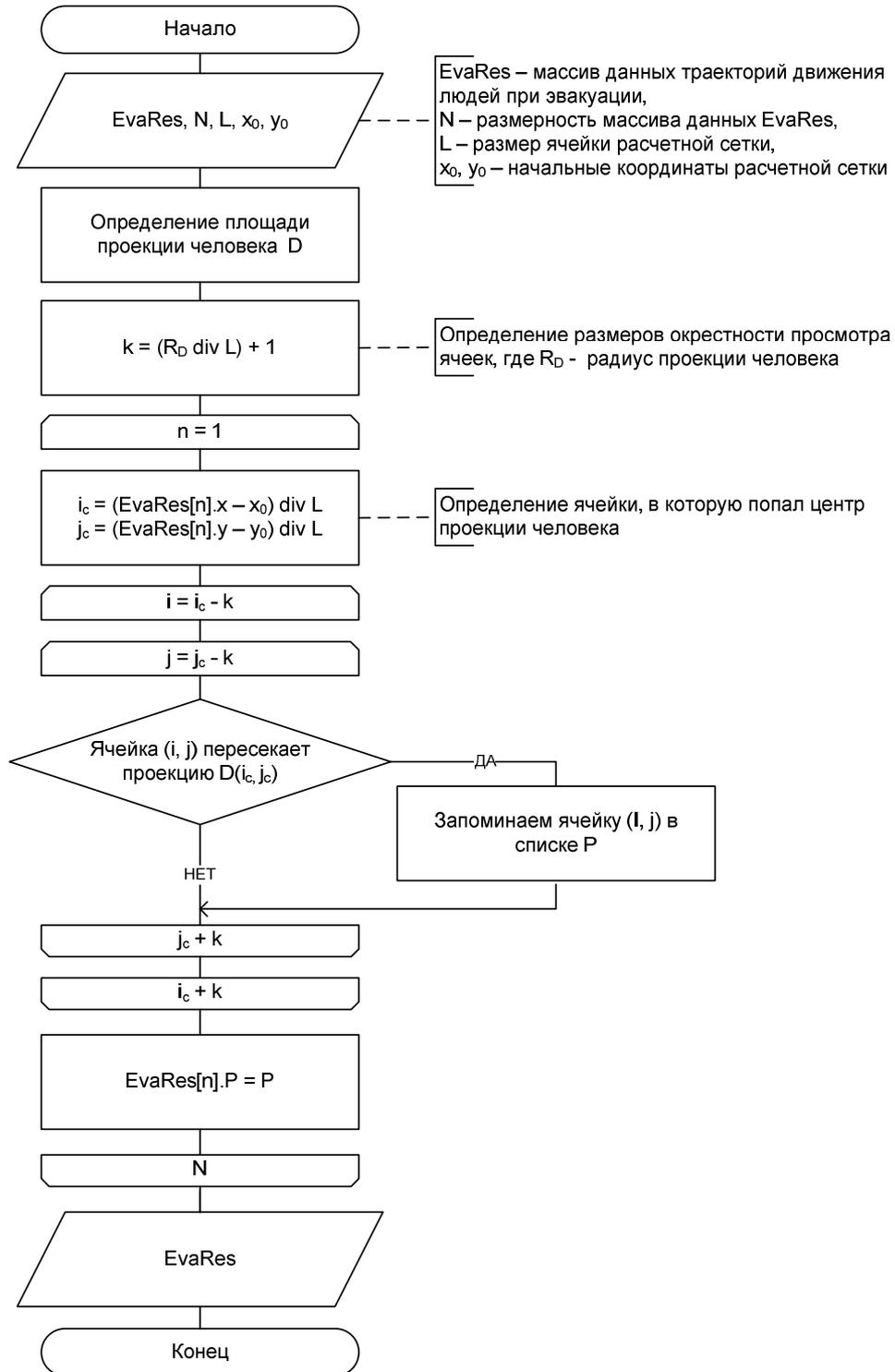


Рисунок 2.14 – Блок-схема алгоритма сопоставление ячейкам расчетной сетки координат движения людей при эвакуации

2.2.5 Алгоритмы определения времени блокирования

Детальная блок-схема разработанного алгоритма определения общего времени блокирования приведена на рисунке 2.15. Цель алгоритма – определить общее время блокирования эвакуационных путей. Эвакуационный путь представляется в виде набора контрольных точек на нем *Exits*. Блокирование любой из контрольных точек означает блокирование всего эвакуационного пути. Блокирование наступает, когда значение любого из полей ОФП в рассматриваемой точке превышает предельно допустимое значение *Lim*. Минимальное время из времен блокирования контрольных точек на эвакуационных путях и будет считаться общим временем блокирования.

На вход алгоритма поступает список контрольных точек на эвакуационных путях, массив данных результатов моделирования распространения полей ОФП *OFP*, множество предельно допустимых значений полей ОФП и временной интервал расчета данных *OFP*. Изначально время блокирования принимается как максимальное время и равняется временному интервалу расчета данных *OFP*.

Затем выполняется поиск моментов времени для каждой контрольной точки на эвакуационном пути, когда наступил момент блокирования каким-либо полем ОФП. Такой момент времени с минимальным значением принимается за общее время блокирования и поступает на выход алгоритма.

В случае если пользователь при создании сценария развития пожара и эвакуации указал контрольные точки, в которых необходимо найти время блокирования, выполняется анализ значений полей ОФП в контрольных точках. Блок-схема алгоритма определения времени блокирования контрольных точек представлена на рисунке 2.16.

На вход алгоритма подается множество контрольных точек, массив данных результатов моделирования распространения полей ОФП и множество предельно допустимых значений полей ОФП.

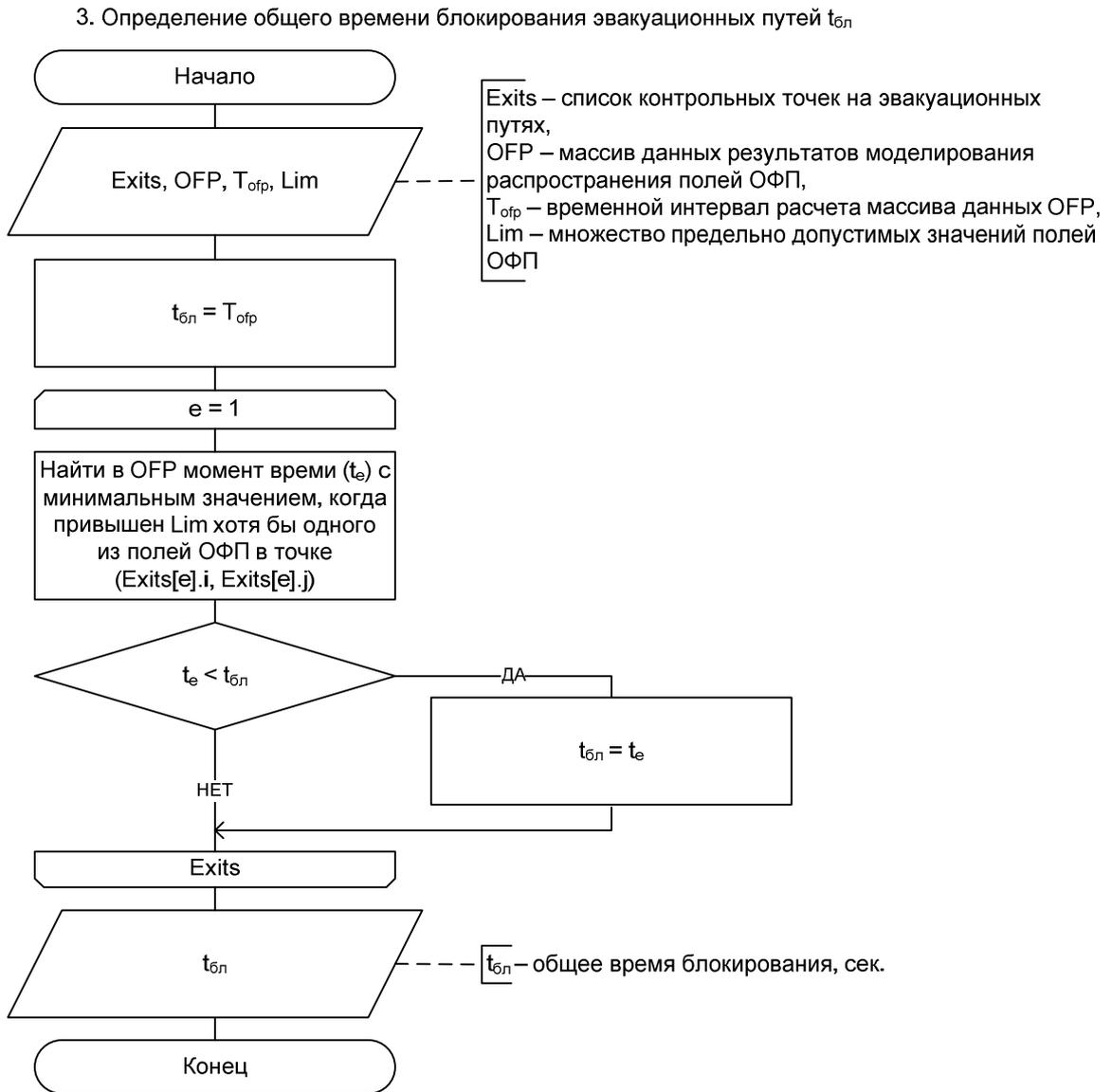


Рисунок 2.15 – Блок-схема алгоритма определения общего времени блокирования

В результате выполнения алгоритма на выходе формируется множество пар $\langle t_{\text{бл}}, ID_Cr \rangle$, где $t_{\text{бл}}$ – время блокирования, а ID_Cr – идентификатор контрольной точки.

4. Определения времен блокирования в контрольных точках

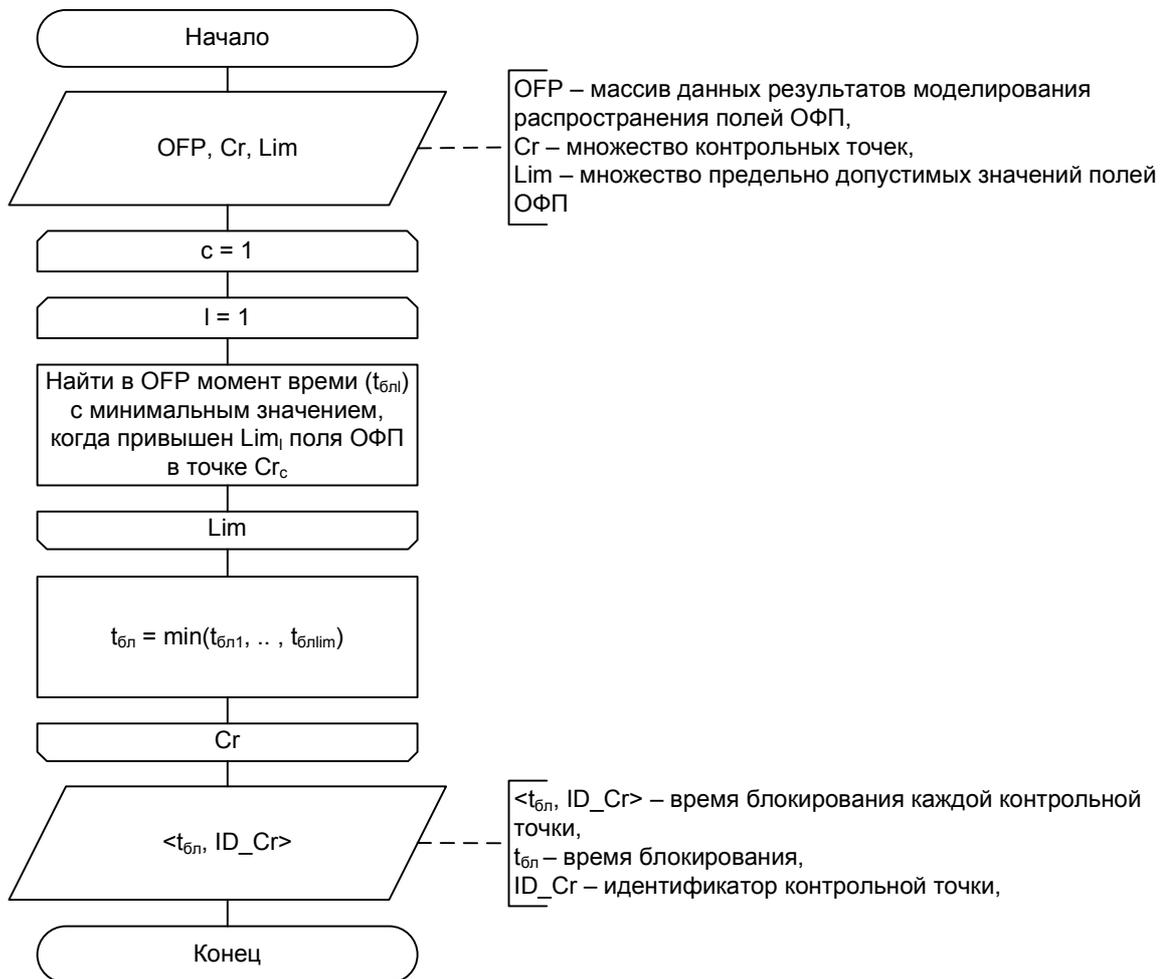


Рисунок 2.16 – Блок-схема алгоритма определения времени блокирования в контрольных точках

2.2.6 Алгоритм анализа эвакуации

В случае, если на вход алгоритма консолидации и анализа данных моделирования процесса эвакуации и распространения полей ОФП поступило непустое множество контрольных людей, запускается процесс анализа эвакуации контрольных людей. Блок-схема разработанного алгоритма анализа эвакуации контрольных людей представлена на рисунке 2.17.

На вход алгоритма анализа контрольных людей поступает массив данных результатов моделирования распространения полей ОФП, массив данных моделирования процесса эвакуации, множество контрольных людей, множество пре-

дельно допустимых значений полей ОФП и шаг дискретизации времени моделирования эвакуации.

Цель алгоритма вычислить время эвакуации для каждого контрольного человека и определить время пребывания каждого контрольного человека в полях ОФП с критическими значениями.

Время эвакуации находится как максимальное время из массива данных *EvaRes* для заданного человека. Запись данных по человеку в массив *EvaRes* прекращается, когда человек покидает пределы объекта через любой эвакуационный выход.

Для анализа пребывания контрольного человека в полях ОФП с превышением предельно допустимых значений необходимо рассматривать все точки траектории движения человека при эвакуации.

При анализе каждой точки траектории движения человека учитывается ранее определенный набор ячеек расчетной сетки, которые покрывает человек в данный момент времени. Превышение предельно допустимого значения ОФП в любой из таких ячеек увеличивает счетчик времени пребывания человека в полях ОФП.

На выходе алгоритма получается множество $\langle t_{эв}, ID_Pg \rangle$, где $t_{эв}$ – время эвакуации контрольного человека с идентификатором ID_Pg , и множество $\langle ID_Pg, IDLim, t \rangle$, где t – время пребывания контрольного человека с идентификатором ID_Pg в поле ОФП с идентификатором $IDLim$.

1.5. Анализ эвакуации контрольных людей

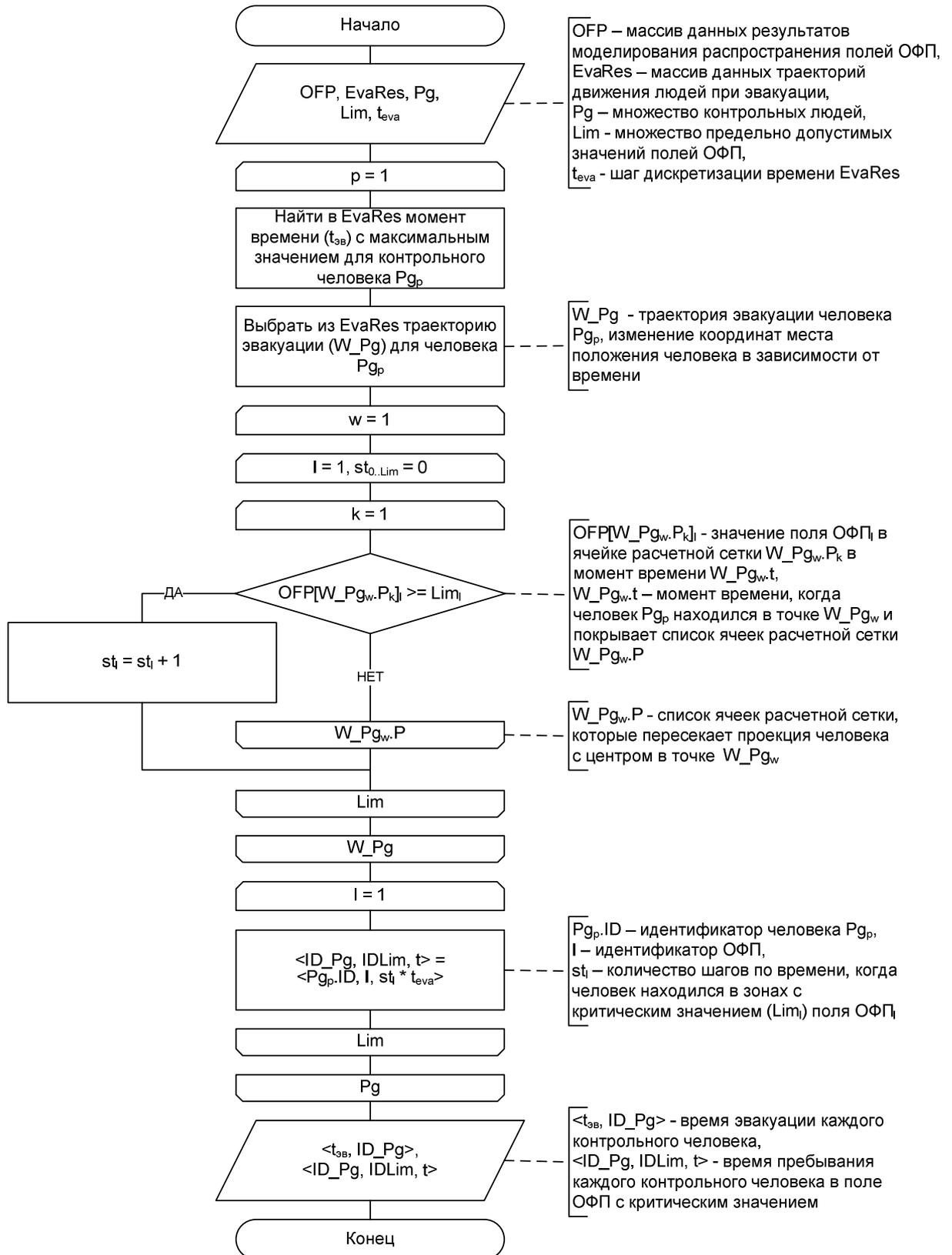


Рисунок 2.17 – Блок-схема алгоритма анализа эвакуации контрольных людей

Типы аналитических запросов для формирования различных показателей, характеризующих процесс эвакуации людей из здания и распространения ОФП, зависят от момента времени (таблица 2.3). Вычисляются как интегральные показатели, так и индивидуальные для конкретного человека или конкретной контрольной точки.

Таблица 2.3 – Аналитические запросы для формирования статистических данных.

Запрос	Входные данные	Выходные данные
Общее время эвакуации	Файлы с результатами моделирования эвакуации	Расчетное время эвакуации $t_{эв}$
Время эвакуации с этажей через каждый выход с этажа	Дополнительный файл, сформированный при моделировании эвакуации. Список этажей	Кросс-таблица, содержащая временные параметры эвакуации с каждого этажа через каждый эвакуационных выход, интегральные показатели минимального и максимального времен эвакуации с этажей
Время блокирования опасными факторами пожара каждого этажа и времена достижения критических значений всеми полями ОФП	Файлы с результатами моделирования распространения опасных факторов пожара и файлы с результатами моделирования эвакуации. Список этажей	Кросс-таблица, содержащая временные параметры блокирования этажей, временные параметры эвакуации с этажей и временные параметры достижения критических значений опасными факторами пожара
Общая статистика по контакту людей с опасными факторами пожара	Файлы с результатами моделирования распространения опасных факторов пожара и файлы с результатами моделирования эвакуации	Кросс-таблица, содержащая интегральные показатели, такие как максимальная продолжительность пребывания людей в зоне с повышенными концентрациями ОФП, количество человек, попавших во время эвакуации в зону воздействия критических значений ОФП, временные параметры начала контакта людей с ОФП, вид ОФП, с которым произошел первый контакт людей
Статистика по контакту с ОФП для	Файлы с результатами моделирования распространения	Кросс-таблица, содержащая для каждого человека время

каждого человека	опасных факторов пожара и файлы с результатами моделирования эвакуации	начала контакта с ОФП, вид ОФП, максимальную концентрацию ОФП, продолжительность действия ОФП на человека, помещение
Времена блокирования опасными факторами пожара контрольных помещений	Файлы с результатами моделирования распространения опасных факторов пожара и файлы с результатами моделирования эвакуации. Список контрольных помещений	Кросс-таблица, содержащая временные параметры блокирования контрольных помещений, временные параметры эвакуации из этих помещений и временные параметры достижения критических значений опасными факторами пожара в контрольных помещениях
Статистика по контрольным участникам процесса эвакуации	Файлы с результатами моделирования распространения опасных факторов пожара и файлы с результатами моделирования эвакуации. Список контрольных участников эвакуации	Кросс-таблица, содержащая временные параметры эвакуации контрольного человека с каждого этажа и из здания, номер эвакуационного выхода, через который выполнена эвакуация, признак наличия контакта с ОФП
Статистика контакта с ОФП контрольных участников эвакуации	Файлы с результатами моделирования распространения опасных факторов пожара и файлы с результатами моделирования эвакуации. Список контрольных участников эвакуации	Кросс-таблица, содержащая для каждого контрольного человека время начала контакта с ОФП, вид ОФП, максимальная концентрация ОФП, продолжительность контакта

Метод консолидации и анализа результатов моделирования эвакуации и распространения опасных факторов пожара позволяет выполнять расчет времени эвакуации и времени блокирования эвакуационных путей – эти параметры участвуют в процессе оценки состояния пожарной безопасности объекта в условиях текущей эксплуатации и формировании рекомендаций по снижению пожарного риска.

2.3 Метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний

Метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний разработан с целью реализации основного назначения предложенной модели системы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности на объектах образования (рисунок 2.8) [48].

2.3.1 Схема формирования рекомендаций

Формирование рекомендаций осуществляется на основе анализа текущих условий эксплуатации объекта, результатов моделирования распространения полей ОФП, процесса эвакуации и расчета пожарного риска. Используется разработанный метод консолидации и анализа данных моделирования эвакуации и распространения ОФП для получения параметров эвакуации и блокирования. 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.

Применение предложенного метода предусматривает выполнение следующих действий для формирования рекомендаций:

- сформировать набор входных параметров, определяющих сценарий развития пожара и значения рискообразующих факторов;
- извлечь из банка рассчитанных сценариев результаты моделирования распространения полей опасных факторов пожара и процесса эвакуации, соответствующие заданному сценарию развития пожара;

- провести консолидацию и анализ результатов моделирования распространения полей ОФП и процесса эвакуации;
- рассчитать вероятность эвакуации и оценить пожарный риск по утвержденной методике;
- запустить процедуру формирования рекомендаций по применению мер, обеспечивающих улучшение состояния пожарной безопасности.

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. В случае если люди, участвующие в процессе эвакуации, попали в зону воздействия опасных факторов пожара, требуется сформировать 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.

Общая схема формирования рекомендаций представлена на рисунке 2.18. На основе схемы разработаны правила формирования рекомендаций на базе продукций, позволяющие формализовать построение базы знаний.

Противопожарные мероприятия условно можно разделить на четыре группы:

- организационные мероприятия (в данную группу входят мероприятия по сокращению людей в здании или равномерному их распределению по помещениям, повышение уровня персонала знаний норм пожарной безопасности и посетителей объекта, распределение и назначение ролей в процессе эвакуации, тренировки организованной эвакуации);

- небольшие доработки оснащения здания (в данную группу относятся мероприятия по приведению в нормативное состояние эвакуационных выходов, доводчиков на дверях, эвакуационных путей и т.д.);

- проведение ремонта, замена обстановки (в данную группу входят мероприятия по изменению пожарной нагрузки помещений, изменение геометрии здания, типов окон, установка противопожарных дверей).

- установка или замена противопожарного оборудования (в данную группу входят мероприятия по установке или замене систем АПЗ на более высокотехнологичные).

В первую очередь должны реализовываться организационные мероприятия, не требующие значительных затрат, а в последнюю – установка или замена противопожарного оборудования, в случае, если мероприятия первых трех групп не привели к ожидаемой цели.

К числу противопожарных мероприятий, направленных на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, относятся [31]:

- применение дополнительных объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара;

- устройство дополнительных эвакуационных путей, отвечающих требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре;

- устройство систем оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа;

- применение систем противодымной защиты от воздействия опасных факторов пожара;

- ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания.

Эффективность каждого из перечисленных выше противопожарных мероприятий определяется степенью влияния на параметры: время эвакуации людей из здания, время блокировки эвакуационных путей опасными факторами пожара, время начала эвакуации, а для системы пожарной сигнализации, противодымной

защиты и системы оповещения людей при пожаре и управления эвакуацией людей – условной вероятностью выполнения задачи при пожаре.

Применение в качестве дополнительного противопожарного мероприятия изменения объемно-планировочных решений и использования средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара, достигается обеспечением нормируемых пределов огнестойкости и пониженной пожарной опасности облицовочных строительных материалов, используемых в ограждающих конструкциях помещений [11-20].

Влияние системы противодымной защиты на уровень обеспеченности безопасной эвакуации людей при пожаре оценивается посредством расчета значения времени блокирования эвакуационных путей ОФП с учетом технических характеристик применяемого вентиляционного оборудования и противодымной защиты. Подбор параметров оборудования осуществляется в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности.

Ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность эвакуации из здания при пожаре, учитывается посредством повторного расчета значения времени эвакуации при существующих объемно-планировочных решениях и ограниченном значении количества эвакуирующихся при пожаре.

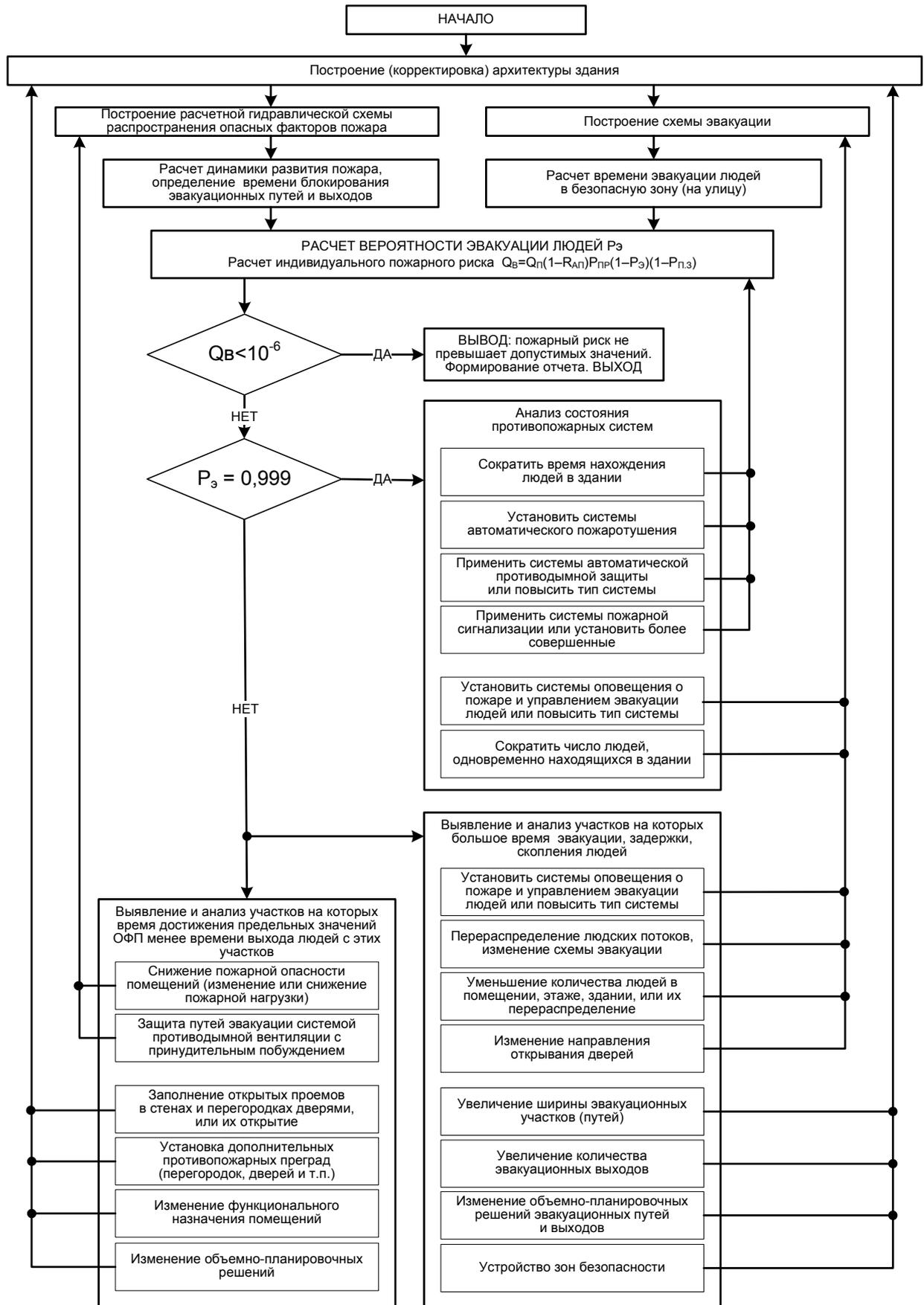


Рисунок 2.18 – Концептуальная схема формирования рекомендаций

Из сформированного набора управляющих воздействий осуществляется выбор ограниченного числа сочетаний в соответствии с целью управления. Выбранный набор значений управляющих параметров предлагается пользователю в виде отчета с рекомендациями по повышению уровня пожарной безопасности.

На схеме формирования рекомендаций выделено три группы, направленные на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре. Первая группа направлена на повышение вероятности эффективной работы систем противопожарной защиты. Вторая группа рекомендаций направлена на снижение времени эвакуации. Третья группа направлена на снижение времени блокирования эвакуационных путей. Каждый из пунктов рекомендаций, приведенный на схеме, имеет комплексный характер, т.е. состоит из целого комплекса мероприятий и действий.

1. *Сократить время нахождения людей в здании.* Уменьшить вероятность нахождения людей в здании можно за счет сокращения времени функционирования учреждения (режима работы) – $t_{функц}$. Влияет на вероятность присутствия людей в здании, в случае изменения требует перерасчета только величины индивидуального пожарного риска.

2. *Установить системы автоматического пожаротушения.* Применение автоматических систем пожаротушения позволяет непосредственно воздействовать на пожар в самом его зарождении и таким образом избежать распространения пламени и соответственно большого ущерба от пожара. В качестве огнетушащего вещества такие системы используют двуокись углерода, инертные газы и различные составы фторосодержащих углеводородов. Установки автоматического пожаротушения позволяют локализовать, а затем ликвидировать пожар на ранней стадии различных возгораний. Нормы и правила проектирования автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения описаны в СП 5.13130.2009 [15]. Определяется изменением значения $R_{ин}$ вероятности, требует перерасчета только величины индивидуального пожарного риска.

3. *Применить системы автоматической противодымной защиты или установить более совершенные системы.* Ключевым элементом противопожарной

защиты высотных зданий и промышленных объектов является система дымоудаления (СДУ). Система дымоудаления представляет собой автоматический комплекс приточно-вытяжной вентиляции, работающий в сопряжении с сигнализацией и системами автоматического пожаротушения. Основная задача в работе системы дымоудаления – обеспечение условий для безопасной эвакуации людей в случае возникновения опасных газов, а также возможности образования плотного задымления при возникновении пожароопасной ситуации. Согласно строительным нормам, действующим на территории РФ (СНиП 2.04.05-91*), наличие систем дымоудаления является обязательным в высотных зданиях (10 и более этажей), подземных сооружениях и помещениях с отсутствием естественной вентиляции. Противопожарные требования к отоплению, вентиляции и кондиционированию описаны в СП 7.13130.2009 [17].

Влияние системы противодымной защиты на уровень обеспеченности безопасной эвакуации людей при пожаре оценивается посредством расчета значения $t_{\text{об}}$ с учетом технических характеристик применяемого вентиляционного оборудования противодымной защиты. Подбор параметров вентиляционного оборудования осуществляется в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности. При этом для выполнения расчетов следует применять зонную (зональную) или полевою модели. Значение параметра $R_{\text{ПДЗ}}$ для данного технического решения определяется технической надежностью элементов автоматики управления противодымной защиты, а также технической надежностью элементов противодымной защиты, приводимых в технической документации. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать $R_{\text{ПДЗ}} = 0,8$.

4. *Применить системы пожарной сигнализации или установка более совершенных систем.* Пожарная сигнализация – один из самых распространенных и востребованных видов сигнализации, поскольку она немедленно информирует о возгорании, что позволяет обеспечить своевременное пожаротушение объекта. Основной функцией данных систем является своевременное оповещение о пожаре

на объекте. Нормы и правила проектирования автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения описаны в СП 5.13130.2009. Значение параметра $R_{обн}$ для данного технического решения определяется технической надежностью элементов системы обнаружения возгорания. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать $R_{обн} = 0,8$.

5. *Установить системы оповещения о пожаре и управлением эвакуации людей или повысить тип системы.* Системы речевого оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) предназначены для голосового предупреждения людей о пожаре, что приводит к снижению времени их эвакуации и минимизации пожарных рисков. Нормативным документом, устанавливающим требования пожарной безопасности к системам оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях является СП 3.13130.2009 [13, 86]. При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа следует выполнить повторный расчет времени эвакуации (t_p) с учетом перераспределения потоков эвакуирующихся и изменения схемы эвакуации в зависимости от сценариев возникновения и развития пожара и, соответственно, алгоритма функционирования системы оповещения людей о пожаре и управлением эвакуации людей. Значение параметра $R_{СОУЭ}$ для данного технического решения определяется технической надежностью элементов системы оповещения людей о пожаре и управлением эвакуации людей, приводимых в технической документации. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать $R_{СОУЭ} = 0,8$.

6. *Сократить число людей, одновременно находящихся в здании.* Число людей одновременно находящихся в здании должно соответствовать нормам (СНиП 31-06-2009), поскольку превышение нормативных значений ведет к увеличению времени эвакуации и может привести к большому скоплению людей, что может привести к их травмированию и повышению пожарных рисков. Ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуа-

ции из здания при пожаре, учитывается посредством повторного расчета времени эвакуации при существующих объемно-планировочных решениях и ограниченном значении количества эвакуирующихся при пожаре.

7. *Перераспределение людских потоков, изменение схемы эвакуации.* При обнаружении значительной разницы времени выхода людей в разные выходы в процессе моделирования эвакуации или при проведении учебной эвакуации необходимо перераспределение людских потоков, изменение схемы эвакуации. Влияние перераспределение людских потоков в процессе эвакуации на обеспечение безопасности эвакуации людей из здания при пожаре.

8. *Уменьшение количества людей в помещении, этаже, здании, или их перераспределение.* Влияние изменения распорядка дня, или распределения людей по этажам на уровень обеспеченности безопасной эвакуации людей при пожаре оценивается посредством расчета времени эвакуации.

9. *Изменение направления открывания дверей – внутрь помещений (при допустимости нормами).* В соответствии с СП 1.13130.2009 [11]: двери эвакуационных выходов и другие двери на путях эвакуации должны открываться по направлению выхода из здания. Не нормируется направление открывания дверей для: а) помещений классов Ф1.3 и Ф1.4; б) помещений с одновременным пребыванием не более 15 чел., кроме помещений категорий А и Б; в) кладовых площадью не более 200 м² без постоянных рабочих мест; г) санитарных узлов; д) выхода на площадки лестниц 3-го типа; е) наружных дверей зданий, расположенных в северной строительной климатической зоне.

Двери эвакуационных выходов из поэтажных коридоров, холлов, фойе, вестибюлей и лестничных клеток не должны иметь запоров, препятствующих их свободному открыванию изнутри без ключа. В зданиях высотой более 15 м указанные двери, кроме квартирных, должны быть глухими или с армированным стеклом.

Лестничные клетки, как правило, должны иметь двери с приспособлением для самозакрывания и с уплотнением в притворах.

В лестничных клетках допускается не предусматривать приспособления для самозакрывания и уплотнение в притворах для дверей, ведущих в квартиры, а также для дверей, ведущих непосредственно наружу.

Двери эвакуационных выходов из помещений с принудительной противодымной защитой, в том числе из коридоров, должны быть оборудованы приспособлениями для самозакрывания и уплотнением в притворах. Двери этих помещений, которые могут эксплуатироваться в открытом положении, должны быть оборудованы устройствами, обеспечивающими их автоматическое закрывание при пожаре.

10. Увеличение ширины эвакуационных участков (путей). Требования к эвакуационным путям описаны в СП 1.13130.2009 [11] (4.3 Эвакуационные пути) Эвакуационные пути должны быть такой ширины, чтобы с учетом их геометрии по ним можно было беспрепятственно пронести носилки с лежащим на них человеком. В коридорах на путях эвакуации не допускается размещать оборудование, выступающее из плоскости стен на высоте менее 2 м, газопроводы и трубопроводы с горючими жидкостями, а также встроенные шкафы, кроме шкафов для коммуникаций и пожарных кранов. При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия увеличение ширины эвакуационных путей, за счет изменения расстановки мебели следует выполнить повторный расчет времени эвакуации. Для оценки влияния изменения ширины эвакуационных участков за счет изменения геометрии объекта, следует выполнить повторный расчет по оценке параметров t_p , $t_{\text{об}}$ с учетом откорректированных объемно-планировочных решений.

11. Увеличение количества эвакуационных выходов. Увеличение количества эвакуационных выходов выполняется в соответствии с требованиями СП 1.13130.2009 [11] (4.2 Эвакуационные и аварийные выходы). При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства дополнительных эвакуационных путей и выходов следует выполнить повторный расчет по оценке параметров t_p , $t_{\text{об}}$ с учетом откорректированных объемно-планировочных решений.

12. Изменение объемно-планировочных решений эвакуационных путей и выходов. Выполняется изменение объемно-планировочных решений эвакуационных путей и выходов в соответствии с СП 1.13130.2009 и СП 4.13130.2009 [14]. При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия изменения объемно-планировочных решений эвакуационных путей и выходов следует выполнить повторный расчет по оценке параметров t_p , $t_{\text{бл}}$.

13. Устройство зон безопасности. В соответствии с СНиП 31-06-2009 при наличии в здании малоподвижных групп людей, следует предусматривать пожаробезопасную зону, из которой они могут быть эвакуированы за более продолжительное время или находиться в ней до прибытия спасательных подразделений. Размеры пожаробезопасной зоны определяются расчетным числом людей на средствах горизонтального и другого транспортирования. Пожаробезопасная зона должна быть незадымляемой. При пожаре в ней должно создаваться избыточное давление от 20 до 40 Па. В пожаробезопасную зону должны выходить двери пассажирского лифта (пассажирских лифтов), которые отвечают требованиям НПБ 250.

14. Защита путей эвакуации системой противодымной вентиляции с принудительным побуждением. Защита путей эвакуации системой противодымной вентиляции с принудительным побуждением выполняется в соответствии с СП 7.13130.2009 [17]. Влияние системы противодымной вентиляции с принудительным побуждением на уровень обеспеченности безопасной эвакуации людей при пожаре оценивается посредством расчета значения $t_{\text{бл}}$ с учетом технических характеристик применяемого вентиляционного оборудования противодымной защиты. Подбор параметров вентиляционного оборудования осуществляется в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности.

Применение в качестве дополнительного противопожарного мероприятия объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара, достигается обеспечением нормируемых пределов огнестойкости и пониженной пожарной опасности облицовочных строительных мате-

риалов, используемых в ограждающих конструкциях помещения, в котором находится вероятный очаг пожара.

Степень влияния ниже следующих дополнительных противопожарных мероприятий (№№15,16,17,18,19) на динамику распространения пожара и процесс эвакуации определяется путем проведения повторного расчета $t_{\text{бл}}$ и t_p после внесения соответствующих изменений в схему объемно-планировочных решений здания.

15. Снижение пожарной опасности помещений (изменение или снижение пожарной нагрузки). Согласно Федеральному закону Российской Федерации от 22 июля 2008 г № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», выбор строительных материалов напрямую зависит от функционального назначения здания или помещения [1].

16. Заполнение открытых проемов в стенах и перегородках дверями или их открытие. В зависимости от сценария развития пожара требуется открывать двери – для предотвращения быстрого наступления критических значений ОФП, или закрывать двери, в случае отсутствия в запертых помещениях людей.

17. Установка дополнительных противопожарных преград (перегородок, дверей и т.п.). Установка дополнительных противопожарных преград выполняется согласно Федеральному закону Российской Федерации от 22 июля 2008 г № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», статьи 87, 88 и СП10.13130.2009 [20].

18. Изменение функционального назначения помещений. Изменение функционального назначения помещений выполняется согласно Федеральному закону Российской Федерации от 22 июля 2008 г № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», статья 88, таблицы. 23, 24.

19. Изменение объемно-планировочных решений здания. Выполняется изменение объемно-планировочных решений согласно со СП 4.13130.2009 и СНиП 31-06-2009 СП4.

2.3.2 Формализация знаний

Процесс формализации знаний можно разделить на следующие этапы: создание словаря фактовых переменных, формализация правил, формирование базы правил [58].

На первом этапе формализации создается словарь фактовых переменных, которые могут составлять как правую, так и левую часть продукционного правила. Фактовые переменные строго типизированы и хранят значения только определенного типа (целое число, строка, список, и т.п.).

Было выделено около 70 переменных, необходимых для записи правил. Одна переменная может входить в состав как одного, так и нескольких правил. Приведем несколько из них в качестве примера:

- $R_{COVЭ}$ – управляющий параметр, представляющий характеристики систем противопожарной защиты (условная вероятность эффективного срабатывания системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации);
- *состояние доводчиков на дверях* – совокупность управляющих параметров, представляющих характеристики конкретных дверей на объекте;
- *разность значений времени выхода людей с разных этажей (значительная, незначительная)* – рассчитывается по результатам моделирования эвакуации людей.

На втором этапе формализации полученные при концептуализации утверждения и правила с использованием словаря фактовых переменных записываются в виде продукций вида:

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

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.

Первая версия базы знаний включила в себя около 40 правил. Приведем несколько продукционных правил в качестве примера:

- N1: 5:Если Входные данные для расчета риска = «определены» или Входные данные для расчета риска = «изменены частично» то @Рассчитать вероятность эвакуации людей $P_{Э}$ (Расчетное время эвакуации людей, Время начала эвакуации, Время блокирования, Время скоплений людей);*
- N2: 7:Если $Q_B < 10^{-6}$ то Пожарный риск не превышает допустимого значения = «истина»;*
- N3: 7:Если $P_{Э} = 0,999$ и $Q_B > 10^{-6}$ то Пожарный риск не превышает допустимое значение = «ложь», Получить консультацию по снижению риска;*
- N4: 8:Если Сформировать отчет по расчету пожарного риска = «Да» то Сформировать отчет; **СТОП.***
- N5: 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 специально разработанного редактора. База знаний хранится в реляционной СУБД. Правила редактором знаний преобразуются в xml-структуру и записываются в таблицу базы данных. Xml-структура используется в качестве внутреннего языка описания правил. Правило во внутреннем представлении имеет следующий вид:

```
<?xml version="1.0" encoding="windows-1251"?>
  <doc>
    <operation type="if" dtype="1">
      <operand type="12">
        <left from="var">18</left>
        <compoer>=</compoer>
        <right from="val">0,999</right>
      </operand>
      <then>
        <operation type="set" dtype="0" id="23">
          <value from="values">1</value>
        </operation>
      </then>
```

</operation>
</doc>

Созданная продукционная база знаний включает в себя как знания экспертов, так и компиляцию основных тезисов нормативной документации.

2.3.3 Алгоритм логического вывода для формирования рекомендаций

Входные данные алгоритма: $Qв$ – расчетная величина индивидуального пожарного риска, $Pэ$ – вероятность эвакуации, $Cв$ – множество параметров, описывающих сценарий возгорания, R – множество параметров, описывающих противопожарные системы объекта, $Tф$ – время функционирования объекта, $Nр$ – количество человек обычно находящихся на объекте.

Выходные данные алгоритма: $Resom$ – множество сгруппированных рекомендаций по применению мер, обеспечивающих улучшение состояния пожарной безопасности.

Условие завершения: Алгоритм завершается при выполнении хотя бы одного из следующих условий: встречена команда «СТОП» или база правил исчерпана полностью.

Разработанный алгоритм состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Сформировать из базы знаний список правил, отсортированных по коэффициенту значимости. Коэффициент значимости правил задается экспертом на этапе формирования базы знаний. Более значимые правила, с точки зрения эксперта, имеют больший коэффициент. Соответственно правила с наибольшим коэффициентом будут обрабатываться в процессе логического вывода первыми.

Шаг 2. Заполнить фактовые переменные. Фактовые переменные фигурируют как в левых, так и в правых частях продукционных правил. На первом шаге необходимо выполнить начальную инициализацию переменных входными данными алгоритма ($Qв, Pэ, Cв, Пс, Tф, Pн$).

Шаг 3. Последовательный перебор сформированного списка правил.

Шаг 4. Если правило применимо, то есть условие в его левой части равно истине, выполняются действия, описанные в его правой части. В случае наличия в

правой части правила команды на запрос значения фактовой переменной у пользователя вызывается диалог работы с пользователем и запрошенные данные сохраняются в фактовую переменную. В случае наличия в правой части правила команды активации правила $Rule_k$, происходит добавление правила $Rule_k$ в рабочую память для активизации.

Шаг 5. Перебор правил прекращается, если в правой части правила будет встречена команда «СТОП», либо список правил полностью просмотрен.

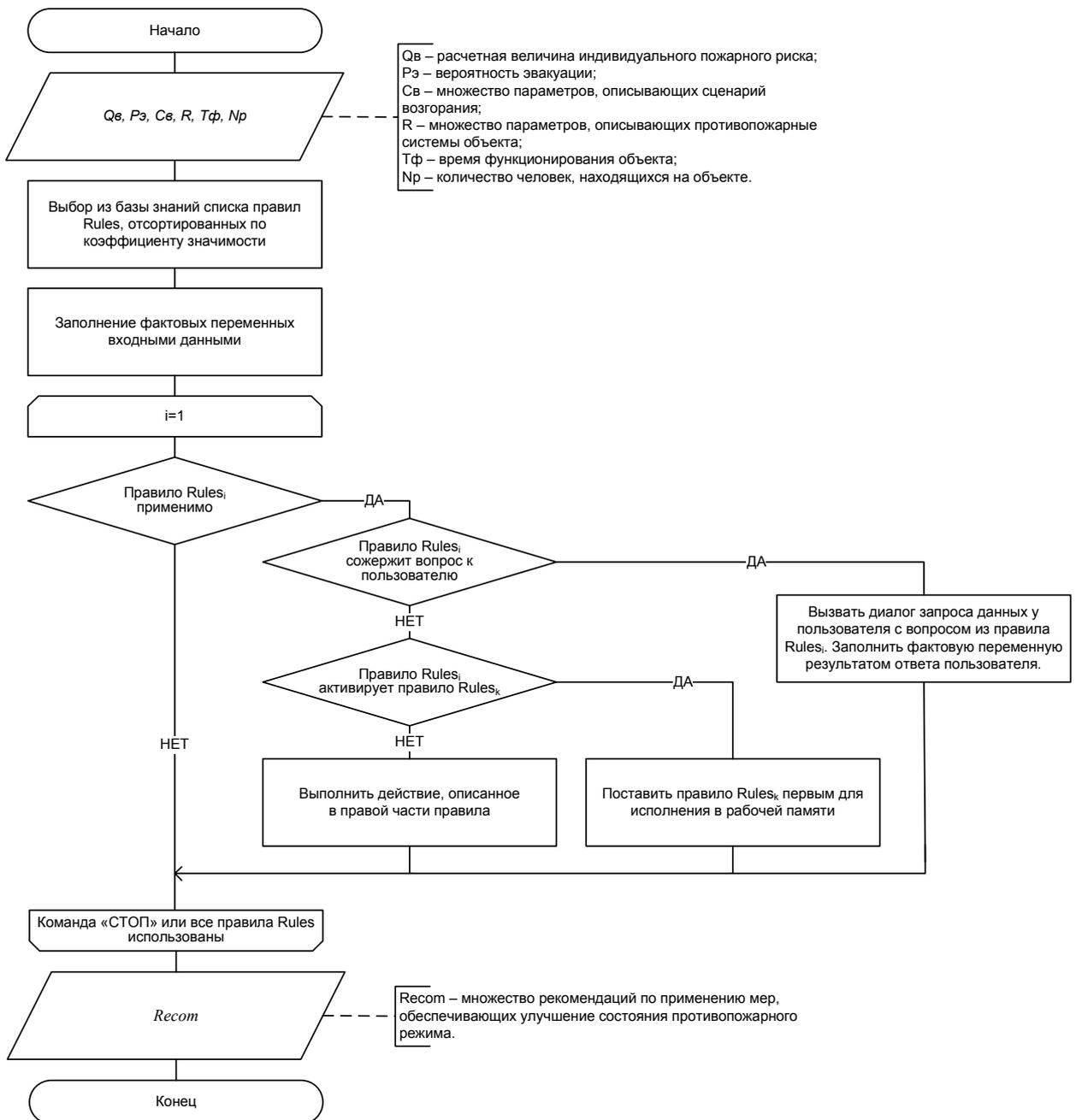


Рисунок 2.19 – Алгоритм логического вывода

Шаг 6. Формируется отчет с множеством рекомендаций (*Recom*). Отчет формируется по заранее разработанному шаблону.

В результате логического вывода происходит анализ входных данных, и в зависимости и формируется набор рекомендаций с указанием их приоритетности. Особенностью алгоритма логического вывода является то, что правила могут инициировать изменение последовательности применения правил.

Для запуска процесса формирования рекомендаций в фактовые переменные записываются результаты моделирования эвакуации людей и распространения полей опасных факторов пожара. После чего происходит расчет индивидуального пожарного риска. В случае если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует предусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре и повышение уровня пожарной безопасности. На основе информации о результатах моделирования по управляющим воздействиям, заданным экспертом, выполняется выбор противопожарных мероприятий, и формируются рекомендации. Выбор выполняется на основе продукционных правил, согласно прямой цепочке логического вывода. Порядок выбора правила из конфликтного набора определяется коэффициентами, заданными экспертом при формировании базы знаний. Эксперт, полагаясь на свой опыт, присваивает правилам коэффициенты от 1 до 10.

Пользователь после применения выданных ему рекомендаций может повторно провести процедуру оценки объекта и проанализировать степень влияния проведенных мероприятий на величину пожарного риска.

2.4 Выводы к главе 2

Разработана модель 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 поддерж-

ки принятия решений. Одна из основных функциональных задач системы – предоставление лицу, принимающему решения, инструмента для исследования условий текущей эксплуатации объекта с целью обеспечить повышение уровня пожарной безопасности.

Разработан оригинальный метод консолидации и анализа данных моделирования процессов распространения полей ОФП и эвакуации. Выполнена его алгоритмическая реализация. Метод позволяет проводить анализ двух одновременно происходящих процессов (распространения опасных факторов пожара и эвакуации людей) с целью выявления угроз воздействия ОФП на участников эвакуации. Разработанный метод позволяет получить агрегированные показатели о процессе эвакуации людей, о блокировании эвакуационных путей, которые в дальнейшем используются для формирования рекомендаций по снижению пожарного риска.

Предложен оригинальный метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний. Рекомендации направлены на повышения уровня пожарной безопасности и безопасной эвакуации людей из здания. Формирование рекомендаций осуществляется на основе анализа текущих условий эксплуатации здания, результатов моделирования распространения полей ОФП, процесса эвакуации и расчета пожарного риска. Описан процесс формализации знаний и создания продукционной базы правил. Впервые разработаны база знаний и алгоритм автоматизации стратегии логического вывода, позволяющие на основе анализа технического состояния здания сферы образования формировать решения по повышению уровня пожарной безопасности.

3 Система поддержки принятия решений по повышению защищенности зданий сферы образования от угрозы пожара

Рассмотрим результаты программной реализации и применения предложенной в работе модели системы комплексной поддержки принятия управленческих решений, предложенного метода консолидации и анализа результатов моделирования распространения ОФП и эвакуации, а также применение метода формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний для создания информационно-управляющей системы поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности на объектах образования «ПБ ЭКСПЕРТ».

3.1 Общее описание системы

Информационно-управляющая система «ПБ ЭКСПЕРТ» предназначена для поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности зданий сферы образования на основе оценки состояния текущей эксплуатации здания, моделирования последствий воздействия опасных факторов пожара и процесса эвакуации людей из здания [53]. Система предназначена для руководителей, специалистов в области управления пожарной безопасностью и посетителей образовательных учреждений.

Целью создания системы является снижение влияния рискообразующих факторов и повышение уровня защищенности зданий сферы образования от пожаров за счет информационной поддержки управления на основе моделирования эвакуации и развития пожаров, виртуального обучения правилам пожарной безопасности и действиям при возникновении угроз пожарной безопасности.

Программный комплекс реализует метод консолидации и анализа результатов моделирования распространения полей ОФП и процесса эвакуации. В качестве количественной оценки пожарной опасности исследуемого объекта в системе

используется величина пожарного риска, рассчитанная по формулам методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях [6].

Структурно-функциональная схема системы представлена на рисунке 3.1. На 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. Пользователями системы являются: лицо, принимающее решения (ответственный за состояние пожарной безопасности на объекте, руководитель), персонал объекта или учащиеся (посетители) объекта. Блоки системы объединяют функциональные возможности, поддерживаемые системой.

В *блоке формирования решений* на основе результатов моделирования, анализа состояния объекта и оценки индивидуального пожарного риска выдаются рекомендации по управлению и поддержке ПБ объекта. При этом выполняется ранжирование противопожарных мероприятий по реализуемости и эффективности. На основе базы знаний также выполняется поддержка формирования исходных данных для анализа состояния объекта.

Блок моделирования является инструментом для исследования и анализа условий текущей эксплуатации объекта на предмет его опасности с точки зрения угрозы жизни людей в случае пожара и выполняет моделирование распространения ОФП и эвакуации разными методами: полевой моделью распространения ОФП, полевой моделью эвакуации, зональной моделью распространения ОФП, индивидуально-поточной моделью эвакуации.

Блок визуализации обеспечивает наглядное 3D представление результатов моделирования распространения ОФП и движения потоков людей, распространения каждого из ОФП.

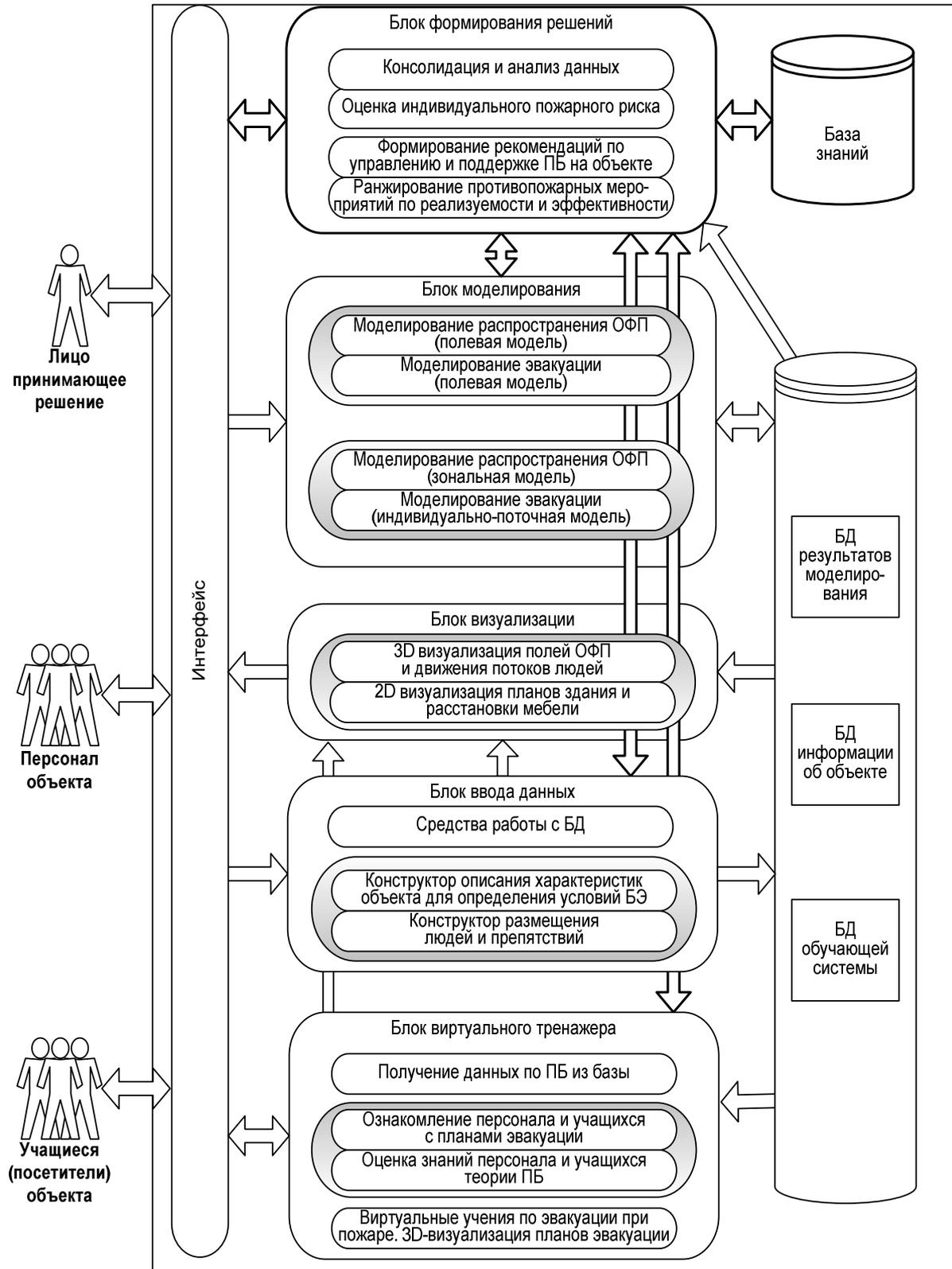


Рисунок 3.1 – Структурно-функциональная схема системы

Блок ввода данных предоставляет пользователю возможность редактирования баз данных, описания характеристик объекта для определения условий безопасной эвакуации, обеспечивает задание сценариев пожара и эвакуации.

Блок виртуального тренажера выполняет: проверку соответствия объекта условиям безопасной эвакуации; проведение виртуальных учений по эвакуации.

Главное окно системы представлено на рисунок 3.2.

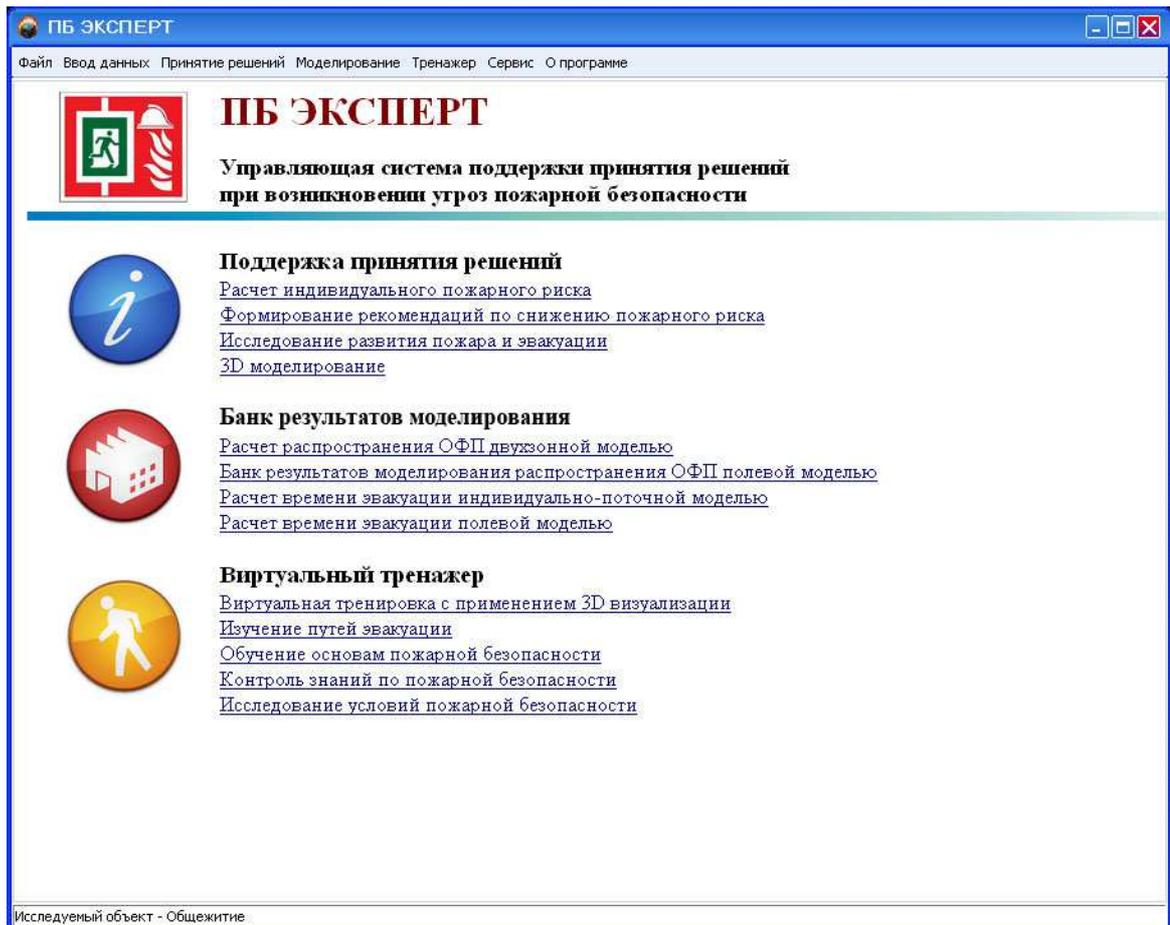


Рисунок 3.2 – Главное окно системы

В меню быстрого доступа представлены основные функциональные задачи информационно-управляющей системы.

3.2 Функционирование системы

После входа в систему открывается главное окно программы с меню (рисунок 3.2). Основные функциональные возможности системы разделены на три раздела:

1. *Поддержка принятия решений.* В разделе собраны функции системы, позволяющие лицу принимающему решение произвести исследование развития пожара и эвакуации, используя консолидацию и анализ данных, произвести оценку пожарного риска и получить рекомендации, направленные на повышения уровня пожарной безопасности.
2. *Банк результатов моделирования.* Функции данного раздела предоставляют пользователю возможность просмотреть результаты моделирования распространения полей ОФП и процесса эвакуации при различных сценариях пожара как в табличном виде, так и с помощью средств 3D-визуализации. Сценарий пожара – это система принимаемых при расчете допущений о месте возникновения пожара и характере его развития.
3. *Виртуальный тренажер.* Раздел содержит ряд функций, обеспечивающих контроль знаний и обучение пользователей системы правилам и нормам пожарной безопасности, правилам эвакуации. Пользователю предоставляется возможность ознакомиться с процессом эвакуации при выбранном сценарии пожара.

3.2.1 Поддержка управления пожарной безопасностью

Поддержка управления пожарной безопасностью осуществляется на основе анализа текущего состояния объекта и результатов консолидации и анализа данных моделирования развития распространения полей ОФП и процесса эвакуации. Алгоритмы анализа реализованы в виде хранимых процедур в системе управления базой данных. Результаты консолидации и анализа данных доступны для работы в табличном виде. Пользователю предоставлен инструментарий, позволяющий группировать и фильтровать таблицу с данными по любому столбцу.

На рисунке 3.4 представлены результаты анализа попадания людей при эвакуации в поля ОФП с критическими значениями.

ПБ ЭКСПЕРТ - [Анализ попадания людей в ОФП при эвакуации (общезитие)]

Файл Ввод данных Принятие решений Моделирование Тренажер Сервис О программе

Система ведения справочников

Ключевое поле

Наименование	Общее время по всем ОФП	Номер сценария	Время начала контакта с ОФП	Время пребывания с повыш. конц. дыма	Время пребывания с пониж. конц. кислорода	Время пребывания с повыш. температурой	Время пребывания с повыш. конц. CO2	Время пребывания с повыш. конц. CO
Ключевое поле : 6825								
6 этаж	1,75	10	161	1,75	0	0	0	0
5 этаж	9,25	10	164	9,25	0	0	0	0
4 этаж	11	10	175	11	0	1,5	0	0
3 этаж	15,5	10	187	15,5	8,25	15,5	0	0
2 этаж	10,25	10	204	10,25	10,25	10,25	0	0
1 этаж	9	10	215	9	8	8	0	0
	56,75	60	1 106,00	56,75	26,50	35,25	0,00	0,00
Ключевое поле : 6826								
6 этаж	0,25	10	155	0,25	0	0	0	0
5 этаж	9,5	10	159	9,5	0	0	0	0
4 этаж	10,75	10	170	10,75	0	3,5	0	0
3 этаж	13,25	10	182	13,25	7,5	12,75	0	0
2 этаж	12,75	10	196	12,75	12,75	12,75	0	0
1 этаж	5,75	10	210	5,75	4,75	5	0	0
	52,25	60	1 072,00	52,25	25,00	34,00	0,00	0,00
Ключевое поле : 6827								
5 этаж	8,5	10	147	8,5	0	0	0	0
4 этаж	11,75	10	156	11,75	0	4,75	0	0
3 этаж	14,75	10	170	14,75	2	14,25	0	0
2 этаж	8,5	10	187	8,5	8,25	8,25	0	0
1 этаж	6,5	10	196	6,5	5,5	5,5	0	0
	50,00	50	856,00	50,00	15,75	32,75	0,00	0,00
Ключевое поле : 6828								
	6 835,50	7 470	114 601,00	6 835,25	3 319,50	4 436,50	0,00	0,00

Без отм. Имена Фикс. ширина Авто. высота Анализ 133 из 186

Рисунок 3.3 – Результаты анализа попадания людей в поля ОФП с критическими значениями

Данные сгруппированы по идентификационному номеру эвакуирующегося из здания человека. Например, по приведенным на рисунке 3.3 данным можно сделать вывод, что человек номер 6825 провел 56,75 секунд в полях ОФП с критическими значениями. Задымленность и потеря оптической видимости воздействовали на него, начиная с 6 этажа и до момента выхода в безопасную зону. Также данный человек в процессе эвакуации испытал воздействие еще двух опасных факторов пожара.

На рисунке 3.4 представлены результаты анализа времени блокирования контрольных точек опасными факторами пожара.

Ключевое поле	Наименование	Время блокировки	Время блокировки по дыму	Время блокировки по O2	Время блокировки по HCL	Время блокировки по температуре	Время блокировки по CO2
3	Выход 2	295	295				
4	Выход 3	340	340	475		470	460
5	Выход 4	800	800				
6	Центральный выход 1	400	400				
9	Выход 2	220	220				
11	Выход 3	325	325				
13	Лестничная клетка 1	75	75	120		115	115
14	Лестничная клетка 2	120	120	180		180	175
15	Лестничная клетка 3	165	165	265		240	230
16	Лестничная 4	85	85	125		125	120
17	Лестничная клетка 1	155	155	320		315	185
18	Лестничная клетка 2	305	305	350		350	345
19	Лестничная клетка 3	365	365	455		455	450
20	Лестничная клетка 4	135	135	190		190	185
21	Лестничная клетка 1	180	180	235		230	225
22	Лестничная клетка 2	280	280	370		370	360
23	Лестничная клетка 3	280	280	405		405	390
24	Лестничная клетка 4	155	155	210		210	205
25	Лестничная клетка 1	200	200	235		230	225
26	Лестничная клетка 2	270	270	380		380	370
27	Лестничная клетка 3	320	320	435		435	425
28	Лестничная клетка 4	180	180	240		240	235
29	Лестничная клетка 1	210	210	235		235	225
30	Лестничная клетка 2	245	245	310		310	300
31	Лестничная клетка 1	215	215	265		265	255
32	Лестничная клетка 2	245	245	315		315	305

Рисунок 3.4 – Результаты анализа времени блокирования контрольных точек

Превышение критического значения одного из семи полей опасных факторов пожара в контрольной точке считается моментом блокировки. В таблице на рисунке 3.4 представлены данные, показывающие в какой момент времени была блокирована контрольная точка и каким именно опасным фактором пожара.

Результаты консолидации и анализа используются для дальнейших расчетов вероятности эвакуации и пожарного риска. Для того чтобы выполнить расчет пожарного риска и произвести оценку состояния объекта защиты на основе базы знаний, формируется список переменных, необходимых для заполнения. Пользователь выбирает значения из предложенных ему вариантов, или вводит собственные значения. Часть переменных заполняется автоматически в зависимости от выбранных пользователем значений других переменных (рисунок 3.5).

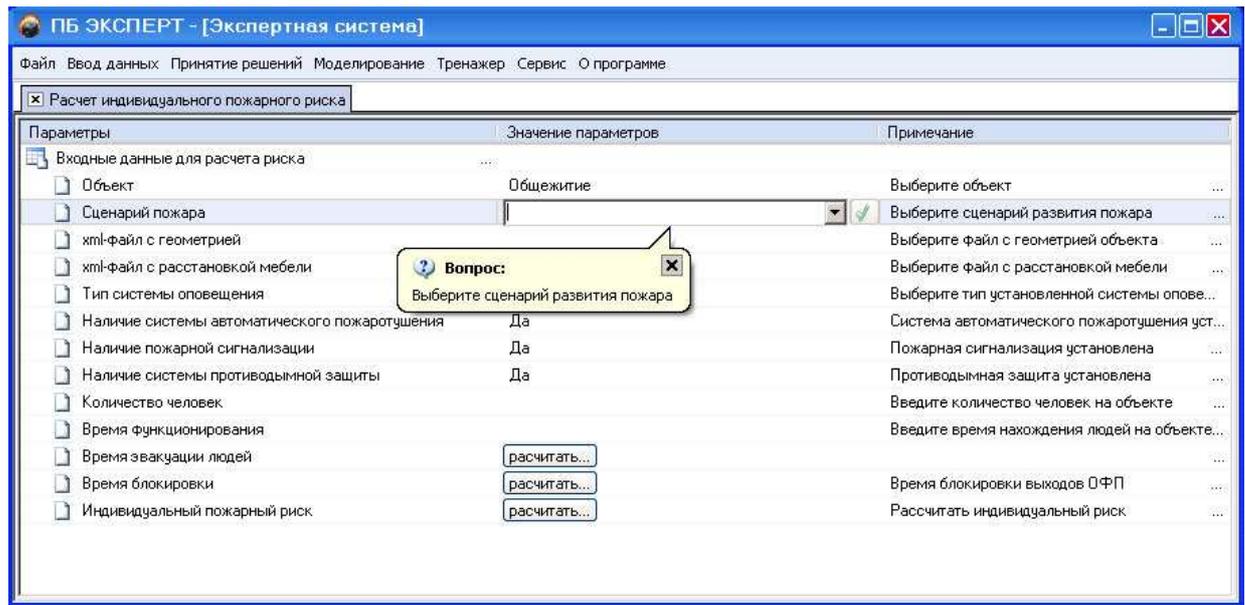


Рисунок 3.5 – Работа экспертной системы. Задание начальных данных для расчета пожарного риска

Переменная «Объект» заполняется автоматически значением, указанным на настройках системы. Пользователь может заменить установленное автоматически значение на необходимое ему. В зависимости от выбранного объекта автоматически заполняются переменные «Количество человек» и «Время функционирования». Количество человек определяется как среднее количество человек, одновременно находящихся на объекте.

В рамках одного объекта система содержит информацию по нескольким рассчитанным ранее сценариям пожара. Как правило, в качестве сценариев берутся наиболее вероятные ситуации или наиболее опасные, например, возгорание в холле, блокирующие основной эвакуационный выход. В зависимости от выбранного сценария пожара автоматически заполняется ряд переменных, таких как «xml-файл с геометрией», «xml-файл с расстановкой мебели», «Время эвакуации людей», «Время блокировки». Время эвакуации людей и время блокирования эвакуационных путей для конкретного сценария определяется в результате консолидации и анализа данных моделирования распространения ОФП и процесса эвакуации.

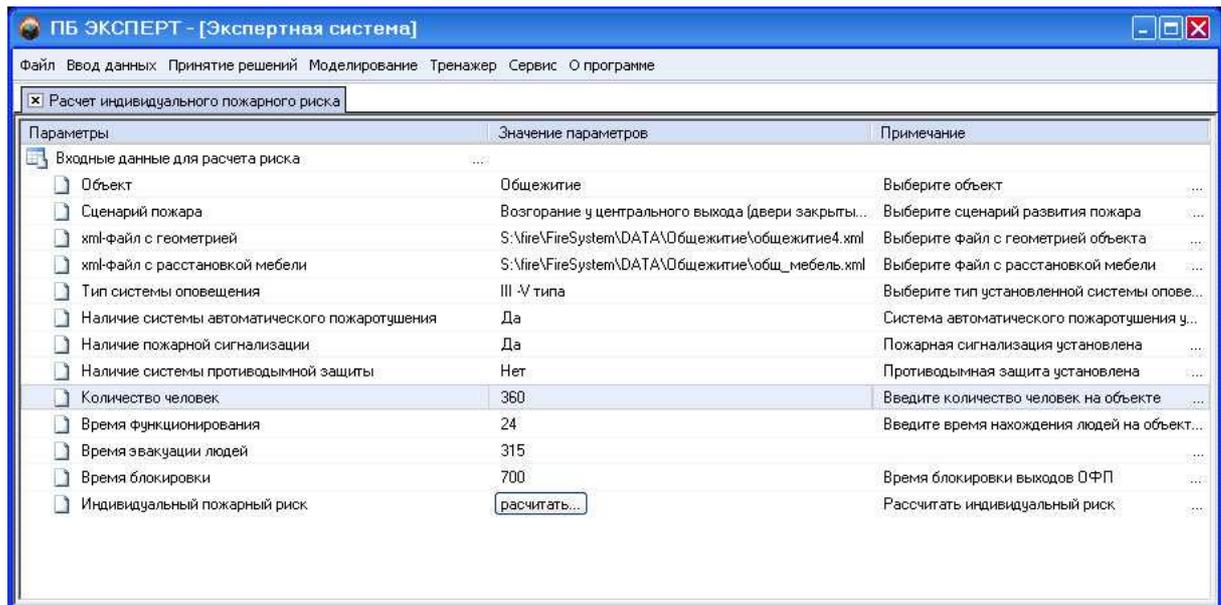


Рисунок 3.6 – Работа экспертной системы.
Входные данные для расчета пожарного риска

После выбора пользователем объекта исследования и сценария пожара система задает ряд уточняющих вопросов о наличии либо отсутствии на объекте, а также типе систем оповещения, пожарной сигнализации, противодымной защиты и автоматического пожаротушения. Наличие этих систем и их характеристики влияют на вероятность эвакуации и величину пожарного риска.

Пример заполненных переменных приведен на рисунке 3.6. После проверки пользователем корректности заполнения переменных, необходимых для расчета пожарного риска, должна быть нажата кнопка «Рассчитать», которая расположена в графе «Индивидуальный пожарный риск».

В результате выполнения расчета система выдает сообщение со значением уровня индивидуального пожарного риска и, в случае несоответствия его установленной законом норме, предлагает запустить процесс формирования рекомендаций (рисунок 3.7).

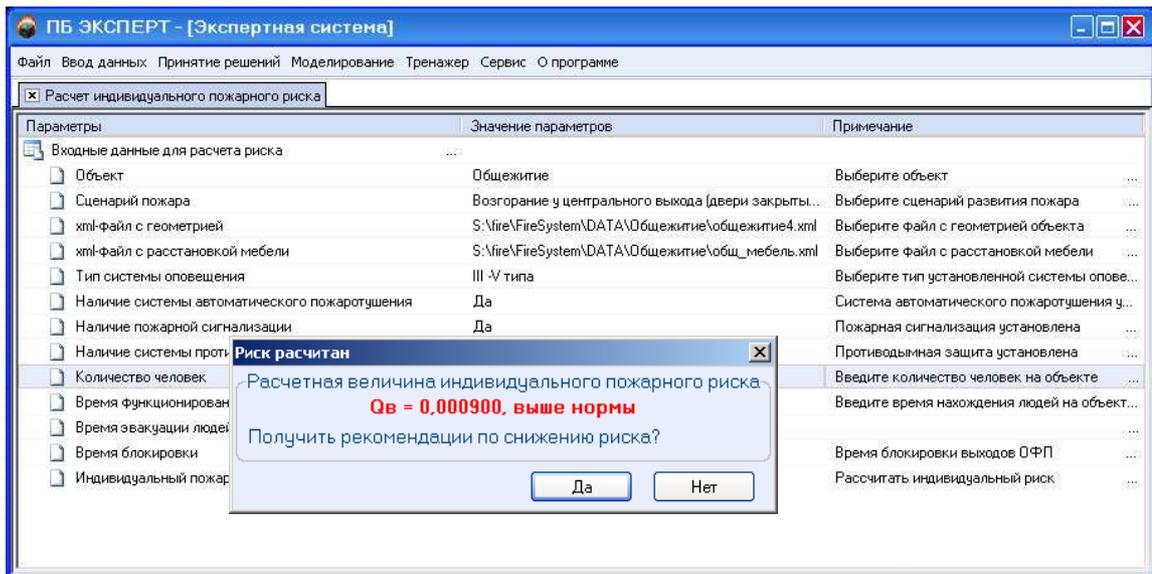


Рисунок 3.7 – Работа экспертной системы.
Результаты расчета пожарного риска

Формирование рекомендаций осуществляется на основе продукционных правил, хранящихся в базе знаний системы. Экспертная система анализирует входные данные и при необходимости задает уточняющие вопросы пользователю с целью выявить более приоритетные направления снижения пожарного риска, либо возможность установки тех или иных противопожарных систем (рисунок 3.8).

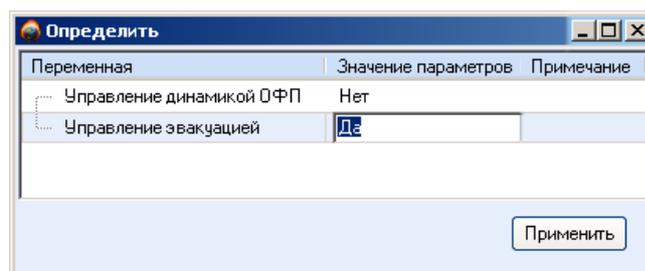


Рисунок 3.8 – Работа экспертной системы.
Формирование рекомендаций

После завершения процесса логического вывода система предлагает пользователю сформировать отчет с рекомендациями по снижению уровня пожарного риска (рисунок 3.9).

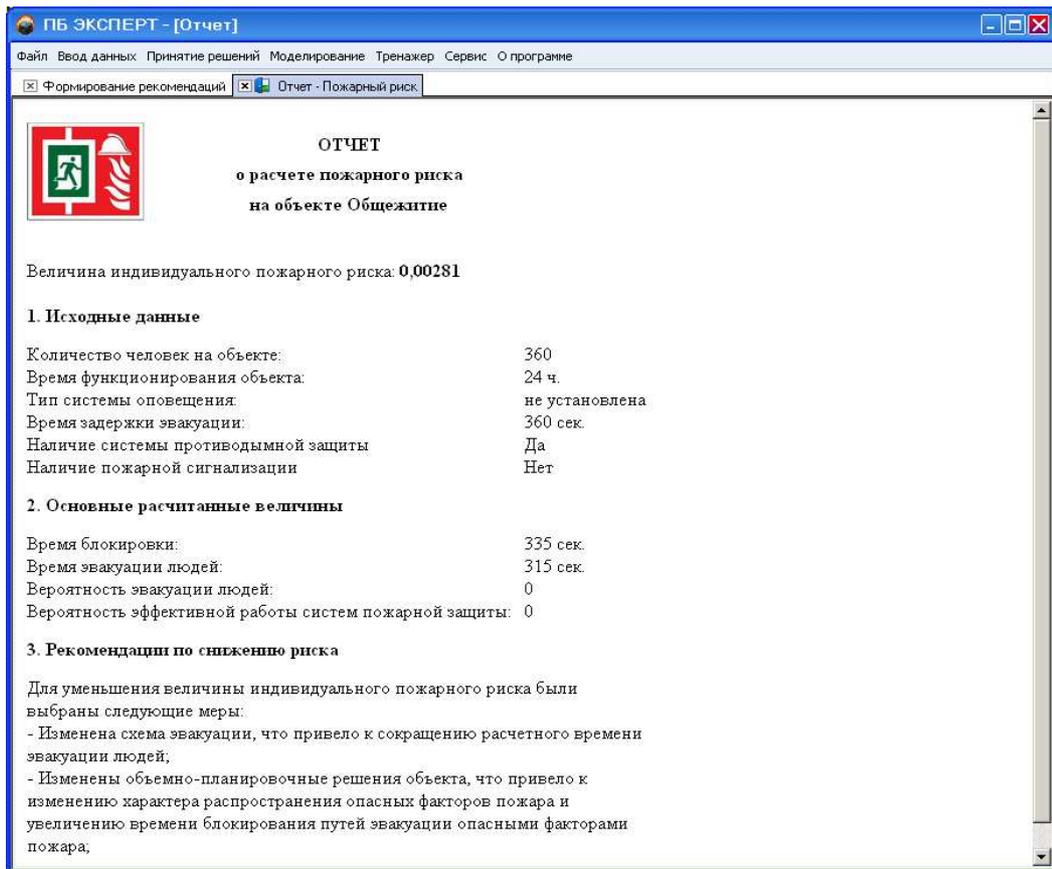


Рисунок 3.9 – Работа экспертной системы. Отчет с рекомендациями по снижению пожарного риска

Пользователь может оценить влияние рекомендаций на величину пожарного риска, применив какие-то из выбранных рекомендаций и повторив процесс моделирования эвакуации и распространения полей ОФП, консолидированный анализ и расчет пожарного риска.

3.2.2 Моделирование распространения ОФП и эвакуации

Пользователю предоставляется возможность провести моделирование процесса эвакуации, используя полевую модель движения людей или индивидуально-поточную, а также провести моделирование распространения полей ОФП с использованием двухзонной модели (рисунок 3.10) с сохранением результатов в банк. Банк результатов моделирования содержит ранее рассчитанные результаты моделирования распространения полей ОФП и процесса эвакуации

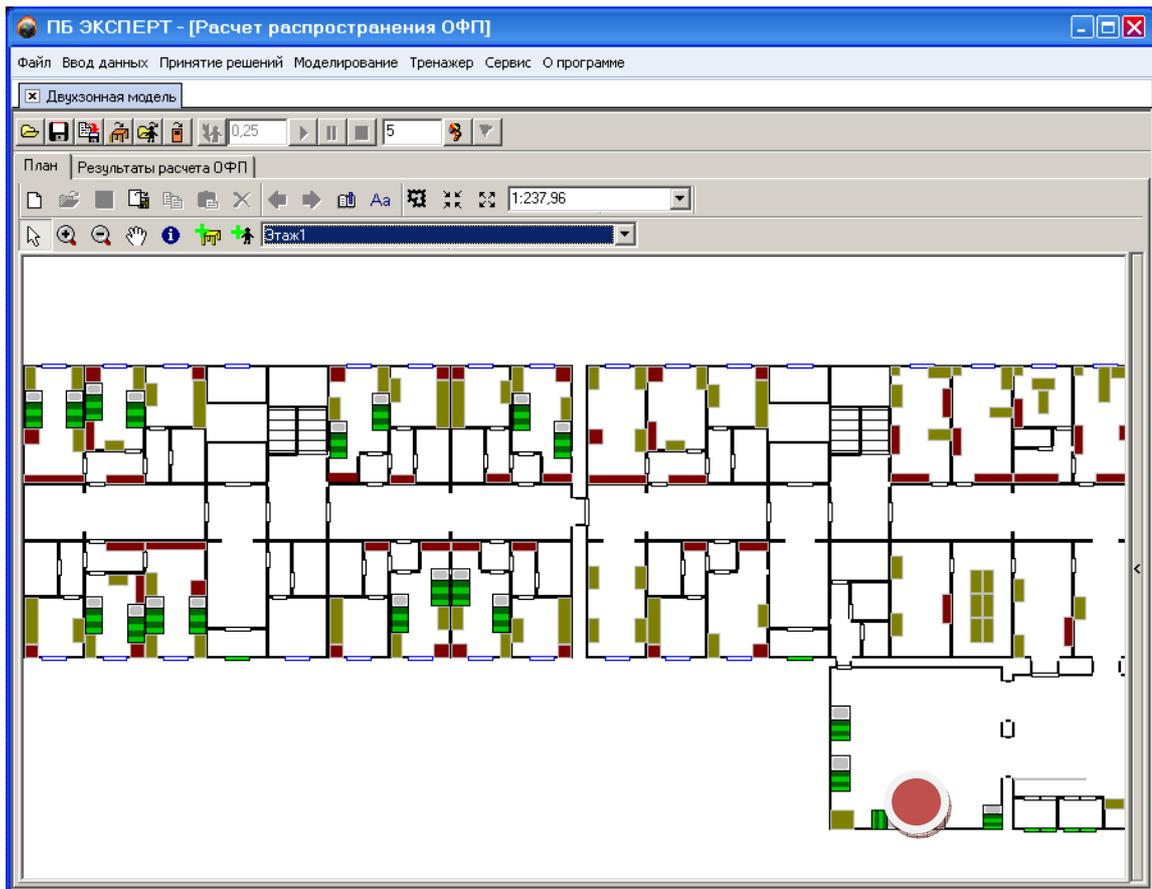


Рисунок 3.10 – Выбор места расположения очага пожара для моделирования распространения ОФП двухзонной моделью.

После проведения расчетов пользователь имеет возможность ознакомиться с результатами моделирования в табличном виде (рисунок 3.11) или сохранить результаты в файл.

Моделирование процесса эвакуации и распространения полей ОФП производится согласно выбранному пользователем сценарию пожара и эвакуации. Сценарий пожара формулируется на основе данных об объемно-планировочных решениях объекта, о размещении пожарной нагрузки на объекте, размещении людей, материальных ценностей и т.д.

Время	Площадь	Скорость выгорания	Мощность очага	Масса дыма
20	0,036644	0,000266	2,361024	17,755771
25	0,057256	0,000415	3,6891	19,540482
30	0,082448	0,000598	5,312303	21,129252
35	0,112221	0,000814	7,230635	22,56867
40	0,146574	0,001063	9,444095	23,889419
45	0,185508	0,001345	11,952682	25,113148
50	0,229022	0,00166	14,756398	26,255803
55	0,277117	0,002009	17,955242	27,329502
60	0,329792	0,002391	21,249213	28,347828
65	0,387047	0,002806	24,938313	29,315382
70	0,448883	0,003254	28,92254	30,233655
75	0,5153	0,003736	33,201896	31,110116
80	0,586297	0,004251	37,776379	31,949609
85	0,661874	0,004799	42,64599	32,718705
90	0,742032	0,00538	47,81073	33,397796
95	0,82677	0,005994	53,270597	33,82956
100	0,916088	0,006642	59,025592	32,93151
105	1,009987	0,007322	65,075715	33,21335
110	1,108467	0,008036	71,420967	33,762108
115	1,211527	0,008784	78,061346	34,349892
120	1,319167	0,009564	84,996853	34,935939
125	1,431388	0,010378	92,227488	35,520959
130	1,548189	0,011224	99,753251	36,084007
135	1,669571	0,012104	107,574142	36,631995
140	1,795533	0,013018	115,690161	37,177536
145	1,926076	0,013964	124,101308	37,701695
150	2,061199	0,014944	132,807582	38,211805
155	2,200902	0,015957	141,808985	38,710154
160	2,345186	0,017003	151,105516	39,185338
165	2,494051	0,018082	160,697175	39,648464
170	2,647496	0,019194	170,583961	40,126831
175	2,805521	0,02034	180,765876	40,588424
180	2,968126	0,021519	191,242919	41,027589

Рисунок 3.11 – Результаты моделирования распространения полей ОФП двухзонной моделью. Параметры очага горения.

Сценарием эвакуации считается система принимаемых при расчете допущений о расположении людей, их физических и эмоциональных состояниях, действий при пожаре, состоянии эвакуационных выходов, расположении мебели, препятствий. Сценарий эвакуации формулируется на основе данных о функциональном назначении объекта, режиме дня объекта, текущих или предполагаемых условий эксплуатации объекта, условий информированности людей об инфраструктуре, знаний правил пожарной безопасности и эвакуации.

Начальный набор сценариев задан экспертом и хранится в базе данных системы. Для каждого сценария пожара рассчитаны значения полей ОФП с помощью полевой модели развития пожара (рисунок 3.12), а также выполнены расчеты полевой моделью соответствующих сценариев эвакуации.

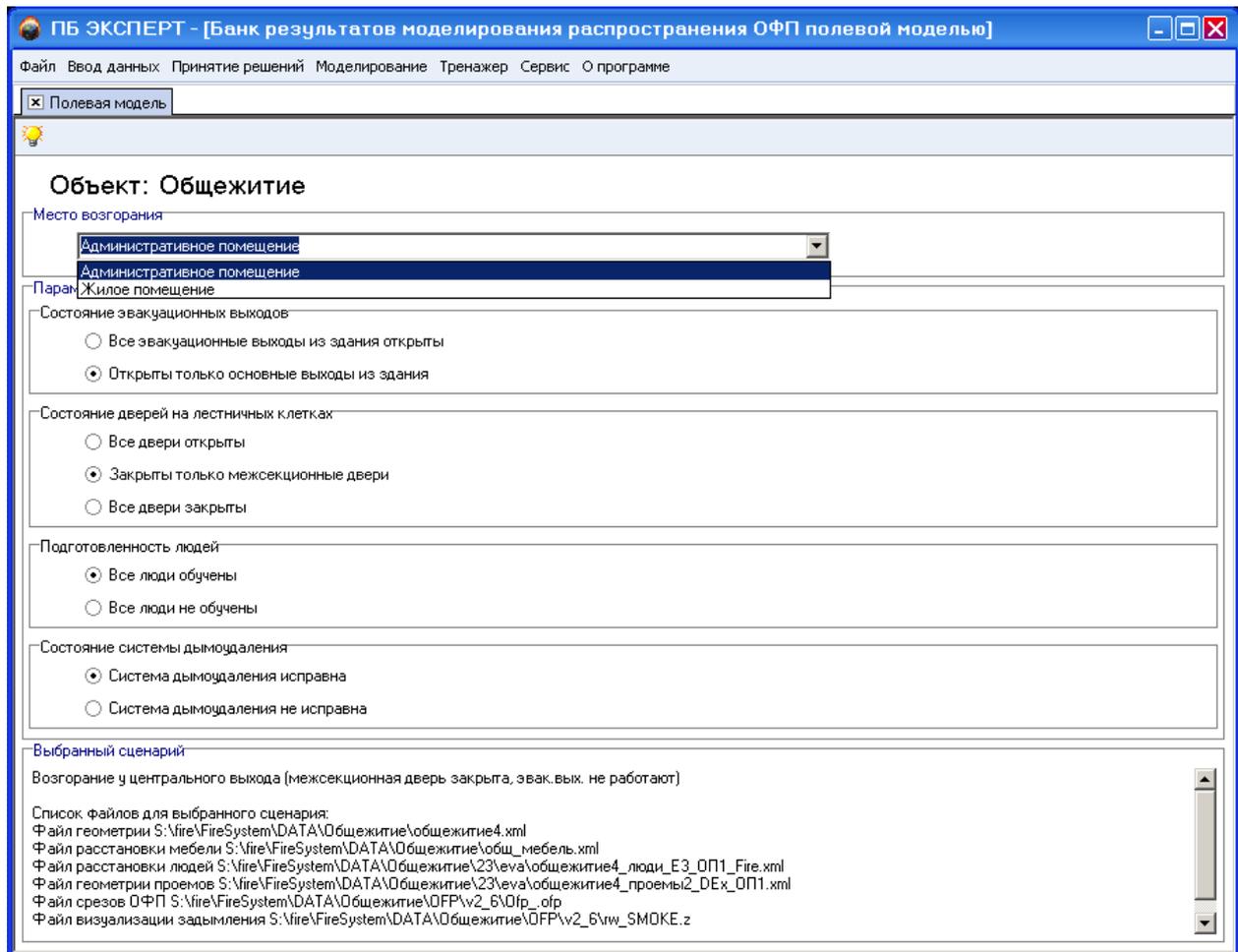


Рисунок 3.12 – Банк результатов моделирования распространения ОФП молевой моделью. Выбор сценария.

Наличие такой информации (предварительно выполненных расчетов) обеспечивает возможность визуализации и анализа процессов распространения полей ОФП и процесса эвакуации в режиме реального времени.

3.2.3 Виртуальный тренажер

Виртуальный тренажер предназначен для отработки навыков безопасной эвакуации у людей, находящихся в помещениях образовательных учреждений, а также для обучения и контроля знаний в области пожарной безопасности. Виртуальный тренажер реализован как модуль информационно-управляющей системы, который может использовать банк моделей расчета сценариев пожара и эвакуации и другие информационные ресурсы системы.

Виртуальный тренажер решает следующие задачи:

- проведение виртуальной тренировки с применением 3D-визуализации различных сценариев развития пожара и эвакуации;
- проведение интерактивной тренировки по безопасной эвакуации путем построения пользователем маршрута эвакуации из произвольного помещения объекта при различных сценариях;
- обучение правилам пожарной безопасности и контроль знаний.



Рисунок 3.13 – Спуск по центральной лестнице на центральный выход первого этажа школы

Виртуальная тренировка обеспечивается путем 3D-визуализации различных сценариев развития пожара и эвакуации с демонстрацией в простом и наглядном виде последствий несоблюдения норм пожарной безопасности.

На рисунке 3.13 продемонстрировано образование скопления в холле первого этажа школы. Причиной образования скопления является организация ограничения доступа в основное здание школы, устройство турникетов.

Виртуальный тренажер обеспечивает доступ к банку моделей расчетов сценариев пожаров и эвакуации. При обучении может использоваться любой сцена-

рий выбранного объекта. Виртуальная тренировка позволяет в простом и наглядном виде донести до пользователей всю тяжесть последствий несоблюдения норм пожарной безопасности.

Виртуальный тренажер обеспечивает проведение тренировок по безопасной эвакуации. Место возгорания и условия пожара определены экспертами по пожарной безопасности, исходя из объемно-планировочных решений и внутренней отделки здания, оснащения его средствами пожарной автоматики, специфики деятельности и режима пребывания людей в здании. После запуска модуля система выдает в помощь пользователю руководство к действию: «Выбирая направление (синие стрелки), выберетесь из здания кратчайшим путем, минуя зону ОФП и закрытые двери!». Модуль предлагает пользователю задания по эвакуации из выбранного им здания. При старте задания система определяет местоположения человека и помещений, где имеются ОФП. Местоположение человека отображено окружностью голубого цвета, зона ОФП – комната серого цвета, эвакуационные выходы из здания – зеленого цвета, закрытые двери – красного цвета. Чтобы определить направление эвакуации на текущем участке пользователь должен щелкнуть мышью по одной из синих стрелок, соответствующих предлагаемым направлениям (рисунок 3.14). При наведении курсором мыши толщина стрелок увеличивается. После нажатия на стрелку происходит перемещение эвакуируемого человека и перерасчет предлагаемых направлений. Пройденный путь отображается зелеными стрелками.

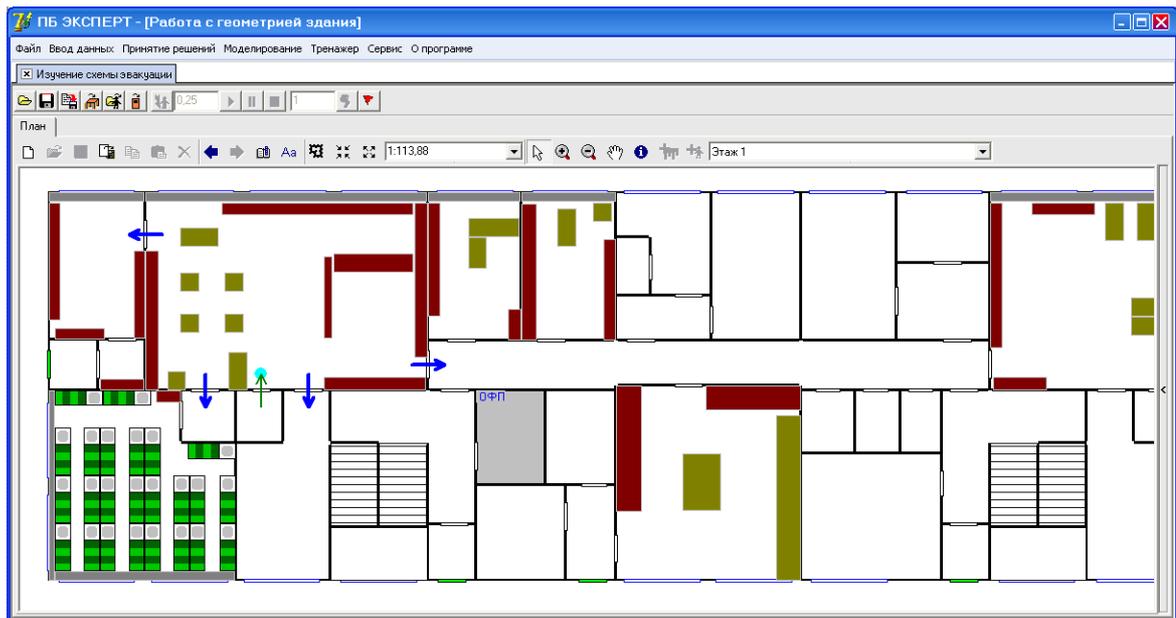


Рисунок 3.14 – Выбор направления эвакуации

При выборе неоптимального направления (с точки зрения поиска кратчайшего пути, а также учета расположения зоны ОФП и закрытых дверей) система выдает сообщение о неверном выборе направления и предлагает сделать другой выбор. Конечной целью эвакуации являются открытые выходы из здания. По достижении одного из таких выходов модуль сообщает об успешном завершении задания и предлагает выполнить следующее задание. Можно выполнить изменения на плане здания, например, закрыть или открыть некоторые двери. Затем попробовать эвакуироваться из здания для текущего состояния дверей.

Модули ознакомления и оценки знаний (тестирования) объединены в единый интерфейс. Это позволяет пользователям в произвольном порядке изучать материалы (в текстовом и графическом виде) и отвечать на вопросы тестов.

Общий вид модуля тестирования знаний в области пожарной безопасности приведен на рисунке 3.15.

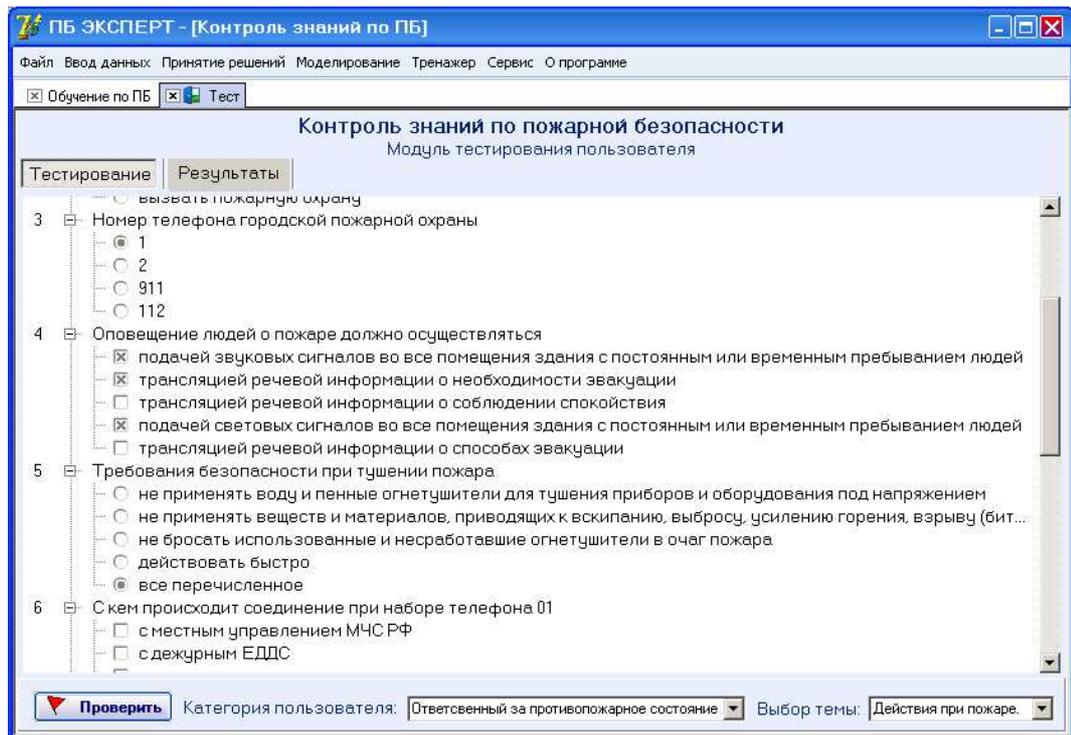


Рисунок 3.15 – Модуль тестирования знаний по пожарной безопасности

Все ответы пользователя фиксируются в протоколе. При нажатии на кнопку «Проверить» пользователь может просмотреть результаты проверки знаний пожарной безопасности. По результатам тестирования ставится оценка. Согласно принятых для пожарно-технического минимума норм, тест считается успешно пройденным, при 80% правильных ответов. Если число ошибочных ответов превышает 1/5, система рекомендует повторить обучение.

3.3 Апробация системы поддержки принятия решений по повышению защищенности объектов образования

Система применена для решения задач анализа состояния пожарной безопасности и поддержки принятия управленческих решений по ее снижению в здании учебно-лабораторного корпуса Института нефти и газа Сибирского федерального университета и в здании общежития ФУ. Апробирование показало, что система позволяет выполнять комплексную оценку пожарной опасности зданий, дает возможность исследовать влияние рискообразующих факторов на течение пожара и эвакуации. Показано, что средства консолидации и анализа данных моделирования дают возможность оценивать последствия и делать выводы о необходимости

проведения противопожарных организационно-технических мероприятий. Рекомендации, формируемые системой, помогают лицу, принимающему решения в области пожарной безопасности, определить круг мероприятий, целью которых является повышение уровня пожарной безопасности здания.

Для исследования пожарной безопасности отобранные экспертом наиболее опасные и наиболее вероятные сценарии развития пожара и эвакуации на конкретном объекте рассчитываются полевыми моделями. Поскольку эти расчеты являются ресурсоемкими, они проводятся заранее, при этом рассматриваются разные варианты течения пожара и эвакуации, а результаты расчетов заносятся в базу данных системы. Моделирование с применением зонной модели выполняется в режиме реального времени. Такой подход позволяет достичь высокого быстродействия при работе системы.

Исследование пожарной безопасности здания учебно-лабораторного корпуса

Основная пожарная нагрузка в учебно-лабораторном корпусе сконцентрирована в аудиториях, учебных классах, административных и служебных помещениях на этажах здания и представлена в основном объеме горючими элементами мебели и ее тканевой отделкой, что в целом соответствует типовой пожарной нагрузке для зданий I-II степени огнестойкости. В общих коридорах здания, при минимальном размещении мебели, горючая нагрузка определяется исключительно только элементами внутренней отделки и незначительна. Проемы в помещениях здания, где могут обращаться пожароопасные вещества или складироваться горючие материалы, оборудованы противопожарными дверями с нормируемым пределом огнестойкости. Распространение продуктов горения в объем здания, в случае возникновения возгорания в данных помещениях, ограничивается на время, соответствующее пределу огнестойкости заполнения противопожарных преград. Базовые сценарии определялись экспертным путем с учетом специфики здания. Определяющими при выборе сценариев были места возгорания и возможные условия функционирования здания. На скорость развития опасных факторов по-

жара оказывает влияние состояние доводчиков на внутренних дверях. Двери с функционирующими доводчиками препятствуют распространению ОФП в случае возникновения пожара. Благополучной эвакуации в случае пожара способствует находящаяся в рабочем состоянии система дымоудаления. Поэтому в качестве дополнительных условий рассматривалось состояние доводчиков и функционирование системы дымоудаления. Выбраны следующие места размещения очага пожара: актовый зал на 1 этаже и лекционный зал на 2 этаже (рисунок 3.16).

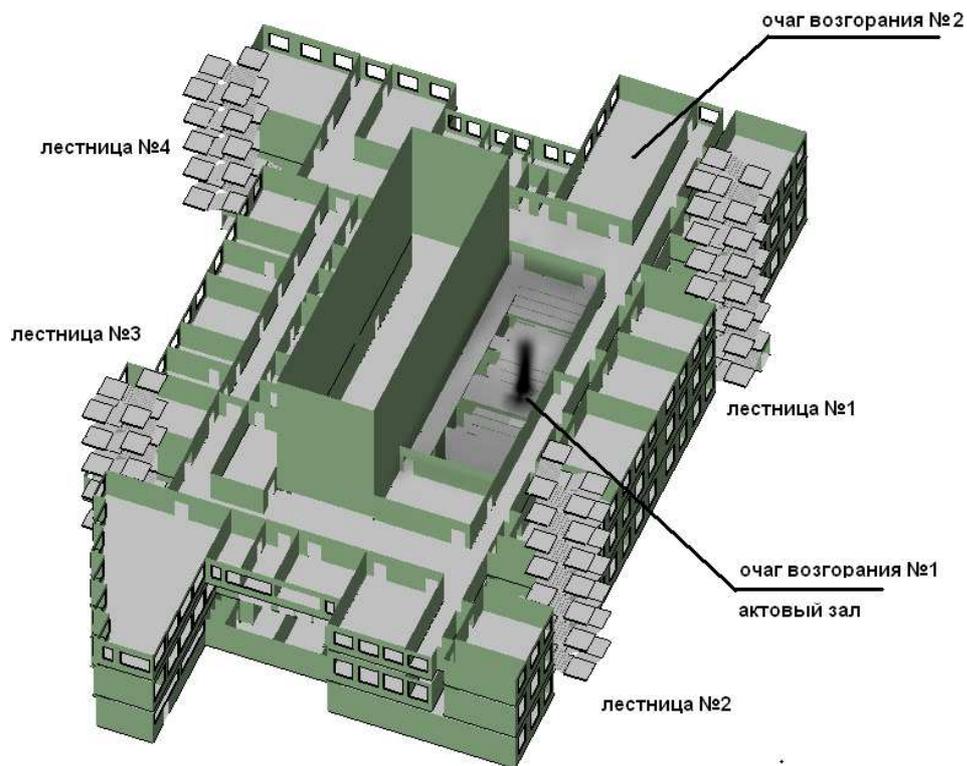


Рисунок 3.16 – Расположение очага возгорания и основных лестниц в учебно-лабораторном корпусе

Для слежения за процессами эвакуации и распространения пожара были выбраны контрольные точки. Всего выбрано 32 контрольные точки. Точки 1-12 расположены на первом и цокольном этажах здания, из них 1-6 точки используются для определения времени блокирования ОФП соответствующих им выходов из здания. Время эвакуации из здания t_p определяется как максимальное по точкам 7-12. Для слежения за ситуацией на этажах здания установлены контрольные точки 13-28 при выходе на лестничные клетки (ЛК) на этажах 2-5, точки 29-32 соответствуют выходам на лестничные клетки 1 и 2 на этажах 6-7. Точки 13-32 исполь-

зуются одновременно для определения времени блокирования соответствующих лестничных клеток на соответствующих этажах и для определения времени эвакуации с соответствующих этажей по этим лестничным клеткам.

В результате консолидации и анализа результатов моделирования получены времена блокирования контрольных точек различными ОФП (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Значения критической продолжительности пожара (место возгорания – актовый зал)

Номер КТ	Время блокирования, сек.	Время достижения ОФП критических значений, сек.						
		T	V	O ₂ ,	CO ₂	CO	HCl	AT
1	Нб	–	–	–	–	–	–	–
2	570	845	570	880	–	–	940	–
3	220	815	220	930	–	–	845	–
4	245	375	245	385	–	–	385	–
5	520	915	520	720	–	–	905	–
6	295	725	295	835	–	–	815	–
7	Нб	–	–	–	–	–	–	–
8	Нб	–	–	–	–	–	–	–
9	185	525	185	505	–	–	545	–
10	370	–	370	–	–	–	–	–
11	250	–	250	–	–	–	–	–
12	Нб	–	–	–	–	–	–	–
13	65	90	65	95	–	–	95	–
14	110	160	110	165	–	–	165	–
15	145	195	145	200	–	–	195	–
16	85	105	85	110	–	–	110	–
17	130	220	130	280	–	–	225	–
18	270	315	270	315	–	–	315	–
19	315	380	315	385	–	–	385	–
20	125	160	125	160	–	–	160	–
21	155	195	155	200	–	–	195	–
22	245	300	245	305	–	–	305	–
23	250	330	250	335	–	–	335	–
24	150	180	150	180	–	–	180	–
25	170	195	170	200	–	–	200	–
26	235	305	235	310	–	–	310	–
27	270	245	270	235	–	–	235	–
28	165	210	165	215	–	–	215	–
29	180	195	180	200	–	–	200	–
30	215	250	215	255	–	–	255	–
31	195	220	195	220	–	–	225	–

Номер КТ	Время блокирования, сек.	Время достижения ОФП критических значений, сек.						
		T	V	O ₂	CO ₂	CO	HCl	AT
32	220	260	220	265	–	–	260	–

Условные обозначения, используемые в таблице: T – температура; V – оптическая плотность; O₂ – содержание кислорода; CO – содержание угарного газа; CO₂ – содержание углекислого газа; HCl – содержание хлористого водорода, AT – тепловой поток.

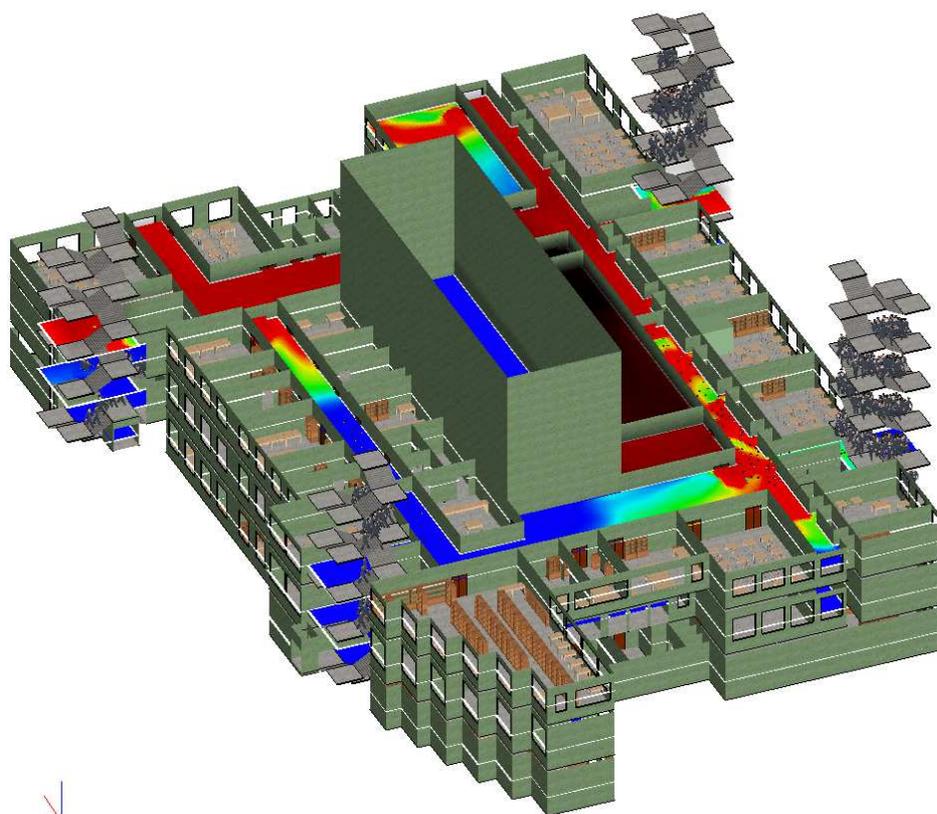


Рисунок 3.17 – Эвакуация людей (сценарий 1), оптическая плотность дыма – срез на высоте 1,7 м, 110 сек.

В силу быстрого распространения ОФП по 2-му этажу при движении к лестнице 2 часть людей, не дошедших до лестничной клетки, настигает фронтальная часть дымового облака (рисунок 3.17, красные области соответствуют превышению оптической плотностью дыма допустимого значения).

Анализ данных процесса эвакуации и распространения ОФП позволил выявить количество людей и продолжительность воздействия на них опасных факторов (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Суммарная статистика по пребыванию людей в зоне критических значений ОФП, сценарий эвакуации 1

Этаж	ОФП	Продолжительность нахождения в зоне значений ОФП, совместимых с жизнью, сек	Количество людей, подвергшихся влиянию ОФП, совместимых с жизнью, чел	ОФП	Продолжительность нахождения в зоне значений ОФП, не совместимых с жизнью, сек	Количество людей, подвергшихся влиянию ОФП, не совместимых с жизнью, чел
4	Дым, температура, содержание O ₂	2,5-66,5	125	Содержание ncl	1,75-9	12
3	Дым, температура, содержание O ₂ , содержание HCl	2-29	131	–	0	0
2	Дым, температура, содержание O ₂ , содержание HCl	1,75-74,5	1005	Дым, температура, содержание ncl	1,75-36,56	592
1	Дым, температура, содержание O ₂	1,75-6,25	123	Содержание ncl	1,75-4,75	26

Для каждого сценария была проведена серия из 100 расчетов полевой моделью эвакуации при одинаковых начальных условиях, получены распределения времени эвакуации по каждой контрольной точке. В таблице 3.3 приведены максимальные значения из рассчитанных времен, среднее время эвакуации, средне-квадратичное отклонение.

Таблица 3.3 – Статистические характеристики для времени эвакуации из контрольных помещений

Номер КТ	Сценарий 1, сценарий 2			Сценарий 3		
	Max T	Среднее	С.к.о.	Max T	Среднее	С.к.о.
7	101,75	95,9	1,47	235,5	231,69	1,43

Номер КТ	Сценарий 1, сценарий 2			Сценарий 3		
	Max T	Среднее	С.к.о.	Max T	Среднее	С.к.о.
8	128,75	128,0	0,89	301,5	297,08	3,12
9	369,75	363,3	5,48	231,250	227,79	4,95
10	120,75	118	2,67	121,75	119,66	2,78
11	272,5	271,5	0,88	196,5	195,465	0,73
12	131,75	130,5	1,07	–	–	–
13	–	–	–	252,25	247,54	5,22
14	342,5	338,3	4,90	223,75	228,28	4,89
15	220,75	219,9	0,73	164,25	164,97	0,72
16	–	–	–	166,75	165,85	0,65
17	–	–	–	220	214,28	5,67
18	297,75	289,34	4,24	203,75	197,51	4,78
19	187,25	187,58	0,63	133	132,5	0,56
20	–	–	–	144,5	143,01	0,66
21	–	–	–	189	185,15	4,70
22	252,5	249,35	0,98	174,25	169,97	3,76
23	150,75	149,57	0,87	74,5	73,13	0,57
24	–	–	–	129,75	128,05	0,71
25	144,25	142,84	3,29	146,25	143,36	4,14
26	146,5	142,15	4,02	135	131,5	3,58
27	86,75	86,2	0,69	86,75	86,62	0,58
28	–	–	–	–	–	–
29	114,5	113,05	0,64	114,25	111,04	0,66
30	113	111,07	0,60	112,75	113,02	0,72
31	104	102,32	0,54	103,5	102,32	0,55
32	103,75	102,94	0,37	105	102,98	0,47

Анализ данных моделирования процесса эвакуации и развития пожара показывает, что при выбранном очаге возгорания избежать контакта с зоной критических значений ОФП практически не удастся. Стратегия эвакуации «избегать задымленных путей» лишь на первых этапах эвакуации помогает решить проблему – люди практически успевают избежать контакта с повышенными концентрациями ОФП на лестницах 1 и 4. С менее загруженной лестницей 3 (в среднем 630 человек спустилось с 5-го по 1-й этаж) практически все люди успевают эвакуироваться до повышения концентраций ОФП до критических для здоровья значений. На лестнице 2 образуется затор (почти в 2 раза больше людей спускалось по этой лестнице – в среднем 1160), движение замедляется, и пробка не успевает рассасываться до поступления в зону скопления газов, опасных для здоровья людей. Эта

зона между 1-м и 3-м этажами. Работа системы дымоудаления существенно снижает количество потенциальных пострадавших от контакта с ОФП, примерно в 1,5 раза.

Стратегия эвакуации без учета реакции на признаки пожара приводит к тому, что, спускаясь по лестнице 1 и 4 между 3-м и 1-м этажами, люди попадают в зону критических значений ОФП. Незначительная часть людей попадает во фронтальную зону дымового облака на лестнице 2 на завершающем этапе эвакуации. В среднем в контакте с ОФП, превышающими критические значения, побывало 750 человек.

Для рассмотренного очага возгорания наиболее безопасной является лестница 3, где ОФП не успевают достичь критических значений до завершения эвакуации, либо концентрации ОФП не представляют опасности (тяжелых последствий) для здоровья людей, и контакт длится не более 10 секунд.

Таким образом, для данного здания с характерными объемно-планировочными особенностями является крайне опасной для жизни и здоровья людей максимальная загрузка здания. Минимизация угрозы жизни и здоровью посетителей объекта в случае пожара является критичной к функционированию системы дымоудаления, состоянию эвакуационных выходов, величине задержки начала эвакуации, функционированию доводчиков на дверях, ведущих на лестничные клетки. Анализ также показывает, что при возникновении пожара желательно голосовое сопровождение эвакуации с выдачей поэтажных указаний о движении в наименее опасные части здания.

Исследование пожарной безопасности здания общежития

Основная пожарная нагрузка в здании рассматриваемого общежития сконцентрирована в жилых блоках по всему зданию и служебных помещениях на 1 этаже и представлена в основном объеме горючими элементами мебели и ее тканевой отделкой, что соответствует типовой пожарной нагрузке для зданий I-II степени огнестойкости. В общих коридорах здания, при минимальном размеще-

нии мебели, горючая нагрузка определяется исключительно только элементами внутренней отделки и незначительна.

Проемы в помещениях здания, где могут обращаться пожароопасные вещества или складироваться горючие материалы, оборудованы противопожарными дверями с нормируемым пределом огнестойкости. Распространение продуктов горения в объем здания, в случае возникновения возгорания в данных помещениях, ограничивается на время, соответствующее пределу огнестойкости заполнения противопожарных преград.

Базовые сценарии определялись экспертным путем с учетом специфики здания. Определяющими были места возгорания и возможные условия функционирования здания. На скорость развития опасных факторов пожара оказывает влияние состояние доводчиков на внутренних дверях. Двери с функционирующими доводчиками препятствуют распространению ОФП в случае возникновения пожара. Благополучной эвакуации в случае пожара способствует находящаяся в рабочем состоянии система автоматического оповещения о пожаре. Поэтому в качестве дополнительных условий рассматривалось состояние доводчиков и функционирование системы пожарной автоматики.

Выбраны следующие места размещения очага пожара: жилое помещение на 1 этаже здания в левом крыле первой секции, рядом с лестничной клеткой 1 и офисное (административное) помещение на первом этаже в правом крыле второй секции, рядом с лестничной клеткой 2 (рисунок 3.18).

При рассматриваемом очаге возгорания (очаг № 1) в силу быстрого задымления лестницы 2 (блокировка по видимости на втором этаже наступает уже на 80 секунде, на 3-м – на 100 секунде), люди, находящиеся во второй секции, пользуются для спуска на первый этаж наиболее удаленной от них лестничной клеткой 1 и далее следуют в функционирующий по условиям сценария выход 1. Таким образом, в данном сценарии основной людской поток приходится на лестничную клетку 1 и выход, выход 2 используют только люди, находившиеся на первом этаже левого крыла второй секции, центральным выходом воспользовались люди,

находившиеся в правом крыле второй секции (в непосредственной близости от очага пожара).

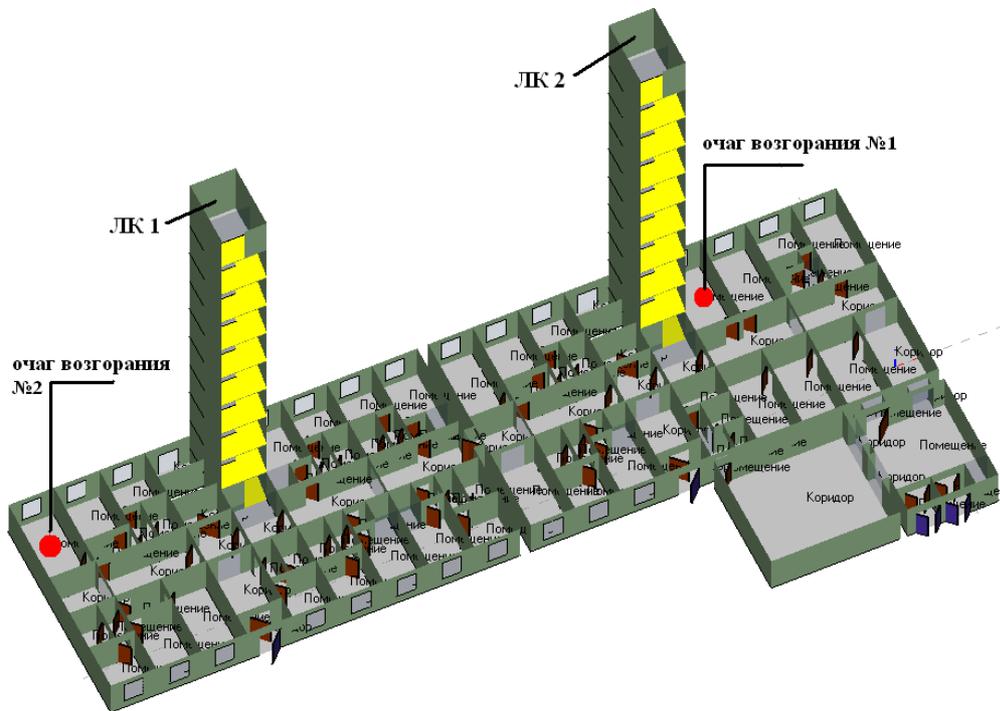


Рисунок 3.18 – Схема очагов возгорания в общежитии

Консолидация и анализ данных результатов моделирования эвакуации и распространения ОФП показал, что в силу незначительной продолжительности пребывания в зоне критических, но совместимых с жизнью значений ОФП можно считать, что здоровью людей не был нанесен ущерб (таблица 3.4). Люди находившиеся, на первом этаже правого крыла второй секции (при очаговой зоне), так же не пострадали, поскольку эвакуировались до достижения ОФП критических значений.

Временные характеристики процесса эвакуации, рассчитанного по трем сценариям, приведены в таблице 3.5 (символом «Нб» помечены контрольные точки, которые не блокируются ни одним из ОФП, символом «—» – точки, для которых время блокирования не определялось.

Таблица 3.4 – Результаты по пребыванию людей в зоне действия ОФП, сценарий эвакуации 1

Этаж	ОФП	Максимальное время нахождения в зоне значений ОФП, совместимых с жизнью, сек	Количество людей, подвергшихся влиянию ОФП, совместимых с жизнью, чел	Максимальное время нахождения в зоне значений ОФП, не совместимых с жизнью, сек	Количество людей, подвергшихся влиянию ОФП, не совместимых с жизнью, чел
4	Дым	1	4	0	0
3	Дым, температура	3	7	0	0
2	Дым, температура, содержание O ₂	7	8	0	0

Таблица 3.5 – Результаты анализа процесса эвакуации и распространения ОФП

Номер КТ	Размещение КТ	Использование КТ	t блокирования КТ, сек.	Время эвакуации из КТ, сек.		
				Сц. 1	Сц. 2	Сц. 3
1	коридор, ведущий к выходу 1, 1 этаж	расчет $t_{\text{бл}}$	Нб	–	–	–
2	коридор, ведущий к выходу 2, 1 этаж	расчет $t_{\text{бл}}$	Нб	–	–	–
3	коридор, ведущий к центральному выходу, 1 этаж	расчет $t_{\text{бл}}$	50	–	–	–
4	коридор смежный с ЛК1, 1 этаж	расчет $t_{\text{бл}}$	Нб	–	–	–
5	коридор смежный с ЛК2, 1 этаж	расчет $t_{\text{бл}}$	60	–	–	–
6	Выход 1	расчет $t_{\text{бл}}$	Нб	313,25	–	235
7	Выход 2	расчет $t_{\text{бл}}$	Нб	104	–	238
8	Центральный выход	расчет $t_{\text{бл}}$	115	114	380	115
9	Выход на ЛК1, этаж 2	расчет $t_{\text{бл}}$ и $t_{\text{эв}}$	Нб	304,25	302,5	228,25
10	Выход на ЛК2, этаж 2	расчет $t_{\text{бл}}$ и $t_{\text{эв}}$	70	–	–	225,5
11	Выход на ЛК1, этаж 3	расчет $t_{\text{бл}}$ и $t_{\text{эв}}$	Нб	283,25	289,5	213,75
12	Выход на ЛК2, этаж 3	расчет $t_{\text{бл}}$ и $t_{\text{эв}}$	100	–	–	213,25

13	Выход на ЛК1, этаж 4	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	Нб	264,75	261,5	201,25
14	Выход на ЛК2, этаж 4	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	125	–	–	202,75
15	Выход на ЛК1, этаж 5	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	Нб	239	238,5	190,75
16	Выход на ЛК2, этаж 5	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	145	–	–	188,75
17	Выход на ЛК1, этаж 6	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	Нб	216	217,5	183
18	Выход на ЛК2, этаж 6	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	175	–	–	172,25
19	Выход на ЛК1, этаж 7	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	Нб	199,5	199,5	172,75
20	Выход на ЛК2, этаж 7	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	230	–	–	164
21	Выход на ЛК1, этаж 8	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	Нб	187	189	154,75
22	Выход на ЛК2, этаж 8	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	275	–	–	148,75
23	Выход на ЛК1, этаж 9	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	Нб	158	160	133,75
24	Выход на ЛК2, этаж 9	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	335	–	–	135,25
25	Выход на ЛК1, этаж 10	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	Нб	135	135	115,25
26	Выход на ЛК2, этаж 10	расчет $t_{\delta l}$ и $t_{\varepsilon \delta}$	410	–	–	122,25

Расчет эвакуации показывает, что люди не успевают эвакуироваться из здания до достижения ОФП критических значений. Спустившись на 5 этаж по лестнице 2, люди уже попадают в зону действия критических значений ОФП.

В то же время, очевидно, что в реальной жизни люди стараются избежать движения в дыму и выбирают более безопасный путь. Таким путем на первый этаж является лестница 1. Сценарии эвакуации 1 и 2 моделируют движение людей с учетом реакции людей по признаку пожара. Результаты моделирования показывают, что эвакуация людей с учетом стратегии избегания дыма при данном сценарии развития пожара позволяет спуститься с верхних этажей по лестнице 1 с минимальными потерями – всего 19 человек подверглись действию ОФП (дым, температура, содержание O_2) незначительное время (не более 7 секунд), значения которых приходится на критическую, но совместимую с жизнью зону.

Функционирование (доступность) эвакуационных выходов является ключевым моментом в процессе эвакуации. В сценарии эвакуации 1, помимо центрального выхода, двери выходов 1 и 2 из здания предполагались открытыми. Фактически, в силу динамики развития пожара, задействованным оказался только выход 1. Но даже этого условия в данном случае оказалось достаточно, чтобы эвакуация завершилась до блокирования ОФП этого выхода и лестницы 1, где произошло скопление людей, длившееся менее 6 минут.

В сценарии эвакуации 2 рассмотрена достаточно часто встречающаяся ситуация на объектах образования, когда в режиме текущей эксплуатации открытым (доступным) оказывается лишь центральный выход. Другие эвакуационные выходы, как правило, закрыты на ключ. Ключи находятся у охранников, вахтеров, которым в случае возникновения пожара инструкцией предписано открывать эвакуационные выходы. Но реализация таких предписаний в большинстве случаев не возможна. Например, в данном случае для открытия выходов 1 и 2 человек должен был преодолеть задымленную зону, которая уже на 40-й секунде была полностью заблокирована дымом в силу быстрого развития пожара. Таким образом, результаты сценария 2 представляют оценку возможных последствий для жизни людей в случае несоблюдения правил пожарной безопасности по эксплуатации зданий – 96,7% людей оказались подвержены воздействию ОПФ, несовместимых с жизнью.

Расчет величины индивидуального пожарного риска и формирование рекомендаций

На основании анализа результатов моделирования динамики распространения ОПФ по зданию определено значение времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара – $t_{\text{бл}}$, и проведена оценка последствий воздействия ОПФ на людей. Определена расчетная величина индивидуального пожарного риска Q_B и сопоставлена с нормативным значением индивидуального пожарного риска Q_B^H .

Для сценария пожара в административном помещении с возгоранием у центрального выхода и открытыми дверьми величина индивидуального пожарного риска составила $Q_B=0,000110$. $Q_B > Q_B^H$ и не отвечает нормативным требованиям. Входные параметры объекта представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Входные параметры объекта для расчетной величины пожарного риска

Наименование параметра	Значение параметра
Объект	Общежитие
Сценарий пожара	Возгорание у центрального выхода двери открыты
Тип системы оповещения	I-II тип
Наличие системы автоматического пожаротушения	Да
Наличие пожарной сигнализации	Да
Наличие системы противодымной защиты	Нет
Количество человек	360
Время функционирования, час	24
Время эвакуации людей, сек	188,75
Время блокировки, сек	145

Системой сформирован список рекомендаций для приведения значения индивидуального пожарного риска на объекте к требуемому значению:

1. Мероприятия по уменьшению времени эвакуации
 - 1.1. Установить систему оповещения повышенного типа с голосовым поэтажным управлением эвакуацией.
2. Мероприятия по снижению негативного действия ОФП
 - 2.1. Установить доводчики на дверях или привести их в работоспособное состояние.

При расчете индивидуального пожарного риска с учетом рекомендованных противопожарных мер величина пожарного риска составила $QB=0,0000004$. Величина индивидуального пожарного риска соответствует нормативным требованиям.

Установка системы оповещения повышенного типа с голосовым поэтажным управлением эвакуацией позволяет направлять людские потоки по путям свободным от ОФП, достигнувших критических значений. Наличие доводчиков на дверях предотвращает свободное распространение опасных факторов пожара, тем самым снижает вероятность блокирования эвакуационных путей.

Апробирование системы на зданиях учебно-лабораторного корпуса и общежития Сибирского федерального университета показало эффективность системы для исследования влияния рискообразующих факторов на течение эвакуации и комплексной оценки пожарной опасности зданий для жизни и здоровья людей, а также для формирования рекомендаций по снижению пожарного риска.

3.4 Анализ эффективности применения предложенных подходов в задачах управления пожарной безопасностью

Эффективность применения результатов диссертационной работы при создании системы поддержки принятия управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности анализируется с точки зрения достижения требуемого результата¹ – обеспечения нормативного уровня пожарной безопасности здания.

Предложенные методические и алгоритмические средства позволяют по-новому реализовать процесс поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности за счет консолидации и анализа результатов моделирования эвакуации и распространения ОФП (таблица 3.7), что дает возможность обнаружить проблемные места в здании и оценить возможные последствия, при возникновении пожара.

¹ Современный словарь иностранных слов: эффективный – приводящий к требуемым результатам, действенный.

Таблица 3.7 – Характеристики качества средств поддержки управления ПБ

Система Особенности	«СИТИС»	«Фогард»	«Fenix+»	«PojRCalc»	«ПБ ЭКСПЕРТ»
Расчет пожарного риска в одном комплексе	–	–	+	–	+
Наличие визуализации результатов моделирования эвакуации	+	±	±	–	+
Наличие визуализации результатов моделирования распространения ОФП	+	±	+	–	+
Наличие средств анализа результатов моделирования	±	–	±	–	+
Наличие средств совместного анализа данных моделирования ОФП и эвакуации	–	–	–	–	+
Наличие средств поддержки управления ПБ	–	–	–	–	+

Об эффективности применения системы, построенной на основе предложенной в работе модели, можно судить по снижению величины индивидуального пожарного риска, в результате применения рекомендаций, сформированных системой. Рекомендации формируются на основе анализа текущего состояния здания, результатов моделирования эвакуации и распространения ОФП и содержат комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на снижение пожарного риска.

Выполнено сравнение времени, необходимого для расчета индивидуального пожарного риска с использованием средства «СИТИС» и «ПБ ЭКСПЕРТ» на простых объектах – зданиях дошкольных образовательных учреждений. Начальные

данные, такие как геометрия объекта, расположение мебели, характеристики пожарной нагрузки и т.п., были сформированы в обеих системах заранее. Учитывалось время, затраченное на моделирование эвакуации по упрощенной аналитической модели, моделирование распространения опасных факторов пожара по двухзонной модели и расчет индивидуального пожарного риска.

Система «ПБ ЭКСПЕРТ» позволила рассчитать величину индивидуального пожарного риска и затратить на 12% меньше времени.

Время выполнения задачи совместного анализа результатов моделирования эвакуации и распространения ОПФ, а также формирования рекомендаций по повышению уровня пожарной безопасности сравнить не представляется возможным, поскольку подобный функционал отсутствует в рассмотренных системах.

3.5 Выводы к главе 3

Выполнена программная реализация предложенных в работе модели, методов и алгоритмов для информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности на объектах сферы образования. Методическое и алгоритмическое обеспечение реализовано в информационно-управляющей системе поддержки управления пожарной безопасностью на объектах образования «ПБ ЭКСПЕРТ». Система построена на основе разработанной модели системы комплексной поддержки принятия управленческих решений по повышению уровня пожарной безопасности зданий сферы образования. В составе системы применен разработанный метод консолидации и анализа результатов моделирования распространения полей ОПФ и эвакуации людей из здания. Выполнена программная реализация предложенного метода формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний.

Выполнена апробация разработанной системы для анализа состояния пожарной безопасности на реальных объектах образования – зданиях учебного корпуса и общежития Сибирского федерального университета. Система внедрена в Си-

бирской пожарно-спасательной академии – филиале Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (г. Железнодорожск) и в гимназии № 13 г. Красноярска.

Анализ результатов использования системы «ПБ ЭКСПЕРТ» позволил сделать вывод о том, 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.

Заключение

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

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.

Построена концептуальная модель системы поддержки управления пожарной безопасностью. На основе 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.

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 людей на объектах образования.

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.

Разработан оригинальный 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.

Предложен оригинальный метод формирования рекомендаций по снижению пожарного риска на основе формализации и применения экспертных знаний. Впервые разработана база знаний, позволяющая на основе анализа технического состояния объекта образования формировать решения по повышению уровня пожарной безопасности.

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

Выполнена апробация разработанного методического и алгоритмического обеспечения 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 Государ-

ственной 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.

Список литературы

1. Федеральный закон от 22.07.2008 года (ред. от 23.06.2014) № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс] // Российская газета от 01.08.2008 г. N 163. – Режим доступа: [Консультант плюс]. – Загл. с экрана.
2. Концепция федеральной целевой программы «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2017 года» утвержденная Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 августа 2012 г. N 1464 [Электронный ресурс] // Интернет-портал «Российской Газеты» 21.08.2012. Режим доступа: <http://www.rg.ru/2012/08/21/pojar-bezopasn-site-dok.html>
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 "О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска".
4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (утв. постановлением Правительства РФ от 25.04.2012 г. N 390) [Электронный ресурс] // Интернет-портал «Российской Газеты» 08.05.2012. Режим доступа: <http://www.rg.ru/2012/05/08/protivopojar-site-dok.html>.
5. Приказ МЧС № 91 от 24 февраля 2009 г. "Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности".
6. Приказ МЧС России от 30 июня 2009 года №382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [Текст] / зарег. в Минюсте РФ 06.08.2009.– N 14486.
7. Приказ МЧС РФ от 12 декабря 2007 г. (с изм. от 22 июня 2010 г.) №645 «Об утверждении Норм пожарной безопасности «Обучение мерам пожарной безопасности работников организаций» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://15.mchs.gov.ru/gu/p645.doc>.
8. ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля». – М.: Стандартинформ, 2006.
9. ГОСТ Р 50898-96. Государственный стандарт. Извещатели пожарные. Огневые испытания. – М.: Стандартинформ, 2005.

10. ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности».

11. СП 1.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».

12. СП 2.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».

13. СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре».

14. СП 4.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожаров на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».

15. СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования».

16. СП 6.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности».

17. СП 7.13130.2009 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования».

18. СП 8.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности».

19. СП 9.13130.2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации».

20. СП 10.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности».

21. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

22. Ананченко, И.В. Технологии слияния гетерогенной информации из разнородных источников (data fusion) / И.В. Ананченко, А.В. Гайков, А.А. Мусаев // Известия СПбГТИ (ТУ), 2013. № 19 (45), с. 1–8.

23. Брушлинский, Н.Н. Моделирование пожаров и взрывов [Текст] / Брушлинского Н.Н., Корольченко А. Я. – М.: Пожнаука, 2000. – 482 с.
24. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование [Текст] / под ред. Н. Н. Брушлинского, Ю.Н. Шебеко. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2007. – 370 с.
25. Брушлинский, Н.Н. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства / под ред. проф. Н.Н. Брушлинского // Стройиздат. – М., 1988. – 413 с.
26. Дарахвелидзе, П. Г. Программирование в Delphi 7 / П. Г. Дарахвелидзе, Е. П. Марков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 784 с.
27. Дектерев, А. А. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях [Текст] / Дектерев А.А., Гаврилов А.А., Литвинцев К.Ю., Амельчугов С.П., Серегин С.Н. // Пожарная безопасность, 2007. № 4, с. 49–58.
28. Драйэдел, Д. Введение в динамику пожаров [Текст] / Д. Драйэдел, пер. с англ. К. Г. Бромштейна, под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
29. Дэвид, А. Методология структурного анализа и проектирования SADT / Дэвид А., МакГоуэн М., МакГоуэн К. – М.: МетаТехнология – 231 с.
30. 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.
31. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара / Иванников В.П., П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 228 с.
32. Кирик, Е.С. О дискретной модели движения людей с элементом анализа окружающей обстановки [Текст] / Кирик Е.С., Юргельян Т.Б., Круглов Д.В. // Журнал Сибирского федерального университета, Серия «Математика и физика» Т.1, N 3, 2008.– с.266-276.
33. Климкин, В.И. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году: Статистический сборник / Под общей редакцией В.И. Климкина – М.: ВНИИПО, 2014. – 137 с.

34. Климовцов, В.М. Решение задачи экспертной классификации по определению ранга пожара в административных и жилых зданиях // Вестник Академии ГПС МЧС России. – 2004. – № 1. – С. 116-120.

35. Климовцов, В.М. Распределенные системы поддержки принятия решений в управлении Государственной противопожарной службой // Материалы 11 международной конференции "Системы безопасности" СБ – 2002. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – С. 145-146.

36. Копылов, Н. П. Пожары и пожарная безопасность в 2008 году: Статистический сборник [Текст] / под ред. Н. П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2008. – 137 с.

37. Кориков, А. М. Теория систем и системный анализ / А.М. Кориков, С.Н. Павлов. – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2008. – 264 с.

38. Корнеев, В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх. - М.: Нолидж, 2003. - 400 с.

39. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: [Текст]: учеб. пособие. / Кошмаров Ю.А.. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

40. Литвинцев, К.Ю. Интеграция математических моделей эвакуации и развития пожара / Дектерев А.А., Кирик Е.С., Малышев А.В., Юргельян Т.Б. // Труды Международной конференции «Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика», посвященной 90-летию со дня рождения академика Н.Н. Яненко. – Новосибирск, 2011. – 6с.

41. Маклаков, С.В. Erwin и Erwin CASE – средства разработки информационных систем / С.В. Маклаков. – М.: Диалог-МИФИ, 1999, – 256с.

42. Мешалкин, Е.А. К вопросу автоматизации информационной поддержки действий должностных лиц на пожаре / Мешалкин Е. А., Крылов А. Г., Олейников В.Т., Абрамов А.П. // Материалы 11 международной конференции "Системы безопасности". СБ-2002. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – С. 11-13.

43. 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.

44. 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: Наукком, 2011. С. 106 - 112.

45. Молчадский, И. С. Пожар в помещении [Текст] / И. С. Молчадский. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.

46. Морозов, Р.В. Модель системы поддержки принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности на объектах образования / Р.В. Морозов // Информатизация и связь. – М., 2013. – №5. – С. 47-52.

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

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

49. Новосельцев, В. И. Теоретические основы системного анализа / В.И. Новосельцев, Б.В. Тарасов, В.К. Голиков, Б.Е. Демин. – М.: Майор, 2006. – 592 с.

50. Ноженкова, Л.Ф. Интеллектуальная поддержка принятия решений / Л.Ф. Ноженкова // Интеллектуальные системы. – Красноярск, 1997.– С. 68-82.
62Ноженкова, Л.Ф. Информационные технологии: интегрированные и гибридные подходы / Л.Ф. Ноженкова // Вычислительные технологии, 2004. Т. 9, Специальный выпуск. - С. 84-94.

51. Ноженкова, Л.Ф. Модели и системы искусственного интеллекта. Поиск в пространстве состояний и продукционный подход к представлению знаний: методические указания / сост.: Л.Ф. Ноженкова, Ю.В. Вайнштейн, Т.Г. Пенькова. - Красноярск: СФУ, 2007. - 44 с.

52. Ноженкова Л. Ф., Кирик Е. С., Мельник А. А., Литвинцев К. Ю. О создании информационно-управляющей системы поддержки принятия решений по обеспечению пожарной безопасности на объектах науки и образования // Материалы XIX науч.-техн. конф. «Системы безопасности — СБ2010». — Москва: АГПС МЧС РФ. — 2010. — С. 94-97.

53. Ноженкова Л. Ф., Мельник А. А. ПБ-ЭКСПЕРТ: система обеспечения пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей // Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. «Сервис безопасности на объектах олимпийского комплекса во время подготовки и проведения XXII зимних олимпийских игр в 2014 году в г. Сочи». — Санкт-Петербург. — 2010.

54. 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, А.А. Марков, А.В. Малышев, Е.С. Кирик, А.А. Мельник, А.В. Антонов, А.А. Дектерев, Е.Б. Харламов, К.Ю. Литвинцев, П.А. Необъявляющий, А.А. Гаврилов, Т.Б. Юргельян // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2011. – №2. – С. 25-33.

55. Орешков, В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям / В.И. Орешков, Н.Б. Паклин // ИД «Питер» ISBN: 978-5-459-00717-6, 2013. С. 706

56. Паклин, Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям [Текст] / Н. Б. Паклин, В.И. Орешков. – СПб.: Питер, 2013. – 706 с.

57. Парфенов, А.А. Обучение учащихся и педагогов мерам пожарной безопасности / А.А. Парфенов, В.И. Жеребцов // Справочник руководителя образовательного учреждения «Пожарная безопасность образовательного учреждения». – 2010. №6. – С. 38-47.

58. Пентус, А.Е. Теория формальных языков: учебное пособие / А.Е. Пентус, М.Р. Пентус. - М.: ЦПИ при механико-математическом ф-те МГУ, 2004. - 80 с.

59. Предтеченский, В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков [Текст] / В. М. Предтеченский, А. И. Милинский // Стройиздат. – М., 1979, – 375 с.

60. Пузач, С.В. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах [Текст]: Монография / С.В. Пузач, А.В. Смагин, О.С. Лебедченко, Е.С.Абакумов // Академия ГПС МЧС России. – М., 2007. – 222 с.

61. Самошин, Д.А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы [Текст] / Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность, 2004. – № 1. – с.33-46.

62. Серебренников, Е. А. Пожарная безопасность и современные направления ее совершенствования [Текст] / Е. А. Серебренников, А. П. Чуприян, Н. П. Копылов и др.; под ред. Ю.Л. Воробьева // ВНИИПО. – М., 2004. – 187 с.

63. 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.

64. Смирнов, А.В. Децентрализованная интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении чрезвычайными ситуациями / Смирнов А. В., Левашова Т.В., Шилов Н.Г., Кашевник А.М. // Таврический вестник информатики и математики. Симферополь: КНЦ НАНУ, 2008. – № 2. – С. 186-194.

65. Спицнадель, В.Н. Основы системного анализа / В.Н. Спицнадель. – СПб.: Изд-ский дом Бизнес-пресса, 2000. – 325 с.

66. Сухотина, М.А. Программные комплексы, используемые для определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях

различных классов функциональной пожарной опасности / М.А. Сухотина, Н.В. Тихонова // Пожаровзрывобезопасность, 2012. – № 4. – С. 46-49.

67. Тетерин, И.М. Методология разработки экспертных систем для оперативного управления пожарными подразделениями / Тетерин И. М., Климовцов В. М., Прус Ю.В. // Материалах пятнадцатой научно-технической конференции "Системы безопасности" - СБ-2006. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – С. 3-68.

68. Федорова, Д.Э. CASE-технологии. / Федорова Д. Э., Семенов Ю. Д., Чижик К. Н. // – М.: Горячая линия Телеком, Радио и связь, 2005. – 160 с.

69. Ходаков, В.Е. Применение когнитивного подхода для решения задачи поддержки принятия управленческих решений при ликвидации лесных пожаров / Ходаков В.Е., Жарикова М.В., Ляшенко Е.Н. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы, 2009. – №1(23). – С. 131-137.

70. Холщевников В. В., Эвакуация людей с физическими ограничениями. / Холщевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности", 2012. – № 3. С. 1-9.

71. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

72. Шумский, А.А. Основы системного анализа: учебное пособие / А.А. Шумский, А.А. Шелупанов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Томск: В-Спектр, 2007. - 218 с.

73. Якобсон, А. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения / А. Якобсон, Г. Буч, Дж. Рамбо. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с.

74. Яковлев, В.В. Перспективы развития программных комплексов расчета пожарного риска и проектирования процессов пешеходной динамики в условиях пожара / В.В. Яковлев, М.В. Гравит, О.В. Недрышкин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – Спб., 2014. – С. 224-230

75. Методология функционального моделирования Москва ИПК Издательство стандартов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 50 с.

76. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией [Текст]: НПБ 110-03, утв. 18.06.2003 г. – N 315, зарегист. в Минюсте РФ 27.06. 2003 г. – N 4836.

77. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях [Текст]: Методические рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2003. – 35 с.

78. Программа для расчета риска на основе FDS+EVAC [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://fireguide.ru/products/>.

79. Сайт компании «Интернэкс». Пожарные программы On-Line [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.fogard.ru/>.

80. Сайт компании «НПП Авиаинструмент». Программный комплекс «Русь: пожарная безопасность» [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.aieso.ru/programms_main_pozhar.html.

81. Сайт компании «СИТИС» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://sitis.ru>.

82. Сайт компании «Современные программные технологии». Fenix+ программа для расчета пожарного риска в зданиях и сооружениях [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://mst.su/fenix/>.

83. Fire Dynamics Simulator (FDS) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://code.google.com/p/fds-smv/>.

84. PojRCalc – программа для автоматизации процесса расчета пожарного риска [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://firesoftware.ru/pojrcalc/>.

85. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях [Текст]: НПБ 104-03, утв. 20.06.2003 г. – № 323, зарегистрировано в Минюсте РФ 27.06,2003 г. – N 4837.

86. Administration, U. S. F. National Fire Incident Reporting System. Quick reference guide. Technical report, National Fire Data Center, 2002.

87. Bleiholder, J. Data Fusion / J. Bleiholder, F. Naumann // ACM Comput. Surv., v.41, 1, Article 1, 2008. P. 41.

88. Carvalho, H. A General Data Fusion Architecture / H. S. Carvalho, B. Wendi, L. Amy, G. B. Horizonte // [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.ece.rochester.edu/projects/wcng/papers/conference/DF2003.pdf>.
89. Cecher, R.P. Fire impact and risk evaluation decision support tool (FIRE DST) / Cecher R. P., French I. A., Kepert J. D. Meyer C. P., Fawcett R. J. B., Tory K. J. // Final project report, 2014. – 181 с.
90. Church, R. Manpower deployment in emergency services. / Church R., Sorensen P., Corrigan W. // Fire technology, 2001. – №37(3). – С. 219-234.
91. Daily, M. I., Farr, T., and Elachi, C., 1979, Geologic interpretation from composited radar and Landsat imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 45, 1009–1116.
92. Diamond, T. Dynamic Data Fusion / T. Diamond, E. D. Liddv // TextWise LLC, 2-212 Center for Science and Technology, Syracuse, NY 13244.
93. Dong, X. Data Fusion - Resolving Data Conflicts for Integration / X.Dong, F. Naumann // [Электронный ресурс]: – Режим доступа: http://www2.research.att.com/~lunadong/publication/fusion_vldbTutorial.pdf.
94. Gorodetski, V. Multi-agent Data Fusion Systems: Design and Implementation Issues / V. Gorodetski, O. Karsayev, V. Samoilov // Intelligent System Laboratory, SPIIRAS. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://space.iias.spb.su/webarchive/ai/publications/2002-GKS-MADFS.pdf>.
95. Gruber-Geymayer, B. C. Data Fusion for classification and object extraction / B. C. Gruber-Geymayer, A. Klaus, K. Karner // VRVis Research Center for Virtual Reality and Visualization, Graz, Austria. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: www.researchgate.net
96. Guan, H. Y. Computational Fluid Dynamics in Fire Engineering / Guan H.Y., Kwok K.Y. // Theory, Modeling and Practice, Butterworth-Heinemann, Elsevier Science and Technology, ISBN: 978-0-7506-8589-4, 2009. - 530 p.
97. Hanea, D.M. Human Risk of Fire: Building a decision support tool using Bayesian networks / Hanea D.M. // Whrmann Print Service, 2009. – 227 p.

98. John R. Development of a Risk-Based Decision Support Tool to Assist Fire Departments in Managing Unwanted Alarms // Final Report. National Fire Protection Association Fire Analysis and Research Division, 2013.

99. Kiper, A.V. Development of the system of the decision support for head of fire extinguishing based on the adaptive neural fuzzy inference systems (ANFIS) / Kiper A.V., Stankevich T. S. // Вестник АГТУ. Управление, вычислительная техника и информатика, 2013. – № 1. – С. 38-46.

100. Kirik, E. Artificial Intelligence of Virtual People in CA FF Pedestrian Dynamics Model / Kirik E., Yurgeliyan T., Krouglov D. // LNCS, V. 6068/2010, 2010. – P. 513-520.

101. Kirik, E. The Shortest Time and/or the Shortest Path Strategies in a CA FF Pedestrian Dynamics Model [Текст] / Kirik E., Yurgel'yan T., Krouglov D. // Журнал СВУ. Сер. Матем. и физ., 2:3, 2009. – С. 271-278.

102. Krasuski, A. Decision Support System for Blockage Management in Fire Service /Krasuski A., Krecski K. // STUDIES IN LOGIC, GRAMMAR AND RHETORIC, 2014. – № 37. – С. 107-123.

103. Kuligowsky, E.D. A review of evacuation models. National Institute of Standards and Technology / Kuligowsky E.D., Peacock R. D., U.S. Department of Commerce, Technical note 1471, 2005. - 156 p.

104. Lau, H. Optimizing patrol force deployment using a genetic algorithm. / Lau H., Ho G., Zhao Y., Hon W. // Expert Systems With Applications, 2010. – № 37(12). – С. 148-154.

105. Lichtenegger, J. Combining optical/infrared and SAR images for improved remote sensing interpretation. ESA Bulletin, 66, 1991, p. 119–121.

106. McGrattan, K. Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide / McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., Baum H., Rehm R. // NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2007. – 122 p.

107. Pohl, C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Pohl, J. L. van Genderen // *Int. J. Remote sensing*, 1998, vol. 19, no. 5, p. 823–854.
108. Purser, D. A. Toxicity Assessment of Combustion Products / Purser D. A., In DiNenno P.J. & Beyler C. L. // *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Bethesda, MD: Society of Fire Protection Engineers, 2002. – pp. 2-83–2-171.
109. Roy, J. From Data Fusion to Situation Analysis / J. Roy // *Decision Support Systems Section*. Defence Research Establishment Valcartier. 2459 Pie-XI Blvd. North, Val-Belair, Quebec, Canada. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: www.researchgate.net .
110. Schadschneider, A Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications / A. Schadschneider, W. Klingsch, H. Kluepfel, T. Kretz, C. Rogsch, A. Seyfried // *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, 2009. – С. 3142-3176.
111. Soong, R. The Anatomy Of Data Fusion / R. Soong // *Kantar Media Research Michelle de Montigny*. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: www.printanddigitalresearchforum.com
112. Wildland Fire Decision Support System (WFDSS). [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://wfdss.usgs.gov/wfdss/WFDSS_About.shtml.
113. Xiang, Z. Decision Support System of Fire Station Distribution and Responsible Area Zoning in Nanjing / Xiang Z., Jian-gang X., Yi Q. // *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 2009. – С. 206-213.
114. Xing, Z. Design and Implementation of City Fire Rescue Decision Support System / Xing Z., Gao W., Zhao X., Zhu D. // *Procedia Engineering* 52, 2013. – С. 483-488.

Приложение 1

Копии свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014617388

«Система поддержки принятия решений по повышению защищенности объекта образования от угрозы пожара»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук (RU)*

Авторы: *см. на обороте*



Заявка № 2014615176

Дата поступления 30 мая 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 18 июля 2014 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

**Вторая сторона свидетельства о государственной регистрации
программы для ЭВМ**

Авторы: *Ноженкова Людмила Федоровна (RU), Морозов Роман
Викторович (RU), Ничепорчук Валерий Васильевич (RU),
Бадмаева Ксения Владимировна (RU), Евсюков Александр
Анатольевич (RU), Марков Алексей Александрович (RU), Мельник
Антон Анатольевич (RU), Кирик Екатерина Сергеевна (RU)*

Приложение 2

Копии документов о внедрении результатов диссертационной работы



МЧС РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

**СИБИРСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ – ФИЛИАЛ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
университета - начальник Сибирской
пожарно-спасательной академии –
филиала Санкт-Петербургского
университета ГПС МЧС России
полковник внутренней службы,
кандидат педагогических наук

С.А. Тихтерев

« » 2015 г.

АКТ

**о внедрении результатов диссертационной работы Р.В. Морозова
на тему: «Модели и методы интеллектуальной поддержки принятия
управленческих решений по пожарной безопасности зданий сферы
образования» по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и
обработка информации», в образовательный процесс Сибирской пожарно-
спасательной академии – филиала Санкт-Петербургского университета
ГПС МЧС России**

Председатель:

Антон Анатольевич Мельник – подполковник
внутренней службы, к.т.н, доцент, заместитель
начальника филиала Санкт-Петербургского
университета ГПС МЧС России по научной
работе — начальник Центра НИОКР.

Члены комиссии:

Алексей Николаевич Батуро – майор
внутренней службы, начальник научно-
исследовательского отдела Центра НИОКР
Сибирской пожарно – спасательной академии –
филиала Санкт-Петербургского университета
ГПС МЧС России;

Александр Игоревич Игнатьев – майор внутренней службы, начальник учебно-методического отделения Сибирской пожарно-спасательной академии – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

Павел Владимирович Ширинкин – майор внутренней службы, к.т.н, начальник кафедры надзорной деятельности Сибирской пожарно-спасательной академии – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Комиссия удостоверяет, что результаты диссертационной работы Морозова Романа Викторовича «Модели и методы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по пожарной безопасности зданий сферы образования» используются в образовательном процессе Академии. Применение методического и алгоритмического обеспечения позволяет усовершенствовать процесс управления пожарной безопасностью на объектах с массовым пребыванием людей.

При изучении курсантами дисциплин по направлению подготовки (специальности) 280705.65 «Пожарная безопасность»: «Пожарная безопасность в строительстве», «Прогнозирование опасных факторов пожара», «Информационно-методическое обеспечение надзорной деятельности МЧС России», используются разработанные Р. В. Морозовым алгоритмы консолидации и анализа результатов моделирования процесса эвакуации людей и распространения опасных факторов пожара, а также формализованные диаграммы поддержки управления пожарной безопасностью объектов защиты.

Председатель:


_____ А. А. Мельник

Члены комиссии:


_____ А.Н. Батуро


_____ А.И. Игнатьев


_____ П.В. Ширинкин

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Муниципального автономного
образовательного учреждения

«Общеобразовательное учреждение
гимназия № 13»

_____ П.П. Юдина
«_____» _____ 2015 г.

АКТ

**о внедрении программы для ЭВМ «Система поддержки принятия
решений по повышению защищенности объекта образования от угрозы
пожара» в эксплуатацию**

Настоящий акт составлен в том, что программа для ЭВМ «Система поддержки принятия решений по повышению защищенности объекта образования от угрозы пожара», разработанная в ИВМ СО РАН, ведущие разработчики Морозов Р.В., Евсюков А.А., Марков А.А., внедрена в эксплуатацию в Муниципальном автономном образовательном учреждении «Общеобразовательное учреждение гимназия № 13».

Система применяется с 2013 года в качестве учебного пособия на уроках по предметам «Информатика» и «Основы безопасности жизнедеятельности», а также для оценки соответствия здания гимназии требованиям пожарной безопасности.

Внедрённая система показала высокий уровень удобства работы пользователя и успешно используется не только учителями, но и учащимися в качестве интерактивного учебного пособия, позволяющего в наглядной форме освоить правила пожарной безопасности, а также как тренажер, позволяющий в условиях, приближенных к реальным, подготовиться к безопасной эвакуации.

Заместитель директора

Н.П. Ушакова _____

Преподаватель ОБЖ

И.И.Борисевич _____