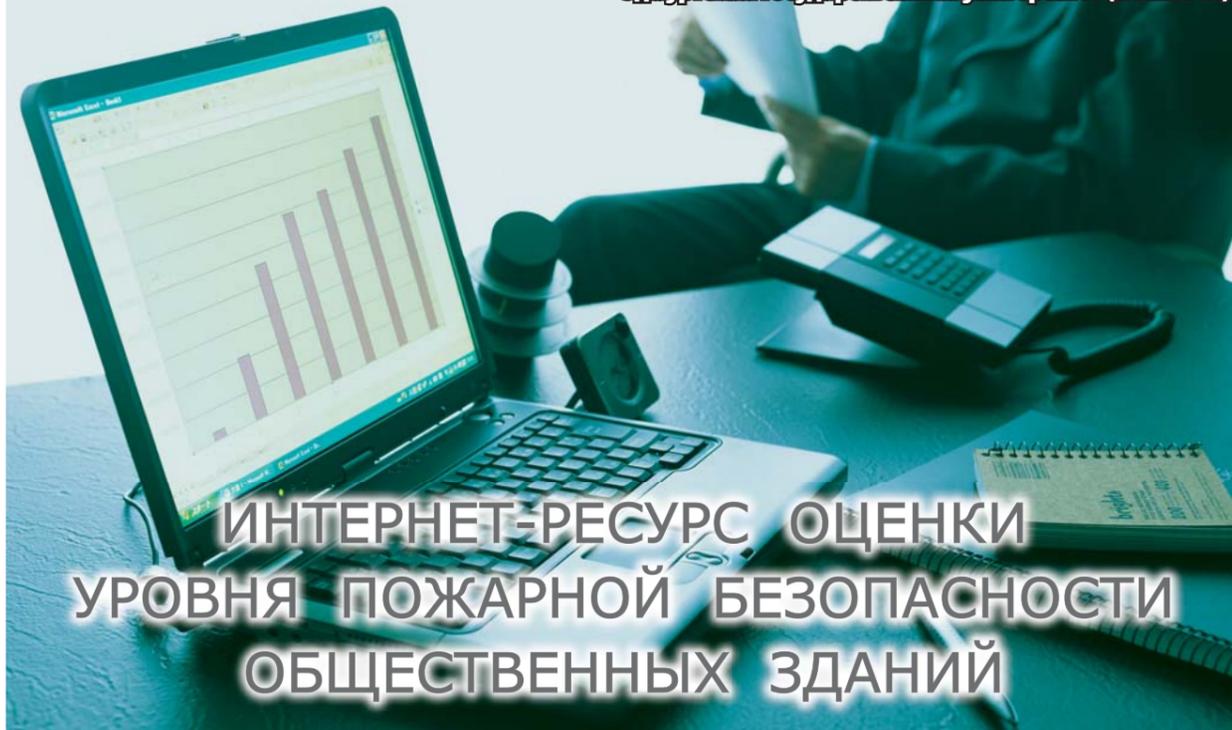


УДК 614.84

Д.т.н., профессор В. М. КОЛОДКИН,
к.т.н., доцент О. А. МОРОЗОВ,
аспирант Д. В. ВАРЛАМОВ,
аспирант А. А. ЯЦЕНКО,
кафедра математического моделирования и прогнозирования,
Удмуртский государственный университет (г. Ижевск)



ИНТЕРНЕТ-РЕСУРС ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Рассмотрено методическое обеспечение и предложены программные инструментальные средства для автоматизации расчета пожарных рисков и генерации комплекта документов по декларации пожарной безопасности общественных зданий. Представлены программные средства анализа пожарной безопасности зданий территориального образования.

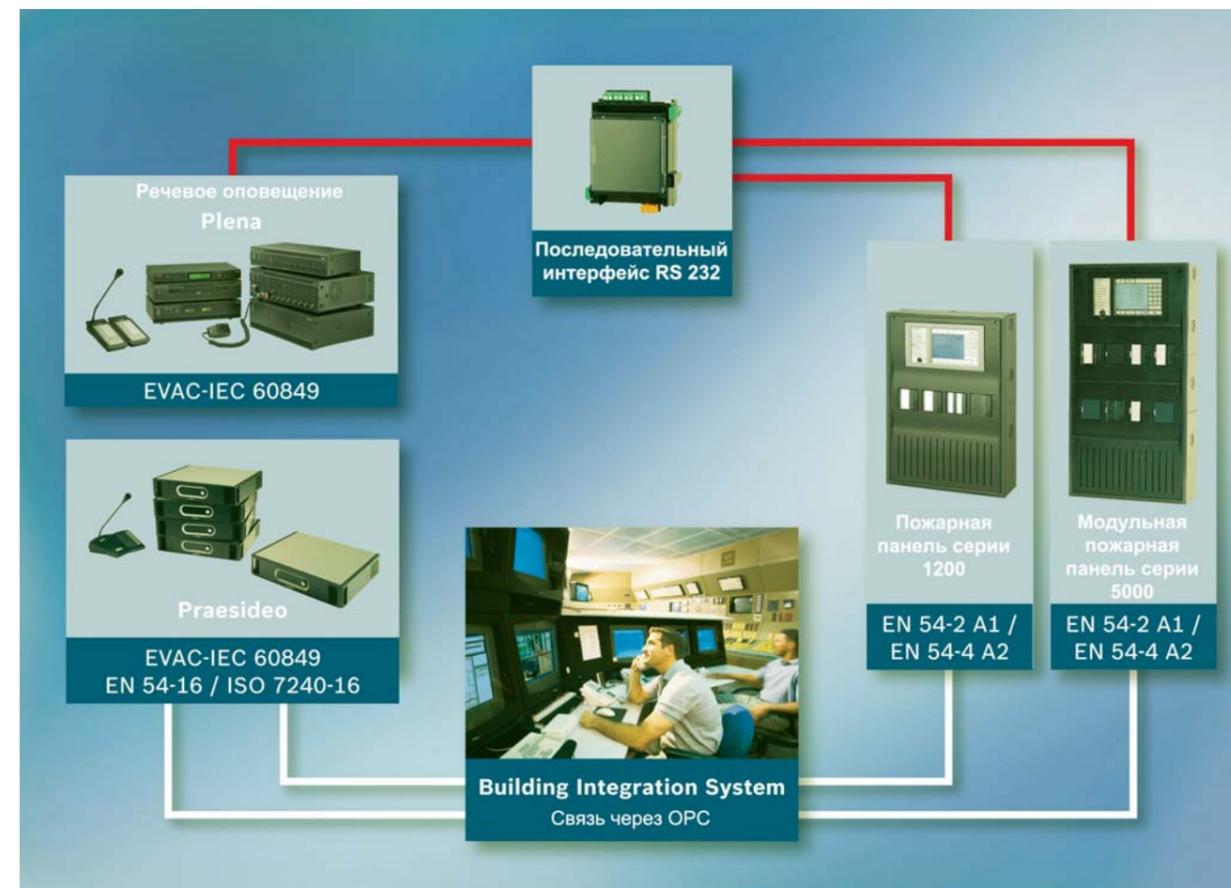
Ключевые слова: пожарный риск; декларация пожарной безопасности; общественные здания; сервис; моделирование; пожар; эвакуация.

Общепринятой характеристикой уровня пожарной безопасности общественных зданий в России является величина индивидуального пожарного риска. Сопоставительный анализ количественных оценок пожарного риска, позволяет выделить здания с высоким уровнем пожарной опасности. Именно к этим объектам должны в первую очередь применяться меры по снижению пожарной опасности. Динамика изменения количественных оценок риска позволяет проверить эффективность и при необходимости откорректировать меры, направленные на снижение ущерба от пожаров в общественных зданиях. Количественная оценка пожарного риска обеспечивает условия для ранжирования зданий по уровню пожарной опасности, позволяет определиться с путями снижения уровня опасности с учетом существующих финансовых ограничений. Такое ранжирование является необходимым условием для управления рисками, применения организационных и экономических рычагов снижения рисков.

Трудность заключается в том, что прогнозирование уровня пожарной опасности должно быть выполнено в согласованной точностью для всех общественных зданий в пределах территориального образования. Вместе с тем, требуемая точность прогнозирования последствий пожара, разнообразие внутреннего строения общественных зданий и прочие причины предопределяют использование сложных математических моделей. Проблема усугубляется тем, что с повышением требований к сложности моделей возрастают требования и к вычислительным ресурсам. Поэтому разнообразие задач и требований к точности решений приводит к созданию множества программных средств. В результате программные комплексы для решения практически значимых задач в области прогнозирования последствий пожара становятся малодоступными для специалистов в области пожарной безопасности.

Отмеченное противоречие между сложностью математических моделей, с одной стороны, и необходи-

© В. М. Колодкин, О. А. Морозов, Д. В. Варламов, А. А. Яценко, 2011



мостью исследования уровня пожарной опасности для огромного количества зданий, с другой, может быть преодолено интеграцией математической теории безопасности с современными информационными технологиями. Цель интеграции — обеспечить доступ к математическим моделям прогнозирования последствий пожаров и соответствующим программным продуктам широкому кругу пользователей (представителям экспертных и страховых организаций, собственникам зданий и т. д.). Это позволит предоставить конечному пользователю инструментальный для: прогнозирования уровня пожарной опасности зданий; выявления общественных зданий с недостаточной пожарной защищенностью; выработки экономически обоснованных мероприятий по снижению ущерба от пожаров. Путь интеграции лежит через создание (развитие) проблемно-ориентированного ресурса [1] на базе открытой аппаратно-независимой и тиражируемой программной платформы.

В настоящее время для прогнозирования последствий пожара в рамках проблемно-ориентированного ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru>) предназначены два сервиса — «Декларация пожарной безопасности (ПБ)» и «Оценка пожарного риска».

Сервис «Декларация ПБ» предназначен для формирования деклараций пожарной безопасности общественных зданий и сооружений. В отношении зданий образова-

тельных учреждений сервис предлагается пользователям в режиме свободного доступа. Результатом работы пользователя в среде сервиса является документ — декларация пожарной безопасности [2].

Величина индивидуального пожарного риска Q_v может быть определена соотношением [3]

$$Q_v = Q_n (1 - R_{ан}) P_{пр} (1 - P_э) (1 - P_{пз}), \quad (1)$$

где Q_n — частота возникновения пожара в здании в течение года; $R_{ан}$ — вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения; $P_{пр}$ — вероятность присутствия людей в здании; $P_э$ — вероятность эвакуации людей; $P_{пз}$ — вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты.

Вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты в соответствии с [3] составит

$$P_{пз} = 1 - (1 - R_{обн} R_{совэ}) (1 - R_{обн} R_{пдз}), \quad (2)$$

или в соответствии с уточнением [4]

$$P_{пз} = R_{обн} [1 - (1 - R_{совэ}) (1 - R_{пдз})]. \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3): $R_{обн}$ — вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации; $R_{совэ}$ — условная вероятность эффективного

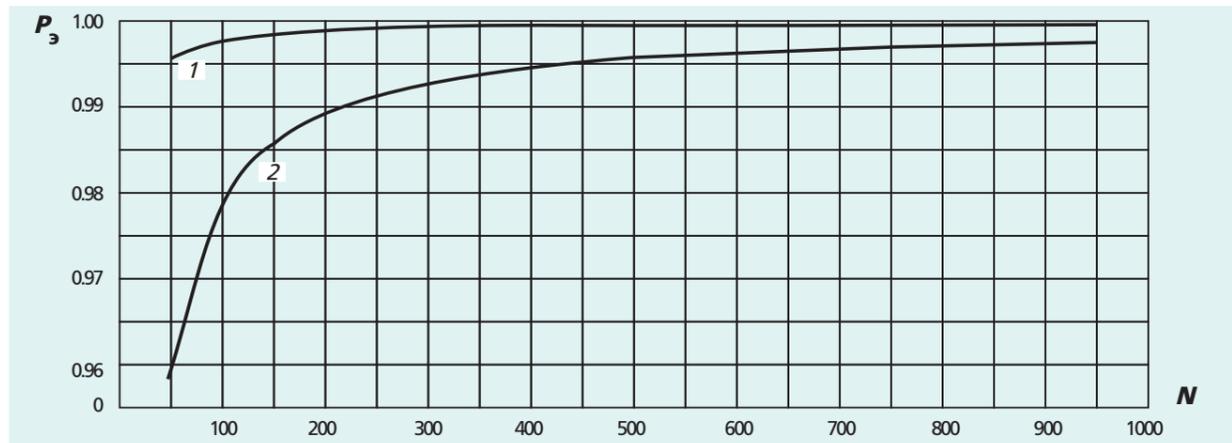


Рис. 1. Зависимость граничного значения вероятности эвакуации людей (P_3^*) от их числа (N) в здании образовательного учреждения при отсутствии (1) или наличии (2) в нем системы автоматического пожаротушения

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

Как следует из соотношения (1), имманентные свойства здания с точки зрения пожарной безопасности характеризуются вероятностью эвакуации людей из него. Для предварительного анализа возможных значений P_3 ограничимся рассмотрением зданий школ, для которых в соответствии с рекомендациями [3] положим: $Q_n = 4,16 \cdot 10^{-5} N$ (N — количество учащихся в школе); $R_{ан} = 0,9$ при наличии в здании системы автоматического пожаротушения и $R_{ан} = 0$ — в противном случае; $P_{пр} = 0,5$; $R_{обн} = 0,8$; $R_{соуэ} = 0,8$; $P_{пз} = 0,8$.

В соответствии с ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования» общественное здание отвечает требованиям, предъявляемым к нему с точки зрения пожарной безопасности, если величина индивидуального пожарного риска не превосходит значения 10^{-6} год⁻¹. Условие $Q_b \leq Q_b^*$ определяет область значений P_3 , при которых здание отвечает требованиям пожарной безопасности. Граничное значение вероятности эвакуации людей P_3^* определяется из решения уравнения $Q_b - Q_b^* = 0$.

На рис. 1 показана зависимость P_3^* от N . Если здание не оборудовано системой автоматического пожаротушения ($R_{ан} = 0$), то оно отвечает требованиям пожарной безопасности при вероятности эвакуации людей не менее 0,99. Уменьшение этих значений возможно, если здание оборудовано системой автоматического пожаротушения ($R_{ан} = 0,9$). Из анализа результатов, представленных на рис. 1, следует, что школьное здание должно отвечать достаточно высоким требованиям по возможности эвакуации людей из него при пожаре. При этом вероятность эвакуации должна определяться с высокой степенью точности.

При оценке P_3 может быть использован подход, основанный на сопоставлении временных интервалов:

расчетного времени эвакуации людей t_p , времени от возникновения пожара до начала эвакуации $t_{на}$, времени блокирования путей эвакуации $t_{бл}$ [3, 4]. Последний из перечисленных показателей определяется временем достижения опасными факторами пожара предельных значений. Расчет времени эвакуации в среде сервиса «Декларация ПБ» базируется на математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания [3]. Данный подход определен нормативными документами. Он используется для расчета пожарного риска в рамках проблемно-ориентированного ресурса в сервисе «Декларация ПБ».

Сервис «Оценка пожарного риска» допускает использование «частотного» определения вероятности эвакуации людей при пожаре. Индивидуальный пожарный риск для здания — это вероятность гибели человека при воздействии на него опасных факторов пожара. Поэтому вероятность эвакуации людей P_3 может быть найдена через вероятность выхода человека из здания.

Для определения P_3 рассмотрим функцию $x(t)$ — количество людей, вышедших из здания при пожаре к моменту времени t . Это ограниченная сверху, кусочно-непрерывная функция, возрастающая в моменты выхода очередного человека из здания (процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем). Ее свойства: $x(t=0) = 0$; $x(t) \leq N$, где N — количество людей в здании при $t = 0$. Значения данной функции зависят от многих случайных факторов: сценария пожара, местонахождения людей в здании, распределения пожарной нагрузки и т. д. Функция $x(t)$ является одной из возможных реализаций случайного процесса $x(t) = \phi(t, \omega)$, $\omega \in \Omega$ (Ω — пространство элементарных событий). В сечении случайного процесса $X(t = t^*)$ имеем совокупность случайных величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i$ (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 $t \geq t^0$ (обра-

ского ожидания обращается в ноль: $\delta M[X(t) \geq t^0] = 0$. Под вероятностью эвакуации людей будем понимать нормированное значение математического ожидания случайного стационарного процесса

$$P_y = \frac{1}{N} M[X(t \geq t^0)].$$

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 моделируются аварийный сценарий пожара и процесс эвакуации людей.

Моделирование пожара основано на той или иной идеализации тепломассообмена реагирующих сред. Состояние среды при пожаре описывается некоторым набором характеристик (количество горючего и окислителя, скорость компонентов газовой среды и т. д.). Если характеристики усредняются по помещению, приходим к интегральной модели, если по элементарному объему — к полевой модели. В частности, двухзонная модель — это 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 двухзонной модели пожара. Такая модель используется в программном комплексе CFAST [5]. Моделирование пожара в зданиях, внутреннее строение которых не может быть сведено к системе помещений простой конфигурации, основывается на полевой модели. Эта модель применяется в программном комплексе FDS [6]. CFAST и FDS — программные комплексы с открытым кодом и без ограничений на использование.

Обращаясь к задаче моделирования эвакуации людей, отметим, что в России изучение и планирование процесса эвакуации прошло длительный путь. Начальное состояние работ отражено в монографии С. В. Беляева [7], современное — в книге В. В. Холщевникова и Д. А. Самошина [8]. В методике [3] представлены три модели, описывающие процесс эвакуации людей при пожарах из общественных зданий и сооружений. Математические модели частично реализованы в программных комплексах, среди которых в России можно выделить «Ситис: Флоутек» и «Ситис: Эватек» [9]. Процесс эвакуации в рамках первого из указанных комплексов исследуется с помощью упрощенной аналитической модели движения людского потока [3]. В основе моделирования эвакуации в рамках комплекса «Ситис: Эватек» лежит математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания [3] (аналог программы «Simulex» Эдинбургского университета (www.iesve.com)). Указанные программные комплексы ориентированы исключительно на условия локального использования.

За рубежом для исследования процесса эвакуации создан весьма широкий спектр программных продуктов, зачастую с открытым кодом, детальной документацией. Краткий сравнительный анализ наиболее распространенных математических моделей эвакуации и программных комплексов моделирования представлен на сайте [10]. Значимые достижения последнего времени связаны с именами Pushkin Kachroo [11], Paul M. Torrens [12], Tang Fangqin и Ren Aizhu [13], а также с разработками британской компании Croud Dinamics [14].

Необходимо отметить, что модели эвакуации и программные комплексы моделирования, разработанные за рубежом, непосредственно не могут быть перенесены на условия России, так как ориентированы на людей иного менталитета, на отличные от российских условия. Поэтому задачи отечественного сегмента моделирования процессов эвакуации — разработка, развитие и сбор существующих в России математических моделей эвакуации, их реализация в условиях унифицированного использования.

Сервисы «Декларация ПБ» и «Оценка пожарного риска» различаются по двум аспектам. Во-первых, в сервисе «Декларация ПБ» используются исключительно методы расчета, отвечающие методике [3]. Пользователь своего рабочего места вводит необходимую для расчетов информацию, которая затем обрабатывается на сервере, и получает результаты в виде декларации пожарной безопасности и расчетно-пояснительной записки. Пользователю доступны документы с промежуточными результатами расчетов и 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, так как совокупность используемых моделей определена разработчиками сервиса. Предполагается, что применение выбранной совокупности моделей и принятых соглашений с приемлемой и согласованной точностью охватывает не менее 80 % общественных зданий.

Работа в среде сервиса «Оценка пожарного риска» предполагает более высокую квалификацию пользователя, так как в этом случае возможен выбор моделей и соглашений из определенной совокупности. Сервис допускает применение статистического определения вероятности эвакуации (4), что обуславливает процедуру моделирования последовательности случайных сценариев пожара и эвакуации.

Продemonстрируем методы оценки уровня пожарной безопасности общественных зданий на примере школ, расположенных в пределах субъекта Российской Федерации. В ходе работы для школьных зданий выполнены расчеты пожарного риска и сгенерированы декларации пожарной безопасности и расчетно-пояснительные записки. Министерство, которому подчинены школы, имеет доступ к сводной информации по их пожарной безопасности.

Разработка документов в рамках сервиса осуществляется через механизм «личных кабинетов». Суть данного механизма в том, что каждый пользователь системы

ОБЪЕКТ	РИСК	РАЙОН
МОУ СОШ №20	0,0000015678	Ижевск
МОУ СОШ №51	0,0001091373	Ижевск
Сиганская СОШ	0,0012926484	Сарапульский
МОУ Красногорская гимназия	0,0012491981	Красногорский
МОУ СОШ №24	0,0016692100	Ижевск
МОУ СОШ №54	0,0015931802	Ижевск
МОУ СОШ №97. Учебный корпус №2	0,0016474931	Ижевск

РАЙОН	РИСК	ОБУЧАЮЩИЕСЯ
Алнашский	0,0001244288	523
Балезинский	0,0003794155	1445
Вавожский	0,000031612	213
Воткинский	0,000003283	783
Глазовский	0,000003223	178
Граховский	0,000001636	334

а

б

Рис. 2. Фрагмент таблицы с результатами расчетов пожарного риска по объектам (а) и районам (б)

осуществляет процессы создания документов, проведения расчетов на персонализированной странице ресурса. Функциональное наполнение страницы зависит от роли пользователя. В качестве примера рассмотрим функциональное наполнение для ролей «учебное заведение» и «администратор учебных заведений».

Для роли «учебное заведение» доступен функционал расчета пожарного риска и формирования соответствующих документов (декларации пожарной безопасности, расчетно-пояснительной записки). Работа в рамках сервиса «Декларация ПБ» для данной роли сводится к следующей последовательности действий:

- * представление в систему данных по объекту, для которого будут разрабатываться документы, включающих: поэтажный план здания с размерами и типами помещений (тип характеризует свойства помещения с точки зрения пожарной безопасности); возможное количество людей в каждом из помещений и в здании в целом. Для ввода в систему поэтажных планов используется специальная программа-редактор, которую можно «скачать» с официального сайта портала «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/declaration>). Данные представляются для каждого этажа путем векторизации планов (оцифровка растровых изображений). Информация по зданию сохраняется на компьютере пользователя, допускается ее редактирование. При этом данные экспортируются программой-редактором в файл специального формата;
- * Информация по зданию передается на сервер для расчета и генерации декларации и расчетно-пояснительной записки. В отношении пользователя данный этап работы заключается в указании имени файла, содержащего данные по зданию, и подачи команды «Загрузить»;
- * сгенерированные документы доступны для «скачивания» с персонализированной страницы ресурса.

Отметим, что процедура расчета пожарного риска и формирования декларации пожарной безопасности поддерживается обучающей системой, доступной в рамках ресурса через раздел «Обучение» (http://rintd.ru/form_decl).

Для роли «администратор учебных заведений» доступен функционал анализа обобщенных оценок пожарных рисков зданий образовательных учреждений. Для представления результатов расчетов используются два спосо-

ба: табличный и картографический. На рис. 2 показаны примеры представления результатов расчетов, отсортированных по величине пожарного риска и по районам размещения школьных зданий.

В картографическом виде результаты расчетов пожарного риска по объектам даны в виде условных обозначений, нанесенных на карту местности (рис. 3). Карта формируется в автоматическом режиме и предоставляет следующие возможности для анализа:

- 1) навигация в режимах схемы или снимков со спутников;
- 2) перемещение по заранее определенным закладкам;
- 3) отображение на карте всех объектов или объектов только определенного типа;
- 4) визуализация различных расчетных данных (величины риска, количества реципиентов риска и т. д.) средствами условных обозначений (цветом, текстом);
- 5) отображение расчетных данных для объекта на «сноске».

Картографическое представление результатов расчетов построено на платформе «Карты Google» [15]. Пользователь имеет возможность «скачать» эту информацию для любого района земного шара в различных видах (спутниковые снимки, схемы, карты высот и т. д.). Для отображения результатов расчетов по объекту на карте осуществляется его «привязка» к определенной точке указанием географических координат объекта в системе WGS84 [16].

Выводы

Один из возможных подходов к решению проблемы снижения ущерба от пожаров в общественных зданиях России — развитие и применение в повседневной практике проблемно-ориентированного ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru>). Этот ресурс может составить техническую основу системы оценки пожарных рисков на территории Российской Федерации.

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

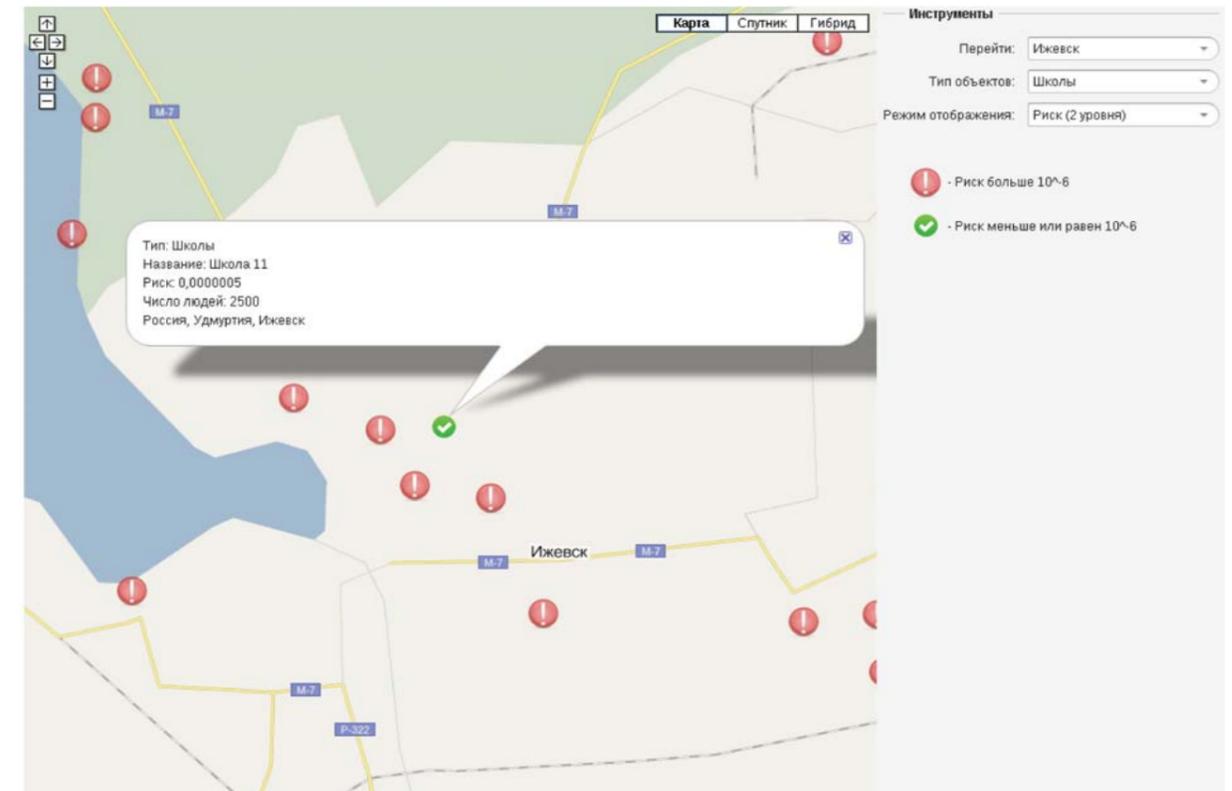


Рис. 3. Картографическое представление результатов расчетов пожарного риска в зданиях школ

Работа выполнена в рамках гранта АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы. Паспорт

безопасности образовательного учреждения как основа управления рисками в образовательных учреждениях России».

Список литературы

1. Колодкин В.М. Интернет-ресурс поддержки расчетов пожарных рисков для общественных зданий // Производство. Технология. Экология : материалы Международной конференции с элементами научной школы для молодежи / Науч. ред.: В. М. Колодкин, И.Л. Бухарина. — Ижевск : Удмурт. ун-т, 2010. — С. 11–19.
2. Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности: приказ МЧС РФ от 24 февраля 2009 г. № 91 : зарегистрировано в Минюсте РФ 23 марта 2009 г., рег. № 13577. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=86247>.
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приложение к приказу МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистрировано в Минюсте РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486. URL : <http://www.mchs.gov.ru>.
4. Седов Д. В. Уточнение методики расчета индивидуального пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2010. — № 2. — С. 116–122.
5. Fire Growth and Smoke Transport Modeling with CFAST. URL : <http://cfast.nist.gov>.
6. Fire Dynamic Simulator (FDS). URL : <http://fire.nist.gov/fds>.
7. Беляев С. В. Эвакуация зданий массового назначения. — М.: Издательство Всесоюзной академии архитектуры, 1938.
8. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
9. URL : <http://www.sitis.ru>.
10. URL : <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/i05107.pdf>.
11. URL : <http://faculty.unlv.edu/pushkin/#>.
12. URL : <http://geosimulation.org>.
13. URL : <http://qhxb.lib.tsinghua.edu.cn/myweb/english/2008/2008e5/708-714.pdf>.
14. URL : <http://www.crowddynamics.com>.
15. URL : <http://code.google.com/intl/ru-RU/apis/maps/index.html>.
16. URL : http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html.