

УДК 614.84

© В.М.Колодкин, О.А.Морозов, Д.В.Варламов

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРА И ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ ИЗ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

В работе предложен новый подход к проблеме определения уровня пожарной опасности общественных зданий. Авторами представлен метод, основанный на использовании проблемно-ориентированного Ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/>).

Ключевые слова: пожарная безопасность, риск, проблемно-ориентированный ресурс.

Введение

Общепринятой характеристикой уровня пожарной безопасности общественных зданий в России является величина индивидуального пожарного риска. Сопоставительный анализ количественных значений оценок пожарного риска, позволяет выделить здания с высоким уровнем пожарной опасности. Именно к этим объектам должны в первую очередь применяться меры по уменьшению пожарной опасности. Динамика изменения количественных оценок риска позволяет проверить эффективность мер и, при необходимости, откорректировать меры, направленные на снижение ущербов от пожаров в общественных зданиях. Ранжирование зданий по уровню пожарной опасности является необходимым условием для управления рисками, для применения организационных, экономических рычагов по снижению рисков.

Проблема заключается в том, что прогнозирование уровня пожарной опасности должно быть выполнено с согласованной точностью для всех общественных зданий в пределах территориального образования. Вместе с тем, требуемая точность прогнозирования последствий пожара, разнообразие внутреннего строения общественных зданий, предопределяют использование сложных математических моделей. Сложность моделей приводит к усложнениям программных комплексов.

Отмеченное противоречие между сложностью математических моделей, с одной стороны, и необходимостью исследования уровня пожарной опасности для огромного количества зданий, с другой стороны, может быть преодолено на базе интеграции математической теории безопасности с современными информационными технологиями. Цель интеграции – обеспечить доступ к математическим моделям прогнозирования последствий пожаров и соответствующим программным комплексам, широкому кругу Пользователей (представителям экспертных, страховых организаций, представителям собственников зданий и так далее). Путь интеграции лежит через создание (развитие) проблемно-ориентированного Ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/>) на базе открытой аппаратно-независимой тиражируемой программной платформы.

§ 1. Индивидуальный пожарный риск

Величина индивидуального пожарного риска Q_v может быть определена соотношением [1] –

$$Q_E = Q_{\Pi} \cdot (1 - R_{\text{АП}}) \cdot P_{\text{ПР}} \cdot (1 - P_{\text{Э}}) \cdot (1 - P_{\text{ПЗ}}), \quad (1.1)$$

где Q_{Π} - частота возникновения пожара в здании в течение года; $R_{\text{АП}}$ - вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения; $P_{\text{ПР}}$ - вероятность присутствия людей в здании; $P_{\text{Э}}$ - вероятность эвакуации людей; $P_{\text{ПЗ}}$ - вероятность эффективной

работы системы противопожарной защиты

$$P_{ПЗ} = 1 - (1 - R_{обн} \cdot R_{СОУЭ}) \cdot (1 - R_{обн} \cdot R_{ПДЗ}), \quad (1.2)$$

$R_{обн}$ - вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации; $R_{СОУЭ}$ - условная вероятность эффективного срабатывания системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации; $R_{ПДЗ}$ - условная вероятность эффективного срабатывания системы противодымной защиты в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Как следует из (1.1) имманентные свойства здания с точки зрения пожарной безопасности характеризуются вероятностью эвакуации людей из здания $P_{Э}$. Для предварительного анализа возможных значений $P_{Э}$ ограничимся рассмотрением зданий школ.

Для школьных зданий, в соответствии с рекомендациями [1], положим:

$Q_{п} = 4.16 \cdot 10^{-5} \cdot N$, где N - количество учащихся в школе; $R_{АП} = 0.9$ при наличии в здании системы автоматического пожаротушения и $R_{АП} = 0$ в противном случае; $P_{ПР} = 0.5$; $R_{обн} = 0.8$; $R_{СОУЭ} = 0.8$; $P_{ПЗ} = 0.8$. Здание отвечает требованиям, предъявляемым к зданию с точки зрения пожарной безопасности, если величина индивидуального пожарного риска $Q_{в}$ не превосходит нормативного значения $Q_{E}^H = 10^{-6}$ год⁻¹. Условие $Q_{в} \leq Q_{E}^H$ определяет область значений вероятности эвакуации людей $P_{Э}$, при которых здание отвечает требованиям по пожарной безопасности. Граничное значение вероятности эвакуации людей $P_{Э}^*$ определяется из решения уравнения $Q_{E} - Q_{E}^H = 0$.

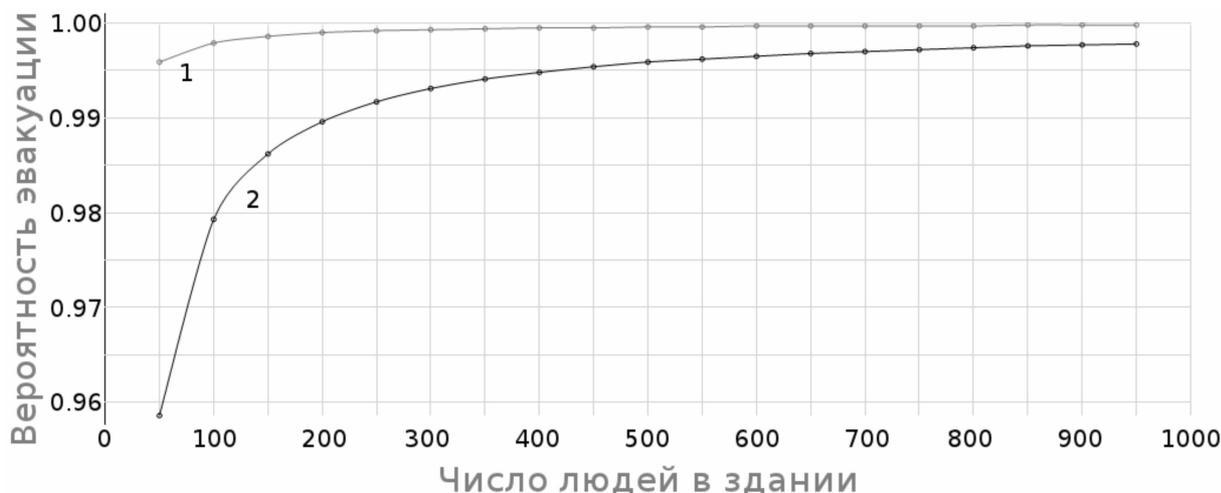


Рис. 1. Зависимость вероятности эвакуации людей (граничное значение) $P_{Э}^*$ от числа людей в здании образовательного учреждения N . 1 — при отсутствии в здании системы автоматического пожаротушения; 2 — при наличии в здании системы автоматического пожаротушения

На рисунке 1 показан график зависимости $P_{Э}^*(N)$, где N - количество учащихся в здании. Если здание не оборудовано системой автоматического пожаротушения $R_{АП} = 0$, то здание отвечает требованиям пожарной безопасности при вероятности эвакуации людей $P_{Э}^*$ не менее 0.99. Уменьшение граничных значений вероятности эвакуации людей возможно, если здание оборудовано системой автоматического пожаротушения $R_{АП} = 0.9$ (рис. 1). Из анализа результатов, представленных на рисунке 1, следует, что школьное здание должно отвечать весьма высоким требованиям по возможности эвакуации людей из здания при пожаре; вероятность эвакуации $P_{Э}^*$ должна определяться с высокой степенью точности.

§ 2. Математическое моделирование пожара и эвакуации людей

По определению, индивидуальный пожарный риск для здания - вероятность гибели человека

при воздействии на него опасных факторов пожара. Поэтому вероятность эвакуации людей P_{Ξ} может быть определена через вероятность выхода человека из здания.

Для определения вероятности эвакуации P_{Ξ} рассмотрим функцию $x(t)$ - количество людей, вышедших из здания при пожаре к моменту времени t . $x(t)$ - ограниченная сверху, кусочно-непрерывная функция, увеличивающая свои значения в моменты времени выхода очередного человека из здания (процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем). Свойства функции: $x(t=0) = 0$; $x(t) \leq N$, где N - количество людей в здании при $t = 0$. Значения функции $x(t)$ зависят от многих случайных факторов: сценарий пожара, распределение людей по зданию, распределение пожарной нагрузки и так далее. Функция $x(t)$ является одной из возможных реализаций случайного процесса $X(t) = \varphi(t, \omega)$, $\omega \in \Omega$ (Ω - пространство элементарных событий). В сечении случайного процесса ($t = t^*$), имеем совокупность случайных величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i, \dots, \xi_n$. ξ_i - количество людей вышедших из здания к моменту времени t^* в условиях реализации i -го элементарного события. Распределение случайных величин в произвольном сечении случайного процесса характеризуется математическим ожиданием $M[X(t)] = m_{\xi}(t)$. Случайный процесс $X(t)$ при $t \geq t^{\circ}$ обращается в стационарный, если вариация математического ожидания случайного процесса обращается в ноль: $\delta M[X(t \geq t^{\circ})] = 0$. Под вероятностью эвакуации людей P_{Ξ} будем понимать нормированное значение математического ожидания случайного стационарного процесса -

$$P_{\Xi} = \frac{1}{N} M[X(t \geq t^{\circ})]. \quad (2.1)$$

Отметим, что пространство элементарных событий, порождающих реализацию случайного процесса, в общем случае, практически бесконечно. Выборка элементарных событий, используемая для практических расчетов, будет включать аварийные сценарии, различающиеся местом возникновения пожара в здании. Выбор аварийного сценария подчиняется процедуре случайного выбора. При каждом испытании моделируется аварийный сценарий пожара и процесс эвакуации людей.

Моделирование пожара основано на той или иной идеализации теплообмена реагирующих сред. Состояние среды при пожаре описывается некоторым набором характеристик (количество горючего, количество окислителя, скорость компонентов газовой среды и так далее). Если характеристики усредняются по помещению, приходим к интегральной модели, если усредняются по элементарному объему - приходим к полевой модели. В частности, двух зонная модель - усреднение характеристик среды по двум зонам в помещении, разделенном горизонтальной плоскостью. Для помещений и систем помещений простой конфигурации, линейные размеры которых сопоставимы между собой, приемлемая для практики точность достигается при использовании двух зонной модели пожара. Двух зонная модель пожара используется в программном комплексе CFAST [2]. Моделирование пожара в зданиях, внутреннее строение которых не может быть сведено к системе помещений с простой конфигурацией, основано на использовании полевой модели. Полевая модель используется в программном комплексе FDS [3]. Программные комплексы CFAST и FDS - комплексы с открытым кодом и без ограничений на использование.

Обращаясь к задаче моделирования эвакуации людей, отметим, что в России изучение и планирование процесса эвакуации людей прошло длительный путь. Начальное состояние работ было отражено в монографии С.В.Беляева [4]. Современное состояние работ, отражено в работе В.В.Холщевникова и Д.А.Самошина [5]. В [1] представлены три модели, которые описывают процесс эвакуации людей при пожарах из общественных зданий и сооружений. Математические модели частично реализованы в программных комплексах. Из российских программных комплексов моделирования процесса эвакуации можно выделить Ситис «Флоутек» и Ситис «Эватек» [6]. Процесс эвакуации в рамках комплекса Ситис «Флоутек» анализируется на основе упрощенной аналитической модели движения людского потока [1]. В основе моделирования эвакуации в рамках комплекса Ситис «Эватек» лежит математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания [1] (аналог программы Simulex www.iesve.com Эдинбург-

ского университета). Указанные программные комплексы ориентированы исключительно на условия локального использования.

§ 3. Прогнозирование последствий пожара

В настоящее время для оценки уровня пожарной безопасности общественных зданий в рамках проблемно-ориентированного Ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/>) предназначены два Сервиса – «Декларация пожарной безопасности» («Декларация ПБ») и «Оценка пожарного риска». Сервисы различаются в двух аспектах. Во-первых, в первом случае используются математические модели, отвечающие [1]. Пользователь со своего рабочего места вводит необходимую для расчетов информацию, информация обрабатывается на сервере, и Пользователь получает на своем рабочем месте результаты работы сервера в виде декларации пожарной безопасности и расчетно-пояснительной записки. Пользователю доступны документы с промежуточными результатами расчетов и документы с описанием моделей, алгоритмов, используемых при прогнозировании последствий пожара.

Во-вторых, и это главное отличие, - при работе в среде Сервиса «Декларация ПБ», Пользователь лишен возможности выбора моделей прогнозирования. Совокупность моделей, используемая при прогнозировании последствий пожара в здании, определена разработчиками Сервиса. Предполагается, что с использованием выбранной совокупности моделей и принятых соглашений с приемлемой и согласованной точностью охватывается не менее 80 % общественных зданий.

Работа в среде Сервиса «Оценка пожарного риска» предполагает более высокую квалификацию Пользователя, так как в этом случае допускается выбор моделей и соглашений из определенной совокупности.

С использованием сервисов выполнены оценки уровня пожарной безопасности школьных зданий, расположенных в пределах субъекта Российской Федерации. Для школьных зданий выполнены расчеты пожарного риска, сгенерированы декларации пожарной безопасности и расчетно-пояснительные записки. Министерство, которому подчинены школы, имеет доступ к сводной информации по пожарной безопасности школьных зданий.

Работа Пользователя в среде проблемно ориентированного Ресурса осуществляется через механизм «виртуальных кабинетов». Суть данного механизма в том, что каждый Пользователь Ресурса осуществляет процессы математического моделирования и генерации отчетных документов на персонализированной странице. Функциональное наполнение страницы зависит от роли Пользователя. Для роли «учебное заведение» доступен функционал моделирования процессов пожара и эвакуации в здании школ. Роль «администратор учебных заведений» поддерживает возможность анализа результатов прогнозирования последствий пожара в зданиях, расположенных в пределах территориального образования. Например, для роли «администратор учебных заведений» доступна функция, которая позволяет представить результаты расчетов пожарного риска по всем школьным зданиям на карте местности.

Для представления результатов расчетов на географической карте используется информация по расположению здания на территории и информация, характеризующая уровень пожарной безопасности. Характеристика уровня пожарной безопасности может относиться как к отдельному зданию, так и к территориальному образованию (например, району).

В портале «Безопасность в техносфере» данная задача решается в рамках применения платформы Google Map API («Карты Google») [7]. При применении платформы «Карты Google» Пользователь имеет возможность использовать картографическую информацию любого района земной поверхности в различных видах (спутниковые снимки, схемы, карты высот и так далее). «Привязка» объекта к карте осуществляется путем указания географических координат объекта в системе WGS84 [8].

Сервисы выполняются в специализированной среде распределенного выполнения задач, которая позволяет динамически менять текущую производительность вычислительного кластера. Примененная модель опирается на библиотеку jGroup и позволяет подключать вычисли-

тельные ресурсы на аппаратно-независимом уровне запуском задачи на дополнительной хост-машине приложения.

§ 4. Заключение

Один из возможных подходов к решению проблемы снижения ущерба от пожаров в общественных зданиях России, проходит через развитие и применение в повседневной практике проблемно-ориентированного Ресурса, доступного посредством сети Интернет. Ресурс может составить техническую основу системы оценки пожарных рисков в пределах территории Российской Федерации.

Сервисы, входящие в Ресурс, ориентированы на решение конкретных практических задач. Сервисы строятся на основе открытой аппаратно-независимой программной платформы, допускающей расширение банка алгоритмов и программ, расширения вычислительной сети и обеспечивающей дистанционный доступ к проектирующим и обучающим компонентам Сервиса, посредством сети Интернет.

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).
2. Fire Growth and Smoke Transport Modeling with CFAST (<http://cfast.nist.gov/>)
3. Fire Dynamic Simulator – FDS (<http://fire.nist.gov/fds/>)
4. Беляев С. В. Эвакуация зданий массового назначения. Издательство Всесоюзной академии архитектуры. 1938 г.
5. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2009
6. <http://www.sitis.ru/>
7. <http://code.google.com/intl/ru-RU/apis/maps/index.html>
8. http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html

Поступила в редакцию 01.09.09

V.M.Kolodkin, O.A.Morozov, D.V.Varlamov

Software for mathematic modeling of fire and evacuation from social buildings

This paper presents a new approach to the problem of determining the level of fire safety of social buildings. The authors have presented an approach, based on the problem-based resource «Safety in Technosphere» (<http://rintd.ru/>).

Keywords: fire safety, risk, problem-based resource.

Mathematical Subject Classifications: 97N80,81T80

Колодкин Владимир Михайлович, д. т. н. профессор кафедры математического моделирования и прогнозирования Удмуртского государственного университета, 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1, т. (3412) 916-085, E-mail: Kolodkin@wing.uni.udm.ru

Морозов Олег Анатольевич, преподаватель кафедры математического моделирования и прогнозирования Удмуртского государственного университета, 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1,

т. (3412) 683-831, E-mail: oam_oam@mail.ru

Варламов Дмитрий Викторович, аспирант Удмуртского государственного университета, 426034, Россия,
г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1, т. (3412) 683-831, E-mail: big.black.fox@gmail.com