Удмуртское региональное отделение
Общероссийской общественной организации
«Российское научное общество анализа риска»

ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Сборник статей

Выпуск 9

Ижевск
2015

УДК 351.86 (063), 004.4'2
ББК 68.9 я 431
Б 40

Научный редактор:
доктор технических наук, профессор В. М. Колодкин

Б 40 **Безопасность в техносфере**: сборник статей / науч. ред. В. М. Колодкин. Ижевск: «Институт компьютерных исследований», 2015. — 142 с.

ISBN 978-5-4344-0277-4

Данный сборник, в основном, соответствует материалам, представленным на IX всероссийской конференции «Безопасность в техносфере». Конференция была посвящена представлению новой беспроводной системы управления эвакуацией людей из зданий в условиях пожара.

В статьях раскрываются принципы организации системы, вопросы создания математического, алгоритмического и программного обеспечения. Содержание статей дает системное представление о современных проблемах безопасности в техносфере и способах их решения.

ISBN 978-5-4344-0277-4 УДК 351.86 (063), 004.4'2
ББК 68.9 я 431

© УРО ООО «Российское научное общество анализа риска», 2015
© ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственны университет», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

I Построение беспроводной системы управления эвакуацией людей из здания при пожаре 5

Колодкин В.М., Морозов О.А., Варламов Д.В., Чирков Б.В., Ваштиев В.К., Галиуллин М.Э.
Система управления эвакуацией людей из здания при пожаре 6

О.А. Морозов
Проблема наблюдаемости трафика в системах динамического управления эвакуацией 10

Д.В. Варламов
Математическая модель для определения путей эвакуации людей из здания в условиях ЧС 15

Д.В. Варламов
Разработка и исследование Пространственно - Информационной Модели (ПИМ) здания, предназначенной для моделирования движения людских потоков 19

В.К. Ваштиев
Идентификация опасных факторов пожара по времени 29

В.К. Ваштиев
Управление аудиовизуальными оповещателями, учитывая оптимальные пути эвакуации 34

В.К. Ваштиев
Время идентификации пожара и начала эвакуации людей в здании с массовым пребыванием людей 41

Д.Е. Ушаков
Особенности инструмента директивного управления эвакуацией для ввода ограничений на пространственно-информационную модель здания 48

II Пожарная безопасность 50

В.М. Колодкин, Б.В. Чирков
Методика определения расчетных величин пожарного риска 51

В.М. Колодкин, Б.В. Чирков, В.К. Ваштиев, Д.В. Варламов, А.О. Степанов
Модель эвакуации, обеспечивающая минимальное время эвакуации 55

М.Э. Галиуллин
Создание и использование Пространственно - Информационной Модели здания (ПИМ) для расчета величины риска при составлении декларации пожарной безопасности 59

В.К. Вахтиев, А.О. Степанов
Исследования изменения концентрации опасных факторов пожара во времени 81
В.О. Анашин
Определение координат очага возгорания в помещении 89
III Промышленная безопасность 92
А.П. Кузнецов
Разработка паспортов безопасности складов хлора станций водоподготовки 93
А.В. Радикова
Онлайн сервис по прогнозированию последствий аварий 106
В.Р.Кутузов, Е.Ю.Колесников
Пожарный риск склада баллонов со сжиженным углеводородным газом 108
П.Ю.Бондарев, Е.Ю.Колесников
Оценка пожарного риска компрессорной станции магистрального газопровода 114
С.В. Черкасов
Разработка системы контроля и корректировки работы станков с ЧПУ 119
В.В. Караблинов
Технология изготовления печатных плат с использованием пленочного фоторезиста 121
В.А. Мущинкин
Использование имитационного моделирования при оптимизации параметров системы обеспечения пожарной безопасности объектов социальной сферы 125
В.А. Мущинкин
Выбор эффективного пожарного извещателя 133

Часть I

Построение беспроводной системы управления эвакуацией людей из здания при пожаре

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ[1]

Колодкин В.М., Морозов О.А., Варламов Д.В., Чирков Б.В., Ваштиев В.К., Галиуллин М.Э.
Удмуртский государственный унирвеситет, г. Ижевск, Россия

Экстренная эвакуация людей из общественных зданий и сооружений — это наиболее эффективный способ снижения ущерба при авариях, катастрофах и террористических проявлениях. Вместе с тем, людские потери в России, например, при пожарах на порядок превышают потери в странах Западной Европы и Америки при соизмеримых частотах возникновения пожаров. Поэтому актуальность работы обусловлена тем ущербом, который несет общество при возникновении чрезвычайных ситуаций. Проблема снижения ущерба при возникновении чрезвычайной ситуации — многоплановая задача. В рамках данной работы усилия концентрируются на разработке и создании программно-аппаратного комплекса для управления эвакуацией людей из общественных зданий в режиме реального времени. Причем программно-аппаратный комплекс должен быть надежным в эксплуатации, доступным по стоимости и, желательно, чтобы комплекс монтировался в общественных зданиях и сооружениях без нарушения целостности строительных конструкций.

Необходимость разработки программно-аппаратного комплекса обусловлена тем, что интервал времени, необходимый для эвакуации людей – наиболее критичный параметр. Действительно при любом сценарии развития пожара, из любого помещения здания люди должны эвакуироваться ранее, чем путь эвакуации будет заблокирован опасными факторами пожара. Если временной интервал блокирования путей эвакуации — $\Delta t_{\text{бл}}$; временной интервал обнаружения пожара — $\Delta t_{\text{об}}$; временной интервал оповещения людей о пожаре $\Delta t_{\text{оп}}$; временной интервал эвакуации людей из здания — $\Delta t_{\text{э}}$, то условие успешной эвакуации будет безусловно выполнено, если

$$\Delta t_{\text{об}} + \Delta t_{\text{оп}} + \Delta t_{\text{э}} \leq K * \Delta t_{\text{бл}}, \tag{1.1}$$

где коэффициент надежности, можно положить $= 0.8$.

Величина времени блокирования путей эвакуации $\Delta t_{\text{бл}}$ опреде-

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

ляется имманентными свойствами здания. И, следовательно, этой величиной, в общем случае, управлять затруднительно. Интервалы времен $\Delta t_{\text{об}}$ и $\Delta t_{\text{оп}}$ определяются техническими характеристиками систем обнаружения и оповещения людей при пожаре. Величина временного интервала эвакуации людей из здания — $\Delta t_{\text{э}}$ обеспечивает основной вклад в левую часть неравенства (1.1). Основной фактор сокращения времени эвакуации людей – построение системы управления эвакуацией, которая обеспечивала бы минимальное время эвакуации людей. Поэтому требования, к аппаратно-программному комплексу управления эвакуацией:

- способность управлять эвакуацией людей в режиме реального времени;
- надежность в эксплуатации;
- доступность по стоимости;
- монтаж без нарушения целостности конструкций здания.

Аппаратная часть комплекса включает облако интегрированных сенсорных и исполнительных узлов, объединенных по радиоканалу. Интегрированный сенсорный узел включает совокупность датчиков и микроконтроллер. Основой аппаратной части каждого узла в облаке является микроконтроллер, содержащий в себе сетевые возможности, удовлетворяющий требованиям экономичного энергопотребления, универсальности, надежности работы и доступной цены. Топология связи сенсорных узлов – Mesh. Беспроводная сеть строится на базе протокола IEEE 802.15.4 (ZigBee). Частота радиоканала – 2.4 ГГц [1].

Встроенный в микроконтроллер радиомодуль и сетевой программный стек LwMesh обеспечивают:

- построение общей сети и ее перестроение «на лету»;
- передачу цифровых данных со скоростью до 2 Мбит/с;
- шифрование данных;
- надежность сети и защиту от выхода из строя отдельных узлов;
- масштабируемость сети (до 65535 узлов).

Совокупность сенсорных узлов в режиме реального времени обеспечивает мониторинг состояния среды в здании, выделение состояния среды, при котором нарушается условие проходимости (например, при пожаре – достижение условий при которых опасные

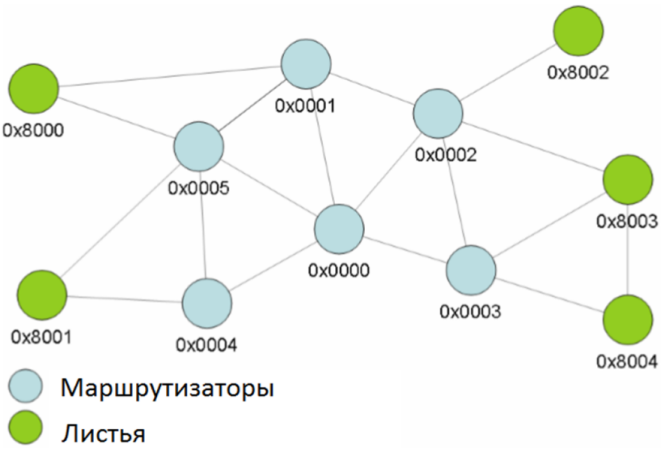

Рисунок 1.1 — Сеть беспроводных узлов топологии Mesh.

факторы пожара достигают своих критических значений). Информация с сенсорных узлов обрабатывается по двум алгоритмам. Первый алгоритм предполагает поиск путей эвакуации исключительно по результатам работы сенсоров. Алгоритм ищет наиболее быстрый путь от выхода из здания до любой точки в здании. Этот алгоритм реализован на совокупности узлов, входящих в облако. Второй алгоритм предполагает процесс математического моделирования процесса эвакуации людей из здания. Моделирование реализовано на сервере. Используются экспериментально установленные зависимости между скоростью людского потока и плотностью людей. Результатом моделирования являются установленные пути эвакуации, которые обеспечивают минимальное время достижения выходов из здания.

Указания путей эвакуации через исполнительные узлы облака, доставляются людям, находящимся в здании. Исполнительные узлы (например, оповещатели, светодиодные указатели и т.д.) в рамках данного проекта подбираются из существующей номенклатуры.

Принципиальное отличие предлагаемого решения от существующих в настоящее время систем управления эвакуацией - поддержка режима реального времени для зданий, подверженных внешнему воздействию (пожар, проявление террористической деятельности). Обеспечение возможности устойчивой работы в режиме реально-

го времени потребовало перехода на беспроводные системы связи, потребовало разработки и адаптации новых датчиков, потребовало разработки новых подходов к организации взаимодействия сенсорных узлов, потребовало разработки новых алгоритмов и программ прогнозирования путей эвакуации.

Главный результат работы — разработка научно-технических основ проектирования и создания беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий. В рамках работы, к концу 2015 года должен быть создан действующий образец системы управления эвакуацией.

Результаты работы:

- промышленный образец беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий;
- программное обеспечение и технология его использования при создании пространственно-информационных моделей зданий. Модель здания является основой при динамическом проектировании оптимальных путей эвакуации;
- технология создания комбинированных датчиков (извещателей) и технологические решения по формированию сенсорных узлов;
- алгоритмическое и программное обеспечение для динамического прогнозирования путей эвакуации применительно к множеству микроконтроллеров, входящих в сенсорные узлы.

Список литературы

1. ATmega128RFA1 Preliminary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8266MCU_Wireless-ATmega128RFA1_Datasheet.pdf, свободный (16.05.2015).

ПРОБЛЕМА НАБЛЮДАЕМОСТИ ТРАФИКА В СИСТЕМАХ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ[1]

О.А. Морозов
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *oam2oam@gmail.com*

В данной статье обсуждается формулировка проблемы наблюдаемости трафика людей в системах динамического управления эвакуацией. Вводится формулировка в общем случае, ее важные уточнения и примеры реализации.

Введение

Современные методы исследования задачи динамического управления эвакуации людей из здания в условиях чрезвычайной ситуации становятся востребованными в силу выхода этой задачи в практическую плоскость — технические возможности делают реальным создание систем управления трафиком людей при эвакуации. Несмотря на определенную слабость теоретических моделей эвакуации, что обусловлено отсутствием точных теоретических моделей [1–3], можно сказать, что сама математическая постановка задачи является достаточно простой: это задача минимизации времени эвакуации по последнему эвакуируемому человеку.

На пути создания систем динамического управления в теоретической области стоит не только решение этой задачи. Все ее решения так или иначе должны опираться на два вида информации — статическую и динамическую, то есть на статические данные о здании (геометрия, пропускная способность и тд) и непосредственно измеряемые параметры людского потока, например, его плотность. Однако понятно, что на практике невозможно измерить этот параметр во всех точках здания.

Поэтому для практической реализации становится интересна постановка задачи наблюдаемости, которая неформально может быть выражена так — при заданных начальных условиях в каких точках достаточно измерять динамические данные о потоке людей при эвакуации, чтобы обеспечить решение задачи управления эвакуацией.

Очевидно, что для формализации данной задачи наблюдаемости требуется ввести некоторые определения и условия. Целью дан-

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

ной статьи является показать, что такая формализация возможна на примере задания этих определений и условий.

Формализация постановки задачи

Пусть здание моделируется графом $G(V, E)$, дугами $e_i \in E$ которого являются участки помещения, в котором поток людей не изменяется структурно — не разветвляется и не сливается, а вершинами v_i, соответственно, участки помещения, в которых происходит структурная перестройка или возможно образование скоплений (например, перекрестки, двери и тд).

Обозначим элементы графа e_i, в которых есть наблюдение за плотностью потока людей, как e_i^n, далее будем называть их наблюдаемые элементы.

Пусть конкретное начальное распределение людей в здании будет задано как r_j, а все возможные начальные распределения людей с заданными условиями $R : \{r_j\}$ (например, естественные ограничения типа «в комнате не более 5 человек»).

Пусть у нас имеется алгоритм $A(G, R) \rightarrow t_{\min}$, который моделирует движение людского потока в данном здании.

Тогда возможная постановка задачи наблюдаемости будет сформулирована так:

Для здания, заданного $G(V, E)$ и алгоритма $A(G, R)$ общая задача наблюдаемости состоит в таком выборе наблюдаемых элементов, что для любого начального распределения людей из области R данный набор наблюдаемых элементов $E = e_i^n$ решает задачу минимизации времени эвакуации по последнему эвакуируемому человеку.

Обсуждение

Следует отметить, что постановка задачи может быть уточнена — например, для практики наиболее важно уточнение каков должен быть наименьший набор наблюдаемых элементов. Очевидно, что для некоторых случаев ответ будет 0, то есть наблюдаемых элементов вообще нет — так, для помещения с одним выходом и алгоритмом «идти к выходу» наблюдение не требуется. Также из постановки видно, что на самом деле для решения задачи в общем случае необходимо как исследование свойств алгоритма, так и решение задачи эвакуации, что в общем случае не всегда можно задать.

Тем не менее, постановка задачи открывает новые возможности анализа алгоритмов и дает, в случае решения, практические

рекомендации для размещения датчиков в реально конструируемых системах (в настоящее время такое размещение производится «adhoc», обычно в соответствии с некоторыми правилами или нормами).

Примеры реализации постановки задачи

Приведем несколько примеров постановок задач наблюдаемости.

Первый пример — упомянутый тривиальный случай: граф задан одной вершиной, алгоритм не имеет параметров (то есть люди могут эвакуироваться через единственный выход). Для данного случая вполне естественно есть и решение задачи — наблюдаемых элементов нет.

Вообще, если алгоритм не имеет параметров, то есть ни от чего не зависит, то все постановки задач наблюдаемости будут одинаковыми и будут иметь то же решение, то есть наблюдаемых элементов можно не иметь. В группу таких алгоритмов, в частности, попадают статические планы эвакуации.

Рассмотрим более сложный случай. Пусть граф помещения таков, что распадается на изолированные подграфы, образованные деревьями с вершиной в точке выхода из здания и в графе $G(V, E)$ нет циклов. Не ограничивая общности, можно считать, что дерево только одно.

Очевидно, каков бы ни был алгоритм эвакуации $A(G, R)$ и как бы он не зависел от исходных данных r_i , в силу заданных свойств помещения существует только один путь для каждого эвакуируемого человека. Если теперь алгоритм не предусматривает никаких искусственно вызванных остановок потока (отсутствует управление потоком), то, очевидно, стандартная постановка задачи наблюдаемости может быть решена — не требуется ни одного наблюдаемого элемента. Интересным становится вопрос: если есть возможность искусственно вызывать остановки потока, то для заданного алгоритма можно ли определить наблюдаемые элементы в смысле решения задачи наблюдаемости. (К такой постановке задачи приводят соображения уменьшения скопления людей в узловых точках, если искусственно притормаживать людей в определенных местах — так, установка небольшого препятствия рядом с выходом уменьшает время эвакуации).

Будем называть такую постановку задачи наблюдаемости для данного типа графов и алгоритма — наблюдаемость на дереве с управлением типа остановка. Задачу такого рода имеет смысл рассматривать при статическом (до наступления опасной ситуации)

расчете путей эвакуации. Исследования [4] показали, что такая задача имеет смысл. Но при статическом подходе не требуется наблюдаемость. А на практике остановка потока может привести к созданию паники и не применяется, таким образом задача имеет чисто теоретический смысл.

Если же $G(V, E)$ содержит циклы, то, вообще говоря, для эвакуирующихся людей возможен более чем один путь до выхода (мы пока будем рассматривать графы только с одним выходом).

Алгоритмов управления в данном случае могут управлять поведением потока в точках разветвления путей эвакуации. Будем рассматривать важный практический класс таких алгоритмов, которые могут переключать поток в каждой возможной точке разветвления.

Такую постановку задачи наблюдаемости будем называть задача наблюдаемости с управлением типа переключение.

Анализ задачи наблюдаемости с управлением типа переключение

Рассмотрим вначале один пример. Пусть граф $G(V, E)$ устроен так, что имеет Т-образный коридор, ведущий из единственной комнаты e_1 с людьми к двум выходам e_2 и e_3, и в пересечении коридора e_4 установлен переключатель потока.

Возможной реализацией алгоритма может быть следующий: переключатель направляет поток к выходу с меньшей плотностью потока. Для такого алгоритма требуется наблюдаемость и e_2 и e_3, то есть количество наблюдаемых элементов равно 2. Это же количество очевидно является и минимальным.

Если теперь дополнить граф, удлиняя переходы от e_4 до выходов e_2 и e_3 добавляя по одному помещению e_{21} и e_{31}, то задача усложняется. Если в новых помещениях могут возникать заторы, то приведенный алгоритм уже не сможет обеспечивать минимальное время эвакуации, более того, он может значительно увеличить время эвакуации — при возникновении остановки в e_{21} плотность потока в e_2 падает до нуля и все люди будут направляться в e_{21}, что заблокирует эвакуацию на время существования остановки.

Однако если добавлять помещения до пересечения, то это на сказывается на решении задачи наблюдаемости.

Можно предложить следующий метод решения задачи наблюдаемости с управлением типа переключение.

Пусть задан граф $G(V, E)$ и алгоритм $A(G, R)$. Выделим в графе $G(V, E)$ подграф G_k следующим образом. В подграф G_k входят все выходы и все возможные вершины на пути от точек разветвления

до выходов. Очевидно, что в разность $G(V, E) - G_k$ входит набор деревьев, соединенных с точками разветвления или выходами. Для каждого такого дерева требуется ровно 0 наблюдаемых элементов. Для каждого же элемента из G_k в котором может возникнуть затор, требуется наблюдение. Без уточнения свойств алгоритма в данном случае решение общей задачи наблюдаемости входит в подграф G_k (или равно ему).

Приведенный ранее пример показывает, что подграф G_k является минимальным гарантирующим в смысле достаточной наблюдаемости.

Таким образом, размещая наблюдение в помещениях, входящих в подграф G_k, мы получим близкий к минимальному набор наблюдаемых элементов. Вопрос о минимальности остается открытым.

Заключение

Введение постановки задачи наблюдаемости позволяет решить две важные проблемы. Во-первых, появляется формальная постановка задачи, решение которой практически важно для расположения датчиков плотности людского потока при динамическом управлении эвакуацией. Во-вторых, появляется теоретическая база еще одного направления исследования алгоритмов эвакуации. Дальнейшее уточнее и развитие идей наблюдаемости может дать действенный инструмент построения теоретической и практической базы систем управления эвакуацией при чрезвычайных ситуациях.

Для важного практического случая задачи наблюдаемости с управлением типа переключение получено решение общей задачи и предложен способ построения достаточного множества наблюдаемых узлов, гарантирующих решение общей задачи наблюдаемости.

Список литературы

1. Aguilar J., Gelenbe E. Task assignment and transaction clustering heuristics for distributed systems, Inf. Sci., 1997, vol. 97, 199—219.
2. Gelenbe E., Hussain K.K.V. Simulating autonomous agents in augmented reality, J. Syst. Softw., 2005, vol. 74, 255—268.
3. Gelenbe E., Wu F. Large scale simulation for human evacuation and rescue, Comput. Math. Appl., 2012, vol. 64, 3869—3880.
4. Takahiro Ezaki Daichi Yanagisawa & Nishinari K. Pedestrian flow through multiple bottlenecks, Physical Review E., 2012, vol. 86, Iss. 2.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПУТЕЙ ЭВАКУЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЧС[1]

Д.В. Варламов
Удмуртский государственный унирвеситет г. Ижевск, Россия
e-mail: *big.black.fox@gmail.com*

Для того чтобы управлять эвакуацией в системе используются визуальные указатели пути — стрелки и светофоры. Задача стрелок указывать людям наиболее короткие по времени движения безопасные пути. Стрелки устанавливаются напротив выходов из помещений и на развилках. Задача светофоров указать пути по которым двигаться нельзя. Светофоры устанавливаются над дверями и проходами вход в которые запрещен.

Задача которая должна решаться с помощью модели это определение состояния каждой стрелки и светофора в зависимости от их места расположения и текущей обстановки в помещениях здания. Должны учитываться факторы ограничивающие перемещение людей: скопления людей, опасные факторы пожара. Путь эвакуации из каждой точки должен строится таким образом чтобы общее время эвакуации людей стремилось к минимальному значению.

В основе определения путей эвакуации людей из здания в условиях ЧС используется алгоритм поиска наикратчайших путей по ориентированному графу. В описании пространственно-информационной модели (ПИМ) здания сказано что геометрия здания описывается в виде древовидной структуры — разреженного воксельного окто-дерева. Данная структура не может напрямую использоваться для расчетов путей движения. Необходимо из воксельного представления получить граф узлов представляющих собой зоны помещений по которым могут двигаться люди.

Построение графа происходит в несколько этапов. Зададим прямоугольную левостороннюю систему координат с осями X, Y, Z. Ось Y направлена вверх. Воксельные элементы представляют собой прямоугольные параллелепипеды ориентированные параллельно осям системы координат.

Первым шагом из воксельных элементов ПИМ выделяется множество граней которые являются потенциально проходимыми. Для этого у каждого «полного» элемента самого нижнего уровня воксельного окто-дерева $G = (U, E)$, где $U = \{U_j\}$ – множество

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

узлов графа, $U_j = \{V_j, M_j, I_j\}$ – узел графа, подробнее о значениях написано в разделе ПИМ, $V = \left\{\overline{x^0} = \left\{x_1^0, x_2^0, x_2^0\right\}, \overline{k} = k_1, k_2, k_3, 1\right\}$ – «полные» воксели.

Берется только верхняя грань (вектор нормали грани совпадает с направлением оси Y). Каждая грань на данном шаге определяется следующими параметрами: линейные размеры по осям X и Z, координаты центра. Алгоритм построения воксельного окто-дерева работает таким образом что линейные размеры элементов одного уровня совпадают по отдельным осям.

Грань задается следующим образом:

$k = \{x, y, z, w, h\}$ – грань, где $x, y, z \in R$ – координаты центра грани, $w, h \in R, w > 0, h > 0$ – линейные размеры грани.

Множество полученных на первом шаге граней:

$G1 = \{k_i\}, i \in [0..N_{G1} - 1]$, где $N_{G1} \in N$ – число граней.

Вторым шагом происходит фильтрация множества N_{G1} в процессе которой из множества удаляются грани не удовлетворяющие условиям проходимости людей. При фильтрации учитывается только минимальный размер свободного пространства над гранью по вертикали (ось Y) для прохождения человека.

Множество полученных на втором шаге граней:

$G2 = \{k_i\}, i \in [0..N_{G2} - 1]$, где $N_{G2} \in N$ – число граней.

Следующим шагом происходит преобразование граней в узлы графа и соединение узлов ребрами. Каждое ребро соединяет два узла и имеет направление. Т.е. возможны ситуации когда из грани A можно попасть на грань B, но не наоборот. Пример: грань A находится выше грани B на высоте еще допускающей спуск, но не допускающий подъем. При построении ребер учитываются следующие условия:

1 Максимальная разница по высоте между гранями допускающая спуск людей;

2 Максимальная разница по высоте между гранями допускающая подъем людей;

3 Отсутствие препятствий между гранями.

Для того чтобы соединить грани ребрами для каждой грани делаются следующие шаги:

1 На множестве $G2$ ищутся в некоторой окрестности (не более чем длина грани) все соседние грани;

2 Для всех найденных соседней граней проверяются условия перечисленные выше;

3 Если все условия выполнены, то происходит соединение граней ребром в направлении текущая грань → найденная грань.

В результате получим направленный граф $Z(H, D)$, где $H = \{H_j\}$ – множество узлов графа (граней) D – множество ребер соединяющих узлы.

Каждый узел графа определяется как $H_j = \{k_j, r_j, d_j, e_j\}, j \in \{0, 1, 2 \ldots, N_H - 1\}$, где N_H – число узлов графа, $N_H \in N$, k_j – грань, r_j – весовой коэффициент узла определяющий «стоимость» прохода через узел, $r_j \in R$, $r_j \geq 0$, d_j – сумма весовых коэффициентов всех узлов графа являющихся наикратчайшим путем от текущего узла до ближайшего выхода, $d_j \in R$, e_j – тип узла, $e_j \in \{0, 1\}$, где 0 – промежуточных узел, 1 – выход из здания.

$D_k = \{j_0, j_1\}, k \int \{0, 1, 2 \ldots, N_D - 1\}$, где N_D – число ребер графа, $N_D \in N$, j_0 – индекс выходного узла, $j_0 \in \{0, 1, 2 \ldots, N_H - 1\}$ j_1 – индекс входного узла, $j_1 \in \{0, 1, 2 \ldots, N_H - 1\}$.

Весовые коэффициенты r_j узлов зависят от суммы коэффициентов нескольких параметров:

1 Типа зоны к которой относится узел. Например на спусках по лестнице коэффициент будет ниже, на подъемах выше;

2 Проходимости зоны. Если сенсорные узлы привязанные к зоне сообщают о том что допустимые пороговые значения опасных факторов пожара превышены и зона не проходима, то коэффициент будет стремится к бесконечности;

3 Образование скоплений людей в зоне. Если сенсорные узлы привязанные к зоне сообщают о том что допустимые пороговые значения плотности людей превышены и зона трудно проходима, то коэффициент будет увеличен в зависимости от плотности;

Далее через каждый интервал времени t происходит перерасчет сумм весовых коэффициентов d_j. От сенсоров поступают новые данные, меняются значения r_j. Для узлов являющихся выходами из здания d_j всегда $= 0$. Для расчета сумм весовых коэффициентов d_j используется алгоритм Левита [1].

Чтобы определить направление надо отобразить на стрелке используется следующий алгоритм:

1 При вводе информации о расположении стрелок каждая стрелка привязывается к некоторому множеству узлов графа. Для стрелки определяются базовые вектора совпадающие с указателями на стрелке;

2 Через каждый интервал времени t после перерасчета сумм весовых коэффициентов d_j по узлам строится векторное поле состоящее из векторов единичной длины. Вектора находятся в центрах граней и направлены в сторону движения по наикратчайшему пути;

3 Для каждой стрелки берется сумма векторов всех граней попадающих в зоны привязанные к стрелке. Далее сумма векторов нормализуется и вычисляется скалярное произведение получившегося вектора с базовыми векторами стрелки.

4 На стрелке включается тот указатель у которого скалярное произведение базового вектора и среднего получилось максимальным.

Список литературы

1. Б. Ю. Левит. Алгоритмы поиска кратчайших путей на графе. Труды института гидродинамики СО АН СССР. Сб. «Моделирование процессов управления». Вып. 4. Новосибирск. 1971. с. 1117–148.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО - ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ (ПИМ) ЗДАНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ[1]

Д.В. Варламов
Удмуртский государственный унирвеситет г. Ижевск, Россия
e-mail: *big.black.fox@gmail.com*

Рассматриваются различные варианты возможных пространственно-информационных моделей зданий, их применимость к различным прикладным задачам, связанным с моделированием движения людских потоков в здании. Большое внимание уделено определению достаточности и избыточности информации, заложенной в ту или иную модель. Также рассматриваются вопросы, связанные с сохранением или потерей информации при перестроении пространственно-информационных моделей в другие структуры, используемые при компьютерном моделировании движения людских потоков. Особое внимание в статье обращено на трехмерную воксельную модель и ее математическое описание, поскольку, по мнению авторов статьи, она наиболее полно подходит для достижения означенных целей.

Ключевые слова: *пространственно-информационная модель здания, моделирование движения людских потоков, воксельное окто-дерево, направленный граф.*

Введение

Для моделирования движения людских потоков в зависимости от типа и требуемой точности могут применяться различные пространственно- информационные модели (ПИМ) здания. В качестве входных данных любой модели требуется как минимум:

1 Информация о форме, размере, типе помещений, а так же информация связанности помещений;

2 Информация о распределении людей в здании по зонам и помещениям.

В общем случае ПИМ здания — двух или трехмерная геометрическая модель, состоящая из базовых элементов, дополненная атрибутивной информацией и информацией о пространственной связности элементов. Среди элементов модели должны присутствовать стандартные элементы, присущие любому зданию: помещения, дверные проемы, коридоры, переходы, выходы, лестничные

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

клетки и пролеты, лифтовые шахты, эскалаторы, балконы и т.д. Также могут присутствовать дополнительные элементы, такие как водопровод, канализация, электропитание, вентиляция и другое. У каждого типа элементов есть собственный набор атрибутов. Для элементов, где могут присутствовать люди или находится какие либо предметы, это: среднее количество людей, находящихся в комнате, пожарная нагрузка помещения, класс пожарной опасности и так далее. Дополнительно может присутствовать информация по зданию в целом, например: срок эксплуатации здания, электропроводки, класс капитальности и так далее. Структура и сложность ПИМ здания зависит от круга задач, решаемых с помощью данной модели. При выборе ПИМ нужно исходить из нескольких критериев:

1 полнота информации о здании. Необходимо определить список необходимых атрибутов так, чтобы информации было достаточно для работы;

2 способ получения информации о здании. Как правило, для уже эксплуатирующихся зданий есть только поэтажные планы в бумажном виде, которых в большинстве случаев недостаточно. При этом возникает задача сбора необходимой информации.

Таким образом, для характеристики ПИМ можно использовать следующие критерии:

1 Полнота информации о здании:

  1.1 Способ задания геометрии: 2-х мерная модель, 3-х мерная модель или иной способ;

  1.2 Детализация геометрии: элементом является помещение, элементом является некоторая зона (часть помещения);

  1.3 Позволяет ли модель привязывать атрибутивную информацию;

  1.4 Позволяет ли модель определять связи между элементами.

2 Способы сбора и обработки исходной информации для модели:

  2.1 Какие исходные данные, в каком виде подходят для ввода в модель;

2.2 Какая дополнительная обработка исходных данных требуется.

ПИМ можно разбить по следующим основным типам в порядке возрастания полноты информации о здании: поэтажные планы, Computer-Aided Design (CAD) модели, Building Information Modeling (BIM).

Поэтажные планы

Большинство существующих зданий имеет четко выраженную поэтажную структуру, поэтому для всех строящихся или эксплуатируемых зданий имеются готовые поэтажные планы либо в бумажном, либо в электронном виде. Информация о геометрической форме помещений задается в виде двумерных примитивов, таких как отрезки прямых, дуги, полигоны или сплайны. Часто такие примитивы могут относится сразу к нескольким элементам, например, стена между помещениями. Это затрудняет выделение отдельных элементов из общей массы. Такой способ ориентирован на визуальное представление, нежели на определение конкретных элементов, их атрибутов и связей между ними. Хотя поэтажные планы могут содержать некоторую атрибутивную информацию, они не позволяют задавать связи между элементами. К положительным сторонам данного типа ПИМ стоит отнести широкую распространенность готовой исходной информации. Использование данной ПИМ для моделирования движения людских потоков без дополнительной обработки исходных данных невозможно.

CAD-модели

Следующими в списке идут CAD-модели. Это 2-х или 3-х мерные модели, сделанные в соответствующих CAD-программах. Поэтажные планы также могут относиться к данному типу, если выполнены в электронном виде. В 3-х мерных моделях информация о геометрической форме помещений задается в виде примитивов, таких как треугольники, полигоны, различного рода параметрические поверхности, например, NURBS. Аналогично поэтажным планам примитивы могут относится сразу к нескольким элементам. Больше всего такие модели схожи с чертежами, имеющими размеры, но не имеющими данных о связях между элементами. Такие модели используются для архитектурного дизайна, визуализации, инженерных задач, требующих определения размеров. Эти модели могут служить отправной точкой для создания на их основе ПИМ зданий.

BIM

Трёхмерная модель здания, либо другого строительного объекта, где для каждого элемента модели задается информация о его геометрической форме, всех необходимых атрибутах, определяются связи с другими элементами и указываются процессы происходящие внутри элементов и между элементами. Особенность такого подхода заключается в том, что строительный объект проектируется, фактически, как единое целое. И изменение какого-либо одного из его параметров влечёт за собой автоматическое изменение остальных связанных с ним параметров и объектов, вплоть до перерасчета прочности конструкций, изменение чертежей, визуализации, спецификаций и т.д. [1]. BIM имеет два основных преимущества перед CAD:

1 Модели и объекты управления BIM - это не просто геометрические элементы, это информация, позволяющая автоматически создавать чертежи и отчёты, выполнять анализ проекта, моделировать график выполнения работ, эксплуатацию объектов и т. д. — предоставляющая неограниченные возможности для принятия решений с учётом всех имеющихся данных.

2 Стратегия работы BIM нацелена не только на циклы проектирования и строительства здания, но и на работу в течение всего жизненного цикла здания, вплоть до демонтажа и сноса.

BIM является, как правило, довольно сложной по структуре моделью. И ее использование и поддержание в актуальном состоянии для отдельных задач может оказаться избыточным. С другой стороны, простая трехмерная модель, содержащая только неструктурированную геометрию здания, также не подходит для большинства прикладных задач. Таким образом, необходимо найти оптимальное соотношение между избыточными BIM и простыми моделями, содержащими информацию только о геометрии.

Выбор модели

Для того чтобы определить требования к характеристикам ПИМ нужно зафиксировать необходимые исходные данные для модели движения людских потоков. Разрабатываемая в рамках гранта агентная модель движения людских потоков в условиях пожара, в первую очередь, предназначена для динамического определения путей эвакуации. В качестве базового

элемента представления геометрической формы используется равносторонняя прямоугольная зона размерами от 0.1 метра до 1 метра. Для каждого элемента определены связи с соседними элементами. Модель не выделяет отдельных помещений, проемов, коридоров и прочих типов. Вместо этого для каждого элемента определен тип зоны, к которой он относится. Исходных данных ПИМ должно хватать для решения следующих задач:

1 Построение графов узлов зон проходимости для агентов с различными характеристиками: размер проекции на пол, высота, максимальная высота ступеньки и т.д;

2 Начальное распределение агентов по помещениям, исходя из информации о среднем распределении людей в здании по помещениям;

3 Моделирование динамики развития опасных факторов пожара (полевая модель);

4 Информация о выходах из здания;

5 Информация о распределении пожарных извещателей и указателей пути эвакуации.

Исходя из требований модели движения людских потоков к исходным данным ПИМ в качестве исходной структуры для хранения геометрической информации была выбрана трехмерная воксельная модель. В общем случае воксельная модель это регулярная трехмерная сетка каждый элемент которой может принимать 2 возможных состояния: «пустой» или «полный». Если элемент полный, то это означает что он принадлежит к объему аппроксимируемого моделью объекта. Точность аппроксимации исходного объекта определяется количеством элементов сетки. Предполагается использовать модель для описания геометрии здания, это означает что для среднего 10-ти этажного здания размерами 25x40x40 метров воксельная модель с точностью 0.25 метра будет содержать 2560000 элементов. При этом большая часть элементов будет «пустыми». Чтобы уменьшить занимаемый структурой объем данных был выбран метод хранения информации о заполненности элементов в виде пространственной иерархической древовидной структуры — разреженного воксельного октодерева [2]. Данная структура состоит из связанных элементов расположенных иерархически по уровням. В общем случае это дерево где у каждого узла есть от 0 до 8 потомков.

Если взять локальную прямоугольную систему координат с осями OX, OY, OZ, ее начало расположить в середине текущего элемента, то элементы следующего уровня будут располагаться в зонах пространства образуемых делением текущего элемента плоскостями (OX, OY), (OX, OZ), (OY, OZ), всего 8 зон. Элементы представляют собой прямоугольные параллелепипеды ориентированные параллельно осям системы координат. На самом верхнем уровне (0-й уровень) находится один элемент размерами равными габаритным размерам модели которую требуется аппроксимировать. Изначально считается что элемент «полный». Далее происходит построение следующих уровней до момента достижения требуемой точности. Итерация добавления уровня предполагает следующие действия для каждого «полного» элемента текущего уровня, «пустые» элементы пропускаются. Элемент разбивается на 8 зон как описано выше. Далее для каждой зоны проверяется пересечение с объемом аппроксимируемого объекта. Если пересечение есть, то на новый уровень добавляется элемент в состоянии «полный». Размеры элемента будут равны размеру зоны. Если пересечения нет, то элемент считается пустым.

Таким образом зоны с большими пустыми пространствами описываются меньшим количеством узлов. Если провести постобработку окто-дерева и отбросить элементы у которых все элементы-потомки «полные», то плотность числа элементов будет сгущаться к поверхности исходного аппроксимируемого объекта. А «полные» и «пустые» зоны будут описываться минимальным количеством узлов. Пример воксельного окто-дерева приведен на рисунке 1.

В работе используется следующая структура для описания ПИМ. Воксели находятся в пространстве R^3. Каждый воксель это

$$V \subset R^3, V = \left\{ \overline{x^0} = \left\{ x_1^0, x_2^0, x_3^0 \right\}, \overline{k} = \left\{ k_1, k_2, k_3 \right\}, d \right\},$$

где $\overline{x^0}$ – координаты центра вокселя, $x_i^0 \in R$,

$\overline{k}$ – габаритные линейные размеры вокселя, $k_i \in R$,

d – заполненность вокселя, $d \in 1.0$.

Множество точек принадлежащих вокселю определяется как:

$$\mid x_i - x_i^0 \mid \leq \frac{k_i}{2}, i \in \mid 1, 2, 3 \mid$$

При этом габаритные линейные размеры вокселя зависят от

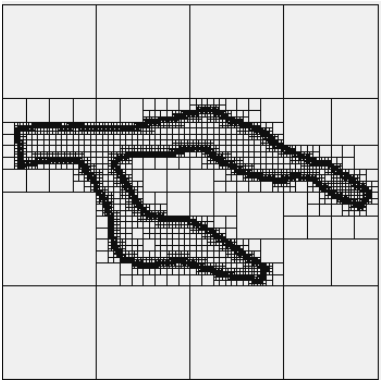

Рисунок 4.1 — изображение среза воксельного окто-дерева в плоскости OX-OZ.

уровня следующим образом:

$$k_i = \frac{k_i^0}{2^m},$$

где k_i^0 – габаритный размер по i-й оси на нулевом уровне, $k_i^0 \in R$, m – уровень вокселя в иерархии, $m \in \{0, 1, 2, \ldots, M-1\}$, $M \in N$ – число уровней в окто-дереве.

В совокупности воксели образуют направленный граф $G(U, E)$, где $U = \{U_i\}$ – множество узлов графа, E – множество отношений родитель — потомок между узлами.

Каждый узел графа определяется как $U_j = \{V_j, M_j, I_j\}, j \in \{0, 1, 2, \ldots, N_G - 1\}$, где N_G – число узлов графа, $N_G \in N$, V_j – параметры вокселя определенные выше, M_j – уровень узла в окто-дереве, $M \in N$, I_j – множество параметров описывающих атрибутивные свойства зоны помещения аппроксимированной вокселем, $I_j = \left\{P_j^{min}, P_j^{max}, F_j, T_j\right\}$, где P_j^{min} – минимальная плотность распределения людей на квадратный метр, P_j^{max} – максимальная плотность распределения людей на квадратный метр, F_j – данные по пожарной нагрузке, $F_j = \{\{a_0, b_0\}, \{a_1, b_1\}, \ldots, \{a_{n-1}, b_{n-1}\}\}$, где a – масса пожарной нагрузки в килограммах, b – тип пожарной нагрузки, возможные значения определены в приказе МЧС РФ от 24 февраля 2009 г. N 91 «Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности», T_j – тип помещения или зоны к которому относится узел. Допустимые значения: помещение, дверной проем, лестница, пролет, стены и прочие конструкционные элементы, предметы в помещении, выход из здания.

Отношение родитель – потомок между узлами определяется как

$$E_k = \{j_0, j_1, q\},$$

где $j_0, j_1 \in \{0, 1, 2, \ldots, N_G - 1\}, j_0 \neq j_1$ – индексы узлов отношение между которыми определяется, j_0 – индекс родителя, j_1 – индекс потомка,

q – индекс октанта в котором расположен воксель, $q \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$. Для вокселя уровня 0 значение $q = 0$. В каждом октанте может быть расположен только один воксель.

Координаты центра вокселя $\overline{x_m^0}$, где m – уровень узла в окто-дереве определяются в зависимости от координат вокселя родительского узла $\overline{x_{m-1}^0}$ уровня $m - 1$ и размеров вокселя $\overline{k_m}$ уровня m.

Если $m = 0$, то $\overline{x_0^0} = \overline{\{0, 0, 0\}}$

Если $m > 0$, то

$$\overline{x_m^0} = \begin{cases} \overline{x_{m-1}^0} + \overline{\{k_m^x, k_m^y, k_m^z\}} * 0.5, \text{ при } q = 0 \\ \overline{x_{m-1}^0} + \overline{\{k_m^x, k_m^y, -k_m^z\}} * 0.5, \text{ при } q = 1 \\ \overline{x_{m-1}^0} + \overline{\{k_m^x, -k_m^y, k_m^z\}} * 0.5, \text{ при } q = 2 \\ \overline{x_{m-1}^0} + \overline{\{k_m^x, -k_m^y, -k_m^z\}} * 0.5, \text{ при } q = 3 \\ \overline{x_{m-1}^0} + \overline{\{-k_m^x - k_m^y, k_m^z\}} * 0.5, \text{ при } q = 4 \\ \overline{x_{m-1}^0} + \overline{\{-k_m^x, k_m^y, -k_m^z\}} * 0.5, \text{ при } q = 5 \\ \overline{x_{m-1}^0} + \overline{\{-k_m^x, -k_m^y, k_m^z\}} * 0.5, \text{ при } q = 6 \\ \overline{x_{m-1}^0} + \overline{\{-k_m^x, -k_m^y, -k_m^z\}} * 0.5, \text{ при } q = 7 \end{cases}$$

Данная структура обладает рядом преимуществ:

1 В качестве исходных данных могут выступать любые трехмерные модели, в том числе: полигональные, параметрические, данные лазерного трехмерного сканирования и другие. Достаточно лишь определить функцию пересечения модели с некоторым прямоугольным объемом в пространстве;

2 По воксельному дереву возможно построение графа узлов зон проходимости. Для этого необходимо проверить всех соседей каждого узла на возможность прохода агента;

3 Структуру возможно использовать для расчета развития опасных факторов пожара в программном комплексе FDS (Fire Dynamic Simulation, полевая модель);

4 К каждому конечному узлу можно привязать всю необходимую атрибутивную информацию;

5 Структура поддерживает возможность внесения изменений в геометрию в процессе работы с ней.

Таким образом, выбранная структура данных ПИМ удовлетворяет всем требованиям к характеристикам, поставленных задачами в рамках модели движения людских потоков.

Список литературы

1. National Building Information Modeling Standard: Version 1 – Part 1, Overview, Principles, and Methodologies // National Institute of Building Sciences. - 2007 (http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1_p1.pdf);
2. Samuli Laine, Tero Karras. Efficient Sparse Voxel Octrees – Analysis, Extensions, and Implementation. (https://mediatech.aalto.fi/šamuli/publications/laine2010tr1_paper.pdf);
3. Oliva R., Pelechano N. NEOGEN: Near optimal generator of navigation meshes for 3D multi-layered environments //Computers & Graphics. – 2013. – Т. 37. – №. 5. – С. 403—412.
4. Программный комплекс Pathfinder 2013 (производитель - компания Thunderhead Engineering).
5. Xia Y., Wang K. Integration Method of Multi-grid Evacuation Model in 3D Virtual Indoor Environment //International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering. – 2013. – Т. 8. – №. 3. – С. 255—264.
6. Ji-hua H.U. et al. A Research of Pedestrian Evacuation Simulation for BRT Station based on Fine Grid Method //Procedia Engineering. – 2013. – Т. 52. – С. 137—144.
7. Domínguez B., García Á.L., Feito F.R. Semiautomatic detection of floor topology from CAD architectural drawings //Computer-Aided Design. – 2012. – Т. 44. – №. 5. – С. 367—378.
8. Wu C.H., Chen L.C. 3D spatial information for fire-fighting search and rescue route analysis within buildings //Fire Safety Journal. – 2012. – Т. 48. – С. 21—29.
9. Кадурина М.С. Итерационная модель расчета фактического времени эвакуации людей при пожаре //Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной. – 2012.
10. Desmet A., Gelenbe E. Graph and analytical models for emergency evacuation //Future Internet. – 2013. – Т. 5. – №. 1. – С. 46—55.

11. Егоров А. А. Применение распределенных вычислений для управления эвакуацией в реальном времени //анализ, синтез и управление в сложных системах, Сборник научных трудов, Саратов 2009 – С. 53.
12. Гриценко Ю.Б., Жуковский О.И., Загальский О.Г. Использование сетей Петри для оценки времени эвакуации людей в зданиях и сооружениях при возникновении пожара. Алгоритм //Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – С. 213—218.
13. Liu Z., von Wichert G. Extracting semantic indoor maps from occupancy grids //Robotics and Autonomous Systems. – 2014. – Т. 62. – №. 5. – С. 663—674.
14. Ahmed S. et al. Automatic analysis and sketch-based retrieval of architectural floor plans //Pattern Recognition Letters. – 2014. – Т. 35. – С. 91—100.
15. Mura C. et al. Automatic room detection and reconstruction in cluttered indoor environments with complex room layouts //Computers & Graphics. – 2014. – Т. 44. – С. 20—32.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ПО ВРЕМЕНИ[1]

В.К. Ваштиев
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *vashtiev@ya.ru*

В статье описан алгоритм идентификации опасных факторов пожара пожарным извещателем. Задачей данного алгоритма является идентификация опасных факторов пожара на ранней стадии с минимальной вероятностью ложного срабатывания. Алгоритм основан на обработке показаний окружающей среды во времени. Обработка данных происходит в микроконтроллере, поддерживающем передачу данных по радиоканалу.

Ключевые слова: пожарный извещатель, алгоритм идентификации пожара, опасные факторы пожара, зависимость от времени, микроконтроллер.

Введение

На сегодняшний день остро стоит проблема ложных срабатываний пожарных извещателей на объектах защиты. На данный момент алгоритм принятия решения базируется на постоянных величинах, превышая которые, система подает сигнал тревоги. Данная технология является актуальной при идеальных условиях эксплуатации. При возникновении отклонений, например, избыточной запыленности, превышенной влажности и т.п., система может принять эти факторы за пожар. Соответственно сигнал поступает на пульт управления системой оповещения и управления эвакуацией, а далее – в соответствующие ведомственные подразделения, вследствие чего задействует много сил и средств. Также зафиксированы случаи летальных исходов в результате ложного срабатывания пожарной сигнализации [1].

Одним из решений данной проблемы является применение алгоритмов, основанных на анализе изменения опасных факторов пожара во времени. Данный подход становится все более актуальным ввиду развития микроконтроллерной техники, в которую можно закладывать программные алгоритмы принятия решения в аварийной ситуации.

В статье [2] сделан обзор изменения опасных факторов пожара на ранней стадии ($<$100 кВт). В частности, были рассмотрены измерения CO, CO_2, H_2O, H_2, O_2 дыма и температуры. В монографии

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

[3] изложены основы создания и применения систем раннего обнаружения пожара и на их основе новых видов технических средств: газовых пожарных извещателей, комбинированных пожарных извещателей с газочувствительными сенсорами, аспирационных дымовых и комбинированного извещателей, видеодетекторов пожара. В работе [4] описана деятельность компании System Sensor — крупнейшего в мире производителя интеллектуальных и традиционных извещателей.

В данной статье приведены алгоритмы принятия решения о пожаре на основе изученной литературы и проведенных опытов в программном комплексе FDS [5].

Условие существования алгоритма

Условием существования алгоритма является наличие микропроцессора в пожарном извещателе в качестве логико-обрабатывающего устройства. Для исследования и разработки был использован микроконтроллер ATmega128RFA1 [6], поддерживающий систему беспроводной сети топологии Mesh [7].

В основу обнаружения опасных факторов пожара заложено 3 сенсора:

1 оптический датчик дыма;

2 встроенный в микроконтроллер датчик температуры;

3 датчик влажности.

Определено 3 режима состояния пожарного извещателя:

1 повседневный;

2 повышенной готовности;

3 тревоги.

Описание алгоритма

В повседневном режиме датчик дыма измеряет показания проницаемости воздушного пространства в газовой камере с периодичностью порядка раз в 7 секунд. Датчик температуры аналогично датчику дыма измеряет показания температуры с той же периодичностью. При превышении нижнего порога чувствительности по

температуре или проницаемости воздушного пространства извещатель переходит в режим повышенной готовности. Датчик влажности в повседневном режиме неактивен. При установке пожарного извещателя, в память микроконтроллера записываются нормальные показания окружающей среды: проницаемость воздушной среды, температура и влажность. Пожарный извещатель корректирует значения показаний окружающей среды при нормальных условиях, отсекая тем самым проблему медленного изменения показаний окружающей среды [8].

В режиме повышенной готовности датчик дыма, датчик температуры и датчик влажности измеряют показания с периодичностью порядка 4 раза в секунду. Датчик влажности служит для отсечки ложных срабатываний датчика дыма на влагу и пары. При попадании значений показаний с датчика температуры в доверительный интервал эталонных значений в течение нескольких секунд (порядка 10), происходит переход на следующий уровень - тревоги. В случае с датчиком дыма – аналогичный алгоритм, при отрицательном значении датчика влажности.

В режиме тревоги пожарный извещатель передает на центральный пульт информацию об аварийной ситуации, при наличии звукового и/или светового оповещателя, выдает тревожные сигналы. Данный алгоритм графически изображен на рисунке 5.1.

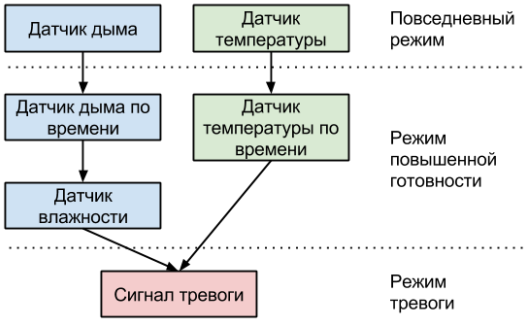

Рисунок 5.1 — Алгоритм работы датчиков пожарного извещателя.

Примечание: все частотные, пороговые значения и эталонные функции можно настраивать под нестандартные помещения и условия эксплуатации.

Математический алгоритм идентификации пожара во времени

Датчики температуры и дыма в режиме реального времени получают значения показаний n с окружающей среды с периодом Δt. Со временем накопится множество зафиксированных в ходе наблюдений значений признака — статистическая совокупность, относительно которого можно оценивать каждое последующее значение n.

Для перехода пожарного извещателя в состояние тревоги используется оценка доверительного интервала для выборки малой мощностью, базируемая на распределении Стьюдента [9].

При измерении всей генеральной совокупности, можно узнать со всей доступной точностью среднее значение признака — генеральным средним ($X_{\text{ср.ген}}$). Известно, что нормальное распределение определяется полностью, если известно его среднее значение и отклонение s. Взяв некоторую выборку, можно подсчитать для этой выборки среднее значение $X_{\text{ср.выб}}$, как и среднеквадратическое отклонение $S_{\text{выб}}$.

Известно, что если выборочная проверка содержит большое количество элементов (обычно n больше 30), и они взяты действительно случайным образом, то s генеральной совокупности практически не будет отличаться от $S_{\text{выб}}$.

Для случая нормального распределения можно пользоваться формулой 5.1. Связь значения t со значением вероятности (t), дана в таблице 5.1.

$$X_{\text{ср.ген}} = X_{\text{ср.выб}} \pm t\frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \tag{5.1}$$

Таблица 5.1 — Алгоритм работы датчиков пожарного извещателя.

P(t)	0.683	0.950	0.954	0.990	0.997
t	1.00	0.950	0.954	0.990	0.997

Зная функцию изменения опасных факторов пожара во времени и доверительный интервала от этой функции с заданной точностью, можно использовать их за основу логической обработки значений показаний окружающей среды, для формирования сигнала о чрезвычайной ситуации.

Вывод

При подборке необходимых аппроксимант и коэффициентов распределения Стьюдента, представляется хорошая возможность значительно снизить время идентификации ОФП пожарным извещателем, при этом уменьшить вероятность ложных сигналов.

Данный подход был применен при разработке пожарного извещателя беспроводной системы оповещения и управления эвакуации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

Список литературы

1. Малышев К.С. Исследование ложных факторов пожара // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2.
2. Grosshandler W.L. A review of measurements and candidate signatures for early fire detection. – Gaithersburg, MD : National Institute of Standards and Technology, 1995.
3. Федоров А.В. и др. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара // М.: Академия ГПС МЧС России. – 2009.
4. Эдманс М., Членов А. Руководство по применению интеллектуальных систем пожарной сигнализации–М.: //Систем Сенсор Фаир Детекторс. – 2002.
5. Fire Dynamic Simulator - FDS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://code.google.com/p/fds-smv/, свободный (15.05.2015).
6. ATmega128RFA1 Preliminary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8266-MCU_Wireless-ATmega128RFA1_Datasheet.pdf, свободный (16.05.2015).
7. Аблялимова З.С., Уразалиева Д.М. Маршрутизация в mesh сетях на основе хаотических радиоимпульсов // IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь. – 2010. – №4. – С. 457—461.
8. Буцынская Т.А., Землянухин М.В. Метод повышения эффективности теплового пожарного извещателя //Материалы тринадцатой научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ - 2004. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2004. – С. 225—229.
9. Айвазян С.А. Прикладная статистика. — Рипол Классик, 1983.

УПРАВЛЕНИЕ АУДИОВИЗУАЛЬНЫМИ ОПОВЕЩАТЕЛЯМИ, УЧИТЫВАЯ ОПТИМАЛЬНЫЕ ПУТИ ЭВАКУАЦИИ[1]

В.К. Ваштиев
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *vashtiev@ya.ru*

В статье описан алгоритм управления аудиовизуальными оповещателями. Представлена концепция управления световыми указателями направления путей эвакуации, световыми табло функционирования выхода и речевыми оповещателями.

Ключевые слова: *эвакуация, управления эвакуацией, динамическая СОУЭ, световой указатель выхода, речевой оповещатель, алгоритм управления.*

Введение

Проблемы оперативной эвакуации людей из зданий и сооружений при чрезвычайных ситуациях (ЧС) являются актуальными пока такие ситуации существуют. Соответственно, растет интерес разработчиков аппаратуры к созданию автоматизированных систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ).

Фактически, все существующие системы автоматизированного управления эвакуацией основаны на выборе из фиксированного набора эвакуационных алгоритмов одного (или нескольких), решение по которым принимается оператором или автоматически на основе ограниченного набора информации, поступившей на момент возникновения ЧС. Существуют объекты, на которых управление может и должно носить динамический характер, с оперативной реакцией управляющими мероприятиями на столь же динамичное изменение обстановки: крупные промышленные предприятия, сложные и опасные производства, здания значительной протяженности и т.п., а также объекты, где чрезвычайную ситуацию представляет не только пожар, но и события другого рода: аварии с выбросом опасных веществ, террористические угрозы, землетрясения и т.п. [1]

Согласно ФЗ № 123 [2] в системе оповещения и управления эвакуации (СОУЭ) помимо извещательных узлов (датчики определения опасных факторов пожара) существует и ряд исполнительных узлов (световые табло, речевые динамики, электромеханические замки аварийных дверей, аварийное освещение, система

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

дымоудаления и т.д.). Причем, непосредственно к управляющим элементам людского потока относятся звуковые оповещатели и световые табло.

Была выполнена работа по разработке алгоритма управления аудиовизуальными оповещателями, учитывающего оптимальные пути эвакуации, и описан алгоритмы их управления в СОУЭ, учитывающего найденные оптимальные пути эвакуации.

Условия существования алгоритма:

- элементы системы имеют программируемый модуль (микроконтроллер);
- элементы системы имеют уникальный идентификатор;
- система в состоянии моделировать эвакуацию и передавать необходимые данные на элементы СОУЭ.

На основании изученной литературы [3–5] и проведенных экспериментов было принято решение использовать нижеперечисленные подходы к управлению элементами СОУЭ.

Световой указатель направления движения

Информация необходимая световому указателю направления движения:

- уникальный идентификатор микроконтроллера, присвоенный заводом изготовителем;
- идентификатор помещения (зоны помещения) в которой он находится;
- класс (типа) элемента – присваиваются на этапе установки программного обеспечения в микроконтроллер;
- идентификатор дверей помещения, к которому привязан управляемый элемент;
- плотность людей, проходящих через все двери помещения, в котором находится элемент.

На рисунке 6.1 изображен пример плана помещения и размещённый на нем элемент управления эвакуацией. Каждому направлению присвоен набор идентификаторов дверей, которые находятся в помещении по ходу следования направления. Для того чтобы включать один из вариантов указателя направления,

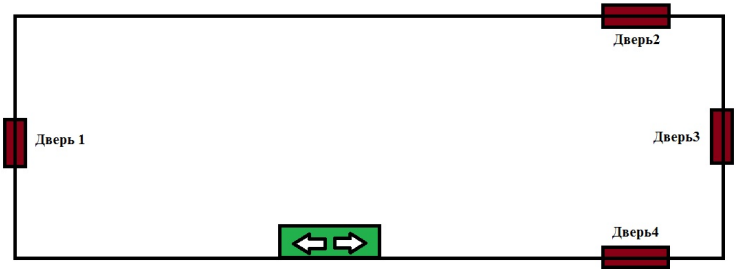

Рисунок 6.1 — План помещения и размещённый на нем элемент управления эвакуацией.

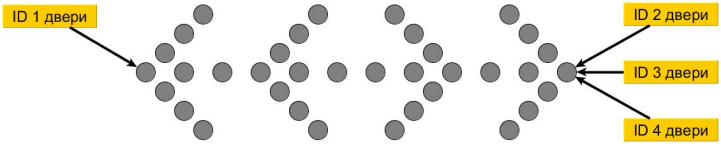

Рисунок 6.2 — Набор идентификаторов, присваиваемых направлению движения.

необходимо знать распределение плотности людей, проходящих в момент времени T через двери помещения: положительное, если люди выходят из двери и отрицательное – если входят. Зная условное количество людей, входящих и выходящих через каждую дверь можно ввести понятие – вес направления. Сумма всех весов направления в одном помещении равна единице.

Пусть количество людей, вышедших через дверь в момент времени T равно R. Если люди выходят, то R положительное, если входят – отрицательное. Исходя из этого можно сказать, что вес M направления движения n находиться по формулам (6.1) и (6.2).

$$\sum_{i=1}^{n} M_i = 1, \tag{6.1}$$

$$M_n = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} R_{Mn}}{|\sum\limits_{j=1}^{k} R_i|}, \tag{6.2}$$

Рассматривая вариант светового указателя с двумя направле-

ниями движения, на примере рисунка 6.2, справедливо будет выражение:

1 для первого направления: $M_1 = \dfrac{R_1}{\mid R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \mid}$;

2 для второго направления: $M2 = \dfrac{R_2 + R_3 + R_4}{\mid R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \mid}$.

В этом случае алгоритм действия светового табло направления движения будет:

1 в случае $Mn \leq 0$ – путь запрещен;

2 в случае $Mn > 0$ – путь разрешен, при этом приоритет отдается тому направлению у которого Mn будет больше. При этом загорается наиболее возможная длина стрелки указателя;

3 в случае $Mn > 0$, но Mn не максимально – путь разрешен, но не в приоритете. При этом загорается минимально возможная длина стрелки указателя (в случае с двумя позициями длины стрелки).

Световой оповещатель функционирования выхода

Информация необходимая световому оповещателю функционирования выхода:

- уникальный идентификатор микроконтроллера, присвоенный заводом изготовителем;
- идентификатор помещения (зоны помещения) в котором он находится;
- идентификатор двери помещения, к которому привязан управляемый элемент;
- класс (типа) элемента – присваиваются на этапе установки программного обеспечения в микроконтроллер;
- плотность людей, проходящих через все двери помещения, в котором находится элемент.

Пусть количество людей, вышедших через дверь в момент времени T равно R. Если люди выходят, то R положительное, если

входят – отрицательное. Исходя из этого можно сказать, что вес H двери n находиться по формулам (6.3) и (6.4).

$$\sum_{i=1}^{n} H_i = 1, \tag{6.3}$$

$$H_n = \frac{R_n}{|\sum_{j=1}^{k} R_i|}, \tag{6.4}$$

В этом случае алгоритм действия светового табло функционирования выхода будет:

1 в случае $Hn \leq 0$ – путь запрещен, при этом загорается красный цвет;

2 в случае $Hn > 0$ – путь разрешен, при этом в случае наибольшего значения Hn загорается зеленый цвет;

3 в случае $Hn > 0$, но Hn не максимально из всех значений – путь разрешен, но не в приоритете. При этом загорается желтый цвет;

Аудио оповещатель функционирования выхода

Аудио оповещатель функционирования выхода физически располагается в одном корпусе со световым оповещателем функционирования выхода и подключен к тому же микроконтроллеру. Назначение – звуковое дублирование зеленого цвета светового оповещателя функционирования выхода для привлечения внимания эвакуирующихся. Это становиться актуальным особенно в условиях недостаточной видимости световых сигналов. Соответственно весь алгоритм работы аналогичен со световым оповещателем функционирования выхода, за исключением, того что звуковой сигнал срабатывает только при условии срабатывания зеленого цвета на световом оповещателе функционирования выхода.

Речевой динамик

Речевой динамик служит больше как оповещатель об угрозе ЧС и начале эвакуации. Его возможно применять как управляющей элемент эвакуации при разработке соответствующих алгоритмов аудиоуправления. В этом случае необходима работа сервера,

где будет генерироваться речевой сигнал управления людским потоком.

Информация необходимая речевому динамику:

- уникальный идентификатор микроконтроллера, присвоенный заводом изготовителем;
- идентификатор помещения (зоны помещения) в которой он находится – присваивается монтажником-установщиком;
- класс (типа) элемента – присваиваются на этапе установки программного обеспечения в микроконтроллер;
- заранее заложенные речевые аудиодорожки для различных вариантов оповещения в зависимости от характеристик ЧС – присваиваются на этапе установки программного обеспечения в микроконтроллер;
- внешний аудио сигнал, поступающий с сервера при его наличии.

Вывод

Данный подход был применен при разработке аудиовизуальных оповещателей беспроводной системы оповещения и управления эвакуации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

Описанные выше методы в полной мере соответствуют современным требованиям пожарной безопасности и требованиям к системе оповещения и эвакуации 5-го типа [6].

Список литературы

1. А. Пинаев, Д. Кулешов, М. Альшевский (2007). СОУЭ. А они управляют? Алгоритм безопасности № 1, 16—18.
2. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. Хабибулин Р. Ш., Шихалев Д. В. Электронный динамический указатель путей эвакуации при пожаре в зданиях с массовым пребыванием людей //Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. – 2012. – №. 1. – С. 41.

4. Зайцев А. В. Управление исполнительными устройствами в си стемах противопожарной защиты в современных условиях. Нормы и реальность //Нормы и реальность/Алгоритм безопасности. 2012. № 5. С. – Т. 6.
5. Pu S., Zlatanova S. Evacuation route calculation of inner buildings //Geo-information for disaster management. – Springer Berlin Heidelberg, 2005. – С. 1143—1161.
6. «СП 3.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности» (утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 N 173).

ВРЕМЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЖАРА И НАЧАЛА ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ В ЗДАНИИ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ[1]

В.К. Ваштиев
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *vashtiev@ya.ru*

В статье описаны параметры, влияющие на время идентификации опасных факторов пожара пожарным извещателем и время начала эвакуации из здания с массовым пребыванием людей. Рассмотрены подходы к прогнозированию времени идентификации пожара и начала эвакуации людей.

Ключевые слова: время идентификации пожара, время начала эвакуации, расчет пожарного риска.

Ежегодно в нашей стране случаются свыше 150 тыс. пожаров. Для сравнения, в 2013 г. по данным МЧС РФ [1] случилось 153208 единиц пожара, прямой материальный ущерб от пожаров составил 13 732 395 тыс. руб., Погибло при пожарах 10 560 человек, травмировано – 11 101 человек. Из них 2,20 % приходятся на производственные здания и складские помещения производственных предприятий, 2,91 % – склады, базы и торговые помещения, 1,91 % – административно-общественные здания, 68,14 % – жилой сектор (жилые дома, общежития, дачи, садовые домики, надворные постройки и т.п.). На рисунке 7.1 изображена динамика изменения количества погибших из-за пожаров в период 2003 г. – 2013 г. И, хотя количество жертв пожара снижается с каждым годом, число остается неприемлемо высоким и превышает потери в странах Западной Европы и Америки при соизмеримых частотах возникновения пожаров.

Условие выполнения пожарной безопасности

Избежать большие материальные и человеческие потери помогают комплексы мероприятий в области пожарной безопасности, в число которых входят: идентификация пожара, экстренная эвакуация людей из здания и предотвращение пожара автоматическими установками пожаротушения. Размер ущерба от пожара напрямую зависит от времени начала действия противопожарных установок и начала эвакуации людей из охваченного пожаром здания. Следовательно, для расчета пожарного риска в здании необходимо знать

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

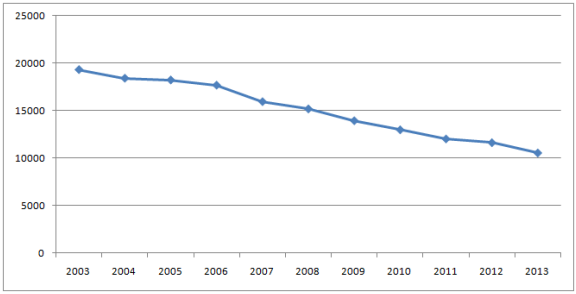

Рисунок 7.1 — Количество погибших из-за пожара в России в период 2003 г. – 2013

время обнаружения опасных факторов пожара пожарными извещателями с момента возгорания пожара и время начала эвакуации людей в здании с момента оповещения людей. Пожарный риск служит для количественной оценки пожаробезопасности здания.

В общем случае условие выполнения пожарной безопасности по пожарному риску сводится к выражению (7.1):

$$T_э < T_{бл}, \tag{7.1}$$

где $T_э$ – время эвакуации людей из помещения, $T_{бл}$ – время блокирования помещения опасными факторами пожара.

Время полной эвакуации людей из здания с момента начала возгорания можно разделить на 3 характерные части:

$$T_э = \Delta T_{ип} + \Delta T_{нэ} + \Delta T_д, \tag{7.2}$$

где $\Delta T_{ип}$ – время идентификации пожара, $\Delta T_{нэ}$ – время начала эвакуации, $\Delta T_д$ – время движения людей до безопасной зоны.

Для того чтобы рассчитать время блокирования помещения можно воспользоваться математической моделью распространения пожара в здании [2]. Время движения эвакуирующихся до безопасной зоны возможно спрогнозировать при помощи имитационного моделирования эвакуации [3].

Время начала эвакуации

Время начала эвакуации зависит от ряда параметров:

1 время оповещения системой оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ);

2 адекватность поведения человека при получении сигнала о пожаре.

Если первый параметр зависит только от технических характеристик СОУЭ и, как правило, не превышает нескольких секунд, то второй – характеризуется рядом факторов. Факторами, определяющими степень адекватности поведения человека при получении сигнала о пожаре, являются: способ оповещения, информативность сигнала оповещения, а также подготовленность людей к выполнению необходимых действий [4].

Влияние на величину времени начала эвакуации многочисленных факторов (видов деятельности в зданиях различного назначения, возрастного состава находящихся в здании людей, их физического и физиологического состояния, инерционности систем обнаружения и оповещения) показывает, что время начала эвакуации должно нормироваться как случайная величина, поскольку только так становится возможным учет влияния перечисленных факторов на разброс его значений. Принципы нормирования времени начала эвакуации как случайной величины, зависящей от перечисленных факторов, впервые предложены в 2004 г. [5] и реализованы в МГСН 4.19-2005 [6] в виде таблицы 7.1 [7].

Таблица 7.1 — Время начала эвакуации по МГСН 4.19-2005.

Функциональный тип помещений и характеристики населения	**IV-V типа**		**II-III типа**		**I типа**	
	$m(t_{\text{н.э}})$, мин.	$d(t_{\text{н.э}})$, мин.	$m(t_{\text{н.э}})$, мин.	$d(t_{\text{н.э}})$, мин.	$m(t_{\text{н.э}})$, мин.	$d(t_{\text{н.э}})$, мин.
Жилые квартиры (апартаменты) для длительного проживания. Жильцы могут находиться в состоянии сна, но знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2.0	0.5	4.0	0.5	5.0	0.5
Номера гостиниц. Жильцы могут находиться в состоянии сна и недостаточно знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2.0	0.5	4.0	0.5	6.0	0.5

Магазины, выставки, досуговые центры и другие помещения массового посещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы с планировкой здания и структурой эвакуационных путей и выходов	2.0	0.5	2.0	0.5	6.0	0.5
Административные, торговые и другие помещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	1.0	0.3	3.0	0.5	4.0	0.3

Примечание 1. Характеристика структурных элементов системы приведена в СП 3.13130.2009 "Системы противопожарной защиты. Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре". В качестве примера можно указать, что система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре I типа включает в себя звуковое оповещение и световые указатели "Выход а самая сложная, типа V – речевое оповещение, деление на зоны оповещения и интегрирована в общую систему управления зданием.

Примечание 2. $m(t_{\text{н.э}})$ – среднее значение времени, $d(t_{\text{н.э}})$ – среднеквадратическое отклонение. Таким образом, диапазон распределенных по нормальному закону значений времени начала эвакуации составит: $m(t_{\text{н.э}}) \pm 3d(t_{\text{н.э}})$.

Время идентификации пожара

Время идентификации пожара пожарным извещателем ($\Delta T_{\text{ип}}$) в огромной степени сказывается на величине пожарного риска, так как разброс времен идентификаций пожара извещателями различных моделей колеблется от нуля до нескольких минут.

В работе [8] описываются принципы обнаружения пламени, основанные на обработке видео в режиме реального времени, которые сочетают графическую информацию об объекте с цветовой статистикой пикселей огня. Частота кадров обработки детектора составляет около 40 кадров в секунду с размером изображения 176 x 144 пикселей, а достоверность обнаружения при помощи такого алгоритма составляет 98.89 %. В статье [9] рассматривается аналогичный принцип обнаружения пожара, только уже по дыму, с помощью вельвет-преобразования видео в режиме реального времени. Становится ясно, что самым быстрым извещателем пожара является детектор, основанный на обработке видео, однако данный подход накладывает ряд условий его существования:

- энергозатратность (необходимость тянуть провода питания);
- высокие вычислительные ресурсы;
- характеристики помещения (например, бесполезно использовать в помещении с множественными ширмами и т.п., ограничивающими поле захвата видео);
- сложность проектирования и установки;
- высокая стоимость по сравнению с аналогами.

Данный подход оптимально применять в помещениях с большой открытой площадкой, например торговые павильоны.

Время подачи тревоги пожарными извещателями, сконструированными на детекторах обнаружения опасных факторов пожара, сводится к ряду условий, зависящих от:

- размеров помещений;
- расположения пожарных извещателей в помещении;
- типа пожарной нагрузки;
- скорости горения;
- чувствительности сенсоров (зависит от марки пожарного извещателя).

В статье [10] описано получение математического выражения для времени обнаружения пожара дымовыми точечными извещателями. Итоговое выражение времени обнаружения дымовыми точечными пожарными извещателями (ДТПИ) очага пожара выглядит так:

$$T_{\text{обн}} \cong \left(\frac{P_{\text{дк}}}{G_0 V_{\text{л}}^2}\right)^{\frac{1}{3}} + a_1 \frac{0.48 H^{\frac{4}{3}}}{(AQ)^{\frac{1}{3}}} + a_2 \frac{1.3 H^{-\frac{1}{2}} R^{\frac{11}{6}}}{(AQ)^{\frac{1}{3}}} + T_u \qquad (7.3)$$

где $T_{\text{обн}}$ - время идентификации пожара, $P_{\text{дк}}$ – концентрация дыма для срабатывания ДТПИ, G_0 – удельная дымопроизводительность горящего вещества, $V_{\text{л}}$ – скорость роста площади очага возгорания, a_1 и a_2 – коэффициенты размерности. H – высота помещения. A – постоянный коэффициент, учитывающий теплофизические характеристики окружающего воздуха вне струйного течения и размерность определяемого параметра, Q – тепловая мощность очага пожара, R – радиус зоны обнаружения ДТПИ, T_u – инерционность извещателя (указывается в технической документации на ДТПИ и, как правило, составляет не более 10 с.).

Из исследований описанных в статье [10] следует, что общее время обнаружения может составить от 120 до 600 с при уловии, что ДТИП расположен под потолком помещения высотой 4 м на расстоянии 3 м по горизонтали от очага пожара.

Вывод

Имея возможность прогноза времен идентификации ОФП и начала эвакуации, можно с достаточной точностью просчитать время эвакуации людей из здания, а, следовательно, и пожарный риск.

Список литературы

1. Сведения о пожарах и их последствиях за январь-декабрь 2013 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mchs.gov.ru/folder/687920, свободный (24.05.2015).
2. Колодкин, В.М. Современные технологии расчета и управления пожарными рисками в зданиях и сооружениях / В.М.Колодкин, Д.В. Варламов, А. А. Яценко // Проблемы анализа риска. 2013. №5 (10). С. 28 — 37.
3. Kuligowski E. D., Peacock R. D., Hoskins B. L. A review of building evacuation models. – Gaithersburg, MD : US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2005.
4. Лыходид Р. В., Рудницкий В. М. Исследование зависимости эффективности систем оповещения о пожаре от способности людей адекватно реагировать на сигналы оповещения // Систем и обробки інформації. – 2014.– №. 2. – С. 276 — 281.

5. Холщевников В.В. Требования к техническим средствам и системам комплексного обеспечения безопасности, автоматизации и связи многофункциональных высотных зданий и комплексов. – Пособие для специалистов. М.: ВАНКБ, Университет комплексных систем безопасности и инженерного обеспечения, 2004.
6. МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.
7. Белосохов И. Р. К проблеме формирования продолжительности времени начала эвакуации людей при пожаре. // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (http://ipb.mos.ru/ttb) Выпуск № 2 (36) – апрель 2011 г.
8. Celik T. et al. Fire detection using statistical color model in video sequences // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 2007. – Т. 18. – №. 2. – С. 176 — 185.
9. Toreyin B. U. et al. Wavelet based real-time smoke detection in video // European Signal Processing Conference. – 2005. – С. 4 — 8.
10. Федоров В. Ю., Буцытнская Т. А. Математическая модель обнаружения пожара дымовыми точечными извещателями // интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» Вып. Мв. – 2012. – Т. 1.

ОСОБЕННОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДИРЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ДЛЯ ВВОДА ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ИНФОРМАЦИОННУЮ МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ[1]

Д.Е. Ушаков
Удмуртский государственный унирвеситет, г. Ижевск, Россия
e-mail: *sleepinthewater@gmail.com*

Для разрабатываемых и проектируемых системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) стоит множество условий и характеристик качественной работы, что порождает множество задач. Основной из таких задач является задача направленная на минимизацию времени эвакуации людей из объекта, согласно оценке пожарного риска в соответствии с «Методикой проведения расчетных величин пожарного риска в зданиях» [1]. Стоит отметить, что путь, через который проходит оптимальный путь может нести в себе дополнительные опасности: взрывы различного характера, изменение несущих конструкций здания, опасные животные или люди и многое другое. Возникает необходимость дополнения СОЭУ механизмами расчетов и анализа ограничений на пути эвакуации и методик ввода их для алгоритма над пространственной моделью здания [1].

Формирование алгоритмов исключения зон в пространственно-информационной модели здания требует классификации ограничения, которые можно вводить. Это позволит определить необходимый функционал для инструмента ввода, так же определить алгоритмы воздействия ограничений в одной части сетки здания на другие, с учетом характеристик конкретного ограничения, а так же сгруппировать их для быстрого и своевременного в интерфейсе приложения.

По характеру распространения:

1 стационарные (обвал конструкции, заблокированные дверные проёмы, заторы и др.);

2 мобильные (пожар, люди, газы, животные и т.д.);

По характеру изменения конструкции объекта:

1 не меняющие (газы, животные, заторы);

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

2 меняющие несущую конструкцию (обвалы, пожары, взрыв-чатка);

Можно определить два принципиально разных подхода к вводу ограничений в СОУЭ:

1 ввод актуальных ограничений с пульта или мобильного устройства;

2 установка датчиков различного характера, для автоматического ввода;

Установка датчиков — очень дорогой вариант, также многие ограничения сложно предупредить. Второй вариант подразумевает наличие видео камер на объекте, которые присутствуют почти везде, и мобильного приложения для ввода ограничений к текущей СОУЭ, но присутствует человеческий фактор.

Само приложение представляет собой отображение пространственно-информационной модели здания [2], где путем выбора комнаты на конкретном этаже можно добавить ограничение любого характера. После добавления система, приняв во внимание новые условия, рассчитает маршрут и отобразит его на устройстве и на сигнальных приборах внутри здания для эвакуации.

Необходимо отметить, что мобильное устройство с приложением ввода ограничений позволяет не только вводить актуальные данные, находясь как близко, так и за пределами объекта, но и наблюдать изменения расчетов СОУЭ и корректировать ограничения.

Наличие такого инструмента для ввода ограничений на расчетную модель в СОУЭ, позволяет производить директивное управление эвакуацией, формировать безопасные маршруты при эвакуации и своевременно оповещать участников.

Список литературы

1. Приказ МЧС России от 30.06.2009 №382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
2. Чирков Б.В. Пространственно - информационная модель здания // Всероссийская научно-практическая конференция «Инновации в науке технике и технологиях», сборник статей, Удмуртский университет, г. Ижевск, 2014.

Часть II

Пожарная безопасность

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА[1]

В.М. Колоджин, Б.В. Чирков
Удмуртскйи государственный университет, г. Ижевсе, Россия
e-mail: *kolodkin@rintd.ru, b.v.chirkov@gmail.com*

Расчеты по оценке пожарного риска проводятся в соответствии с методикой определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [1].

В соответствии с [1] здание отвечает требованиям пожарной безопасности, если:

$$Q_{\text{в}} <= Q_{\text{вн}}, \tag{9.1}$$

где $Q_{\text{вн}}$ — нормативное значение индивидуального пожарного риска;

$Q_{\text{вн}} = 0.000001$ в год;

$Q_{\text{в}}$ — расчетная величина индивидуального пожарного риска.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{\text{в}}$ рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{в}} = max\{Q_{\text{в, 1}}, \ldots, Q_{\text{в, i}}, \ldots, Q_{\text{в, N}}\}, \tag{9.2}$$

где $Q_{\text{в, i}}$ — расчетная величина пожарного риска для i-го сценария пожара,

N — количество рассмотренных сценариев пожара.

Сценарий пожара представляет собой вариант развития пожара с учетом принятого места возникновения и характера его развития. Сценарии пожара определяются на основе данных об объемно-планировочных решениях, о размещении горючей нагрузки и людей на объекте. При расчете рассматриваются сценарии пожара, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей. В качестве сценариев с наихудшими условиями пожара рассматриваются сценарии, характеризуемые наиболее затрудненными условиями эвакуации людей и (или) наиболее высокой динамикой нарастания ОФП, а именно пожары:

– в системах помещений, в которых из-за распространения ОФП возможно быстрое блокирование путей эвакуации (коридоров,

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

эвакуационных выходов и т.д.). При этом очаг пожара выбирается в помещении малого объема вблизи от одного из эвакуационных выходов, либо в помещении с большим количеством горючей нагрузки, характеризующейся высокой скоростью распространения пламени;

– в системах помещений, в которых из-за недостаточной пропускной способности путей эвакуации возможно возникновение продолжительных скоплений людских потоков.

Рассматриваются сценарии с блокированием каждого эвакуационного выхода с первых секунд пожара.

Сценарии пожара, не реализуемые при нормальном режиме эксплуатации объекта (теракты, поджоги, хранение горючей нагрузки, не предусмотренной назначением объекта и т.д.), не рассматриваются.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{\text{в, i}}$ для i-го сценария пожара рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{в, i}} = Q_{\text{п, i}} * (1 - K_{\text{ап, i}}) * P_{\text{пр, i}} * (1 - P_{\text{э, i}}) * (1 - K_{\text{пз, i}}), \qquad (9.3)$$

где $Q_{\text{п, i}}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года определена на основании статистических данных, приведенных в приложении № 1 к Методике [1];

$K_{\text{ап, i}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$P_{\text{пр, i}}$ – вероятность присутствия людей в здании, определяется из соотношения $P_{\text{пр, i}} = t_{\text{функц, i}}/24$, где $t_{\text{функц}}$ — время нахождения людей в здании в часах;

$P_{\text{э, i}}$ – вероятность эвакуации людей;

$K_{\text{пз, i}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Вероятность эвакуации $P_{\text{э}}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{э}} = \begin{cases} 0.999 * \frac{0.8 * t_{\text{бл}} - t_{\text{р}}}{t_{\text{нэ}}}, t_{\text{р}} < 0.8 * t_{\text{бл}} < t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин} \\ 0.999, t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}} < 0.8 * t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин} \\ 0.000, t_{\text{р}} \geq 0.8 * t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин} \end{cases} \qquad (9.4)$$

где $t_{\text{р}}$ – расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{\text{нэ}}$ – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин;

$t_{\text{бл}}$ – время от начала пожара до блокирования эвакуационных

путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

$t_{ск}$ – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение 0.5).

Расчетное время эвакуации людей $t_р$ из помещений и зданий определялось на основе моделирования движения людей до выхода наружу по имитационно-стохастической модели движения людских потоков [1].

Выбор способа определения расчетного времени эвакуации производится с учетом специфических особенностей объемно-планировочных решений здания, а также особенностей контингента (его однородности) людей, находящихся в нем.

Время начала эвакуации $t_{нэ}$ определено в соответствии с пунктом 1 [1].

Время блокирования путей эвакуации $t_{бл}$ вычисляется путем расчета времени достижения ОФП предельно допустимых значений на эвакуационных путях в различные моменты времени в соответствии с п. 3 «Интегральная математическая модель расчета газообмена в здании, при пожаре» приложения №6 к пункту 12 Методики [1].

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, $К_{п.з}$ рассчитывается по формуле:

$$К_{пз} = 1 - (1 - К_{обн} * К_{СОУЭ}) * (1 - К_{обн} * К_{пдз}), \qquad (9.5)$$

где $К_{обн}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$К_{СОУЭ}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$К_{пдз}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противодымной защиты, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Из условия (9.1) и формулы (9.3) следует, что

$$P_э = 1 - \frac{10^{-6}}{Q_п * (1 - К_{ап}) * P_{пр} * (1 - К_{пз})}, \qquad (9.6)$$

Для 4 корпуса ФГБОУ ВПО «УдГУ» значения величин, входящих в (9.6) и (9.5) равны:

$Q_{\text{п}}$ – согласно [1] имеет значение $4 * 10^{-2}$.

$\text{К}_{\text{ап}}$ – принимается равным нулю, т.к. здание не оборудовано системой автоматического пожаротушения.

$P_{\text{пр}} - t_{\text{функц}}/24$; $t_{\text{функц}} = 12.3$ ч., тогда $P_{\text{пр}} = 0.512$.

$\text{К}_{\text{обн}}$ – согласно [1] принимается равным $\text{К}_{\text{обн}} = 0.8$, т.к. здание оборудовано системой пожарной сигнализации, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

$\text{К}_{\text{СОУЭ}}$ – согласно [1] принимается равным $\text{К}_{\text{СОУЭ}} = 0.8$, т.к. здание оборудовано системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

$\text{К}_{\text{пдз}}$ – принимается равным нулю, т.к. здание не оборудовано системой противодымной защиты. $\text{К}_{\text{пз}}$ – по формуле (9.5) принимает значение $\text{К}_{\text{пз}} = 0.64$.

По формуле (9.6) $P_{\text{э}}$ принимает значение равное $P_{\text{э}} = 0.99962$. В этом случае

$$Q_{\text{в}} \leq 10^{-6},$$

Таким образом, для всех сценариев пожара, которые наиболее опасны для 4 корпуса ФГБОУ ВПО «УдГУ», необходимо найти условия, при которых время освобождения любого помещения – $t_{\text{эв}}$, мин., отвечает условию

$$t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}} \leq 0.8 * t_{\text{бл}}, \tag{9.7}$$

где $t_{\text{бл}}$ – время блокирования помещения.

Список литературы

1. «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». Приложение к Приказу МЧС РФ от 30.06.2009 г. №382 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 6.08.2009 №14486). Изменения в Методике в соответствии с приказом №749 от 12.12.2011 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 30.12.2011 №22871).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ МИНИМАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ЭВАКУАЦИИ[1]

В.М. Колоджин, Б.В. Чирков, В.К. Ваштиев, Д.В. Варламов, А.О. Степанов
Удмуртский государственный унирвеситет, г. Ижевск, Россия

Введение

На сегодняшний день существует множество моделей движения людских потоков в здании [1, 2]. Эти модели спроектированы так, чтобы максимально достоверно показать процессы, которые происходят с людскими потоками во время эвакуации, учитывая поведение агентов.

Для управления движением людских потоков во время эвакуации из здания при пожаре разработана модель — RINTD-Evac, которая не учитывает влияние поведенческих факторов и направлена на минимизацию времени эвакуации.

Модель движения людских потоков, предназначенная для управления эвакуацией — RINTD-Evac

Модель RINTD-Evac описывает людские потоки в здании, отвечающие условию минимальности времени освобождения здания людьми (по времени выхода последнего человека из здания).

Программный комплекс, реализующий модель эвакуации людей RINTD-Evac, функционирует с использованием предварительно заданной пространственно-информационной модели (RINTD-ПИМ) здания и с результатами моделирования динамики пожара в здании.

RINTD-ПИМ представляется в виде совокупности полигонов и связей между полигонами. Каждый полигон имеет набор характеристик в зависимости от его типа (внутренний дверной проем, эвакуационный выход, лестница, помещение), заданный при формировании модели здания.

Для моделирования движения людских потоков при управляемой эвакуации модель здания преобразуется в совокупность поэтажных сеток и совокупность сеток на переходах между этажами.

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

RINTD-Evac базируется на экспериментально установленной зависимости скорости перемещения людей от количества людей в ближайшем окружении [4].

Максимальная плотность людей принимается $D_{\max} = 5$ чел/м^2, так как при этом значении не происходит компрессионное сдавление людей.

Программный комплекс RINTD-Evac

Программный комплекс RINTD-Evac реализован на языке программирования java и состоит из трех модулей:

- графический интерфейс пользователя;
- моделирующая программа;
- интерфейс двухмерной визуализации результатов в режиме моделирования.

Графический интерфейс пользователя разработан с использованием графической библиотеки Java Swing. Запуск моделирования осуществляется через графический интерфейс пользователя. Моделирующая программа реализует алгоритм RINTD-Evac. Интерфейс визуализации результатов в режиме моделирования позволяет видеть процесс движения людских потоков в здании.

Здание для комплекса RINTD-Evac, представляется в формате RINTD-ПИМ. На выходе — документ, который содержит таблицу распределения плотностей людских потоков в каждом помещении в моменты времени с установленным шагом (таблица 10.1), время эвакуации и дополнительную информацию (плотность в каждом помещении при начальном распределении, количество людей в здании).

Таблица 10.1 — Респределение людей по помещениям по времени

№	Момент времени t, мин									
	0.0	0.24	0.48	0.62	0.96	1.2	1.44	1.68	1.92	2.14
1	0.0	1.02	0.61	0.65	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
143	0.0	8.86	17.97	13.53	7.73	6.96	0.08	0.0	0.0	0.0
145	0.0	1.08	1.78	1.82	1.73	1.42	0.29	0.0	0.0	0.0
166	0.0	8.6	24.33	39.52	40.38	28.8	27.26	18.77	7.48	0.0
205	0.0	8.68	25.97	23.91	24.51	19.05	12.02	7.71	2.45	0.0
368	20.0	15.37	15.37	15.37	15.37	10.55	0.0	0.0	0.0	0.0

605	0.0	27.74	35.63	35.87	35.71	35.71	23.56	9.33	0.0	0.0
607	0.0	4.49	4.55	6.17	7.08	5.56	2.88	1.82	0.0	0.0
609	0.0	31.35	45.48	30.49	18.33	2.97	0.0	0.0	0.0	0.0

Перед запуском программы необходимо в конфигурационном файле указать:

- путь к файлу, который хранит ПИМ здания;
- шаг, с которым строится сетка;
- использование распределения людей из ПИМ здания или количество людей;
- площадь горизонтальной проекции человека;
- максимальную допустимую плотность;
- временной интервал между расчетными итерациями;
- путь к файлу, в который будет записан результат;
- путь к директории, куда будут сохраняться снимки процесса эвакуации.

Файл конфигурации хранится в директории вместе с исполняемым файлом программы.

На данном этапе моделирование еще не запущено и имеется возможность задания начального распределения людей в здании путем выбора помещения и указания количества людей в нем или плотности человек на 1 м^2.

Так же в этом окне можно сделать поэтажные снимки ПИМ здания в формате PNG.

После завершения начальных приготовлений пользователь может запустить моделирование нажатием кнопки СТАРТ. После запуска программы появляется окно, где отображается поэтажно во вкладках ПИМ здания и данные моделирования. Данные моделирования отображаются в виде цветового градиента от желтого к красному, что соответствует изменению плотности от минимума до максимума.

Таким образом, разработана и реализована модель движения людских потоков в программном комплексе RINTD-Evac, предназначенная для управления эвакуацией.

Список литературы

1. Pathfinder [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/, свободный (дата обращения: 15.05.2015).
2. Korhonen T., Hostikka S. Fire dynamics simulator with evacuation: FDS+ Evac // Technical Reference and User's Guide. VTT Technical Research Centre of Finland. 2009.
3. QGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.qgis.org/ru/site/, свободный (дата обращения: 15.05.2015).
4. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей при пожарах // М.: Академия ГПС МЧС России. 2009.
5. Ахо А.В., Хопкрофт Д.Э., Ульман Д.Д. Структуры данных и алгоритмы. // Издательский дом Вильямс, 2000. стр. 193–197.

СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ (ПИМ) ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ РИСКА ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ДЕКЛАРАЦИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ[1]

М.Э. Галиуллин
Удмуртский государственный унирвеситет г. Ижевск, Россия
e-mail: *m.a.galiullin@gmail.com*

В статье рассматриваются вопросы, связанные с проектированием и реализацией структуры данных, хранящей всю необходимую информацию для расчета пожарного риска в здании. Дается описание разработанной пространственно-информационной модели здания, а также приводится порядок работы с программным инструментом, созданным для наполнения этой структуры информацией.

Ключевые слова: *пространственно-информационная модель здания, декларация пожарной безопасности, расчет пожарного риска, геоинформационные системы.*

Введение

Декларация пожарной безопасности – документ установленной формы (Приказа МЧС России № 91 от 24.02.2009 г. “Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности”), содержащий информацию о том, соответствует ли ваш объект нормативам по пожарной безопасности [1].

Документ состоит из трех частей:

1 Перечень федеральных законов о технических регламентах и нормативных документов по пожарной безопасности, выполнение которых обеспечивается на объекте защиты;

2 Оценка возможного ущерба имуществу третьих лиц от пожара;

3 Оценка пожарного риска, обеспеченного на объекте защиты.

Оценка пожарного риска заполняется на основании расчета. Данная часть обязательна для заполнения на производственных объектах, а также для объектов, на которых есть нарушения нормативных документов по пожарной безопасности. С другой стороны, если на объекте выполнен расчет риска, и расчетная

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

величина укладывается в установленные пределы, то становится необязательным выполнение на объекте перечня технических регламентов и нормативных документов (часть 1). Таким образом, вычисление величины пожарного риска зачастую становится необходимой частью заполнения декларации.

Расчет пожарного риска – не самая простая задача, несмотря на наличие документированных утвержденных методик. Самые сложные части при расчете – определение времени эвакуации людей из здания и времени блокирования помещений опасными факторами пожара. Эти величины, в большинстве случаев, вычисляются с помощью компьютерного моделирования процессов эвакуации людей и процессов горения помещений с использованием ряда физических и математических моделей разного уровня сложности. Расчет описанных процессов производится с использованием компьютерной пространственно-информационной модели здания (ПИМ), включающей в себя как точную геометрию самого строения, так и дополнительные параметры (в частности, количество людей и пожарная нагрузка в помещениях). Без наличия ПИМ объекта расчет величины риска будет представлять собой крайне сложную задачу.

Таким образом, для автоматизации расчета риска необходимо построить ПИМ здания - то есть спроектировать ее структуру, формат хранения, реализовать инструменты ввода информации и адаптировать программы моделирования эвакуации и пожара под созданную структуру ПИМ.

Требования к структуре ПИМ

Одна из математических моделей, используемых для программного моделирования процесса эвакуации людей и применяемой для расчета риска, основана на представлении геометрии здания в виде регулярной численной двухмерной сетки. Чтобы построить такую сетку, необходимо наличие поэтажных планов здания (с делением на помещения, проемы и переходы между уровнями здания). Для своих вычислений программная модель требует также знания дополнительных параметров, таких как количество людей в помещениях, ширину помещений, проемов, эвакуационных выходов и лестничных пролетов.

Для математических моделей, применяемых для вычисления времен блокирования помещений опасными факторами пожара (температура, дым, CO и т.п.), также необходимо наличие геометрии здания (для большинства моделей достаточно поэтажных планов) с указанием назначения каждого помещения или указанием величины пожарной нагрузки.

Таким образом, для задачи расчета риска ПИМ здания должна соответствовать определенным требованиям. ПИМ должна:

- содержать помещения;
- содержать проемы/переходы;
- содержать связи помещений через проемы/переходы;
- содержать связи между уровнями здания;
- иметь информацию для каждого помещения в отношении размеров, назначения помещения (величины пожарной нагрузки), начального распределения людей;
- должна легко трансформироваться в поэтажные двумерные регулярные сетки, необходимые для численного моделирования процессов эвакуации и пожара.

Поэтому, после детальной проработки различных вариантов, была предложена структура ПИМ здания на основе поэтажных слоев, содержащих элементы здания в формате представления двухмерной векторной графики (полигоны). Каждый элемент снабжен взаимными связями и дополнительными атрибутами.

Описание структуры BuildingJson

Структура ПИМ в нотации классов выглядит следующим образом:

```
class BuildingJson {

  String NameBuilding; //общее название здания
  AddressClass Address; //структура с адресными данными
  LevelClass[] Level; //массив этажей/уровней здания

  class AddressClass {
    String StreetAddress; //улица, дом
    String City; //город
    String AddInfo; //доп. информация
  }

  class LevelClass {
    String NameLevel; //название уровня(например, 3 этаж)
    double ZLevel; //высота уровня над землей, м
    BuildElementClass[] BuildElement; //массив помещений
                                      //на данном этаже
  }

  class BuildElementClass {
    String Name; //название помещения
```

```
    String Id; //UUID уникальный ID
    String Sign; //тип помещения (комната, дверь, и т п.)
    double SizeZ; //высота потолка
    double Width; //Ширина дверей и проемов
    int Type; //тип помещения по пожарной нагрузке
    int NumPeople; //число людей в помещении
    int SignScenario; //если > 0, то в помещении возгорание
    String Note; //доп. информация
    String[] Output; //ссылки (UUID) на связанные помещения
    double[][][] XY; //геометрия - [кольца][точки][0,1]
  }
}
```

Помещениями могут быть как комнаты с коридорами, так и двери, и лестничные клетки. Каждое помещение связано с другими: комната ↔ дверь ↔ коридор и т.п. Связь отражается в поле Output.

`BuildElementClass.Sing = { Room, Staircase, Outside, DoorWayOut, DoorWayInt, DoorWay } = { Помещение, Лестница, Нерасчетная область, Дверной проем(выход из здания), Дверной проем, Проем }`

`BuildElementClass.XY` — геометрия полигона помещения, т.е. массив колец(первое — внешнее кольцо, остальные внутренние). Каждое кольцо состоит из массива точек (x,y), причем последняя точка повторяет первую(замыкает). Каждая точка — массив из двух чисел x,y — [0,1]. Таким образом, `XY = [кольца][точки][0,1]`.

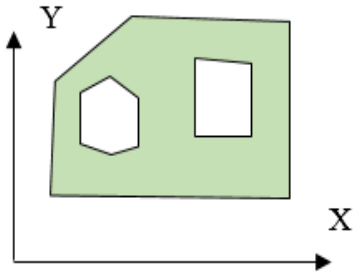

Рисунок 11.1 — Пример полигона, состоящего из трех колец. Внутренние кольца представляют собой непроходимые участки.

`BuildElementClass.Type` — характеристика элемента здания по пожарной нагрузке:

Type	**Code**
Жилые помещения гостиниц, общежитий и т. д.	1

Столовая, буфет, зал ресторана	2
Зал театра, кинотеатра, клуба, цирка	3
Гардероб	4
Хранилища библиотек, архивы	5
Музеи, выставки	6
Подсобные и бытовые помещения, лестничная клетка	7
Административные помещения, учебные классы школ, ВУЗов, кабинеты поликлиник	8
Магазины	9
Зал вокзала	10
Стоянки легковых автомобилей	11
Стоянки легковых автомобилей (с двухуровневым хранением)	12
Стадионы	13
Спортзалы	14
Торговый зал гипермаркета	15

В качестве формата хранения описанной структуры ПИМ здания был выбран формат JSON [5], часто используемый различными информационными системами для сериализации и хранения сложных разнородных структурированных данных. Плюсами данного формата являются хорошая читаемость (формат является текстовым, не бинарным) и наличие большого числа готовых программных модулей и библиотек для работы с ним. Название формата вошло как часть разработанной структуры ПИМ – BuildingJSON.

Пример части ПИМ здания, сохраненного в формате JSON:

```
{
    "NameBuilding": "4 corps UdSU",
    "Level": [
        {
            "NameLevel": "ground floor",
            "ZLevel": 0.0,
            "BuildElement": [
                {
                    "Name": "Exit (00 : 6ead) d97d<->",
                    "SizeZ": 2.0,
                    "Sign": "DoorWayOut",
                    "Width": 1.0,
                    "XY": [
                        [
                            [
                                -0.14281202818147243,
                                12.0529101723906
                            ],
```

```
                [
                    0.9200439769442212,
                    12.0529101723906
                ],
                [
                    0.9200439769442212,
                    11.0529101723906
                ],
                [
                    -0.14281202818147104,
                    11.0529101723906
                ],
                [
                    -0.14281202818147243,
                    12.0529101723906
                ]
            ]
        ],
        "Output": [
            "{496e4642-c94b-4b5d-b837-1133b11ed97d}"
        ],
        "Id": "{a29e1da1-decb-4889-a2f1-b61c60106ead}"
    },
    {

        "Name": "Staircase (00 : d97d)",
        "SignScenario": 0,
        "SizeZ": 2.5,
        "Sign": "Staircase",
        "XY": [
            [
                [
                    0.8057356717390949,
                    16.516667636558235
                ],
                [
                    3.7071756950255383,
                    16.516667636558235
                ],
                [
                    3.7071756950255406,
                    10.546393688874598
                ],
                [
                    0.8057356717390931,
                    10.546393688874602
                ],
                [
                    0.8057356717390949,
                    16.516667636558235
                ]
            ]
        ],
```

```
        "NumPeople": 0,
        "Output": [
            "{a29e1da1-decb-4889-a2f1-b61c60106ead}",
            "{5cd50739-f3af-4ebf-9744-0b7ffcd27875}"
        ],
        "Type": 7,
        "Id": "{496e4642-c94b-4b5d-b837-1133b11ed97d}"
    },
```


Создание инструмента ввода информации в ПИМ здания

В качестве платформы для создания инструмента ввода информации на основе рисунков поэтажных планов был предложен открытый и активно развивающийся ГИС-проект QGIS [3], позволяющий строить на своей основе собственные приложения или расширять свою функциональность через написание дополнительных программных модулей на языке Python.

Созданный программный модуль «Plan Creator» для QGIS позволяет поэтажно вводить геометрию и характеристики таких элементов здания, как помещения, проемы и лестничные клетки, а также сохранять введенную информацию здания в файле в формате JSON [5] (Рисунок 11.2).

Порядок работы с программой QGIS и дополнением «Plan Creator»

Введение Дополнение «Plan Creator» (называемое также модулем или плагином) расширяет функциональность популярной настольной ГИС-системы — QGIS. Модуль написан на языке Python [4].

Использование ГИС-системы для целей поэтажного ввода элементов здания обусловлено сходством подходов к решаемым задачам. Также как и ГИС-структуры, поэтажные планы здания представляют собой квази-2D информационные структуры, содержащие вполне определенный набор объектов, в данном случае – помещения, проемы и лестничные клетки. В терминах ГИС каждый тип объектов на определенном этаже здания представляет собой отдельный слой. Все слои в здании можно сгруппировать по этажам.

Модуль «Plan Creator» расширяет функционал QGIS, создавая группы этажей и слои элементов здания из шаблонов, имеющих предопределенные характеристики и дополнительные атрибуты для ввода информации. Также модуль умеет сохранять введенную информацию в виде описанной выше структуры ПИМ здания

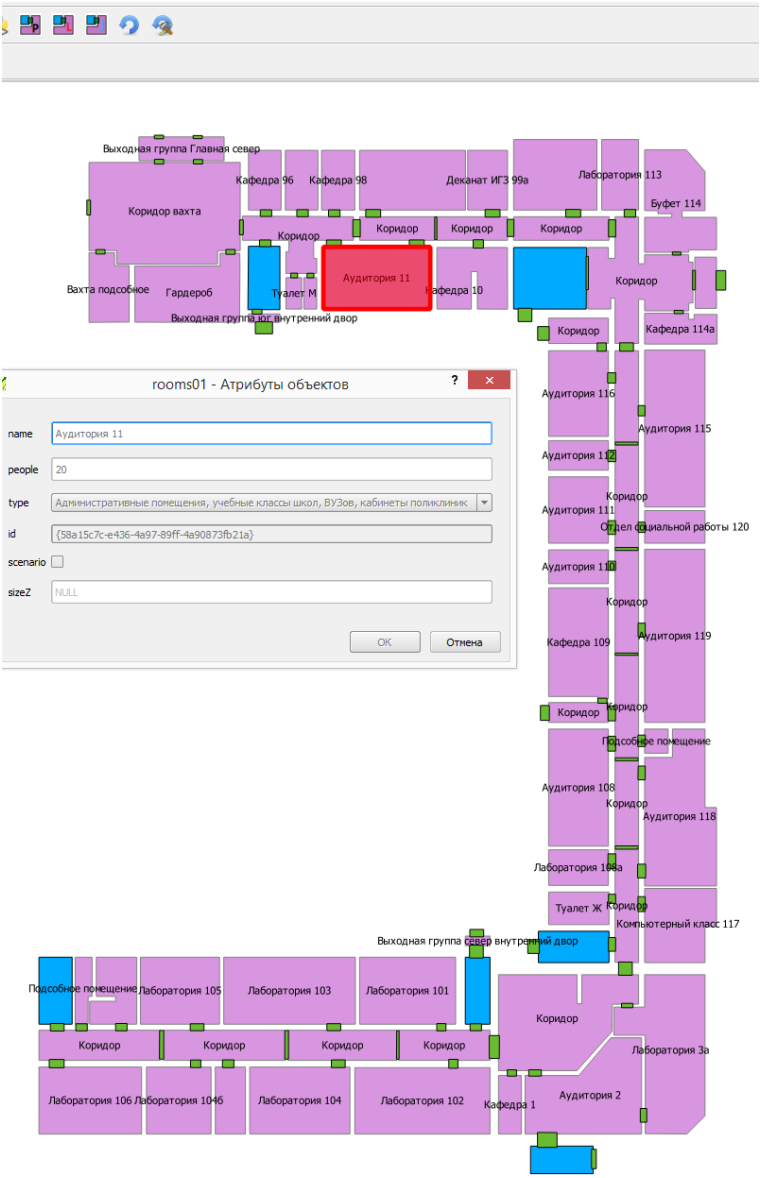

Рисунок 11.2 — Наполнение этажа ПИМ с помощью QGIS и дополнения “Plan Creator”.

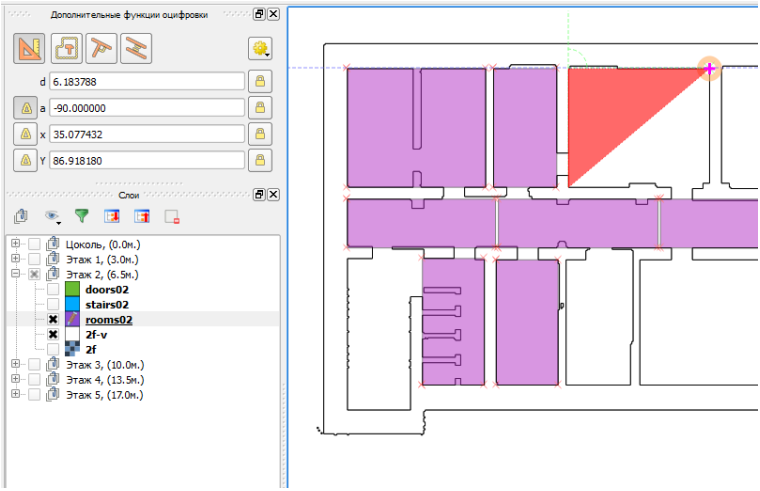

Рисунок 11.3 — Использование дополнительных инструментов при оцифровке этажа.

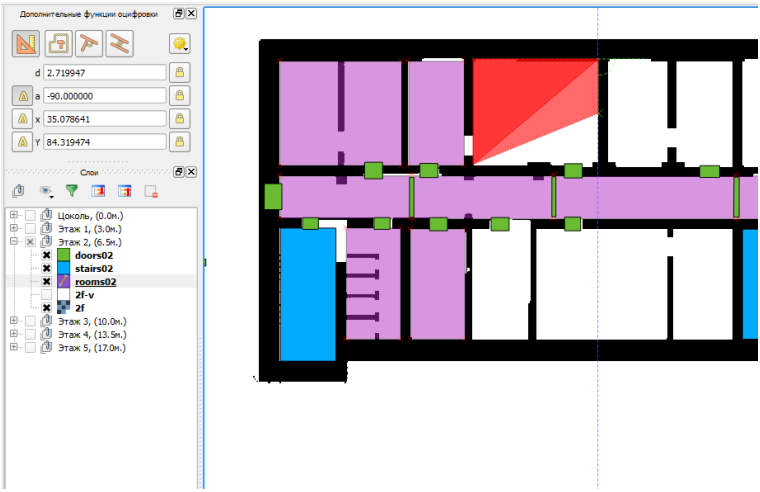

Рисунок 11.4 — Создание помещения в QGIS с привязкой к контурам, полученным на основе поэтажных планов здания.

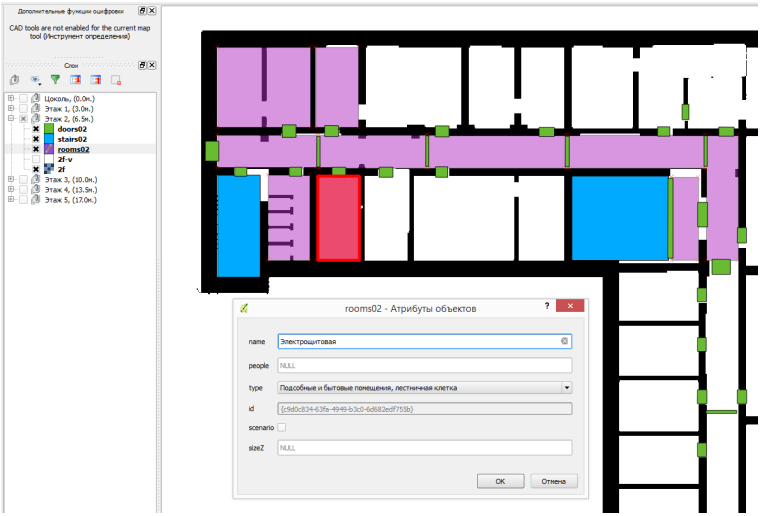

Рисунок 11.5 — Ввод и просмотр параметров помещений здания.

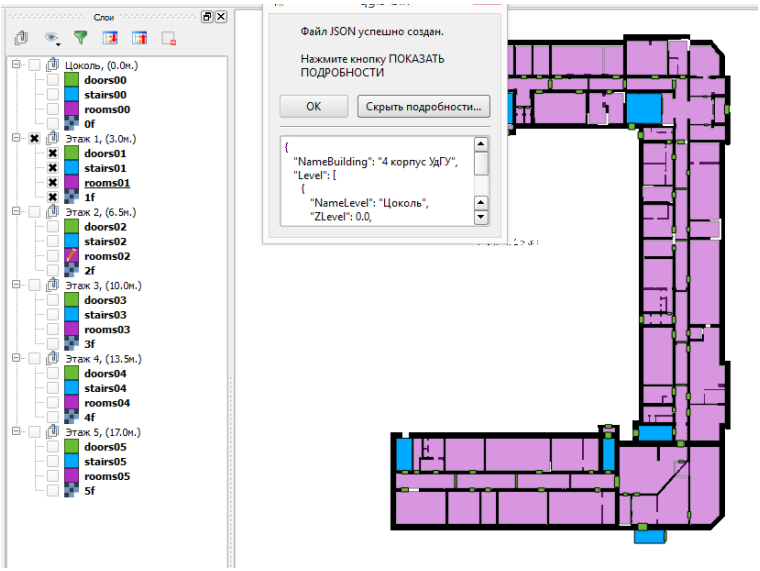

Рисунок 11.6 — Сохранение ПИМ здания в файле в формате JSON.

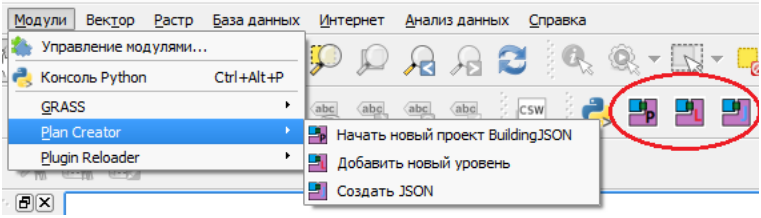

Рисунок 11.7 — Интерфейс программы с включенным модулем «Plan Creator».

- BuildingJSON. Пользовательский интерфейс расширен тремя дополнительными кнопками (пунктами меню) – *«Создать проект»*, *«Создать новый этаж»*, *«Выгрузить в JSON»*.

Все инструменты, имеющиеся в наличии в программе QGIS, также остаются доступными.

Установка модуля «Plan Creator» Модуль «Plan Creator» находится в свободном доступе на сайте http://rind.ru [2]. Для его работы необходим установленный программный комплекс QGIS версии 2.x (>=2.6). QGIS является свободным программным обеспечением, который можно загрузить с сайта http://qgis.org [3].

Для установки модуля необходимо скачать архив с сайта http://rintd.ru и распаковать содержащуюся в нем папку модуля в директорию пользователя `<пользователь>/.qgis2/python/plugins`. После распаковки необходимо запустить программу QGIS и включить плагин «Plan Creator», зайдя в меню *Модули* → *Управление Модулями*, и выбрав его среди списка неподключенных дополнений. После включения модуля в пользовательском интерфейсе должны появиться три дополнительные кнопки и соответствующие им пункты меню в разделе Модули (Рисунок 11.7).

Создание нового проекта в модуле «Plan Creator» Для начала работы с ПИМ нового здания необходимо создать проект BuildingJSON, выбрав соответствующий пункт меню. При создании следует выбрать директорию, где информация будет храниться, и указать несколько параметров, касающихся всего здания в целом – название, адрес, высотность этажей и т.п. После указания всех требуемых характеристик здания проект будет сохранен на диске. Проект BuildingJSON совместим с проектами QGIS, поэтому в дальнейшем его можно будет открыть любой версией QGIS, даже без установленного модуля «Plan Creator».

Создание нового этажа Для наполнения информацией очередного этажа сперва следует создать новый этаж, вызвав пункт меню или нажав кнопку «*Добавить новый уровень*». Данное действие создает новую группу для этажа в легенде QGIS, в которую копируются пустые шаблоны для трех слоев — `rooms, doors, stairs`, представляющих собой соответственно помещения, двери и лестничные клетки. Эти шаблоны содержат дополнительные атрибуты, которые потребуется заполнить при наполнении этажа объектами. Для различения слоев одного типа на разных этажах, к их названиям прибавляется номер уровня, например, — `rooms01`.

Поэтажный ввод элементов здания Для задачи оценки пожарного риска требуется задать в ПИМ реальные геометрические размеры и форму элементов здания. Для ввода элементов с правильным указанием размеров QGIS уже имеет в своем арсенале отличные инструменты.

Самый приемлемый способ в ГИС-системах для наполнения слоев элементами – это оцифровка печатных карт и спутниковых снимков методом обводки. В этом процессе, называемом также дигитайзинг, предполагается указание перекрестьем дигитайзера или компьютерной мышью отдельных точек или серии точек вдоль пути или внешней границы оцифровываемых объектов, нарисованных на карте.

Данный способ создания цифровых объектов отлично подходит также и для решаемой задачи — создания цифровых элементов здания на основе поэтажных чертежей, которые, как правило, присутствуют в имеющейся инженерной документации для любого эксплуатируемого здания.

Чтобы в цифровой модели сохранить размеры, присутствующие на чертежах зданий, необходимо проделать стандартную ГИС-операцию – привязку растров (пункт меню *Растр* → *Привязка растров*). При выполнении данной процедуры следует указать реальные координаты как минимум четырех точек на чертеже этажа. Также при запросе от системы координат рисунка и точек привязки, следует указать любую метрическую прямоугольную систему координат, например, World Mercator (EPSG:3395) [6]. Остальные вычисления сделает сам QGIS и добавит уже привязанный по координатам рисунок чертежа в качестве подложки в основной проект.

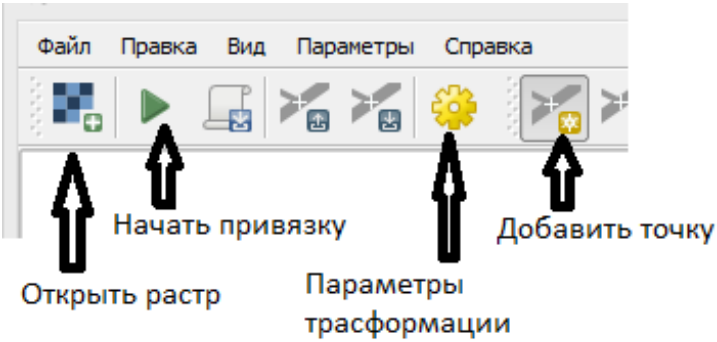

Рисунок 11.8 — Интерфейс модуля «Привязка растров».

Привязка растров Данный раздел содержит подробные инструкции по привязке растров в QGIS для пользователей, ранее не сталкивавшихся с подобной процедурой.

Смысл данной операции – в трансформации геометрии рисунка (сдвиг, поворот, растяжение и т.п.) с целью соответствия системы координат рисунка общепроектной.

При вызове функции привязки растров появится новое окно с отдельным пользовательским интерфейсом (Рисунок 11.8).

В первую очередь необходимо открыть рисунок чертежа («*Открыть растр*»). Выберите расположение файла рисунка на диске. И, поскольку обычный рисунок не содержит в себе никакой информации о системе координат, вам следует ее указать при соответствующем запросе программы (Рисунок 11.9).

Выберите любую метрическую прямоугольную систему координат, например, World Mercator (EPSG:3395) [6] – для этого в строке поиска наберите — 3395. Открытый рисунок (растр) отобразится в поле окна.

Теперь следует указать мышью на рисунке как минимум четыре точки привязки и ввести их координаты в декартовой (прямоугольной) системе координат (кнопка – «*Добавить точку*»). Точки привязки лучше выбирать из соображений максимального их разброса по рисунку. Ось X слева направо, ось Y – снизу вверх (Рисунок 11.10).

Теперь можно начать привязку рисунка (меню «*Начать привязку*»). При этом система запросит несколько параметров, знание которых необходимо для правильного выполнения данной

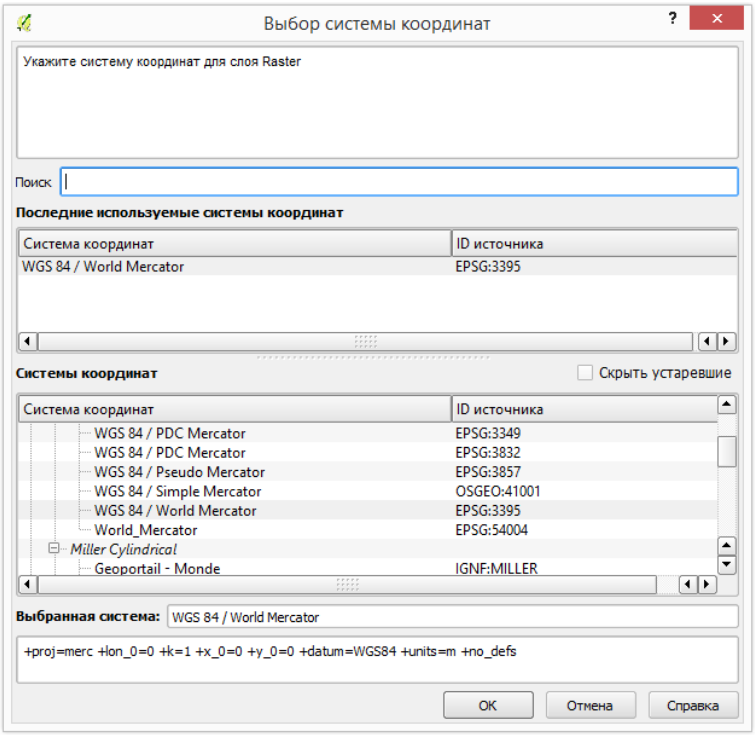

Рисунок 11.9 — Выбор системы координат рисунка этажа.

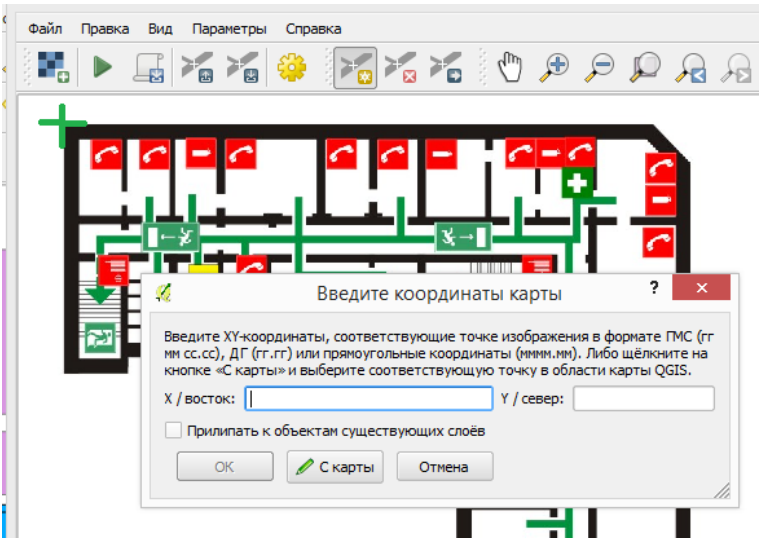

Рисунок 11.10 — Ввод координат точек привязкиа.

процедуры (Рисунок 11.11):

- Тип трансформации. Выберите `Линейная`, если вы уверены, что рисунок чертежа строго ориентирован вдоль прямоугольных осей координат. В остальных случаях выбирайте тип `Полиномиальная 1`;
- Целевой растр. Выберите папку, в которой будет сохранен трансформированный рисунок. Здесь следует указать папку, в которой хранится QGIS-проект вашего здания;
- Не забудьте поставить галочку «*Открыть результат в QGIS*», чтобы привязанный рисунок отобразился в списке слоев QGIS-проекта.

Остальные параметры можно не указывать.

Появившийся в списке слоев привязанный рисунок следует перетащить вниз группы слоев соответствующего этажа для того, чтобы он не закрывал видимость остальных элементов (Рисунок 11.12).

Оцифровка элементов здания Теперь, имея в проекте чертеж в виде привязанной подложки, можно начинать оцифровывать

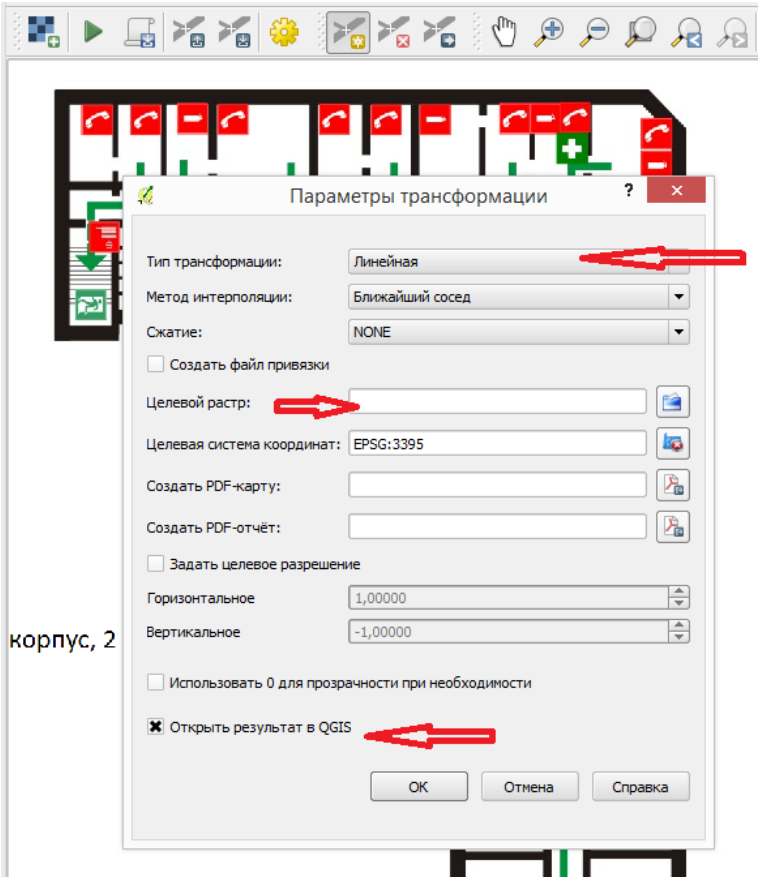

Рисунок 11.11 — Параметры трансформации.

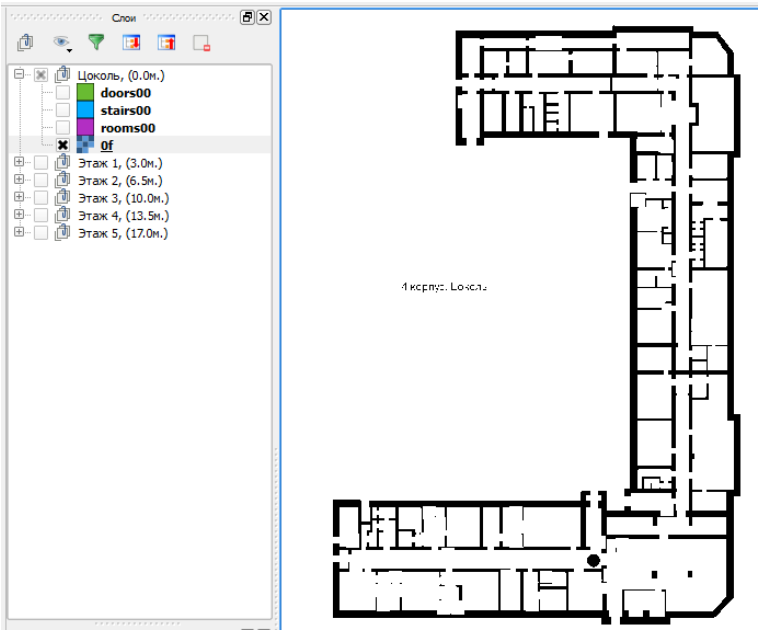

Рисунок 11.12 — Привязанный чертеж этажа в QGIS.

объекты – обводить контуры помещений, дверных проемов и лестничных клеток. Программный комплекс QGIS, начиная с версии 2.8, обзавелся мощными инструментами для решения данной задачи – модулем «Дополнительные функции оцифровки» - которые помогают выдержать точные линейные и угловые размеры объектов. Эти инструменты также позволяют «прилипать» курсору мыши к уже введенным объектам во всех слоях, что может значительно ускорить ввод объектов.

Если привязанный рисунок чертежа по своей структуре строго двухцветный, то можно провести его автоматическую трансформацию в векторный слой («векторизовать») и использовать функции «прилипания» курсора мыши для ускорения ввода информации (Рисунок 11.3, Рисунок 11.4).

После завершения оцифровки очередного элемента этажа – помещения, лестничной клетки или дверного проема – программа предложит ввести дополнительные атрибуты для этого элемента. Для помещения это будут: название, количество людей, тип по пожарной нагрузке, высота помещения (в случае если она отличается от высоты всего этажа). Для лестничного пролета

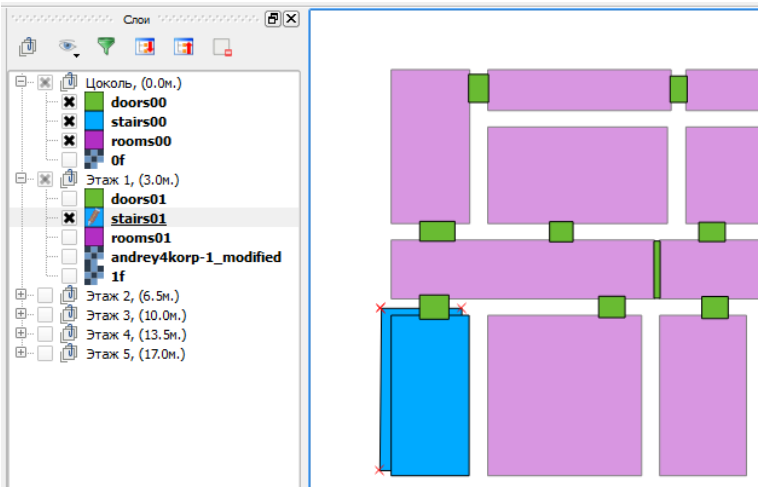

Рисунок 11.13 — Правило наложения дверных проемов и лестничных клеток.

можно ввести его высоту. Для дверного проема можно указать ширину двери, а также выставить признак того, что данный проем не является дверью, а лишь представляет собой место соединения двух соседних помещений (галочка «`doorway`») (Рисунок 11.5).

Разработанная структура ПИМ здания BuildingJSON содержит в себе топологию связей отдельных помещений через дверные проемы. Чтобы такую топологию в конечном итоге создать, необходимо придерживаться следующего правила при вводе элементов дверных проемов – их геометрия должна накладываться (с частичным перекрытием) на элементы помещений, которые данный дверной проем соединяет (Рисунок 11.13). Как следствие, слой, содержащий двери, удобнее вводить уже после наполнения слоев с помещениями и лестничными клетками на текущем этаже. Дверные проемы, которые пересекаются лишь с одним помещением, будут считаться выходами из здания при расчете топологии.

Также для создания топологической связи между этажами посредством лестничных пролетов следует выполнять правило – если лестничные клетки на соседних этажах связаны между собой лестничными пролетами, то ввод геометрий этих лестничных клеток необходимо производить с взаимным наложением (хотя бы частичным перекрытием, рисунок 11.13).

Для сохранения введенной информации на диске следует сохранить каждый открытый для редактирования слой, или

все слои разом, соответствующими командами в меню QGIS. Также следует сохранить файл проекта (пункт меню «*Сохранить проект*»).

Экспорт информации в формате JSON Вся вводимая информация в системе QGIS + «Plan Creator» сохраняется также, как и любой другой проект QGIS. Сохранив директорию, содержащую файл проекта и все файлы со слоями элементов этажей, можно в любой момент вернуться к редактированию проекта ПИМ здания.

Но для того, чтобы использовать введенную информацию для оценки пожарного риска, требуется выгрузить QGIS-проект в описанную выше структуру BuildingJSON. Для этого следует выбрать соответствующий пункт меню модуля «Plan Creator» («*создать JSON*», Рисунок 11.7). При выполнении данной процедуры происходит пересчет топологии элементов здания, что может занять значительное время (порядка нескольких минут) в случае большого здания, содержащего много помещений. После вычисления топологии система выдаст запрос на выбор места и названия файла для сохранения информации. Поскольку формат JSON является текстовым, вы можете здесь же скопировать всю информацию через буфер обмена (рисунок 11.6).

Краткий порядок работы с Plan Creator

1 Установите программу QGIS version 2.8 или 2.6 (qgis.org).

2 Распакуйте содержимое архива PlanCreator.zip в папку `~/.qgis2/python/plugins`.

3 Запустите программу QGIS.

4 Включите модуль PlanCreator в меню «*Модули* → *Управление модулями*».

5 Меню модуля содержит три пункта (и соответствующих кнопки):

Начать новый проект BuildingJson;

Добавить новый уровень;

Создать выходной файл, содержащий структуру здания, в формате BuildingJson.

6 Чтобы начать вводить новое здание, выберите «*Начать новый проект BuildingJson*». Выберите папку и имя нового проекта. Введите запрашиваемые параметры.

7 Добавьте новый уровень с помощью «*Добавить новый уровень*». Выберите номер уровня(0-99) и введите запрашиваемые параметры уровня. В списке слоев QGIS появятся три слоя - помещения(`roomsXX`), лестничные площадки(`stairsXX`) и двери(`doorsXX`). XX - номер уровня. **Важно!:** Под уровнем понимается не обязательно этаж целиком - могут быть промежуточные уровни, например, балкон и т.п. Если уровень является промежуточным(межэтажным) и покрывает лишь частично горизонтальную площадь здания - тем не менее, не забудьте ввести на этом уровне все лестничные площадки, чтобы обеспечить связность лестничных пролетов.

8 С помощью инструмента «*Привязка растров*» выберите метрическую декартову систему координат (например, World Mercator, EPSG:3395) и привяжите рисунок чертежа данного уровня по четырем точкам (тип трансформации — Полиномальная1). В списке слоев QGIS опустите слой рисунка вниз - иначе под рисунком не будет видно уже введенных объектов в других слоях.

9 Начните вводить объекты помещений (комнаты, коридоры) - полигоны в слое `roomsXX`. Постарайтесь не пересекать между собой отдельные помещения. Вводите при запросе необходимые параметры помещений – название (`name`) - обязательное поле, тип помещения по пожарной нагрузке (`type`), число людей в помещении (`people`), и возможность возникновения пожара в данном помещении (`scenario`). Если высота какого-либо вводимого помещения отличается от общеэтажной, то можете здесь задать высоту данного помещения. Сохраните слой (достаточно переключить возможность редактирования слоя).

10 После ввода всех помещений начните вводить объекты лестничных площадок - полигоны в слое `stairsXX`. Дополнительной информации здесь вводить не надо. Но здесь вы также при необходимости можете указать высоту площадки, если она отличается от общеэтажной. Сохраните слой.

11 После ввода помещений и лестничных площадок начните вводить дверные проемы - полигоны в слое `doorsXX`. Для

того, чтобы дверь топологически соединила два помещения, геометрия ее полигона должна накладываться на оба помещения. Дополнительно можно указать ширину двери, если она отличается от общеэтажной. Также можно указать, что вводимый дверной проем является просто ПРОЕМОМ (без сужения прохода) между соседними помещениями. В этом случае поставьте галочку «`doorWay`». Сохраните слой.

12 Повторите шаги 6 — 10 для всех уровней здания.

13 Сохраните все несохраненные слои, а также проект.

14 Выгрузите геометрию здания в формате BuildingJSON с помощью кнопки или пункта меню «*Создать JSON*». Немного подождите, пока обработается геометрия. Выберите местоположение сохраняемого файла. После сохранения файла вам будет предложено дополнительно просмотреть и скопировать в буфер обмена полученный результат.

15 Рекомендации.

Периодически сохраняйте слои и проект. QGIS - молодой проект и иногда ведет себя нестабильно.

Если решите удалить какой-либо уровень - удаляйте каждый слой отдельно - `roomsXX`, `stairsXX`, `doorsXX`, - а не целую группу разом. Затем уже удалите пустую группу. Сохраните проект.

Названия всех помещений должны быть заполнены. Иначе будет невозможна выгрузка в BuildingJson. Проверьте в таблице атрибутов.

Всегда можно внести изменения в проект, слои, в таблицу атрибутов слоя. И повторно выгрузить в BuildingJson.

Не пересекайте дверь с более чем двумя другими помещениями или лестничными клетками.

Заключение

Таким образом, используя описанные выше открытые инструменты – программный комплекс QGIS и дополнение к нему «Plan Creator» – можно создать и наполнить пространственно-информационную модель здания в объеме, достаточном для дальнейшего проведения расчетов по оценке пожарного риска с использованием программ моделирования эвакуации и пожара.

Список литературы

1. Система ГАРАНТ: «Приказ МЧС РФ от 24 февраля 2009 г. N 91 «Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности» (с изменениями и дополнениями)» - http://base.garant.ru/12166055/.
2. Сайт «Безопасность в Техносфере» - http://rintd.ru
3. Проект ГИС-системы QGIS – http://qgis.org
4. Описание языка программирования Python – http://python.org
5. Описание стандарта JSON - http://json.org/json-ru.html
6. База данных мировых систем координат EPSG - http://www.epsg.org/

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ВО ВРЕМЕНИ[1]

В.К. Ваштиев, А.О. Степанов
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *vashtiev@ya.ru, heimusharper@gmail.com*

Проведен ряд экспериментов в программном комплексе FDS с целью изучить динамику изменения концентрации опасных факторов пожара во времени. Подобраны аппроксиманты данных зависимостей с целью дальнейшего применения их при разработке систем идентификации пожара в помещении. Результаты представлены в виде таблиц.

Ключевые слова: пожарные извещатели, FDS, опасные факторы пожара, зависимость от времени, развитие пожара

Введение

Достоверным способом обнаружения пожара на ранней стадии является контроль химического состава воздуха, резко изменяющегося из-за термического разложения (пиролиза) перегретых и начинающих тлеть горючих материалов [1]. Причем чем раньше произойдет идентификация опасных факторов пожара (ОФП), тем болше шанс ликвидации пожара на ранней стадии и уменьшения ущерба от него. Одновременно с ранней идентификацией пожара немаловажная проблема – ложное срабатывание извещателя. Достигнуть данных результатов возможно при тщательном исследовании динамики изменения опасных факторов пожара во времени при различных условиях.

При разработке пожарного извещателя встанет вопрос о том, как будут изменяться количества ОФП во времени. Для этого была исследована динамика изменения концентрации ОФП в программном комплексе Fire dynamics simulator (FDS) [2]. В результате были получены многочлены вида 12.1:

$$T(t) = A * x^3 + B * x^2 + C * x + D, \tag{12.1}$$

Данный многочлен характеризует динамику изменения опасных факторов пожара в зависимости от времени. К опасным факторам относятся температура, дым, газы (CO, CO_2, HCl).

Исходные данные эксперимента

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

Стены и потолок тестируемых помещений выполнены из бетона. Пол – дерево с ΔH = 20305 кДж/кг, массовая доля топлива, преобразующегося в частицы дыма 0.02, плотность 422 кг/м3, удельная теплопроводность 2.9 Вт/мК, удельная теплоемкость 1.7 кДж/кг, коэффициент черноты 1, предэкспонента A = 1*1020 1/сек., энергия активации E = 1.6*105, величина израсходованной энергии на единицу массы преобразованного реагента 1150. Источник огня – горелка со скорость выделения тепла 100 КВт/м2. Массовая доля кислорода в окружающей среде 0.23. Горелка располагается в одном из нижних углов комнаты. В противоположном углу вверху находится вентиляция. Высота помещения 3 метра.

Динамика изменения температуры по времени

Один из экспериментов проводился в помещении с размерами 8x8 метров. Полученные результаты представлены на графике (рисунок 12.1), где *Sigma* – диапазон отклонений, M – усредненное значение отклонений в каждый момент времени, $F(x)$ – аппроксиманта кривой M.

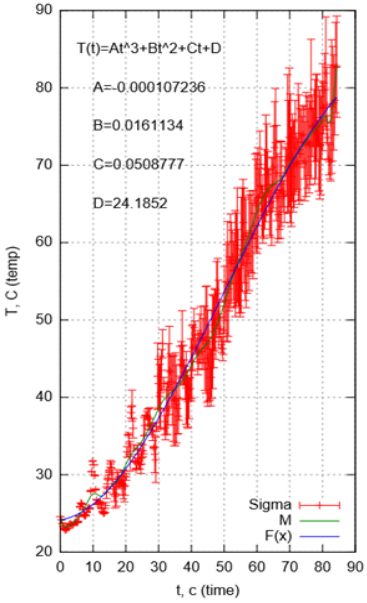

Рисунок 12.1 — График зависимости температуры от времени.

После проведения ряда экспериментов с моделированием процесса горения, получатся кривые (рисунок. 12.2), характеризующие изменение температуры во времени в зависимости от размера помещения. В таблице 12.1 представлены коэффициенты аппроксимант полученные в результате моделирования процесса горения.

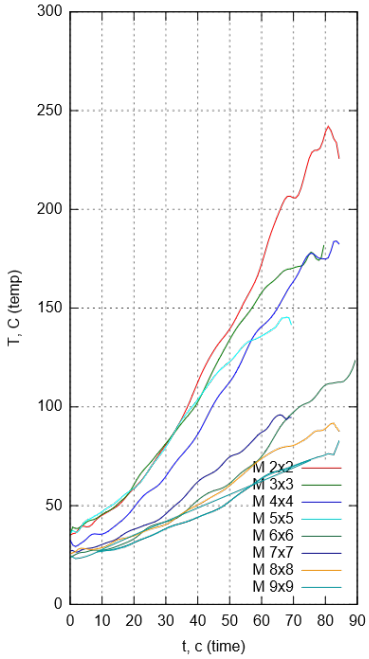

Рисунок 12.2 — График зависимостей температуры от времени в различных помещениях.

Таблица 12.1 — Зависимость коэффициентов аппроксимант функции динамики изменения температуры от размера помещения.

№ п/п	Размеры помещения, м	A	B	C	D
1	2x2	-0.000374597	0.0640643	-0.34969	37.5847
2	3x3	-0.000404869	0.0646478	-0.951419	35.4901
3	4x4	-0.000373627	0.0602859	-0.683296	33.6345

4	5x5	-0.000606207	0.0628551	0.0627433	38.8216
5	6x6	-0.0000941286	0.0211779	-0.0663235	26.3881
6	7x7	-0.000217307	0.0304933	-0.0562843	27.6036
7	8x8	-0.000149864	0.0233897	-0.166516	27.4833
8	9x9	-0.000107236	0.0161134	0.0508777	24.1852

Динамика изменения дыма во времени

Аналогичные исследования проводились с динамикой изменения количества дыма во времени в программном комплексе FDS. В результате были получены многочлены вида (12.1). На рисунке 12.3 изображен график зависимости изменения концентрации дыма от времени полученное в одном из экспериментов. Значения коэффициентов аппроксимант представлены в таблице 12.2

Таблица 12.2 — Значения коэффициентов аппроксиманты функции динамики изменения концентрации дыма во времени от размера помещения.

№ п/п	Размеры помещения, м	A	B	C	D
1	1x1	-0.0000227388	0.00800338	-0.22379	4.59536
2	2x2	$-6.33926 * 10^{-6}$	0.00539941	-0.308894	5.36137
3	3x3	$-9.12469 * 10^{-6}$	0.00644829	-0.438868	6.5126
4	4x4	$-3.0397 * 10^{-6}$	0.00516869	-0.409335	6.20502
5	5x5	$4.85997 * 10^{-6}$	0.00274972	-0.265412	4.92096
6	6x6	$8.98275 * 10^{-6}$	0.0012423	-0.147545	2.83406

Динамика изменения газов по времени

На рисунках 12.4 – 12.5 изображены графики зависимости изменения концентрации дыма от времени полученное в одном из экспериментов. Значения коэффициентов аппроксимант представлены в таблицах 12.3 и 12.4.

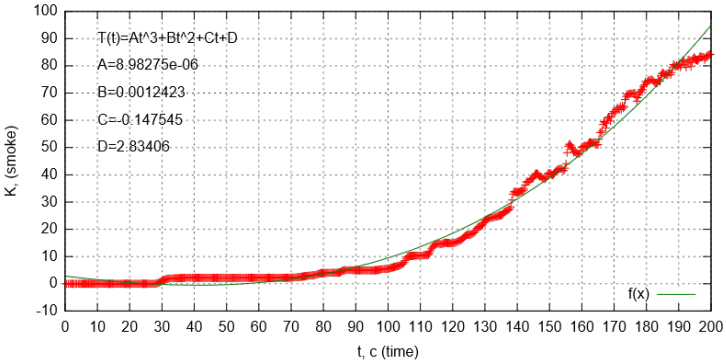

Рисунок 12.3 — График зависимости количества дыма от времени в помещении размером 6x6 метров.

Таблица 12.3 — Значения коэффициентов аппроксиманты функции динамики изменения концентрации CO_2 во времени от размера помещения.

№ п/п	Размеры помещения, м	A	B	C	D
1	1x1	$-3.93921 * 10^{-9}$	$2.5323 * 10^{-6}$	-0.000251	0.005637
2	2x2	$-7.0953 * 10^{-9}$	$3.42779 * 10^{-6}$	-0.000311	0.005861
3	3x3	$-4.4957 * 10^{-9}$	$2.21523 * 10^{-6}$	-0.000195	0.003714
4	4x4	$-3.48394 * 10^{-9}$	$1.94602 * 10^{-6}$	-0.003805	0.003805
5	5x5	$-3.39039 * 10^{-9}$	$1.72462 * 10^{-6}$	-0.000156	0.003072
6	6x6	$-2.92233 * 10^{-9}$	$1.44776 * 10^{-6}$	-0.000126	0.002465
7	7x7	$-1.89626 * 10^{-9}$	$1.05203 * 10^{-6}$	-0.000106	0.002357

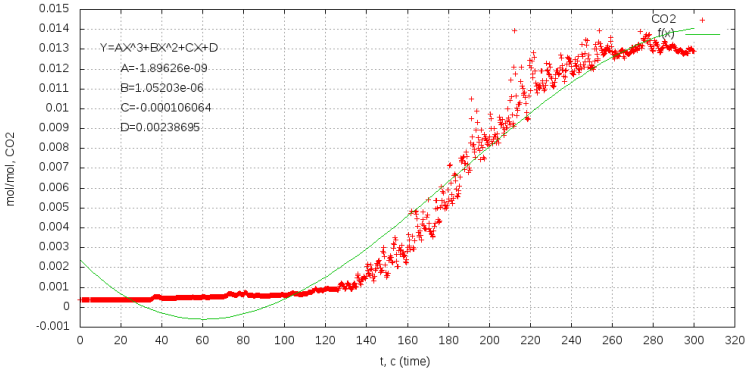

Рисунок 12.4 — График зависимости количества CO_2 от времени в помещении размером 7x7 метров.

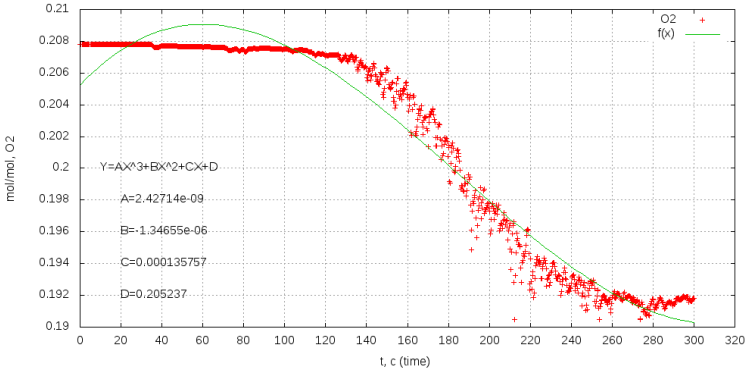

Рисунок 12.5 — График зависимости количества O_2 от времени в помещении размером 7x7 метров.

Таблица 12.4 — Значения коэффициентов аппроксиманты функции динамики изменения концентрации O2 во времени от размера помещения.

№ п/п	Размеры помещения, м	A	B	C	D
1	1x1	$5.04204 * 10^{-9}$	$-3.24125 * 10^{-6}$	0.000321	0.201078
2	2x2	$9.08171 * 10^{-9}$	$-4.38743 * 10^{-6}$	0.000397	0.200791
3	3x3	$5.75432 * 10^{-9}$	$-2.83541 * 10^{-6}$	0.000249	0.203538
4	4x4	$4.45931 * 10^{-9}$	$-2.49083 * 10^{-6}$	0.00024	0.203422
5	5x5	$4.33957 * 10^{-9}$	$-2.20744 * 10^{-6}$	0.0002	0.20436
6	6x6	$3.74047 * 10^{-9}$	$-1.85308 * 10^{-6}$	0.000161	0.205137
7	7x7	$2.42714 * 10^{-9}$	$-1.34655 * 10^{-6}$	0.000136	0.205237

Вывод

Таким образом, зная аппросиксаманту функции зависимости ОФП от температуры, можно строить математическую модель алгоритма принятия решения об аварийной ситуации пожарным извещателем. При учете поведения ОФП во времени можно с высокой точностью идентифицировать пожар в помещении с низкой вероятностью ложного срабатывания.

Список литературы

1. Федоров А.В. и др. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара // М.: Академия ГПС МЧС России. – 2009.
2. McGrattan K. et al. Fire dynamics simulator, user's guide // National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, and VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland,. – 2013. – Т. 36. – С. 40.
3. Буцынская Т.А., Землянухин М.В. Метод повышения эффективности теплового пожарного извещателя // Материалы тринадцатой научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ-2004. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2004. – С. 225-229.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ В ПОМЕЩЕНИ[1]

В.О. Анашин
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *anashin2111@gmail.com*

Человеку обнаружить и потушить небольшое возгорание в помещении не составит никакого труда. А как же быть, когда произошло возгорание, а человека нет поблизости? На помощь приходят автоматические и роботизированные системы пожаротушения. Этим системам обнаружить пожар достаточно просто, при помощи датчиков: дыма, температуры, инфракрасного диапазона(ИК-датчики) и другие. Еще проще его затушить, заполнив все помещение тушащим веществом. Такой метод эффективен при горении достаточно большой поверхности. В большинстве случаев пожар начинается с небольшого очага возгорания, который легче ликвидировать локально. Для этого системе пожаротушения необходимы координаты возгорания.

Наиболее распространен алгоритм и устройства поиска координат в системах, основанных на использовании лафетных стволов

В помещении располагаются адресные извещатели пламени, каждый из которых контролирует определенную зону в пространстве. При срабатывании одного из извещателей формируется сигнал для действий пожарного робота. На рисунке 1 изображен поиск координат очага возгорания. Поиск координат происходит с использованием минимум двух роботов, оборудованных ИК извещателями пламени. Один робот ищет пожар в горизонтальном направлении, а другой в вертикальном. Так система находит координаты пожара в трехмерных координатах. [1]

Определение координат пожара в данном методе производится в несколько «шагов». И на сканирование зоны возгорания может уйти достаточно длительное время.

«Метод оптической решетки»

Данный метод можно представить в виде декартовой системы координат, на осях которой с определенным интервалом расположе-

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

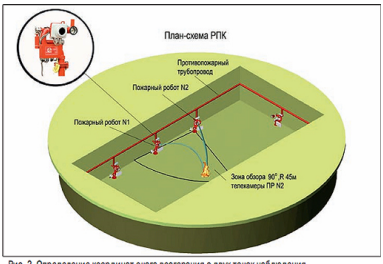

Рисунок 13.1 — Определение координат очага возгорания с двух точек наблюдения роботизированной установки пожаротушения, состоящей из двух пожарных роботов.

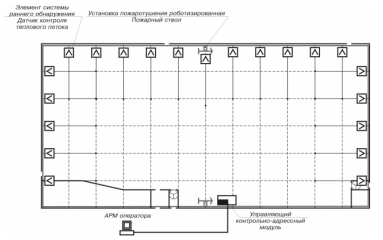

Рисунок 13.2 — Пример схемы размещения оборудования.

ны ИК датчики и задаются их координаты. Зону действия датчика можно представить в виде луча, при пересечении этих лучей создается сетка. При срабатывании как минимум по датчику с каждой стороны, можно определить координаты возгорания. [2]

На рисунке 2 представлена схема размещения датчиков. Данная система довольно дорогостоящая. Один такой извещатель стоит порядка 3000 рублей и дороже. Точность определения координат возгорания напрямую зависит от того, с каким интервалом будут расставлены датчики. К примеру, в помещении 6x3 м расставим датчики через каждые 0.5 м. Для этого требуется 21 датчик, и их стоимость составит порядка 63000 рублей.

Предлагаемый метод

Предлагаемая система состоит из системы ИК датчиков. Датчик представляет собой одну восьмую часть сферы, в которой расположенный 5 фотоэлементов. При помощи одного датчика можно разбить защищаемую зону на 5 частей: зона 1, зона 2, зона 3, зона

4, зона 5. Каждую зону можно представить в виде сегмента сферы. При использовании нескольких датчиков, происходит условное разделение помещения на множество маленьких частей. Определение координат происходит минимум при взаимодействии трех датчиков. При помощи программы информация с датчиков обрабатывается и выделяются координаты возгорания в трехмерном пространстве.

При срабатывании у датчика №1 зоны 1, а у датчика №2 зоны 3, пожар находится в пространстве, где эти зоны пересекаются. Данная система действует быстрее, чем аналог, рассмотренный выше, так как системе не приходиться сканировать отдельную зону, а сразу выделять часть помещения, в которой произошло возгорание. Разбиение защищаемой зоны на 5 частей с помощью одного датчика поможет не загромождать помещение и экономить финансы.

Список литературы

1. Роботы для пожаротушения. Эффективное определение и ликвидация очага возгорания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.secuteck.ru/articles2/OPS/roboty-dlya-pozharotusheniya-effektivnoe-opredelenie-i-likvidatsiya-ochaga-vozgoraniya, свободный (дата обращения: 13.05.2015).
2. Р.В. Горностаев, П.А. Осавелюк, А.А. Мельник. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС. Применение новых технологий пожаротушения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V4/5.pdf, свободный (дата обращения: 13.05.2015)

Часть III
Промышленная безопасность

РАЗРАБОТКА ПАСПОРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ СКЛАДОВ ХЛОРА СТАНЦИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ

А.П. Кузнецов
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *akuznetsov08@gmail.com*

Введение системы паспортизации безопасности опасных объектов предусмотрено решением совместного заседания Совета Безопасности Российской Федерации и президиума Государственного совета Российской Федерации «О мерах по обеспечению защищенности критически важных для национальной безопасности объектов инфраструктуры и населения страны от угроз техногенного, природного характера и террористических проявлений» (протокол от 13 ноября 2003 г. № 4).

Паспорт безопасности опасного объекта разрабатывается для решения следующих задач:

1 определения показателей степени риска чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) для персонала опасного объекта и проживающего вблизи населения;

2 определения возможности возникновения ЧС на опасном объекте;

3 оценки возможных последствий ЧС на опасном объекте;

4 оценки возможного воздействия ЧС, возникших на соседних опасных объектах;

5 оценки состояния работ по предупреждению ЧС и готовности к ликвидации ЧС на опасном объекте;

6 разработки мероприятий по снижению риска и смягчения последствий ЧС на опасном объекте.

Стратегия анализа безопасности предполагает следующие этапы исследований:

1 Выбор концепции и критериев безопасности. В настоящее время в России принята концепция приемлемого риска, в соответствии с которой функционирование объекта не должно приводить к превышению характеристик риска (индивидуальный риск, коллективный риск) определенных значений.

2 Сбор информации об опасном объекте и качественный анализ опасностей с целью выявления угроз для населения и персонала.

3 Количественный анализ угроз с целью выявления совокупности значимых для населения и персонала угроз.

4 Выявление систем безопасности, предотвращающих аварии или ослабляющих их последствия.

5 Вероятностный анализ безопасности.

6 Прогнозирование последствий возможных аварий.

7 Оценка и анализ рисков. В зависимости от величины риска возможны варианты развития событий:

8 прекращение функционирования предприятия;

9 определение и принятие мер, направленных на снижение рисков до приемлемого уровня, без остановки функционирования предприятия;

10 принятие каких-либо мер по снижению рисков не является обязательным

В соответствии с требованиями Приказа Министерства РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий № 506 от 4 ноября 2004 г. [1] Паспорт безопасности разрабатывается для решения следующих задач:

1 Определения показателей степени риска ЧС для персонала опасного объекта и проживающего вблизи населения;

2 Определения возможности возникновения ЧС на опасном объекте;

3 Оценки возможных последствий ЧС на опасном объекте;

4 Оценки возможного воздействия ЧС, возникших на соседних опасных объектах;

5 Оценки состояния работ по предупреждению ЧС и готовности к ликвидации ЧС на опасном объекте;

6 Разработки мероприятий по снижению риска и смягчению последствий ЧС на опасном объекте.

Основными задачами оценки риска аварий на опасных производственных объектах являются представление лицам, принимающим решения:

1 объективной информации о состоянии промышленной безопасности объекта;

2 сведений о наиболее опасных, «слабых» местах с точки зрения безопасности;

3 обоснованных рекомендаций по уменьшению риска.

Станции водоподготовки предназначены для снабжения города Ижевска питьевой водой. Опасным веществом на этих предприятиях является хлор, используемый для обеззараживания воды. Воздействие хлора на людей: При концентрации в воздухе 45 мг/м^3 хлор вызывает раздражение гортани, при концентрации 90 мг/м^3 хлор вызывает кашель, концентрация хлора $>$ 3000 мг/м^3 — смертельна при нескольких вдохах. Хлор поражает легочную ткань и вызывает отек легких; при воздействии на кожу вызывает острые дерматиты. При этом хлор не горюч, но поддерживает горение многих органических веществ. Скипидар и порошки металлов в атмосфере хлора самовозгораются при комнатной температуре [2]. Таким образом основным видом воздействия на людей будет токсическое поражение.

Выбор критериев безопасности основывался на том, что Человек, как элемент экосистемы, признается наиболее чувствительным (критическим) ее элементом. Это установлено экспериментально для случаев токсических воздействий (об этом, например, свидетельствуют коэффициенты видовой выносливости при воздействии токсикантов, – он самый маленький среди животных у собак — 1.44 и у человека – 0,57). Поэтому в качестве цели при разработке критериев безопасности эксплуатации опасного объекта может быть выбрано сохранение здоровья людей как при нормальном функционировании, так и при производственных авариях, связанных с ошибками персонала, отказами оборудования, техногенными и природными воздействиями на объект. При таком подходе в качестве критериев безопасности рассматриваются санитарно-гигиенические показатели, характеризующие опасность воздействий и основанные на концепции приемлемого риска для человека (как критического элемента биоты).

Пороговое значение интенсивности опасного воздействия, как правило, задается при вероятности летального исхода 50%. Оно определяет размер опасной зоны, нахождение в которой в момент аварии может повлечь гибель большей части людей.

Другим значением интенсивности опасного воздействия является порог, который соответствует выживанию людей после аварии, т.е. обратимому воздействию (не исключаются излечимые заболевания даже в острой форме). Он определяет размер опасной зоны, нахождение в которой в момент аварии не грозит гибелью людей, хотя и может привести к длительной утрате их трудоспособности.

Наконец, третьим значением интенсивности воздействия является безопасный уровень, который соответствует отсутствию изменений состояния здоровья людей. Он определяет размер зоны, нахождение вне которой не представляет опасности для людей.

Концепция приемлемого риска опирается на представления, что человек является наиболее чувствительным элементом биоты. Концепция состоит в следующем:

люди в разных странах интуитивно приемлют те виды практической деятельности, где риск гибели отдельных лиц из населения не превышает пренебрежимо низкого значения порядка 10^{-5} 1/год. Такой риск находится на уровне 0.1% от величины естественного риска смерти для населения. Предполагается, что этот риск не будет превышен как при нормальных условиях эксплуатации объекта, так и при проектных авариях для отдельных лиц из населения и для персонала, работающего вне зоны промышленной площадки объекта;

Персонал промышленных предприятий приемлет те виды производственной деятельности, где индивидуальный риск гибели находится в диапазоне от 10^{-2} до 10^{-5} 1/год. Приемлемый средний уровень риска гибели в процессе производственной деятельности в промышленно развитых странах равен $2,5 \cdot 10^{-4}$ 1/год. Предполагается, что этот средний уровень риска не будет превышен для персонала, работающего на объекте, как при нормальных условиях его эксплуатации, так и при проектных авариях.

Социальный риск, который является интегральным усредненным риском гибели людей при всех возможных авариях, считается приемлемым, если не превышает 10^{-3} чел/год, а если воздействию подвергаются детские учреждения или/и пансионаты, — не превышает 10^{-4} чел/год. Он определяется как сумма произведений числа возможных жертв, т.е. летальных мгновенных или вследствие заболеваний исходов и значимых наследственных отклонений, при отдельных авариях на их вероятные частоты. Отметим, что в России нет предельных значений уровня риска, которые были бы приняты на законодательном уровне. Предельные значения индивидуального риска, значения которых, рекомендуются для России даются

экспертным сообществом, в частности Научным обществом анализа риска в декларации общества анализа риска [3].

Количественная оценка частоты возможных аварий, отказов оборудования рассчитана исходя из обобщенных среднестатистических данных частот отказов (разгерметизации, разрушения) оборудования и соответствующих им приближенных выбросов опасных веществ согласно [4]. Прогноз масштабов заражения на случай выбросов сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) или аварийно химически опасных веществ (АХОВ) в окружающую среду при авариях (разрушениях) на химически опасном объекте выполнен в соответствии с [5].

Количественные характеристики выброса АХОВ для расчета масштабов заражения определяются по их эквивалентным значениям.

Эквивалентное количество Q_1 (т) вещества в первичном облаке определяется по формуле:

$$Q_1 = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \tag{14.1}$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ;

K_3 – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого АХОВ;

K_5 – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы; для инверсии принимается равным 1, для изотермии 0.23, для конвекции 0.08;

K_1 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (приложение 3 РД 52.04.253-90);

Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Эквивалентное количество Q_2 (т) вещества во вторичном облаке определяется по формуле:

$$Q_2 = (1 - K_1)\, K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot d}, \tag{14.2}$$

где K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (приложение 3 РД 52.04.253-90);

K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра (приложение 4 РД 52.04.253-90);

K_6 – коэффициент, зависящий от времени N, прошедшего после начала аварии; значение коэффициента K_6 определяется после расчета продолжительности T (ч) испарения вещества; $K_6 = 0,8N$, при $N < 7$; $K_6 = 0,8T$, при $N \geq T$; при $T < 1$ ч K_6 принимается

для 1 ч;

d – плотность АХОВ, (приложение 3 РД 52.04.253-90), т/куб.м.;

h – толщина слоя АХОВ, м.

Расчет глубины зоны заражения первичным (вторичным) облаком АХОВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте ведется с использованием приложений 2 и 5 РД 52.04.253-90. В приложении 2 РД 52.04.253-90 приведены максимальные значения глубины зоны заражения первичным (Γ_1) или вторичным (Γ_2) облаком АХОВ, определяемые в зависимости от эквивалентного количества вещества и скорости ветра. Полная глубина зоны заражения Γ (км), обусловленной воздействием первичного и вторичного облака АХОВ, определяется: $\Gamma = \Gamma' + 0,5\Gamma''$, где Γ' - наибольший, Γ'' - наименьший из размеров Γ_1 и Γ_2. Полученное значение сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс Γ_n, определяемым по формуле:

$$\Gamma_n = N \cdot v, \tag{14.3}$$

где N – время от начала аварии, ч;

v – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, (приложение 5 РД 52.04.253-90), км/ч.

За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений.

Площадь зоны возможного заражения АХОВ определяется по формуле:

$$S_B = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi, \tag{14.4}$$

где S_B – площадь зоны возможного заражения АХОВ, (кв. км.);

Γ – глубина зоны заражения, км;

φ – угловые размеры зоны возможного заражения, (таблица 1 РД 52.04.253-90).

Площадь зоны фактического заражения S_Φ (кв. км) рассчитывается по формуле:

$$S_\Phi = K_8 \cdot \Gamma_2 \cdot N^{0,2}, \tag{14.5}$$

где K_8 – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, принимается равным: 0,081 при инверсии; 0,133 при изотермии; 0,235 при конвекции;

N – время, прошедшее после начала аварии, ч.

Время подхода облака АХОВ к заданному объекту зависит от скорости переноса облака воздушным потоком и определяется по формуле:

$$t = \frac{x}{v}, \tag{14.6}$$

где x – расстояние от источника заражения до заданного объекта, км;

v – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, (приложение 5 РД 52.04.253-90), км/ч.

Продолжительность поражающего действия АХОВ определяется временем его испарения с площади разлива.

Время испарения Т (ч) АХОВ с площади разлива определяется по формуле:

$$T = h \cdot d/(K_2 \cdot K_4 \cdot K_7), \tag{14.7}$$

где h – толщина слоя АХОВ, м;

d – плотность АХОВ, (приложение 3 РД 52.04.253-90), т/куб. м.;

K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (приложение 3 РД 52.04.253-90);

K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра (приложение 4 РД 52.04.253-90);

K_7 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (приложение 3 РД 52.04.253-90).

Для оценки возможного ущерба используется методика [6]. Данные методические рекомендации устанавливают общие положения и порядок количественной оценки экономического ущерба от аварий на опасных производственных объектах, подконтрольных Госгортехнадзору России.

Риск аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией оборудования, определялся с учетом РД 03-418-01 [7]

Аварии на складах хлора в контейнерах развиваются, как правило, по-следующей общей схеме: разгерметизация или разрушение контейнера, ресивера, трубопровода - выброс хлора - образование - распространение облака хлора в помещении и на открытой площадке - интоксикация людей, находящихся в помещении склада хлора и на открытой площадке.

Рассмотрены следующие наиболее типичные сценарии аварий, классифицированные по условиям выброса хлора:

Сценарий С1. Разрушение контейнера с жидким хлором. При

возникновении этой аварийной ситуации в окружающую среду может быть выброшено 0,85 т. хлора. Процесс выброса хлор-газа при разрушении контейнера может быть представлен в виде двух последовательных стадий: мгновенного испарения хлора и кипения образующейся при выбросе «захоложенной» лужи хлора. Мгновенное испарение хлора характеризуется быстрым (в течение нескольких секунд) переходом в газообразное состояние до 20%, т.е. до 200 кг жидкого хлора (при начальной температуре хлора в контейнере 250°C). Оставшаяся часть жидкого хлора, охлажденная до температуры его кипения при атмосферном давлении, будет кипеть вследствие теплопритока от поверхности контакта. Удельная производительность этого источника выброса газообразного хлора оценивается как 1,7 г/с*км. м. [8]. Таким образом, скорость выхода газообразного хлора за счет этого процесса при свободном разливе хлора из контейнера составит около 180 г/с. Вероятность реализации сценария — $1,5 \cdot 10^{-5}$

Сценарий С2. Отрыв вентиля контейнера, сообщающегося с жидким хлором. В этой аварийной ситуации количество образующегося газообразного хлора G складывается из двух составляющих: G1 и G1:

G1 – количество мгновенно испаряющегося хлора (за счет накопленной в нем теплоты перегрева, зависящей от температуры хлора в сосуде при 250°C). Эта величина составляет около 20% от выбрасываемого жидкого хлора т.е. 1,25 кг/с. В перерасчете на газообразный хлор G =1500 куб. м/час.

G2 – количество газообразного хлора, образующегося в результате разлива жидкого хлора. При свободном разливе оно составляет 180 г/с Вероятность реализации сценария — $1,0 \cdot 10^{-4}$

Сценарий С3. Отрыв вентиля контейнера (d=15 мм), сообщающегося с газообразным хлором. В этой аварийной ситуации количество хлора выбрасываемого в окружающую среду составляет — 200 кг. Вероятность реализации сценария — $1,0 \cdot 10^{-4}$

Сценарий С4. Разгерметизация корпуса контейнера в результате коррозии. Вероятность реализации сценария — $4,4 \cdot 10^{-4}$

Сценарий С5. Разгерметизация запорной арматуры или мест ее соеди-нения с корпусом контейнера.

В этих аварийных ситуациях утечка хлора будет происходить через отверстие с эквивалентным диаметром 0.3-2 мм. Производительность источника аварийного выброса хлора в наиболее неблагоприятном варианте, т.е. при утечке жидкого хлора, при температуре окружающей среды 20-250°C не будет превышать 400 кг/час или около 130 куб. м. хлора/час в пересчете на газообразный хлор.

Вероятность реализации сценария — $1,0 \cdot 10^{-3}$

В качестве основы для оценка риска возникновения аварийных ситуаций, сопровождающихся выбросами хлора, были использованы данные по вероятностям, полученные Институтом техники безопасности в химической промышленности (г.Северодонецк, СССР), в результате статистической обработки данных об авариях при производстве, транспортировке, хранении и применении хлора как у нас в стране, так и за рубежом. Указанные данные были собраны Научно-исследовательским и проектным институтом хлорной промышленности, Научно-производственным объединением «Синтез» и Госгортехнадзором РФ.

При разработке паспорта безопасности расчет параметров токсических нагрузок на персонал объекта (при возможных авариях на транспорте при перевозке химически опасных веществ) проводился в соответствии с [5]. Параметрами токсических нагрузок на человека являются предельно допустимая концентрация опасного вещества в воздухе, а также его пороговая (PCt_{50}) и смертельная (LCt_{50}) токсодоза, равные для хлора 0,6 и 6,0 мг/л*мин.

В качестве вероятностного критерия токсического поражения людей используется пробит-функция Pr, которая определяется из выражения:

$$\mathrm{Pr} = a + b \ln\left(C^n t\right), \tag{14.8}$$

где C – концентрация АХОВ в данной точке пространства, ppm;

T – время экспозиции, мин.;

a, b, n – константы.

Для различных токсичных и вредных веществ пробит-функции имеют различные константы, определяемые в результате медико-биологических исследований и приведены в [9].

Вероятность поражения оценивается с помощью функции нормального распределения:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\mathrm{Pr}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \tag{14.9}$$

где Pr – значение пробит-функции.

По методике [5] границы области заражения определяются уровнем пороговой токсодозы.

При параметрах пробит-фунции — $\mathrm{Pr} = -0.89 + 0.92 \ln\left(PCt_{50}\right)$ и времени воздействия 0.9 часа вероятность поражения человека составит $7.75 \cdot 10^{-5}$ 1/год. Умножая вероятность гибели на

вероятность реализации сценария и суммируя по всем сценария получим индивидуальный риск – $1.283 \cdot 10^{-7}$ 1/год. Число людей, попавших в зону заражения находится как произведение площади заражения и плотности населения (для Ижевска – 2042.83 чел/кв. км. [10]).

По методике [5] структура пораженного населения представляется как 35% тяжелых и смертельных поражений, 340% средней тяже-сти, 25% - легко пострадавшие. Предполагалось, что персонал обеспечен средствами защиты на 100%, а население на 0%. Умножая число пострадавших на вероятность гибели одного человека и суммирую по всем сценариям находим коллективный риск – $1.047 \cdot 10^{-4}$ 1/год.

Анализ полученных в настоящем разделе данных позволяет заключить, что аварийные ситуации по сценариям С1 и С2 являются наиболее опасными с точки зрения их последствий.

Риск аварий по сценариям С3, С5 можно признать приемлемым.

На складах хлора станций водоподготовки МУП г. Ижевска «Ижводоканал».аварийная ситуация по сценарию С1 может произойти в следующих случаях:

- в результате падения контейнера с жидким хлором во время проведения погрузочно-разгрузочных работ вследствие того, что механизмы подъема груза (контейнера) и изменения вылета стрелы грузоподъемного крана не оборудованы двумя тормозами, действующими независимо друг от друга (требование правил ПБ 09-322-99, п.8.6);

- в результате съезда автомобиля с контейнерами в кювет при их транспортировке и последующем падении контейнера из кузова автомобиля;

- по причине отсутствия жесткого крепления контейнеров в ячейках кузова автомобиля; съезд автомобиля в кювет может иметь место при невнимательности водителя или его профессиональной непригодности, устанавливаемой при проведении соответствующего тестирования, которое в настоящее время на предприятии не проводится;

- при переполнении контейнера на заводе поставщике хлора, а также вследствие отсутствия входного весового контроля поступающих на склад контейнеров с жидким хлором.

Аварийная ситуация по сценарию С2 может произойти при падении контейнера во время проведения операций по разгрузке-погрузке контейнеров и их транспортировки по причинам,

указанным выше в сценарии С1. Отрыв вентиля контейнера может произойти также вследствие коррозии при попадании воды из эжекторов в хлоропроводы и контейнеры.

Результаты проведенного обследования позволяют заключить, что в соответствии с требованиями нормативных документов для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации хлораторной необходима реконструкция ряда производственных участков. Эта работа должна выполняться планомерно на базе комплексной программы по управлению риском, в которую следует включить мероприятия по реализации предложений, представленных ниже:

Программа управления риском может быть реализована на предприятии в соответствии с требованиями стандарта ИСО 14001.

В программе необходимо предусмотреть следующее:

Разработать и реализовать на хлорных объектах проекты систем поглощения аварийных выбросов хлора в санитарных колоннах.

Для обеспечения надежного контроля и регулирования расхода хлора, подаваемого на обеззараживание воды, и предотвращения попадания воды в хлорные коммуникации в технологических схемах хлорирования воды необходимо использовать вакуумные хлораторы, обеспечивающие надежную автоматическую отсечку подачи хлора в случае прекращения подачи питающей воды на эжектор (т.е. при повышении давления вакуумных коммуникациях до атмосферного

Разработать график постепенной замены запорной арматуры, установленной на хлорных коммуникациях, на арматуру, рекомендуемую Госгортехнадзором России.

Для осуществления непрерывного дистанционного контроля веса хлора в контейнере (баллоне) при отборе из него Cl_2 необходимо заменить рычажные весы на тензометрические, разработанные ТОО «Тензоизмеритель», имеющие разрешение Госгортехнадзора на применение на хлорных объектах.

Для оперативной локализации аварий оснастить персонал хлораторной герметичными изолирующими костюмами, предназначенными для защиты от 100-процентного газообразного хлора и локального облива жидким хлором.

Для исключения заезда автомобиля за ограничительную черту и повреждения контейнеров, хранящихся на складе хлора, необходимо установить в помещении склада колесоотбойные выступы.

Оснастить автомобили для перевозки контейнеров специальными устройствами, обеспечивающими жесткое крепление контейне-

ров в кузове автомобиля и их неизменное положение при транспортировке.

Ввести для персонала предприятия, непосредственно связанного с эксплуатацией хлораторных, перевозкой контейнеров с хлором, психологическое тестирование на профессиональную пригодность по методикам, утвержденным Госгортехнадзором России.

Реализация мероприятий, позволит снизить риск аварий с наиболее тяжелыми последствиями до приемлемого уровня и, таким образом, повысить безопасность эксплуатации рассматриваемого промышленного объекта и уровень его противоаварийной устойчивости в соответствии с требованиями промышленной безопасности, отраженными в соответствующих нормативных документах, действующих в России.

Список литературы

1. Приказ Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 4.11.2004 г. № 506 «Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта».
2. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей / Под общ. Ред. Н. В. Лазарева. 7-е изд., перераб. и доп. Л.: Изд-во «Химия», 1997. Т. 3.
3. Об установлении предельно допусти ого уровня риска: Декларация Российского научного общества анализа риска/ Проблемы анализа риска. 2006. Т. 3, № 2. С. 162—168.
4. Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта (РД 03-357-00).
5. РД 52.04.253-90 Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте (Утверждена Госгидрометом СССР 13.03.90 г. и ГО СССР 24.03.90 г.
6. РД 03-496-02, (утвержденные постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 № 63), «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах».
7. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов».
8. СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

9. Пряников В. И. Техника безопасности в химической промышленности. М.: Химия, 1989.282 с.
10. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2014 года. Федеральная служба государственной статистики (Росстат), М. 2014.

ОНЛАЙН СЕРВИС ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ

А.В. Радикова
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *anna.radikova.ar@gmail.com*

Ежедневно в мире происходят множество техногенных аварий, влекущие за собой как материальные, так и людские потери. Совершенствование современных технологий не исключает вероятность возникновения аварий на опасных объектах. Регулирование деятельности опасного производственного объекта, в большинстве странах, происходит за счет принуждения организаций к прогнозированию последствий неблагоприятных событий. Это происходит через разработку технических документов, таких как: декларация промышленной безопасности, паспорт безопасности опасного производственного объекта, декларация пожарной безопасности и др. Все эти документы подразумевают собой всесторонний анализ риска на опасном объекте с определением ущерба для каждой аварийной ситуации. В связи с этим необходимо проводить прогноз возможных аварий на потенциально опасном объекте, учитывая процесс производства и используемые опасные вещества [1].

Под прогнозированием последствий следует понимать - расчет зон поражения и степени разрушения в этих зонах, а также определение индивидуальных и коллективных рисков для персонала объекта и населения, проживающего на прилегающей к объекту территории. Для прогнозирования последствий аварий используются сертифицированные методики. Однако, в связи с большим набором методик, стандартов и ГОСТов по моделям аварийных ситуаций, встает вопрос о соизмеримости расчетов, сделанных по разным методикам.

Оптимальное решение данной проблемы является создания единого инструментария по расчету рисков на опасных объектах. Данный инструментарий должен обладать следующими характеристиками:

- общедоступность ресурса;
- общепонятный интерфейс;
- кроссплатформенность;
- единая база математических моделей.

Наиболее оптимальным удовлетворением данных условий является — онлайн сервис. В настоящее время данный подход активно развивается на электронном ресурсе «Безопасность в техносфере» [2].

В состав онлайн сервиса «Безопасность в техносфере» входит модули по расчету основных математических моделей в области прогнозирования техногенных рисков. На сегодня реализованы программные модули такие как:

- расчёт последствий взрыва конденсированного взрывчатого вещества;
- расчёт последствий взрыва топливной воздушной смеси;
- расчёт последствий пожара пролива;
- расчёт последствий химической аварии;
- расчёт пожарного риска в здании;
- инструмент построения диаграмм социально риска;
- инструмент построения деревьев событий.

Данный ресурс поддерживается специалистами в области промышленной безопасности и продолжает развиваться. На данном этапе ведется работа над улучшением интерфейса пользователя путем создания системы личного кабинета. Так же идет работа над расширением существующего функционала путем добавления расчетных модулей и интеграцией расчетных данных зон разрушения авариями с картографическими сервисами, такими как: Google Maps, OpenStreetMap, Yandex Maps и др. [3].

Список литературы

1. Колодкин В.М. Количественная оценка пожарного риска общественных зданий территориального образования / В.М. Колодкин, О.А. Морозов, Д.В. Варламов // Проблемы анализа риска. – 2011. – № 3(8). – С. 50—56.
2. Безопасность в техносфере [электронный ресурс]. — Режим доступа: http://rintd.ru/, свободный (21.05.2015).
3. Колодкин В.М., Варламов Д.В., Яценко А.А. Современные вычислительные и информационные технологии в обеспечении безопасности. Проблемы анализа риска, том 10, № 5, 2013, с.28—37.

ПОЖАРНЫЙ РИСК СКЛАДА БАЛЛОНОВ СО СЖИЖЕННЫМ УГЛЕВОДОРОДНЫМ ГАЗОМ

В.Р.Кутузов, Е.Ю.Колесников
Поволжский государственный технологический университет
г. Йошкар-Ола, Россия
e-mail: *vovankutuzov@mail.ru, e.konik@list.ru*

Перспективным способом управления аварийной (пожарной) безопасностью является анализ и оценка аварийного (пожарного) риска. Полная оценка риска заключается в количественном оценивании обоих его компонент: а) вероятности события аварии; б) величины обусловленного ею ущерба.

Рассмотрим частный случай оценки (расчёта) пожарного риска на примере аварии на складе баллонов со сжиженным углеводородным газом (СУГ). Авария заключается в мгновенном разрушении одного баллона, в результате чего СУГ выбрасывается в окружающую среду.

На складе хранятся баллоны емкостью 5 л со смесью пропан-бутановой технической (СПБТ). Согласно паспорту баллона масса СПБТ в баллоне равна 2.1 кг (жидкая фаза + пар, массой последнего можно пренебречь). Согласно ГОСТ 27578-87 [2] в летней смеси (ПБА) содержание пропана и бутана 1 : 1. Следовательно, в баллоне содержится по 1.05 кг пропана и бутана.

Склад баллонов расположен в каменном здании с деревянным полом (половая рейка 50 мм) и лёгкой кровлей (шиферный лист по стропильной системе). Здание имеет размеры: L = 5 м; S = 4 м; h = 4 м.

Рассмотрим аварийную ситуацию падения баллона, который разрушается в результате соударения с другим баллоном. В результате квазимгновенного разрушения резервуара часть СПБТ мгновенно испарится. Массовая доля мгновенно испарившейся жидкости δ определяется по формуле (И.2) Приложения И [1]:

$$\delta = 1 - \exp\left(-\frac{c_p * (T_a - T_b)}{L_g}\right) \tag{16.1}$$

где c_p – удельная теплоемкость жидкой фазы СУГ при 293 К, кДж/(кг·К): пропан – 2,65; бутан – 2,42;

T_a – температура окружающего воздуха, 293 К;

T_b – температура кипения СУГ при атмосферном давлении, К; пропан – 231 К; бутан – 272,6 К;

L_g – удельная теплота парообразования СУГ, кДж/кг, пропан

– 484,5; бутан – 395.

После раскрытия баллона пропан и бутан поведут себя аддитивно. Оценим долю мгновенно испарившейся жидкости δ пропана и бутана:

а) пропан:

$$\delta = 1 - \exp\left(-\frac{2.65 * (293 - 231)}{485.5}\right) = 0.29$$

б) бутан:

$$\delta = 1 - \exp\left(-\frac{2.42 * (293 - 272.5)}{395}\right) = 0.12$$

Таким образом, согласно расчёту, оба компонента ПБА не полностью мгновенно перейдут в паровую фазу, а образуют лужу пролива по полу склада. Мгновенно испарится: 0.3 кг пропана и 0.13 кг бутана, остальная жидкая фаза образует пролив на деревянном полу склада. Примем толщину пролива h = 5 мм. Тогда диаметр пролива с учётом плотности жидкой фазы СУГ $\rho_{ж} = 540$ кг/м^3 и массы оставшейся жидкой фазы $m_{ж} = 1.67$ кг:

$$d = \sqrt{\frac{4 * m}{\pi * h * \rho}} = \sqrt{\frac{4 * 1.67}{3.14 * 0.005 * 540}} = 0.89$$

Интенсивность испарения СУГ со свободной поверхности W, кг/м^2·с, по соотношению (И.2)

$$W = \frac{(\lambda_s * C_s * \rho_s)^{0.5} * (T_a - T_b)}{L_g * (\pi * t)^{0.5}} + \frac{0.035 * u^{0.8} * \lambda_a * (T_a - T_b)}{v_a^{0.8} * d^{0.2} * L_g} \quad (16.2)$$

где λ_s – коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается жидкость, Вт/м·К. Для сосны 0.3 Вт/м·К (независимо от ориентации волокон);

C_s – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг*К); у древесины сосны – 1700;

ρ_s – плотность древесины, 440 кг/м^3;

T_0 – начальная температура материала, 293 К;

t – текущее время с момента начала испарения, с (не менее 10 с);

λ_a – коэффициент теплопроводности воздуха при температуре T_0, 0.025 Вт/м*К;

u – скорость воздушного потока над поверхностью испарения, принимаем 0.1 м/с;

d – характерный диаметр пролива, м;

v_a – кинематическая вязкость воздуха при T_0, 0.000015 м^2/с;

L_g – удельная теплота парообразования СУГ, Дж/кг, пропан – 484500; бутан – 395000.

Подставляя известные значения всех параметров в формулу (16.2) находим интенсивность испарения СУГ со свободной поверхности:

а) пропана:

$$W = \frac{(0.3 * 1700 * 440)^{0.5} * (293 - 231)}{484500 * (3.14 * 10)^{0.5}} + \frac{0.035 * 0.1^{0.8} * 0.025 * (293 - 231)}{0.000015^{0.8} * 0.89^{0.2} * 484500}$$

б) бутана:

$$W = \frac{(0.3 * 1700 * 440)^{0.5} * (293 - 272.5)}{395000 * (3.14 * 10)^{0.5}} + \frac{0.035 * 0.1^{0.8} * 0.025 * (293 - 272.5)}{0.000015^{0.8} * 0.89^{0.2} * 395000}$$

С учётом площади пролива 0.62 м^2, поверхностная плотность:

а) пропана – $0.75/0.62 = 1.21$ кг/м^2;

б) бутана – $0.92/0.62 = 1.48$ кг/м^2.

Следовательно, продолжительность полного испарения составит:

а) пропана – $1.21/0.0068 = 178$ с;

б) бутана – $1.48/0.0048 = 308$ с.

Для полного испарения всей жидкой фазы СУГ потребуется $0.75 * 484.5 + 0,92 * 395 = 726$ кДж тепла. В то же время пол под проливом обладает запасом тепла $0.62 * 0.05 * 440 * 1.7 * 62 = 1438$ кДж по отношению к пропану, и $0.62 * 0.05 * 440 * 1.7 * 20 = 464$ кДж – по отношению к бутану. Следовательно, даже без учёта притока тепла вдоль половиц вся жидкая фаза СУГ будет испарена.

Оценим объёмную концентрацию паров после мгновенного раскрытия баллона. Будучи приведёнными к атмосферному давлению, пары займут объёмы:

а) пропан: $V_{\text{пр}} = \frac{0.3 * 8314 * 293}{44 * 10_5} = 0.166\text{м}^3$, что с учётом объёма склада 80 м^3 соответствует доле 0.002, или 0.2 % об.

б) бутан: $V_{\text{бут}} = \frac{0.13 * 8314 * 293}{58 * 10_5} = 0.055\text{м}^3$, что с учётом объёма склада 80 м^3 соответствует доле 0.0007, или 0.07 % об.

По окончании полного испарения:

а) пропана: $V_{\text{пр}} = \frac{1.05 * 8314 * 293}{44 * 10_5} = 0.58\text{м}^3$ или 0.72 % об.

б) бутана: $V_{\text{бут}} = \frac{1.05 * 8314 * 293}{58 * 10_5} = 0.44\text{м}^3$ м^3, или 0.55 % об.

Как известно, диапазон взрываемости этих паров составляет:

а) пропан – 2,2 ÷ 9,5% об.;

б) бутан – 1,8 ÷ 9,1% об.

Таким образом, при условии полного перемешивания концентрация паров в помещении склада окажется ниже НКПР. Однако это не исключает создание локальных областей опасных концентраций (вблизи пролива). При наличии подходящего источника зажигания возможен взрыв, избыточное давление которого согласно может быть грубо оценено по формуле (А.1) [1]

$$\Delta p = (p_{\max} - p_0) * \frac{m * Z}{V_{\text{св}} * \rho_{\text{г, п}}} * \frac{100}{\text{ст}} * \frac{1}{K_{\text{н}}}, \tag{16.3}$$

где $p_{\max}$ – максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовоздушной или паровоздушной смеси в замкнутом объеме. При отсутствии данных допускается принимать $p_{\max}$ равным 900 кПа;

p_0 – начальное давление, кПа (допускается принимать равный 101 кПа);

m – масса горючего газа (паров), 2.3 кг;

Z – коэффициент участия горючего при сгорании паровоздушной смеси, принимаем $Z = 0.5$;

$V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, принимаем равным 80% от 80 м^3;

$\rho_{\text{г, п}}$ – плотность газа или пара при расчетной температуре t_p, кг/м^3, вычисляемая по формуле:

$$\rho_{\text{г, п}} = \frac{\mu}{V_0 * (1 + 0.00367 * t_p)}, \tag{16.4}$$

где μ – молярная масса, кг/кмоль;

V_0 – мольный объем, равный 22,4 м^3/кмоль;

t_p – расчетная температура, 20 °C;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать $K_{\text{н}}$ равным 3.0;

$C_{\text{ст}}$ – стехиометрическая концентрация паров, % об.

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4.48 * \beta}, \tag{16.5}$$

где $\beta = n_c + \frac{n_{\text{н}} - n_{\text{х}}}{4} - \frac{n_0}{2}$ – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания; $n_c, n_{\text{н}}, n_0, n_{\text{х}}$ – число атомов C, H, O и галоидов в молекуле горючего;

а) у пропана C_3H_8, $\beta = 3 + 2 = 5$;

б) бутана C_4H_{10}, $\beta = 4 + 2.5 = 6.5$.

Среднее $\beta = 5.75$. Тогда = 3.47 % об.

С целью предотвращения разрушения здания склада взрывной волной у склада смонтирована легкосбрасываемая крыша.

Рассмотрим вес крыши с учётом массы снега.

Согласно СНиП 2.01.07-85 [4] найдем нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия.

Нагрузки, действующие на крышу:

1 Снеговые нагрузки;

2 Вес кровли;

3 Вес чернового настила и обрешётки.

Рассмотрим все эти нагрузки подробнее.

Снеговые нагрузки

Для расчёта снеговой нагрузки воспользуемся формулой:

$$S = \mu * S_g \tag{16.6}$$

где S – искомая величина снеговой нагрузки, кг/м^2;

S_g – нормативная снеговая нагрузка, кг/м^2;

μ – коэффициент, зависящий от уклона крыши λ;

λ – безразмерная величина.

Найти максимально возможную снеговую нагрузку на крышу склада баллонов с СУГ.

Строение находится в г.Йошкар-Оле.

По карте 16.1 обязательного приложения 5 СНиП 2.01.07-85 [4] определяем S_g – нормативную снеговую нагрузку для города Йошкар-Ола (IV район): $S_g = 240$ кг/м^2.

Определяем угол уклона крыши λ.

Для этого высоту крыши H разделим на половину пролёта L : $0.3/2 = 0.15$ и по таблице найдём угол уклона $\lambda = 12°$. Если λ меньше или равно $30°$, $\mu = 1$;

Тогда подставляя известные данные в формулу (5), получим возможную снеговую нагрузку на крышу: $S = 240\Delta 1 = 240$ кг/м^2.

Итак, максимально возможная снеговая нагрузка на крышу склада баллонов составит 240 кг/м^2.

Нагрузка кровли

Различные виды кровли имеют различный вес, у шифера – 10 кг/м^2.

Нагрузка чернового настила, обрешётки и стропильной системы Нагрузка чернового настила составляет 8 кг/м^2.

Рисунок 16.1 — Районирование территории России 1 по снеговой нагрузке.

Итак, рассчитаем суммарную нагрузку Q, действующую на крышу: $Q = 240 + 10 + 18 = 268$ кг/м^2. Следовательно, вес равен 2680 Н/м^2, или 2.68 кПа.

Следовательно, взрывная волна с избыточным давлением 65 кПа легко сбросит столь лёгкую кровлю, зданию склада будет причинён минимальный ущерб.

Таким образом, пожарный риск склада баллонов с учётом обоих его составляющих – вероятности и ущерба – следует оценить очень малой величиной.

Список литературы

1. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования безопасности. Методы контроля.
2. ГОСТ 27578-87 Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия.
3. Стаскевич Н. Л. Вигдорчик Д. Я. Справочник по сжиженным углеводородным газам. – Л.: Недра, 1986. – 543 с.
4. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия.

ОЦЕНКА ПОЖАРНОГО РИСКА КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ[1]

П.Ю.Бондарев, Е.Ю.Колесников
Поволжский государственный технологический университет
г. Йошкар-Ола, Россия
e-mail: *kolesnikovey@ya.ru*

С учётом того, что аварийный (в частности, пожарный) риск является векторной величиной, для его полного задания необходимо указать а) вероятность события; б) величину ущерба. Рассмотрим частный случай оценки (расчёта) пожарного риска на примере аварии на компрессорной станции магистрального газопровода. Авария заключается в утечке природного газа из отверстия в стенке трубопровода.

В качестве инициирующего события аварии рассмотрим истечение газа из отверстия диаметром 5 мм. Согласно таблице П1.1 [1] частота данного вида разгерметизации составляет 0.011 год$^{-1}$. Расчет будет проводиться по Приложению 3 [1].

Рабочее давление газа в трубопроводе 7.35 МПа. Длина трубопровода от точки разрушения до крана, перекрывающего подачу газа, составляет 111 м. Защитное сооружение (компрессорный цех), в котором находится нагнетатель имеет габариты 9 х 18 х 3.1 м. При сверхкритическом истечении сжатого газа массовая скорость истечения сжатого газа из отверстия определяется по формуле:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_v} = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}, \tag{17.1}$$

$$G = A_{hol} * \mu * \left[P_v * \rho_v * \gamma * \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}\right], \tag{17.2}$$

где G – массовый расход, кг/с;
P_a – атмосферное давление, Па;
P_v – давление газа в резервуаре, Па;
γ – показатель адиабаты газа;
$_{hol}$ – площадь отверстия, м^2;

[1]Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

μ – коэффициент истечения (при отсутствии данных допускается принимать равным 0.8);

ρ_v – плотность газа в резервуаре при давлении P_v, кг/м^3;

ρ_a – плотность газа в резервуаре при давлении P_a, кг/м^3.

Компрессорный цех оборудован системой обнаружения метана в воздухе, которая при достижении концентрации 0,5% приводит к срабатыванию автоматического отключения нагнетателя и в течении $2 \div 3$ минут (за расчетное значение принимаем 180 с) происходит перекрытие участка газопровода от магистральной линии.

Необходимо определить массу вытекшего газа, после которого произойдет срабатывание датчиков (объёмная концентрация составит 0,5%). Объем газа, при котором происходит срабатывание, определяется по формуле:

$$V_{\text{газ}} = 0.005 * V_{\text{пом}}, \quad \text{м}^3, \tag{17.3}$$

Зная плотность метана при нормальном атмосферном давлении можно найти массу газа истекшего из трубопровода и приведшего к срабатыванию датчиков

$$M_{\text{газ}} = V_{\text{газ}} * \rho, \quad \text{кг}, \tag{17.4}$$

От момента появления отверстия до включения аварийных вентиляторов потребуется некоторое время t:

$$t = \frac{M_{\text{газ}}}{G}, \quad \text{с}, \tag{17.5}$$

По техническому регламенту аварийные вентиляторы компрессорного цеха начинают работать с восьмикратной производительностью. Следовательно, объемный расход удаляемого газа будет определяться следующими уравнениями:

$$L = 8 * V_{\text{пом}}, \quad \text{м}^3/\text{ч}, \tag{17.6}$$

$$L^{'} = \frac{L}{3600}, \quad \text{м}^3/\text{с}, \tag{17.7}$$

где L – объем газа удаляемый вентиляцией в час; $V_{\text{пом}}$ – объем помещения (укрытия); $L^{'}$ – объем газа удаляемый вентиляцией за одну секунду.

Массовую концентрацию метана $C_{\text{газ}}$ в удаляемой метано-

воздушной смеси можно найти из уравнения баланса:

$$C_{\text{газ}} * L^{'} = G, \quad \text{кг/м}^3, \tag{17.8}$$

Согласно уравнению Клайперона-Менделеева можно найти объем метана в газо-воздушной смеси в помещении компрессорного цеха:

$$P_a * V = \frac{m}{M} * R * T, \tag{17.9}$$

где R – универсальная газовая постоянная ($R = 8314$ кг $*$ м^2/с^2 $*$ К*кмоль);

T – температура при 20 градусах ($T = 293$ К).

Принимаем следующие исходные данные:

$P_a = 0.101$ МПа;

$P_v = 7.35$ МПа;

$\gamma = 1.32$;

$A_{hol} = 1.96{\cdot}10^{-5}$ м^2;

$\mu = 0.8$;

$\rho_v = 48.5$ (плотность газа в резервуаре при давлении P_v), кг/м^3;

$\rho_a = 0.66$ кг/м^3;

$M = 16.0$ кг/кмоль.

По формуле (17.2) определим массовую скорость истечения сжатого газа.

Учитывая, что неравенство (17.1) выполняется,

$$G = 19.625 * 10^{-6} * 0.8 * \left[7.35 * 48.1 * 1.32 * \left(\frac{2}{1.32+1} \right)^{\frac{(1.32+1)}{(1.32-1)}} \right]^{\frac{1}{2}} = 0.2 \text{ кг/с}.$$

Объем и массу газа при котором произойдёт срабатывание автоматического перекрытия потока, находим по формулам (17.3) и (17.4):

$$V_{\text{газ}} = 0.005 * 502.2 = 2.511 \text{ м}^3,$$
$$M_{\text{газ}} = 2.511 * 0.66 = 1.66 \text{ кг}.$$

Время от разгерметизации до включения вентиляторов находим по формуле (17.5):

$$t = \frac{1.65}{0.2} = 8.25 \text{ с}.$$

Следовательно, производительность аварийной вентиляции

газа:

$$L = 8 * 502.2 = 4017.6 \text{ м}^3/\text{ч},$$
$$L^{'} = \frac{4017.6}{3600} = 1.12 \text{ м}^3/\text{с}$$

Массовую концентрацию метана $\text{С}_{\text{газ}}$ в удаляемой метано-воздушной смеси находим из уравнения баланса (формула 17.8):

$$\text{С}_{\text{газ}} = \frac{0.2}{1.12} = 0.178 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Применив уравнение Клайперона-Менделеева, находим объемную концентрацию метана в газовоздушной смеси в помещении компрессорного цеха:

$$V = \frac{0.178}{101000 * 16.04} * 8314 * 293 = 0.267 \text{ м}^3$$

Объемная концентрация метана составит 26,7%.

Диапазон взрываемости метана в смеси с воздухом составляет 5÷15%. Очевидно, что объемная концентрация метана составляет 26.7% при максимально полном перемешивании газа во всём объёме помещения. В реальности на периферии цеха концентрация будет меньше и при появлении подходящего источника зажигания произойдёт взрыв.

Рассчитаем избыточное давление взрыва в консервативной постановке. При внутреннем взрыве газовоздушной смеси в помещении избыточное давление Δp, кПа, для индивидуальных горючих веществ, рассчитывают по формуле (А.1) [2]:

$$\Delta p = (p_{max} - p_0) * \frac{m * Z}{V_{\text{св}} * \rho_{\text{п}}} * \frac{100}{\text{С}_{\text{ст}}} * \frac{1}{\text{К}_{\text{н}}}, \quad \text{кПа},$$

где: p_{max} – максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовоздушной смеси в замкнутом объеме. следует принимать $p_{max} = 900$ кПа;

p_0 – начальное давление, кПа (допускается принимать равный 101 кПа);

m – масса горючего вышедшего в результате расчетной аварии в помещение, 88.5 кг;

Z – коэффициент участия горючего при сгорании газопаровоздушной смеси, согласно [2] следует принимать $Z = 0.5$ – для горючих газов;

$V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, 502.2 м^3;

$\rho_{\text{г}}$ – плотность газа при расчетной температуре, 0.66 кг/м^3;

$\text{С}_{\text{ст}}$ – стехиометрическая концентрация ГГ, % (об.);

$\text{К}_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий не герметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать $\text{К}_{\text{н}} = 3$;

Составим уравнение реакции горения метана:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O,$$

отсюда следует что: $\beta = 2$

$$\text{С}_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4.48 + \beta} = \frac{100}{1 + 4.48 + 2} = 9.36\%.$$

Рассчитаем избыточное давление

$$\Delta p = (p_{max} - p_0) * \frac{m * Z}{V_{\text{св}} * \rho_{\text{п}}} * \frac{100}{\text{С}_{\text{ст}}} * \frac{1}{\text{К}_{\text{н}}} =$$

$$= (900 - 101) * \frac{88.5 * 0.5}{502.2 * 0.66} * \frac{100}{9.36} * \frac{1}{3} = 379.8 \text{ кПа}.$$

Полученное значение нереально велико и не достижимо. В реальности в случае взрыва здание компрессорного цеха будет разрушено взрывной волной. Оценим только прямой ущерб аварии. Стоимостью сгоревшего метана пренебрежём. Приняв балансовую стоимость здания и оборудования компрессорного цеха равной 12 млн. рублей, получаем оценку пожарного риска $R = (0.011; 1.2 * 10^7$ руб.).

Список литературы

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Утв. Приказа МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 в редакции Приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649 «О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 г. № 404».
2. ГОСТ Р 12.3.047-2012 пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И КОРРЕКТИРОВКИ РАБОТЫ СТАНКОВ С ЧПУ

С.В. Черкасов
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *str3psils@gmail.com*

Современные ЧПУ [1] (ЧПУ — числовое программное управление) платформы позволяют делать различные технологические операции:

1 фрезеровка;

2 гравировка;

3 сверление;

4 резка механическая/лазерная/плазменная;

5 3D печать и другие;

Основным недостатком является то, что станок выполняет команды без контроля за результатом. По этой причине в процессе работы станка могут происходить различного рода ошибки:

1 шаговые двигатели входят в резонанс и перестают вращаться. При этом команды продолжают поступать и положение рабочего инструмента перестает соответствовать программе. В этом случае надо изменить положение рабочего инструмента;

2 при 3D печати модель может отрываться от платформы и в этом случае надо останавливать печать;

Целью системы является разработка технологии выявления дефектов и реакция на них в реальном времени.

Цель предлагается достигнуть путем добавления обратной связи в процесс работы ЧПУ станка (как частный случай — это 3D принтер, для которого заложен набор команд, станок не имеет возможности отследить состояние изготавливаемой объекта), т.е. отслеживать положение печатающей головки и создаваемой модели и вносить необходимые корректировки в программу печати прямо в процессе работы.

Данная технология будет отслеживать состояние и позволять принять меры в процессе изготовления.

Одной из задач является изготовление 3D принтера и оборудование его датчиками, такими как лазерные дальномеры,

датчики контакта с подложкой (контакта/слежения), RGBD камеры [2] и, таким образом, получать данные о состоянии работы.

RGBD камера является одним из важных элементов, которая будет строить в режиме реального времени трехмерную модель, отслеживать положение и форму (силуэт) изготавливаемого изделия. Один из вариантов, использование камеры kinect [3].

Для тестирования системы контроля и корректировки работы станков с ЧПУ, предлагается взять готовые запчасти одного из имеющихся 3D принтеров и адаптировать его для данной задачи.

В основе работы лежит принцип обратной связи. Используя современные технологии для определения положения объектов в пространстве и измерения линейных и угловых расстояний, возможно реализовать поставленную задачу.

В результате будут разработаны алгоритмы корректировки работы принтера и реализованы в виде программы. Так же будет получен опытный образец 3D принтера оснащенный системой обратной связи.

На базе разработанных технологий и алгоритмов, появится возможность создавать системы контроля для различных станков с ЧПУ.

Список литературы

1. Бунаков П.Ю., Широких Э.В. Станок с ЧПУ. От модели до образца. – 1-е изд. ДМК Пресс, 2012. – 120 с.
2. Consumer RGB-D Cameras and their Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://alumni.cs.ucr.edu/ klitomis/files/RGBD-intro.pdf, свободный (дата обращения: 23.04.2015).
3. Kinect depth sensor evaluation for computer vision applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eng.au.dk/fileadmin/DJF/ENG/PDF-filer/Tekniske-rapporter/Technical-Report-ECE-TR-6-samlet.pdf, свободный (дата обращения: 25.04.2015).

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛЕНОЧНОГО ФОТОРЕЗИСТА

В.В. Караблинов
Удмуртский государственный унирвеситет г. Ижевск, Россия
e-mail: *vladislavneon1@gmail.com*

Задача изготовления печатных плат, является одной из основных при разработке прототипов и тестовых устройств. Это позволяет разработать промышленную схему для массовой печати, оценить размеры будущего устройства, найти недочеты в проектировании.

Главная особенность изготовления печатной платы — выбор технологии травления дорожек:

- Аддитивный — производство рисунка на нефольгированном материале путем медирования;
- Субстративный — на фольгированном материале, путем удаления ненужных участков;

Оборудование и материалы: текстолит, ножницы по металлу, наждачная бумага, спирт, вата, принтер, пленка для печати, пленочный фоторезист, ламинатор, стекло, клипсы канцелярские, ультрафиолетовая лампа, емкость для раствора, кальцинированная сода, зубная щетка, скотч, микродрель, лимонная кислота, жидкое олово, паяльник, канифоль, припой.

Весь процесс можно разделить на четыре этапа:

– Изготовление заготовки (текстолит);

– Обработка заготовки с целью получения нужного электрического и механического вида;

– Монтаж компонентов;

– Тестирование;

1 Изготовление фотошаблона.

1.1 Создать изображение печатной платы (для этого можно использовать продукт Sprint Layout 6.0)

1.2 Произвести печать изображения с учетом необходимости зеркального отражения. При использовании негативного фоторезиста необходимо распечатать негативное изображение.

1.3 При печати на лазерном принтере следует сначала распечатать на пленке пустой лист, подготовив ее. Для повышения цветовой плотности необходимо продублировать печатаемое изображение.

1.4 Максимально возможно совместить копии, закрепить скотчем.

2 Подготовка платы.

2.1 Вырезать ножницами по металлу кусок текстолита нужного размера.

2.2 Мелкой шкуркой зачистить рабочую поверхность.

2.3 Протереть рабочую поверхность спиртом и дать полностью высохнуть (можно промыть теплой водой и просушить).

3 Нанесение фоторезиста.

Внимание! Во время работ с фоторезистом необходимо минимизировать освещенность помещения. Нельзя допускать попадания солнечного света.

3.1 Отделить угол прозрачной пленки с одной стороны фоторезиста.

3.2 Постепенно удаляя защитную пленку, аккуратно приклеить фоторезист к текстолиту (без пузырей воздуха и царапин).

4 Прикатка фоторезиста.

4.1 Установить ламинатор в режим нагрева при t 110 °C.

4.2 Прокатать плату 5 раз в обе стороны.

5 Установка платы.

5.1 Поместить плату на стекло.

5.2 Расположить фотошаблон поверх платы, сверху прижать вторым стеклом, закрепить клипсами.

6 Засвет фоторезиста.

6.1 Поместить закрепленную плату под свет ультрафиолетовой лампы. Для лампы мощностью 26 Вт время экспонирования — 18 минут с расстояния 11-12 см.

Внимание! При работе с ультрафиолетовым излучением необходимо соблюдать осторожность. Желательно работать в очках для сварки либо изолировать источник УФ излучения.

7 Подготовка раствора. За время экспонирования можно изготовить раствор.

7.1 В пластиковую емкость налить ≈200 мл воды комнатной температуры.

7.2 Положить в воду $^1/_2$ чайной ложки кальцинированной соды и тщательно размешать до полного растворения всех кристаллов.

8 Промывка.

8.1 После выдержки под лампой снять верхнюю защитную пленку с фоторезиста и поместить плату в приготовленный раствор.

8.2 Подождать заметного вымывания фоторезиста и аккуратно удалить остатки зубной щеткой.

8.3 После рекомендуется для закрепления выдержать плату еще 5-10 минут под лампой или на солнце.

9 Особенности работы с двусторонней платой.

9.1 Для совпадения рисунка дорожек с обеих сторон, перед изготовлением второй стороны платы необходимо микродрелью сделать несколько отверстий, с помощью которых можно будет точно расположить фотошаблон.

9.2 Рекомендуется перед сверлением произвести подготовку платы и нанести на нее фоторезист.

9.3 Для более точного расположения фотошаблона можно воспользоваться скотчем.

9.4 При смывании фоторезиста со второй стороны платы, рекомендуется прикрыть первую сторону от воздействия. Можно использовать бумагу и скотч, следя за тем, чтобы клейкая часть не касалась фоторезиста.

10 Протравка платы.

10.1 Развести в воде один пакет лимонной кислоты.

10.2 Поместить платы в раствор и дождаться полного растворения меди.

Внимание! Необходимо избегать контакта с раствором. После проведения работ тщательно промыть плату и посуду.

11 Сверление отверстий.

12 Лужение платы.

12.1 Поместить плату в жидкое олово и выждать 30 минут.

13 Пайка элементов.

13.1 Установить паяльник на 270 °C.

13.2 Нанести жидкую канифоль на поверхности пайки.

13.3 Припаять элементы, начиная с микроконтроллера и SMD-элементов, заканчивая ножками контактов.

Замечание. При пайке микроконтроллера необходимо использовать небольшое количество припоя.

13.4 Смыть остатки канифоли спиртом.

Таким образом, технология изготовления печатных плат с использованием пленочного фоторезиста является удобным и несложным вариантом для производства плат. Это позволяет в короткие сроки произвести тестовый вариант платы устройства для оценки и редактирования как механических, так и электрических свойств устройства.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ

В.А. Мущинкин
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *mto-fps30@mail.ru*

Повышение экономической эффективности мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объектов социальной сферы (ОСС) тесно связано с решением задачи оптимизации их систем обеспечения пожарной безопасности (СОПБ). Оптимизация предполагает такой выбор параметров СОПБ, который обеспечил бы минимальные размеры негативных последствий пожаров.

Согласно статистическим данным [1], в условиях ограничения средств, выделяемых на решения проблем пожарной безопасности, особую важность приобретают задачи повышения эффективности функционирования СОПБ. Одним из путей решения этих задач является математическое моделирование СОПБ и ее подсистем.

Построениями математических моделей СОПБ, посвящен ряд отечественных и зарубежных публикаций (2 – 4), в которых анализируются состав и функции СОПБ, предлагается пути ее совершенствования. Рассматривается использование математического моделирования для повышения эффективности функционирования СОПБ по всем направлениям.

Объекты, охраняемые подразделениями Федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы, характеризуются большим разнообразием характеристик и, как следствие, различиями параметрами СОПБ. Разделение объектов социальной сферы по отраслям не устраняет этих различий. Поэтому актуальна разработка математической модели и методики решения задачи оптимизации СОПБ, которая могла быть применена для различных классов объектов социальной сферы, с использованием имитационного моделирования.

В связи с вышесказанным задачу оптимизации СОПБ объектов социальной сферы предлагается решать в два этапа.

Первый этап предусматривает классификацию ОСС по пожарной опасности. Для этой цели предлагается использовать алгоритм, позволяющий однозначно разбить заданную совокупность на попарно непересекающиеся классы.

Второй этап заключается в оптимизации характеристик СОПБ внутри каждого класса территорий.

Реализация осуществляется как путем оптимизации общих ресурсов СОПБ, так и путем перераспределения ресурсов между структурными подразделениями пожарной охраны объектов социальной сферы.

Введем следующие обозначения:

$С_у$ – материальный ущерб от пожара за фиксированный интервал времени;

$С_{ПБ}$ – расходы на обеспечение пожарной безопасности за фиксированный интервал времени;

P - вероятность воздействия опасных факторов пожара на человека в год;

$\alpha_н$ – нормативная вероятность воздействия опасных факторов пожара на человека в год;

ρ – функция риска.

Задача оптимизации систем пожарной безопасности территорий является стохастической. Для решения таких задач можно применить теорию статистических решений.

Введем в рассмотрение функцию риска всем направлениям:

$$\rho(С_{ПБ}) = С_У(С_{ПБ}) + С_{ПБ} \tag{20.1}$$

Оптимальное решение, что минимизирует средний риск, может быть найден в классе байесовских:

$$С^*_{ПБ} = \underset{С_{ПБ}}{\operatorname{argmin}} \int_{\Omega_\rho} \rho(С_{ПБ}) dF(\rho) \tag{20.2}$$

где $F(\rho)$ – функция распределения риска;

Ω_ρ – область существования функции риска.

Выражение (20.20.2) определяет оптимальное решение проблемы только с точки зрения материального ущерба, так целесообразно ввести дополнительные ограничения вида:

$$\rho(С_{ПБ}) \in \Omega_{ДОП} \tag{20.3}$$

где $\Omega_{ДОП} = \{С_{ПБ} | P \leq \alpha_н\}$ – множество значений $С_{ПБ}$, для каких $P \leq \alpha_н$.

Тогда:

$$\arg \min_{С_{ПБ} \in \Omega_{ДОП}} \int_{\Omega_\rho} \rho(С_{ПБ}) dF(\rho) \tag{20.4}$$

Выражение (20.4) определяет оптимальный уровень пожарной безопасности территории, точнее, оптимальные затраты на его обеспечения.

Трудности при решении указанной задачи заключаются в следующем:

– отсутствуют аналитические выражения критерия оптимизации и ограничений;

– неизвестные плотности вероятностей воздействия на людей опасных факторов пожара и функции риска.

Данную задачу следует отнести к задачам оптимизации в условиях неопределенности. Специфика и сложность задачи обусловливает в ограниченные возможности ее решения, так как построить функции распределения и зависимостей критерия оптимизма от параметров, оптимизируются, на основе реально имеющейся информации невозможно, а восстановить и уточнить информацию трудно. Устранить указанные трудности можно с помощью имитации на компьютере функционирования СОПБ реальных объектов.

При этом математическая модель должна обеспечивать имитацию:

– пожарной профилактики;

– возникновение пожароопасных ситуаций, возгораний и пожара;

– функционирования систем автоматической пожарной сигнализации (АПС) и пожаротушения (АУПТ);

– тушения пожара;

– возникновения опасных для людей факторов пожара;

– формирования материального ущерба от пожара;

– взаимодействия территориальной пожарной охраны и гарнизона.

Для моделирования взаимодействия объектовой пожарной охраны и гарнизона может быть использована имитационная модель функционирования пожарной охраны [5].

Целью данного имитационного моделирования является определение оптимальных расходов на обеспечение пожарной безопасности объектов социальной сферы, которые могут быть получены

при организации на модели соответствующей поисковой процедуры. Необходимо также решить вопрос о выборе структуры ОВПБ, под которой понимается раздел затрат на различные виды организационных мероприятий и технических средств обеспечения пожарной безопасности.

То есть, речь идет о решении задачи оптимального распределения ресурсов для обеспечения необходимого уровня пожарной безопасности.

Данная задача относится к классу задач стохастической оптимизации за векторными критериями.

Система критериев имеет вид:

$$J_1 = \{N_3 | t \in T\} \longrightarrow \min_{N_{\text{сек}}}$$
$$J_2 = \{\text{С}_\text{У} | t \in T\} \longrightarrow \min_{N_{\text{сек}}, \text{С}_\text{АУП}}$$

При определении критериев J_1 и J_2 число возгораний $N_\text{З}$ и материальный ущерб от пожара $\text{С}_\text{У}$ определялись в некотором интервале времени $t \in [0, T]$.

Система ограничений имеет вид:

$$\text{С}_\text{ПРОФ}(N_\text{сек}) + \text{С}_\text{ОП}(N_\text{АВТ}) + \text{С}_\text{АУП} = \text{С}^*_\text{ПБ}$$
$$P\{N_\text{П} 1/t \in T\} \leq \alpha_\text{Н}$$
$$N_\text{ВУЗ} \geq 10^6/\mu$$

где $N_\text{З}$ – число возгораний;

$N_\text{СЕК}$ – количество секторов на объекте;

$N_\text{АВТ}$ – количество основных пожарных автомобилей;

$N_\text{ВУЗ}$ – допустимое число пожароопасных узлов на один сектор;

μ – интенсивность возгораний для данного типа секторов;

$\text{С}_\text{ПРОФ}$ – затраты на организацию и проведение пожарно - профилактической работы;

$\text{С}_\text{ОП}$ – расходы на оперативные подразделения;

$\text{С}_\text{АУП}$ – расходы на автоматические установки пожаротушения;

$N_\text{П}$ – количество людей, которые погибли или получили травмы на пожаре.

Отсюда следует, что J_1 является критерием, который характеризует качество профилактической работы; а критерий J_2 – качество работы оперативных подразделений объектовой пожарной охраны и эффективность работы АУПГ при тушении пожара.

В общем случае в условиях оптимизации математические ожидания могут быть заменены вероятностями. Естественно, что

данная замена усложнит решение задачи.

Таким образом, задача оптимизации СОПБ территорий решается с помощью имитационной модели в два этапа:

Этап 1. Определение необходимого уровня пожарной безопасности (в стоимостном выражении).

Этап 2. Решение задачи оптимального распределения ресурсов по векторному критерию.

Аналитическую развязку задачи найти очень трудно, поэтому необходимо организовать поисковую процедить процедуру, которая, в свою очередь, может быть разделена на две части:

- поисковую оптимизацию количественных характеристик СОПБ (например, по общей площади защищаемых лесных массивов;

- автоматизацию принятия качественных решений при поиске оптимального варианта СОПБ, требующих организации эффективной диалоговой системы «человек – компьютер».

Алгоритм имитационного моделирования СОПБ

Алгоритм имитационного моделирования СОПБ объектов включает основные задачи, которые решаются компьютером в процессе имитации, и последовательность их решения. Алгоритм состоит из нескольких групп блоков, которые предназначены для:

- моделирование пожарной опасности (нарушения требований пожарной безопасности и возгорания);

- имитации процесса ликвидации возгорании (по расчетам использования автоматических средств пожаротушения, работы объектовой пожарной охраны);

- моделирование развития и тушения пожара (определение необходимого и фактического количества в огнетушительных средств);

- прогнозирования размеров последствий пожаров (определение материального ущерба и опасности для людей).

Процесс имитации в соответствии с предложенным алгоритмом предусматривается генерирование нарушений требований пожарной безопасности(НТПБ). Стохастический характер появления нарушений задается законами распределения времени появления нарушений в зависимости от их видов.

Исследование процессов возникновения указанных ситуаций на конкретных объектах социальной сферы [6] позволяет сделать вывод, что интервалы времени между моментами появления нарушений одного вида близки к ОССенциальному закону. Выбор места появления нарушения осуществляется случайным образом при заданном приоритете. Накопление числа ПВПБ за их видами в соответствующем файле проводится по каждой участку территории.

Генерирование переходов НТПБ к возгорании. (появление вспышки и т.д.) осуществляется по каждому виду нарушений. Изучение возможностей такого перехода позволяет предположить, что число возгораний определяется числом НТПБ возникших проблем. Оценкой вероятностей перехода частота возгораний, происходящих вследствие НТПБ соответственных видов возникновении воспламенения определяется случайным образом на заданном интервале, отсчитывается от предыдущего возгорания.

После фиксирования факта возгорания анализируются возможности его развития. Для этого проверяется наличие первичных и других средств пожаротушения, надежность их срабатывания, так и готовность пожарной охраны, наличие и надежность систем сигнализации и оповещения о пожаре. Указанные проверки осуществляются на основании информации из базы данных и сведений о надежности СОПБ.

Результаты проведенных проверок позволяют дать оценку времени свободного развития пожара и времени прибытия пожарной охраны объекта.

Вопрос о необходимости наращивания сил и средств для тушения пожара решается путем уравнения имеющегося количества (и видов) огнетушащих средств и интенсивности их подачи.

Размеры материального ущерба формируются в зависимости от времени свободного развития пожара, времени тушения.

В конце цикла имитации дается оценка опасности безопасности действия факторов пожара на людей. Она заключается в сравнении времени появления опасных факторов пожара и расчетного времени эвакуации людей из здания с учетом случайной величины, зависит от наличии НТПБ на путях эвакуации в данный момент времени.

Время имитации, задается, позволяет моделировать функционирования СОПБ различных территорий на протяжении длительного времени.

Таким образом, проведя реализацию процесса имитации на данных моделях, можно определить средние характеристики

пожара, а именно:

- время его свободного развития;
- время его локализации;
- время его ликвидации при заданных силах и средствах пожарной охраны и гарнизона.

Можно также определить, как зависят данные средние характеристики (которые, в основном, и определяют размеры последствий пожара) от численности и технической оснащенности пожарной охраны и гарнизона.

Имитационная модель может быть построена для относительно узких классов объектов. Необходимо учитывать также, что модели отражают лишь некоторые стороны явлений и процессов, причем строятся они на конкретной информации, которая быстро устаревает, поэтому должны обновляться по мере необходимости.

Система поддержки принятия решений для оптимизации СОПБ ОСС

В связи с вышесказанным предлагается использовать имитационные модели в составе специализированной системы поддержки принятия решений (СППР) для оптимизации СОПБ ОСС. СППР, которая предлагается, включает в свой состав:

- автоматизированную базу данных;
- блок управления;
- диалоговую систему.

Блок управления предназначен для управления работой системы в различных режимах:

- в информационном режиме – выдача соответственной информации из базы данных и получения отдельных зависимостей и показателей;
- в аналитическом режиме – решение задач прогнозирования пожарной опасности территории или отработка отдельных вариантов СОПБ (после формулирования блоков имитационных моделей и задачи плана имитационного эксперимента);
- в режиме оптимизации – построение оптимальных вариантов СОПБ при заданных ограничениях и целевой функции (после формирования оптимизационной процедуры).

Таким образом, предлагаемая имитационная система, может быть использована для анализа различных вариантов СОПБ территорий и выбора оптимально с точки зрения экономической эффективности решения. Дополнительно данная система позволяет проводить исследования по определению отдельных зависимостей между параметрами СОПБ территорий.

Список литературы

1. Национальный доклад о состоянии техногенной и природной безопасности в России в 2003 году, 2007. – 236 с.
2. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Н.Н. Брушлинский. // М .: Лесхозинновации, 1992. — 347 с.
3. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности государственной противопожарной службы / Н.Н. Брушлинский. // М .: МИПБ МВД России, 2012. — 255 с.
4. Брушлинский Н.Н. Совершенствование организации и управления пожарной охраной / Н.Н. Брушлинский, А.К. Микеева, С. Бозуков. // М .: Наука. 2012. — 152 с.
5. Брушлинский Н.Н. Математическая модель процесса функционирования противопожарной службы города / Н.Н. Брушлинский, Л.Ю. Тяжелова // Процессы горения и проблемы тушения пожаров: Всесоюз. науч.техн. конф .: матер. – М., 2011. – С. 320 — 328.
6. Уваров Ю.В. Использование статистических данных функционирования системы обеспечения пожарной безопасности для оценки противопожарного состояния леса // Коммунальное хозяйство. Киев: Техника, 2012. – Вып. 12. – С. 128 — 131.

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

В.А. Мущинкин
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *mto-fps30@mail.ru*

Рост пожарной опасности современных объектов создает предпосылки увеличения потерь от пожаров. Важную роль в снижении тяжести возможных последствий играет раннее обнаружение пожара. Насколько важно своевременно обнаружить очаг возгорания, наверное, объяснять никому не надо. Развитие пожара происходит в геометрической прогрессии, и если сигнал о его возникновении будет получен в первые минуты, то на следующий день никто и не вспомнит об этом. А вот когда система сигнализации только способна распознать уже «развивающий» пожар, то в лучшем случае это поможет эвакуировать людей из той части здания, куда он еще не распространился, в худшем... Все и так понимают, что произойдет в худшем.

В любой системе обнаружения пожара основными рабочими элементами являются пожарные извещатели. В зависимости от того, в каком помещении обустраивается данная система, используются извещатели с разными характеристиками чувствительности и помехоустойчивости. Чаще всего применяются извещатели, которые реагируют на концентрацию дыма, увеличение температуры воздуха и воздействие открытого пламени. Все они работают по пороговому принципу, то есть при превышении определенного значения контролируемого параметра подается тревожный сигнал и в дело вступает система пожаротушения.

В зависимости от типа пожарного извещателя система обнаружения пожара может контролировать следующие параметры среды:

- изменение оптической плотности воздуха как результат задымления;
- повышение температуры воздуха или скорость повышения температуры;
- появление открытого пламени.

В принципе для автоматического обнаружения пожара могут быть использованы любые параметры. На практике же возникает целый ряд ограничивающих условий, которые надо учитывать.

Например, требуется, чтобы параметры пожара были специфическими и однозначными. Это требование трудно выполнить. Чувствительные элементы пожарных извещателей срабатывают на изменения их непосредственного окружения. Но, к сожалению, не только пожары вызывают такие изменения в окружающей среде. Таким же образом могут действовать и так называемые «ложные» помехи. Пожарный извещатель принимает их за соответствующие параметры пожара и включают ложную тревогу. В зависимости от того, что кроется в основе ложного срабатывания – пар, курение и т.д., оно называется неправильной или ложной тревогой. Эти явления можно уменьшить подбором более подходящих детекторов, более целесообразным проектированием пожарных извещателей, более точной настройкой чувствительности детекторов, но идеально устранить их нельзя [1].

Нет сомнения в том, что можно было бы изготовить достаточно «интеллектуальные» пожарные извещатели, которые оказались бы в состоянии различать настоящие параметры пожара от ложного влияния помех.

В последнее время на российском рынке изделий в области систем пожарной безопасности и, в первую очередь охранно-пожарных приборов, а также аппаратуры пожарной автоматики охватил настоящий бум. Ежегодно на международном салоне «Комплексная безопасность...» разрабатываются десятки самых разнообразных образцов продукции этого направления. Изготовители, не жалея красок, расписывают достоинства своей техники, окончательно лишая потребителей возможности здраво оценить то, что ему предлагают. Глядя на все это, поневоле возникает вопрос, а существует ли объективные критерии этих творений, есть ли ориентиры, позволяющие выступать маяками в этом безбрежном океане интеллектуального творчества.

До введения в действие Норм пожарной безопасности (НПБ), требования по проектированию автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации определялись Строительными Нормами и Правилами (СНиП), а именно — СНиП 2.04.09-84 «Пожарная автоматика зданий и сооружений». Спектр пожарных извещателей в этом документе ограничивался дымовыми, тепловыми, световыми (по действующим нормам – извещателями пламени) и ручными извещателями. В Приложении 3 были даны рекомендации по выбору типа автоматического пожарного извещателя в зависимости от назначения помещения. Несмотря на то, что данное Приложение было рекомендуемым, обосновать несоблюдение рекомендаций и ранее, и в настоящее время очень сложно [1].

С другой стороны, большинство объектов можно было защищать тепловым или дымовым извещателем, либо тепловым или извещателями пламени. Исключительно дымовыми извещателями рекомендовалось защищать только помещения электронно - вычислительной техники, электронных регуляторов, управляющих машин, АТС и радио-аппаратных в специальных сооружениях, а также зрительные, репетиционные, лекционные, читальные и конференц - залы, артистические, кулуарные, костюмерные, реставрационные мастерские, киносветопроекционные, аппаратные, фойе, холлы, коридоры, гардеробные, книгохранилища и архивы в общественных зданиях и сооружениях. Соответственно исходя из минимума затрат на пожарную сигнализацию в большинстве случаев использовали самый дешевый и самый низкоэффективный тип извещателей - тепловые максимальные, которые и выпускались в то время в огромных количествах. Причем, несмотря на то, что в СНиП 2.04.09-84 упоминаются как тепловые максимальные, так и значительно более эффективные максимально-дифференциальные извещатели, различия по величине защищаемой площади между ними не было приведено, как и в настоящее время, что определяет малое распространение последних [1].

Тепловые максимальные извещатели с температурой срабатывания порядка 70-74 °С, несмотря на исключительно низкую эффективность, ставили практически везде, даже в коридорах - на путях эвакуации, в за полочных пространствах; по необъяснимым причинам (не считая минимальную стоимость) их до сих пор ставят в жилых зданиях.

В настоящее время соотношение объема продаж дымовых и тепловых извещателей поменялось на противоположное, что более правильно, так как по статистике примерно 90 % пожаров начинаются с тлеющего очага; кроме того, необходимо учитывать, что, как правило, до срабатывания теплового извещателя помещение полностью задымляется, а опасные факторы пожара убивают все живое.

Существенное изменение рынка пожарных извещателей в пользу дымовых начала происходить в 2001 г. не из-за осознания проектировщиками и заказчиками очевидных фактов, а в результате корректировки нормативной базы, а именно — после утвержденного приказом ГУГПС МВД России от 01 августа 2001 г. № 56 Изменения к НПБ 110-99 «Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией». В п. 1.3* НПБ 110-96 было введено требование: «Здания и помещения,

перечисленные в пунктах 2.9, 2.12, 2.13, 2.15, 2.16, 2.19, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.29-4.33, 4.35-4.37, 4.38, 4.39, 4.41 при применении автоматической пожарной сигнализации следует оборудовать дымовыми пожарными извещателями» [2].

Таким образом, причем уже в обязательном, а не в рекомендательном порядке, дымовыми извещателями предписывалось защищать:

- здания хранения архивов, уникальных изданий, отчетов, рукописей и другой документации особой ценности;
- жилые здания (общежития, специализированные жилые дома для престарелых и инвалидов, жилые здания высотой более 28 м (с примечанием, что помещения квартир и общежитий следует оборудовать автономными оптико-электронными дымовыми пожарными извещателями, согласно СНиП 2.08.01);
- здания общественного и административно-бытового назначения;
- предприятий торговли, выставочных павильонов;
- а также цехи оконечных усилительных пунктов, помещения промежуточных радиорелейных станций, передающих и приемных радиоцентров, аппаратные базовых станций сотовой системы подвижной радиосвязи и аппаратные радиорелейных станций сотовой системы подвижной радиосвязи;
- помещения главных касс, бюро контроля переводов и зональных вычислительных центров почтамтов, городских и районных узлов почтовой связи;
- автозалы АТС, где устанавливается коммутационное оборудование квазиэлектронного и электронного типов совместно с ЭВМ, используемой в качестве управляющего комплекса устройствами ввода-вывода;
- помещения электронных коммутационных станций, узлов, центров документальной электросвязи;
- выделенные помещения управляющих устройств на основе ЭВМ; автоматических междугородных телефонных станций;
- помещения обработки, сортировки, хранения и доставки посылок, письменной корреспонденции, периодической печати,

страховой почты; помещения для хранения и выдачи уникальных изданий, отчетов, рукописей и другой документации особой ценности (в том числе архивы операционных отделов);

– помещения хранилищ и для хранения служебных каталогов и описей в библиотеках и архивах с общим фондом хранения;

– выставочные залы, помещения для хранения музейных ценностей;

– помещения в зданиях культурно-зрелищного назначения (в кинотеатрах и клубах, в концертных и киноконцертных залах, в театрах, в складах декораций, бутафорий и реквизита, столярных мастерских, фуражных, инвентарных и хозяйственных кладовых, помещениях хранения и изготовления рекламы, помещениях производственного назначения и обслуживания сцены, помещениях для животных, чердачном под купольном пространстве над зрительным залом);

– помещения для размещения ЭВМ, связных процессоров и телекоммуникационных узлов сетей, архивов магнитных и бумажных носителей, графопостроителей, сервисной аппаратуры, системных программистов, систем подготовки данных, а также пространства под съемными полами и за подвесными потолками (за исключением персональных ЭВМ, размещаемых на рабочих местах пользователей и не требующих выделения зон обслуживания);

– помещения предприятий торговли, встроенные в здания другого назначения (подвальные и цокольные этажи, надземные этажи);

– помещения иного общественного назначения, в том числе встроенные и пристроенные [2].

Аналогичные требования в настоящее время содержатся в СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования», а также в Приложении А (обязательном) «Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией».

Изменения нормативов создают предпосылки к появлению «интеллектуальных» дымовых извещателей с предельно экономичной

конструкцией корпуса извещателя и дымовой камеры, с дымозаходом в виде нескольких отверстий, как у газоанализаторов. Эти устройства могут иметь приемлемую чувствительность при повышенных скоростях воздушного потока порядка 0.3 м/с и близкую к нулевой – при скоростях порядка 0.2 м/с [3].

В значительной мере развитие рынка комбинированных пожарных извещателей, даже простейших дымовых - тепловых, ограничивалось требованиями п. 12.27* НПБ 88-2000*, где «в случае применения комбинированных (тепловой-дымовой) пожарных извещателей их следует устанавливать в соответствии с таблицей 8», то есть как тепловые точечные пожарные извещатели. Строго говоря, тепловой канал комбинированного извещателя эффективно работает в тех же условиях, что и тепловой извещатель. Однако возникала парадоксальная ситуация, когда возможно было защитить объект дымовыми извещателями, но при использовании комбинированных дымовых-тепловых их требовалось примерно в три раза больше. Хотя понятно, что простая замена дымовых извещателей на комбинированные, при установке в те же базы может только повысить уровень защиты объекта. Это положение объясняет малое число отечественных разработок комбинированных извещателей [4].

Новые требования существенно изменяют данное положение: по п. 13.3.15 СП 5.13130.2009 «в случае если преобладающим фактором пожара является дым, размещение извещателей производится по таблице 13.3 или 13.6». То есть размещение комбинированных (дымовых-тепловых) извещателей производится по таблице для дымовых точечных извещателей (таблица 13.3) или почему-то по таблице для дымовых аспирационных извещателей (таблица 13.6). Если же в п. 13.3.15 СП 5.13130.2009 допущена опечатка и должна быть указана таблица 13.5 для тепловых извещателей, то ситуация вновь ухудшится, так как при возникновении любой неопределенности обычно требуется выполнение более строгих требований.

Кроме дымовых-тепловых пожарных извещателей на рынке достаточно много комбинированных извещателей других типов, в основном зарубежного производства, CO-тепловых, дымовых-CO-тепловых и дымовых-CO-тепловых-пламя извещателей, которые не указаны в СП 5.13130.2009. Это положение может ограничить их применение с учетом более высокой цены, несмотря на значительно более высокую эффективность, защиту от ложных срабатываний, за исключением специфичных зон.

При объединении нескольких каналов обнаружения достигают-

ся преимущества по сравнению с обычными (одноканальными) извещателями. Такими преимуществами могут быть:

– повышение устойчивости функционирования при работе в специфических условиях и при воздействии помех;

– повышение чувствительности, приводящее к уменьшению времени обнаружения или увеличению контролируемой площади;

– расширение области применения за счет способности обнаружения пожаров с различными доминирующими факторами.

Сравним несколько типов комбинированных пожарных извещателей, таблица 1.

Таблица 21.1 — Респределение людей по помещениям по времени

Тип пожарного извещателя (датчика)	ИП212/101-3А-А1R	ИП212/101-64-А2R1	ИП212/101-5	ИП212/101-78-А1 Аврора-ДТН»	ИП101/435-1-А1/2 «Эксперт»	Артон ИПК-3.5	ИП212/101-18-А3	ИП212/101-18R1	MG-2500	ИП212/101-2-А1R ECO1002	ИП212/101-45М-А2 серии «МАРКО»
Чувствительность дымового канала извещателя, дБ/м	0,08-0,16	0,05-0,2	0,08-0,16	0,05-0,2	-	0,05-0,2	0,05-0,2	0,05-0,2	0,10-0,15	0,05-0,2	0,05-0,2
Температура срабатывания при медленном повышении, °С	54-65	54-70	70	54-65	54-70	54-70	62-70	54-70	54-65	58	58
Рабочее напряжение,В	8-30	20-28	8-30	10-30	10-28	10-30	12-24	10-20	10-30	8-30	9-30
Номинальный ток в дежурном режиме, мкА	140	150	150	85	70	95	150	100	130	85	50
Габаритные размеры, мм Ø	102	93	105	110	110	100	95	91	100	102	93

Вес, гр	95	210	300	115	300	150	100	100	175	75	-
Диапазон рабочих температур, °С	-30 +70	-30 +70	-50 +75	-40 +55	- 10 +60	-10 +55	-30 +60	-30 +50	-40 +50	-30 +70	-25 +70
Допустимая относительная влажность, %	95	95	95	95	95	95	93	95	95	95	95
Степень защиты оболочки, IP	20	30	40	23	55	40	44	41	42	23	30

По параметру чувствительности дымового канала извещателя характеризуются, дБ/м (рисунок 21.1).

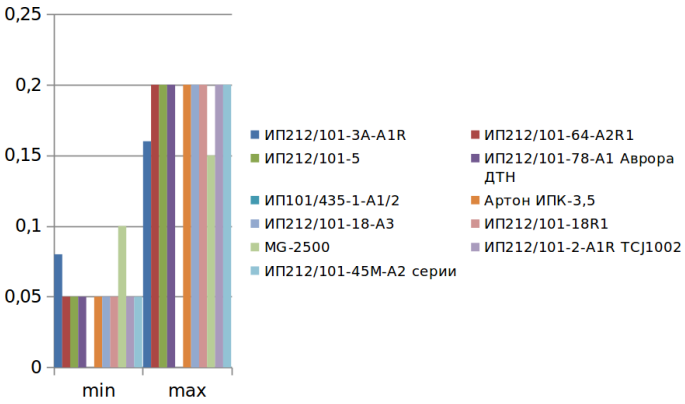

Рисунок 21.1 — Сравнительная характеристика извещателей по чувствительности дымового канала.

По параметру температуры срабатывания при медленном повышении пожарные извещатели комбинированные отличаются, °С (рисунок 21.2).

По таблице и графикам видно, что большинство параметров технических характеристик извещателей совпадают, только некоторые, имеют улучшенные характеристики, что в первую очередь и влияет на эффективность всей системы пожарной сигнализации.

Таким образом, интеллектуальные автоматические пожарные системы за счет меньшего, по сравнению с другими системами, времени обнаружения загорания и точного определения его места предоставляют преимущество в тушении пожара на ранней стадии и, как правило, обеспечивают его ликвидацию без существенного материального ущерба.

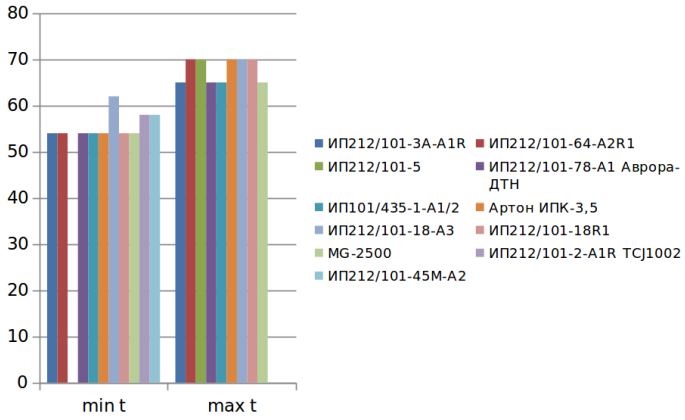

Рисунок 21.2 — Сравнительная характеристика извещателей по температуре срабатывания.

Вывод из вышесказанного следующий: применение современных типов качественных пожарных извещателей позволяет сделать систему пожарной сигнализации действительно эффективным средством безопасности.

Список литературы

1. Шаровар Ф.Н. Устройства и система пожарной сигнализации. – М.: Стройиздат, 1979. — 270 с.
2. НПБ 110-96 Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками тушения и обнаружения пожара.
3. 18. СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
4. Членов А.Н., Землянухин М.В. Комбинированный пожарный извещатель / Материалы XIX научно-практической конференции «Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков». – М.: ВНИИПО МЧС России, 2003. – С.88 — 90.

Научное издание

Научный редактор
Колодкин Владимир Михайлович

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Сборник статей
Выпуск 9

Компьютерный набор и верстка
Чирков Борис Владимирович

Авторская редакция

Подписано в печать 08.06.2015. Формат 60x84 $^{1}/_{16}$
Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,22.
Тираж 100 экз. Заказ № 15-48

Издатель: АМО «Ижевский институт компьютерных исследований»
426034, г. Ижевск, ул. Кооперативная, д. 5.
тел./факс: +7 (3412) 500-295