

Е.С. КИРИК, ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук (Институт вычислительного моделирования СО РАН), И.Р. ХАСАНОВ, гл. науч. сотр., д-р техн. наук (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), К.Ю. ЛИТВИНЦЕВ, ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук (Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН), Е.А. ЯГОДКА, нач. каф. надзорной деятельности УНК ОНД, канд. техн. наук, доцент (АГПС МЧС России)

ПЕРЕЧЕНЬ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАСЧЕТА ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА*

На основе рассмотрения нормативных требований и исследований проведения расчетов по определению расчетной величины пожарного риска для общественных зданий осуществлен анализ состава исходных данных, используемых при численном моделировании пожаров. Показано, что от состава и качества исходных данных зависят результат расчета и, как следствие, качество разрабатываемых противопожарных мероприятий. Приведена классификация исходных данных, принимаемых в расчетах по определению расчетной величины пожарного риска для объекта защиты. Выделены два основных набора данных: получаемые на объекте и определяемые сформулированными сценариями по результатам обследования объекта. Приведен список параметров, которые оказывают качественное и количественное влияние на результат расчета, представлены способы определения количественных значений таких параметров, как площадь горения, удельная масса горючей нагрузки.

Ключевые слова: оценка пожарного риска, общественные здания, исходные данные, расчетная область, начальные условия, граничные условия, моделирование развития пожара, моделирование эвакуации

Введение

В соответствии с действующим законодательством Российской Федерации меры по защите людей при пожаре разрабатываются с учетом информации о динамике опасных факторов пожара и эвакуации людей (ст. 8 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» [1], ч. 3 ст. 7, ст. 52, ч. 3 ст. 53, ч. 3 ст. 81 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [2]), получаемой на основе испытаний, исследований, моделирования по апробированным, сертифицированным или нормативно утвержденным методам (методикам) (ч. 4 ст. 54 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [2], ч. 6 ст. 15 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» [1]).

Для моделирования развития пожара и эвакуации людей применяются численные методы, содержащиеся в методиках определения расчетных величин пожарного риска, утвержденных МЧС России [3, 4], и методике, изложенной в прил. 2 ГОСТ 12.1.004–91 [5]. В данной статье рассматривается методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (далее – Методика) [3].

* Исследования выполнены в рамках Соглашения между ФГБУ ВНИИПО МЧС России и ФГБНУ «ФИЦ «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» и государственного задания ИТ СО РАН и ИВМ СО РАН.

Развитию математических моделей развития пожара посвящен ряд отечественных [6–11] и зарубежных работ [12–16]. Одновременно исследователями изучались вопросы применимости и точности используемых моделей, а также верификация полученных данных [17–22].

Качество численного моделирования, эффективность и обоснованность разработанных на его основе противопожарных мероприятий зависят от многих параметров и, в том числе, от исходных данных, принятых при компьютерном моделировании.

В целях получения объективных данных о состоянии пожарной безопасности объекта защиты расчет пожарных рисков осуществляются в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [23] и Методикой. В соответствии с требованиями Административного регламента МЧС России [24] органами государственного пожарного надзора (далее – ГПН) в случае проведения расчета по оценке пожарного риска проверяется: соответствие исходных данных объекта защиты, применяемых в расчете, фактическим данным, полученным в ходе обследования; соответствие требованиям, установленным Методикой.

Результаты проведенных исследований [25] показали наличие проблемы, связанной с большим объемом несистематизированной информации, что затрудняет поиск исходных данных, подлежащих проверке. При этом практика работы ГПН показывает невозможность проводить оценку адекватности выбранных программных инструментов, математических моделей и их параметров, используемых для моделирования динамики пожара и эвакуации людей. Все это определяется выбором эксперта (специалиста, выполнившего моделирование – расчет по оценке пожарных рисков).

Таким образом, анализ состава исходных данных, используемых при численном моделировании, является актуальным, поскольку от исходных данных зависит результат расчета и, как следствие, качество противопожарных мероприятий, разрабатываемых на основе анализа результатов расчетов. Представляет также интерес то, как исходные данные могут влиять на результаты расчета, на что следует обращать внимание при анализе исходных данных, и как исходные данные должны быть согласованы с целями проведения расчетов.

Классификация исходных данных

В соответствии с Методикой процесс получения расчетной величины пожарного риска для конкретного сценария, при котором безопасная (в соответствии с ч. 3 ст. 53 Федерального закона № 123-ФЗ) эвакуация не обеспечивается, можно разбить на две составляющие: определение вероятности эвакуации и определение расчетной величины пожарного риска.

Определение вероятности эвакуации включает основные расчетные действия, связанные с применением численного моделирования, это – определение времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара (далее – ОФП) (рассчитывается на основе численного моделирования развития пожара) и определение времени эвакуации людей из отдельных частей здания и здания в целом (рассчитывается на основе численного моделирования эвакуации).

Определение величины пожарного риска для конкретного сценария производится расчетом с использованием ранее определенных коэффициентов, включая вероятность эвакуации. При этом необходимо отметить, что расчет величины пожарного риска производится только для сценариев, при которых безопасная эвакуация не обеспечивается.

Весь набор исходных данных можно разделить на **три категории**:

информация об объекте: класс функциональной пожарной опасности; объемно-планировочное решение; данные по контингенту (количество, состав, начальное расположение); системы противопожарной защиты (АУПС, СОУЭ, АУПТ и др.); дислокация пожарных подразделений (для объектов классов Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4); наличие средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ) (для объектов класса Ф1.1); устройство аварийных выходов (для объектов класса Ф1.3);

данные, характеризующие сценарий эвакуации при пожаре (формулирует эксперт по результатам обследования объекта):

2.1) расположение очага; характеристики горючей нагрузки (далее – ГН), включая массу ГН и область горения; область распространения ОФП в здании, которая используется для построения расчетной области; схема движения людей; время начала эвакуации, индивидуальные характеристики (скорость свободного движения, площадь проекции);

2.2) начальные и граничные условия для моделирования развития пожара, характеризующие условия начала пожара и определяющие процессы тепломассообмена как внутри здания, так и с окружающей средой;

2.3) в случае разработки компенсирующих мероприятий на основе ранее выполненных расчетов могут подвергаться корректировке: объемно-планировочные решения; данные по контингенту (схема движения людей; время начала эвакуации и индивидуальные характеристики людей); системам противопожарной защиты; наличие СИЗ (Ф1.1) – что может приводить к изменению данных из списков п. 2.1 и 2.2;

геометрические данные, описывающие расчетную область для моделирования развития пожара и ее деформацию (искажение геометрических размеров) вследствие дискретизации (построение расчетной сетки).

Данные, необходимые для каждого из этапов проведения расчета по оценке пожарного риска для конкретного сценария, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные, используемые на разных этапах процесса получения расчетной величины пожарного риска

Вид данных	Определение вероятности эвакуации из здания (на основе моделировании развития пожара и эвакуации)	Определение расчетной величины пожарного риска
1. Данные об объекте	Выполнение первичного расчета	
	Класс функциональной пожарной опасности, объемно-планировочное решение, линейные размеры, системы противопожарной защиты (АУПТ, СОУЭ, АУПТ и др.), данные по контингенту и начальному расположению	АУПС, СОУЭ, АУПТ, системы противопожарной защиты, дислокация пожарных подразделений (Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4), оборудование СИЗ (Ф1.1), аварийные выходы (Ф1.3)
2. Данные, характеризующие сценарий эвакуации при пожаре	Выполнение первичного расчета	
	Расположение очага, характеристики ГН (включая массу ГН и область горения), область распространения ОФП в здании, схема движения людей, время начала эвакуации, индивидуальные характеристики (скорость свободного движения, площадь проекции), начальные и граничные условия для моделирования развития пожара	

Разработка компенсирующих мероприятий	
	<p>Объемно-планировочное решение, данные по контингенту и начальному расположению, схема движения людей, время начала эвакуации, АУПС, СОУЭ, АУПТ, СИЗ (Ф1.1), расположение очага, характеристики ГН, область распространения ОФП в здании</p>
3. Геометрия расчетной области для моделирования развития пожара или/и сетки	<p>Геометрия и размеры элементов расчетной области для моделирования пожара (проемы, помещения, коридоры, лестницы), а также сетки, в случае несовпадения с расчетной областью</p>

Таким образом, часть исходных данных – это данные, которые непосредственным образом характеризуют объект (предоставляются заказчиком). Часть данных формируется экспертом при формулировании сценариев по результатам обследования объекта с учетом требований Методики. Третья часть данных – есть следствие используемых методов дискретизации расчетной области при моделировании развития пожара полевой или зонной моделями.

Размеры расчетной области для моделирования развития пожара и ее дискретизированное представление

Для выполнения численного моделирования развития пожара необходимо произвести дискретизацию расчетной области, то есть построить расчетную сетку [3, 7, 15]. Построение расчетной сетки можно условно разделить на три этапа.

Первый этап: определение области, в которой предполагается распространение ОФП («область ОФП»). Выбор этой области определяется на основе анализа объемно-планировочного решения, режима работы, функционального назначения и расположения ГН на объекте защиты, расположением людей, целями расчета сценария, требованиями Методики. Рассматриваются сценарии, в которых реализованы наихудшие условия для обеспечения безопасности людей.

На втором этапе на базе этой области формируется расчетная область путем геометрического упрощения «области ОФП». Упрощение геометрии происходит за счет игнорирования элементов объемно-планировочного решения, которые не имеют значимого влияния на распространение ОФП. Например, это могут быть: колонны, пилястры, декоративные элементы, мелкие строительные конструкции и т. д. При этом сохраняются геометрические характеристики для критически важных элементов объекта с точки зрения распространения ОФП: размеры и расположение проемов, основные размеры помещений, коридоров, объемы многосветных пространств, лестничных клеток и т. д. Принцип, которым следует руководствоваться при упрощении геометрии «области ОФП», основан на требованиях Методики – обеспечить наиболее высокую динамику нарастания ОФП. Иными словами, в результате принятых упрощений не должен увеличиться объем при сохранении характерных размеров.

На третьем этапе происходит дискретизация расчетной области – построение расчетной сетки. Для формирования сетки и расчетной области могут ис-

пользоваться программные инструменты, как встроенные в специализированные программы численного моделирования развития пожара, так и сторонние программы. Методы построения сеток и виды сеток разные, например, по форме сеточных ячеек – гекса-, тетра-, полиэдральные и т. д.). В зависимости от метода, реализованного в используемом программном обеспечении, и заданных параметров дискретизации может происходить деформация расчетной области при построении сетки.

На рис. 1 представлен пример несовпадения границ расчетной области и построенной сетки (т. е. сеточного дискретизированного представления расчетной области). Для расчетной области, состоящей из двух соединенных помещений (черный толстый контур), строится декартова сетка с постоянным однородным шагом.

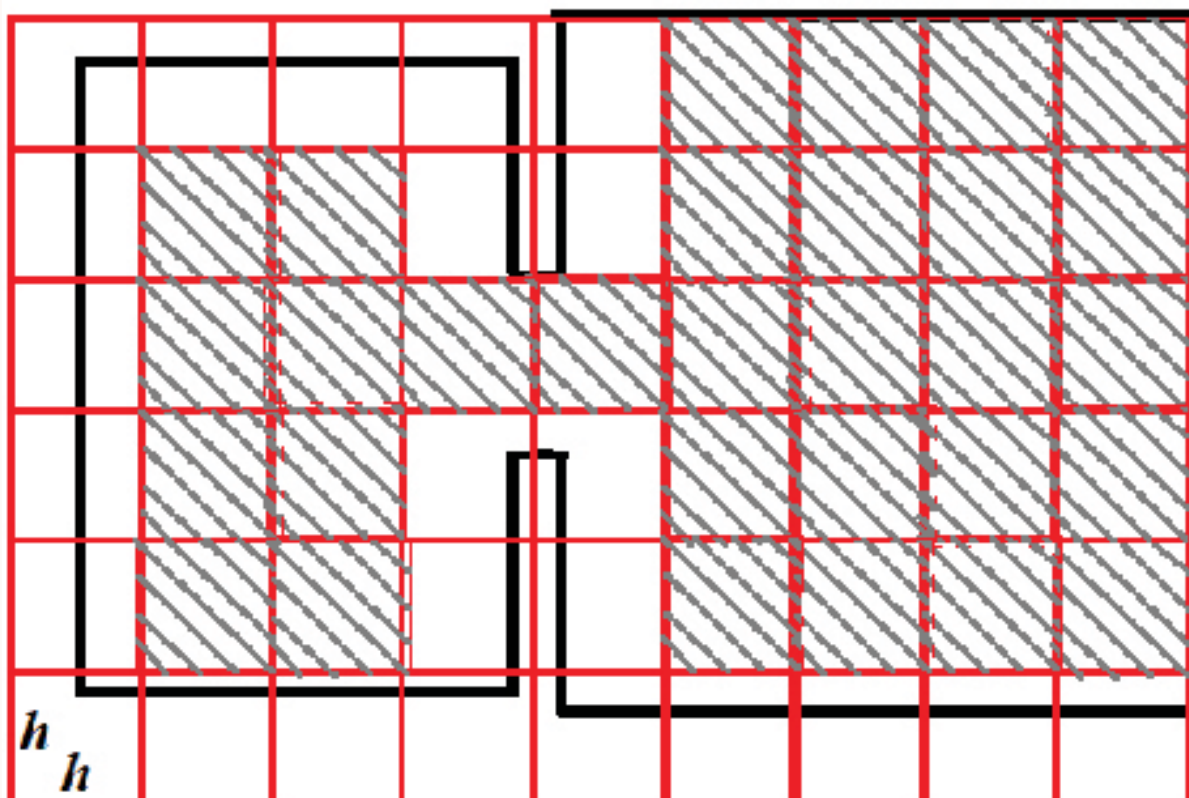


Рис. 1. Пример деформации расчетной области вследствие ее дискретизации с применением ортогональных декартовых сеток: жирный черный контур – граница помещений, заданная пользователем (расчетная область), все квадратные ячейки на рисунке – Сетка 1, заштрихованные ячейки – Сетка 2

Представлены два из возможных вариантов построения сетки. В первом, Сетка 1 – все ячейки, лежащие внутри границы помещений, и ячейки, по которым проходит граница помещений, включены в сетку (т. е. все ячейки на рисунке). Во втором, Сетка 2 – включены ячейки, только полностью находящиеся внутри расчетной области (заштрихованные ячейки). Как видим, в обоих случаях наблюдаются существенные различия между границей сетки и границей расчетной области: в первом варианте два помещения превратились в одно (поскольку при таком построении сетки стена игнорирована), а в другом – существенно уменьшились все размеры помещений и ширина проема. Рисунок представлен в плоскости, очевидно, что при дискретизации происходит аналогичная трансформация вертикальной составляющей.

Очевидно, что уменьшение шага дискретизации приводит к уменьшению отклонений границ расчетной области и сетки. Существенные отличия размеров и границ расчетной области и сетки могут наблюдаться не только на декартовых сетках, но для декартовых сеток данная проблема наиболее часто проявляется. Например, декартовы сетки используются в программном комплексе FDS [26]. Поэтому построение сетки требует особых усилий от пользователя, также необходимы программные инструменты, позволяющие корректно создать сетку. Результатом этой проблемы будет являться завышенное или заниженное время достижения ОФП критических значений, что отражается на условии обеспечения безопасной эвакуации людей и выводе о необходимости разработки дополнительных мероприятий.

При этом существуют методы дискретизации, которые позволяют построить сетку так, что ее границы совпадают с границами расчетной области. На рис. 2 приведен такой пример совпадения границ расчетной области и расчетной сетки, построенной с использованием блочно-структурированного подхода.

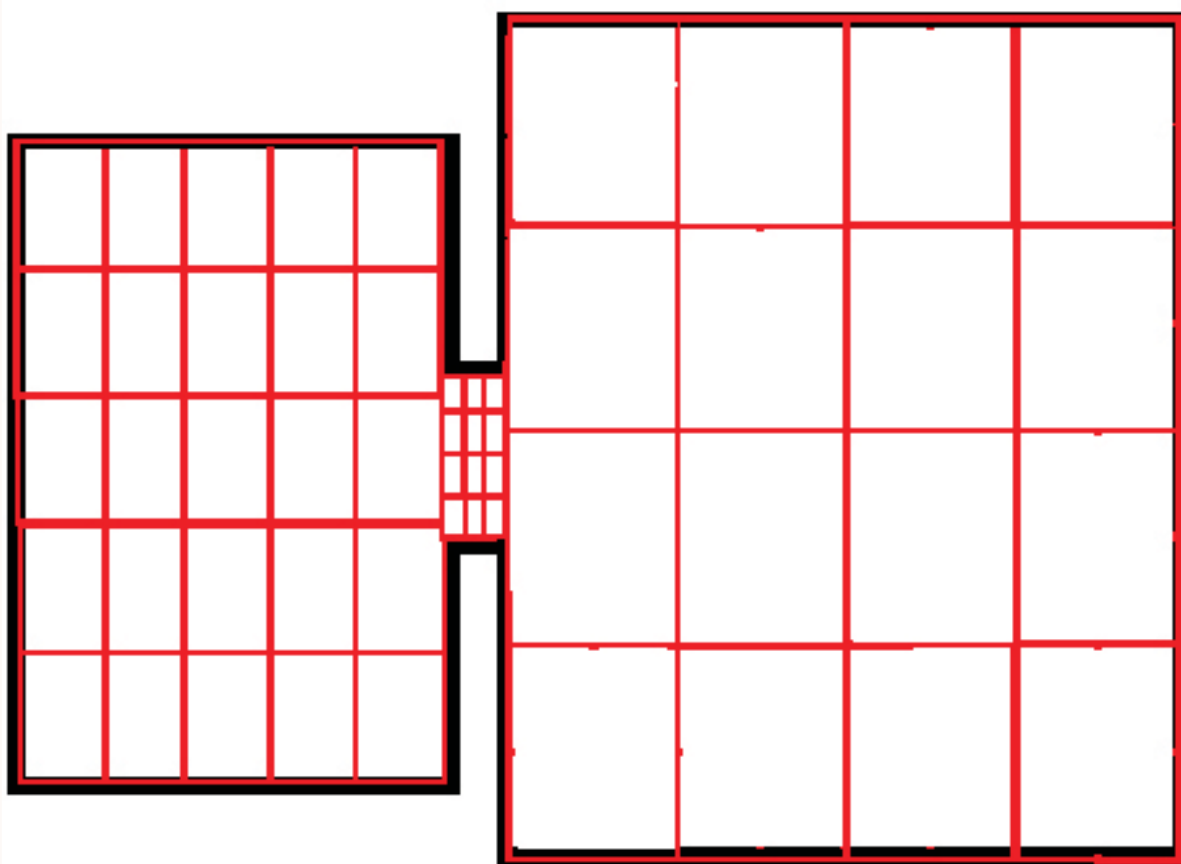


Рис. 2. Пример совпадения границ расчетной области и сетки (блочнo-структурированной)

Также следует отметить, что при проведении расчетов по определению расчетной величины пожарного риска часто возникает вопрос о влиянии размеров элементов объемно-планировочного решения (высоты помещения, ширины коридора, ширины проемов, глубины дымовых карманов и т. п.) на распространение ОФП, и тогда примененный метод дискретизации расчетной области определяет принципиальную возможность ответить на возникший вопрос путем сравнения результатов моделирования.

Перечень исходных данных, применяемых при расчетах

В табл. 2–4 приведены исходные данные, которые в том или ином виде участвуют в определении расчетной величины пожарного риска. Приводится также ссылка на нормативный документ, где указывается необходимость учета соответствующего параметра.

Перечень исходных данных, необходимых для определения коэффициентов для расчета пожарных рисков

В табл. 2 перечисляются системы пожарной безопасности и иные характеристики объекта, необходимые для определения коэффициентов, входящих в формулу расчета величины пожарного риска.

Таблица 2

Данные, необходимые для учета в формуле расчета величины пожарного риска и их назначение

№ п/п	Характеристика противопожарной системы	Пункт Методики	Назначение (определяемый коэффициент)
1	АУПС	П. 13	$K_{обн}$
2	СОУЭ, тип	П. 13	$K_{СОУЭ}$
3	Противодымная защита	П. 13	$K_{плз}$
4	АУПТ	П. 8	$K_{АП}$
5	Дислокация пожарных подразделений (Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4)	П. 16	$K_{ФПС}$
6	Оборудование СИЗ (Ф1.1)	П. 16	K_{ϕ}
7	Устройство аварийных выходов (Ф1.3)	П. 16	K_{ϕ}

Как видно из табл. 2, для определения коэффициентов, входящих в состав формулы для определения расчетной величины индивидуального пожарного риска, необходимо владение нормативной базой в области пожарной безопасности, чтобы давать оценки соответствующим системам пожарной безопасности здания.

Перечень исходных данных, применяемых при моделировании развития пожара

Для моделирования развития пожара и определения времени блокирования путей эвакуации допускается использование интегральной, зонной или полевой (CFD) моделей [3]. Все модели имеют, как правило, единый список исходных данных, который приведен в табл. 3 (для данных, относящихся только к зонной и полевой моделям, даны сноски), определяемый п. 17 Методики и п. 1 прил. 1. В табл. 3 приводятся также комментарии по каждому элементу списка, описывается его влияние на распространение ОФП.

Таблица 3

Перечень исходных данных, принимаемых при моделировании сценария пожара согласно разработанному сценарию

№ п/п	Характеристика	Комментарий
1	Место (помещение) возникновения пожара	Указывается помещение, в котором расположен очаг пожара, определяется целью сценария с учетом требований

2	Площадь расположения ГН, F , м ²	<p>Форма и площадь ГН влияет на скорость увеличения площади горения и интенсивность пожара.</p> <p>Для заданной площади ГН максимальная мощность выделения ОФП достигается за время $t_{Smax} = l/v$ при условии, что масса горючей нагрузки обеспечивает горение в течение всего времени t_{Smax}; где l, [м] – максимальный путь, который проходит фронт пожара по области горения от точки возгорания, v, [м/с] – линейная скорость фронта пламени.</p> <p>Если $t_{Smax} \geq T_{эв}$, тогда мощность выделения ОФП растет в течение времени эвакуации, если $t_{Smax} < T_{эв}$, то мощность выделения ОФП достигает максимума до окончания эвакуации, где $T_{эв}$, [с] – время эвакуации из здания в сценарии.</p> <p>(Ниже приведен пример расчета t_{Smax} при различных размерах области горения)</p>
3	Площадная плотность (удельная масса), ρ_m , кг/м ²	<p>Определяет локальное время выгорания ГН $t_{вр}^{лок} = \rho_m / \psi_{уд}$, [с], и полное время выгорания ГН $t_{вр} = t_{Smax} + \rho_m / \psi_{уд}$, [с], где $\psi_{уд}$, [кг/м²/с] – удельная массовая скорость выгорания.</p> <p>Если $t_{вр}^{лок} < T_{эв}$, тогда площадь горения ГН уменьшается за счет области, в которой ГН выгорела.</p> <p>Если ρ_m обеспечивает условие $t_{вр}^{лок} \geq T_{эв}$, тогда характер развития пожара не зависит от заданного значения ρ_m.</p> <p>(Ниже приведен пример оценивания $t_{вр}$)</p>
4	Характеристики горючей нагрузки	<p>Основной параметр, определяющий количественные характеристики образующихся ОФП, определяется местом размещения очага пожара, выбирается из официальных источников, например [6, 27], или получают в результате испытаний. При использовании программ иностранного происхождения необходимо проверять, чтобы введенные данные обеспечивали требуемый выход ОФП [6, 22]</p>
5	Учет АУПТ	<p>Применяется, если помещение, где находится очаг пожара, оборудовано АУПТ. Реализуется через снижение скорости выгорания в 2 раза относительно значения, указанного для выбранной горючей нагрузки в официальном источнике</p>
6	Расчетная область	<p>Перечисляются помещения, включенные в расчетную область, и дается обоснование. Определяет характер распространения ОФП и время блокирования ОФП путей эвакуации.</p> <p>Число и расположение включенных в расчетную область помещений напрямую влияет на скорость распространение ОФП. Как правило, чем большее число помещений включено в расчетную область на пути распространения ОФП, тем меньше скорость распространения и больше время блокирования путей эвакуации</p>
7	Граничные условия, описывающие связь с внешней средой	<p>Указываются помещения, где находятся проемы, лежащие на границе расчетной области (здания), указываются размеры этих проемов.</p> <p>Определяет характер распространения ОФП и влияет на скорость распространения ОФП (например, расположение открытых оконных проемов вблизи очага пожара может обеспечивать вывод существенной доли ОФП из здания наружу)</p>

8	Условия на внутренние проемы	Описывается связность объемов расчетной области в течение времени моделирования развития пожара. В общем случае не должно быть изолированных от очага пожара областей
9	Граничные условия, описывающие теплообмен с ограждающими конструкциями здания	Указывается (текстом и/или таблицей) условия (адиабатные, изотермические, теплопередача, сопряженный теплообмен или их комбинация) принятые в расчете. Изотермические условия обеспечивают максимальный отвод тепла, выделяемого очагом, и соответственно наименьшую динамику нарастания ОФП, адиабатические – максимальную (их можно рассматривать, как реализацию наихудших условий). Сопряженный теплообмен наиболее точно описывает теплообмен с ограждающими конструкциями (учитывает их свойства и динамику нагрева)
10	Начальные условия в расчетной области (здании) – среда, температура, °С	Указывается состав среды – воздух, и температура в расчетной области в начальный момент времени. Начальная температура влияет на время блокирования по температуре и частично на скорость распространения ОФП, так как выталкивающая сила конвективной колонки зависит от разности температур между ней и окружающей ее средой
11	Условия внешней среды – среда, температура, °С	Указывается состав внешней среды – воздух, и ее температура. Температура внешней среды влияет на время блокирования по температуре и частично на скорость распространения ОФП.
12	Разрушение (в силу нагревания) оконных проемов (на границе расчетной области)	Если в сценарии было принято условие разрушения окна, то указываются текстом и/или таблицей разрушаемые окна и помещения, где они находятся, или указывается отсутствие таковых в расчете. Наличие разрушенных оконных проемов может обеспечивать вывод существенной доли ОФП из здания наружу, влияет на время блокирования по температуре и частично на скорость распространения ОФП, поэтому разрушение оконных проемов должно иметь четкое обоснование
13	Противодымная вентиляция	В расчете учитывается согласно п. 21, 22, 26 Методики, п. 1 прил. 6. Указываются текстом и/или таблицей клапана, их характеристики и помещения, где они находятся, или указывается отсутствие таковых в расчете. Предназначена для удаления дыма из здания. Может влиять на характер и скорость распространения ОФП, как уменьшая время блокирования путей эвакуации, так и увеличивая его
14*	Длительность моделирования, с	Для корректного совместного анализа расчета эвакуации и моделирования пожара должно быть больше времени эвакуации из здания в 1,25 раза
15*	Геометрические данные, описывающие расчетную область для моделирования развития пожара или/и сетку	Размеры элементов расчетной области. Указываются размеры элементов расчетной области для моделирования пожара (проемы, помещения, коридоры, лестницы)
		Объем расчетной области и сетки (если не совпадают), м ³

	<p>Сетка. Приводится визуальное отображение геометрии расчетной области и сетки, например, как приведено на рис. 3, так же можно поэтажно на изображении плана этажа. В случае существенного несовпадения, указываются максимально отклонение (как правило, зависит от шага дискретизации сетки) для оценки искажения размеров.</p> <p>Количество ячеек (N_{cell}). Средний линейный размер ребра ячейки сетки (шаг дискретизации) можно оценить так:</p> $h_{cp} = \sqrt[3]{\frac{V_{расч.обл}}{N_{cell}}}$ <p>Можно привести, при необходимости, минимальный (максимальный) шаг сетки с указанием области, для которой он применяется.</p> <p>Упрощенно можно сказать, что чем больше шаг сетки, тем быстрее производится расчет, но при этом падает его точность. Уменьшение сетки не всегда приводит к повышению точности расчета. Это зависит от применяемых математических моделей и численных методик. Кроме этого существует понятие сеточной сходимости, когда при дальнейшем увеличении сетки решение практически не изменяется.</p>
--	---

Примечание. Пункты, отмеченные знаком «*», заполняются в случае использования зонной или полевой моделей.

Приведем пример вычисления t_{Smax} , $t_{вр}$, $t_{вр}^{лок}$ для областей горения различной площади и влияния площадной плотности ρ_m и площади горения на моделирование развития пожара. Рассмотрим примеры областей горения, приведенных на рис. 3. Область горения 1 имеет площадь $a_1 \times a_1$, $a_1 = 5$ (м), область горения 2 имеет площадь $a_2 \times a_2$, $a_2 = 1$ (м). Примем, что линейная скорость фронта пламени $v = 0,0045$ (м/с), площадная плотность $\rho_m = 10$ (кг/м²), удельная массовая скорость выгорания $\psi_{уд} = 0,0145$ (кг/с/м²), $T_{эв} = 350$ (с). Тогда

$$t1_{Smax} = \frac{d_1}{v} = \frac{5}{0,0045\sqrt{2}} = 788 \text{ (с)}, \quad t2_{Smax} = \frac{d_2}{v} = \frac{1}{0,0045\sqrt{2}} = 157 \text{ (с)},$$

$$t1_{вр} = t1_{Smax} + \rho_m / \psi_{уд} = 788 + 10/0,0145 = 788 + 689 = 1477 \text{ (с)}, \quad t2_{вр} = t2_{Smax} + \rho_m / \psi_{уд} = 157 + 10/0,0145 = 157 + 689 = 846 \text{ (с)}.$$

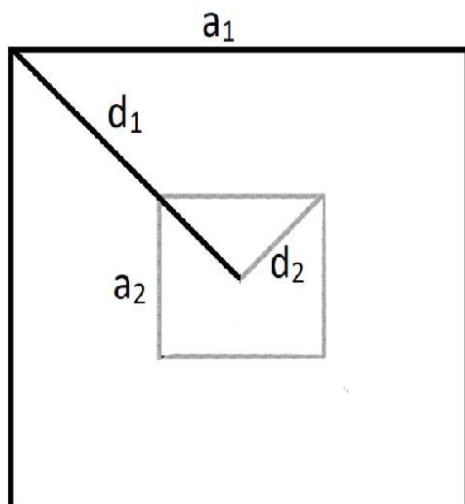


Рис. 3. Область горения 1 размером $a_1 \times a_1$, d_1 – путь, проходимый фронтом пламени к моменту полного возгорания области горения 1, область горения 2 размером $a_2 \times a_2$, d_2 – путь, проходимый фронтом пламени к моменту полного возгорания области горения 2

Таким образом, поскольку $T_{эв} = 350 < t_{вг}^{лок} = \rho_m / \psi_{уд} = 689$, то обеспечивается горение на всей площади, подвергшейся возгоранию, то есть ρ_m не влияет на характер развития пожара в обоих случаях. Для области горения 1 $T_{эв} = 350 < t1_{Smax} = 788$, и это означает, что мощность выделения ОФП не достигнет максимума в течение эвакуации, время выгорания всей нагрузки с области горения 1 много больше времени эвакуации $t1_{вг} = 1477 \gg T_{эв} = 350$. В то же время $T_{эв} = 350 > t2_{Smax} = 157$, это означает, что в случае области горения 2 максимальной мощности пожар достигнет раньше, чем окончится эвакуации, и будет сохранять эту мощность до ее окончания.

На качестве примера графического представления исходных данных на рис. 4 приведена расчетная сетка, составленная для моделирования развития пожара в торговом центре для одного из сценариев по программному продукту «Сигма ПБ» [18, 22]. Сетка изображена на подложке, хорошо видно, что не все объемы здания вошли в расчетную область. В данном случае, в соответствии с разработанным сценарием в расчетную область были включены помещение с очагом пожара (большой продовольственный магазин на первом этаже) и все связанные с ним открытые пространства (фудкорт) и пути эвакуации на этажах до лестничных клеток и наружу из здания (для первого этажа). Связь между этажами осуществляется через объемы эскалаторов и многосветного пространства. Лестничные клетки не включены в расчетную область, поскольку оборудованы тамбур-шлюзами и подпором воздуха, поэтому считается, что задымление в них не распространяется.

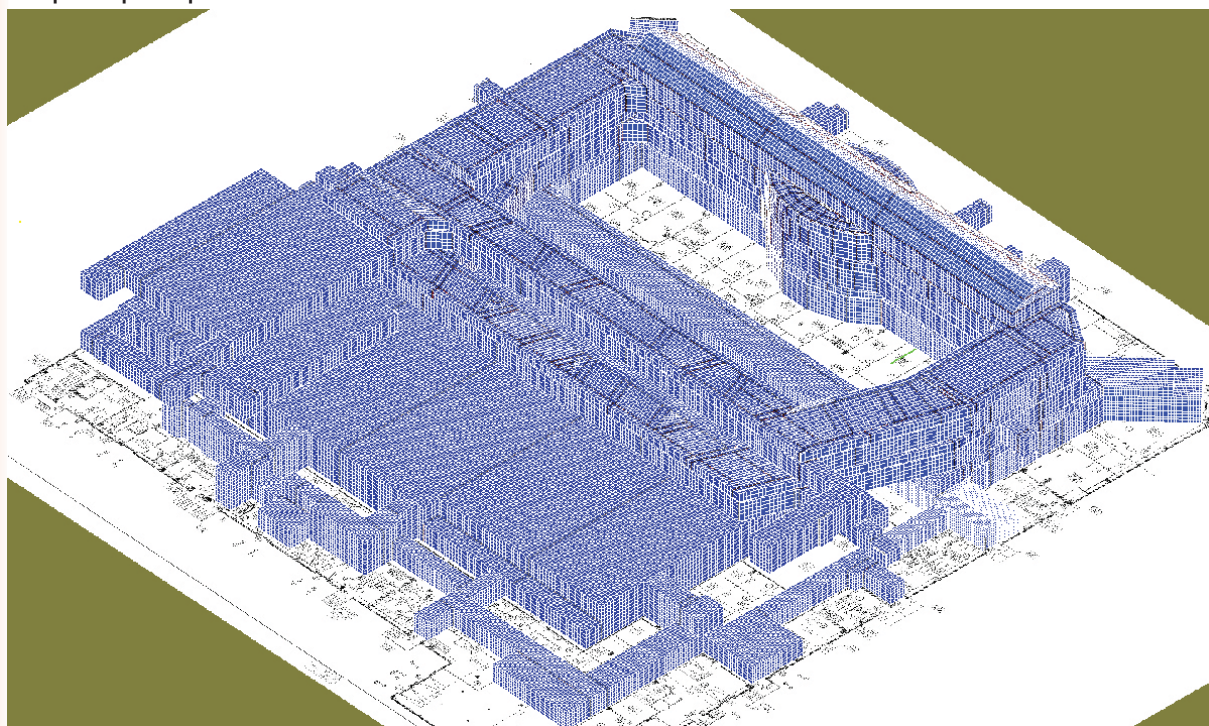


Рис. 4. Расчетная область, замощенная сеткой, для моделирования развития пожара, поставленная на подложку (план первого этажа здания)

Перечень исходных данных, применяемых при моделировании эвакуации людей

Согласно Методике для моделирования эвакуации и определения времен эвакуации на путях и из здания можно использовать упрощенно-аналитическую, имитационно-стохастическую или индивидуально-поточную модели. Одним из принципиальных отличий последней от двух первых (поточных) моделей является тот факт, что людям можно задавать физические характеристики (скорость

движения, площадь проекции, направление движение, время начала эвакуации) индивидуально и, тем самым, рассматривать неоднородный контингент. С точки зрения исходных данных других отличий модели не имеют. Требования к исходным данным наибольшим образом определены в п. 18 Методики и п. 2 прил. 5 к Методике. В табл. 4 приводится перечень исходных данных, используемых при моделировании эвакуации, и комментарии к ним.

Таблица 4

Перечень исходных данных, принимаемых для моделирования эвакуации согласно разработанному сценарию

№ п/п	Характеристика	Комментарий
1	Расчетная область	Указываются помещения, включенные в расчетную область, лестничные клетки, представляется в текстовом и/или графическом виде поэтажно, как, например, на рис. 4. Определяется начальным расположением людей и задействованными в сценарии путями наружу из здания или в безопасную зону
2	Выходы наружу из здания и/или безопасную зону	Указываются все задействованные в сценарии выходы наружу из здания
3	Геометрические размеры помещений, вошедших в расчетную область	Указываются размеры элементов расчетной области для моделирования пожара (проемы, помещения, коридоры, лестницы)
4	Всего людей в расчетной области (с распределением по степени мобильности)	Указывается агрегированная информация по зданию в целом, более детальную информацию можно приводить в отдельной таблице, как, например, в табл. 5 информация собрана по помещениям этажа
5	Начальное расположение людей	Указывается текстом и/или графически, как например, на рис. 4. Должно соответствовать или распределению по рабочим местам или обеспечивать максимально протяженный путь для части людей
6	Индивидуальные характеристики	Определяются согласно принятому контингенту в здании по данным п.п. 3–6 прил. 5 Методики. Указываются таблично, как, например, на рис. 5. Приводятся принятые характеристики: скорость свободного движения, площадь проекции, группа мобильности. Если задан разнородный контингент, то возможно использование только индивидуально-поточной модели для корректного моделирования смешанного потока
7	Время начала эвакуации (относительно начала пожара), с	Определяется по данным п. 1 Приложения 5 Методики согласно классу функциональной пожарной опасности и существующем/принятом типе СОУЭ
8	Направление движения внутри расчетной области (схема эвакуации)	Определяется местом расположения очага и доступными выходами с этажа и из здания. Представляется в текстовом и/или графическом виде, как, например, на рис. 4
9	Заужение коридоров из-за направления открывания дверей или других причин	Графически или списком указываются места, где были приняты в расчете заужения на путях эвакуации, и их причины

Для определения вероятности эвакуации требуется выполнить моделирование двух сложных процессов – развития пожара и эвакуации. Это требует знаний не только в области пожарной безопасности (для формулирования сценария), но и в области численного моделирования (для создания расчетной задачи, удовлетворяющей требованиям разработанного сценария, и ее дискре-

тизации, задании начальных и граничных условий, чтобы результат моделирования помог ответить на вопрос, который ставится разработчиком сценария). Представленный в табл. 3 и 4 набор исходных данных для моделирования обоих процессов позволяет описать в терминах, которые «понимают» расчетные программы, условия разработанных сценариев. В комментариях раскрыто влияние некоторых элементов исходных данных на результат моделирования, и эта информация так же используется для постановки задачи.

Способы представления данных могут быть числовые (площадь, масса, скорость, температура, время) с указанием единиц измерения, табличные и графические (рис. 5), текстом с описанием. Основная цель представления исходных данных – максимально полно охарактеризовать принятые в расчете величины и условия (начальные и граничные).

ID помеще	Имя помещения	Количество человек в начальный момент времени	Время начала эвакуации	Площадь проекции человека, м ²	Скорость свободного движения, м/с
Этаж_1					
27	2	14 (14 M1)	180 (14)	0,125 (14)	1,66 (14)
34	19	1 (1 M1)	180 (1)	0,125 (1)	1,66 (1)
52	9	10 (10 M1)	180 (10)	0,125 (10)	1,66 (10)
55	10	5 (5 M1)	180 (5)	0,125 (5)	1,66 (5)
57	6	1 (1 M1)	180 (1)	0,125 (1)	1,66 (1)
61	23	2 (2 M1)	180 (2)	0,125 (2)	1,66 (2)
92	11 (очаг)	1 (1 M1)	10 (1)	0,125 (1)	1,66 (1)
99	22	4 (4 M1)	180 (4)	0,125 (4)	1,66 (4)
102	21	2 (2 M1)	180 (2)	0,125 (2)	1,66 (2)
121	28	5 (5 M1)	180 (5)	0,125 (5)	1,66 (5)
137	20	22 (18 M1, 1 M3, 3 M4)	180 (22)	0,125 (18); 0,3 (1); 0,5 (3)	1,66 (18); 1,16 (1); 1 (3)
217	Зрительный зал	78 (74 M1, 3 M2, 1 M3)	180 (78)	0,125 (74); 0,2 (3); 0,3 (1)	1,66 (74); 0,5 (3); 1,16 (1)
Всего на этаже		145 (137 M1, 3 M2, 2 M3, 3 M4)	180 (144); 10 (1)	0,125 (137); 0,3 (2); 0,5 (3); 0,2 (3)	1,66 (137); 1,16 (2); 1 (3); 0,5 (3)
Всего в здании		145 (137 M1, 3 M2, 2 M3, 3 M4)	180 (144); 10 (1)	0,125 (137); 0,3 (2); 0,5 (3); 0,2 (3)	1,66 (137); 1,16 (2); 1 (3); 0,5 (3)

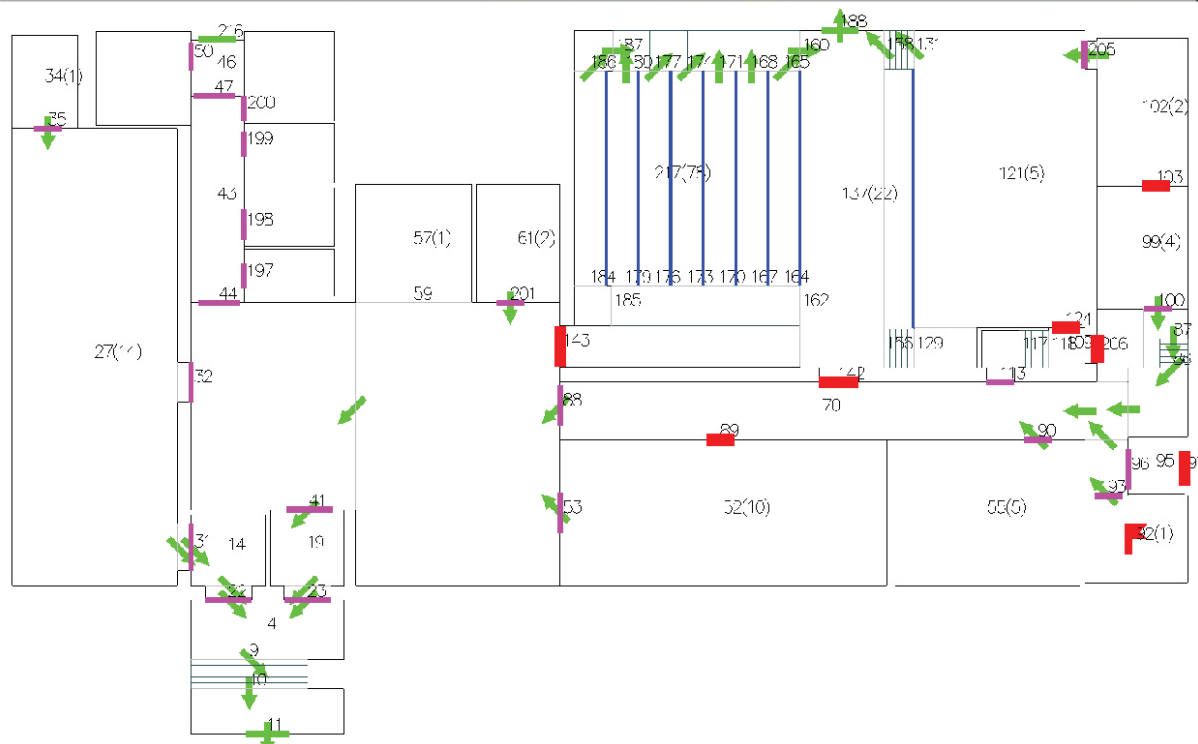


Рис. 5. Сводная таблица по начальной расстановке людей в помещениях в здании и схема эвакуации на этаже с указанием места расположения очага пожара, номеров помещений, количества человек в помещении (в скобках)

Заключение

Рассмотрены основные нормативные требования для проведения расчетов по определению расчетной величины пожарного риска для общественных зданий и проведен анализ состава исходных данных, используемых при численном моделировании пожаров.

Показано, что от состава и качества исходных данных зависят результат расчета и, как следствие, качество разрабатываемых противопожарных мероприятий.

Проведена классификация исходных данных, принимаемых в расчетах по определению расчетной величины пожарного риска для объекта защиты. Выделены два основных набора данных: получаемые на объекте и определяемые сформулированными сценариями.

Выбраны данные, необходимые для определения коэффициентов, входящих в формулу определения расчетной величины (оценки) пожарного риска. Особое внимание уделено данным, используемым при моделировании развития пожара и эвакуации: приведен список параметров, по каждому даны комментарии, описывающие возможное представление и качественное и количественное влияние на результат расчета.

Приведены способы определения количественных значений таких параметров как площадь горения, удельная масса горючей нагрузки.

Список литературы

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 23 дек. 2009 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 25 дек. 2009 г. (в ред. Федер. закона от 02.07.2013 г. № 185-ФЗ). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 4 июля 2008 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июля 2008 г. (в ред. Федер. закона от 27.12.2018 г. № 538-ФЗ). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30 июня 2009 года № 382 (включая изменения, внесенные приказом МЧС России от 12 декабря 2011 года № 749, приказом МЧС России от 2 декабря 2015 года № 632).

4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 года № 404 года (включая изменения, внесенные приказом МЧС России от 14 декабря 2010 года № 649).

5. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

6. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

7. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: метод. рекомендации / А.М. Рыжов, И.Р. Хасанов, А.В. Карпов, А.В. Волков, В.В. Лицкевич, А.А. Дектерев. М.: ВНИИПО, 2002. 35 с.

8. Снегирёв А.Ю. Моделирование тепломассообмена и горения при пожаре: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: С.-Петербург. политехн. ун-т, 2004. 271 с.

9. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
10. Литвинцев К.Ю., Амельчугов С.П., Дектерев А.А. Методика определения расчетных величин пожарного риска в объектах защиты на основе полевого метода моделирования пожаров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Т. 17, № 12. С. 109–112.
11. Литвинцев К.Ю. Совершенствование методов моделирования лучистого теплообмена и оптических свойств среды применительно к высокотемпературным технологическим процессам и пожарам: дис. ... канд. физ.-мат. наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Красноярск, СФУ, 2012. 123 с.
12. Cox G. Turbulent closure and the modeling office using computational fluid dynamics // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 1998. Vol. 356. No. 1748. Pp. 2835–2854. DOI: 10.1098/rsta.1998.0300.
13. Olenick S.M., Carpenter D.J. An updated international survey of computer models for fire and smoke // Journal of Fire Protecting Engineering. 2003. No. 3. Pp. 87–110. DOI: 10.1177/1042391503013002001.
14. Gottuk D., Mealy C., Floyd J. Smoke Transport and FDS Validation // Fire Safety Science. 2009. Vol. 9. Pp. 129–140. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-129.
15. Guan H.Y. and Kwok K.Y. Computational Fluid Dynamics in Fire Engineering – Theory, Modelling and Practice. Butterworth-Heinemann, Elsevier Science and Technology. 2009. 530 p. ISBN: 978-0-7506-8589-4.
16. Kevin McGrattan K., Mile S. Modeling Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD) // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fifth Edition. Society of Fire Protection Engineers. 2016. Pp. 1034–1078. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0.
17. Karpov A.V., Khasanov I.R., Kopolov N.P., Ushakov D.V. Optimization of Measures Directed on the People Safety at Tunnel Fire by Means of Computational Methods // Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security, New York, USA. 2012. Pp. 547–556.
18. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях / А.А. Дектерев, А.А. Гаврилов, К.Ю. Литвинцев, С.П. Амельчугов, С.Н. Серегин // Пожарная безопасность. 2007. № 4. С. 49–58.
19. Образование, распространение и воздействие на человека токсичных продуктов горения при пожаре в помещении: монография / С.В. Пузач, В.М. Доан, Т.Д. Науен, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов. М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. 130 с.
20. Численный прогноз развития пожара на высокостеллажном складе / Е.С. Маркус, А.Ю. Снегирёв, Е.А. Кузнецов, Л.Т. Танклевский, А.В. Аракчеев // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт прикладной математики и механики. СПб.: С.-Петербург. политехн. ун-т., 2017. С. 242–244.
21. Основные ошибки при проведении расчетов пожарного риска для объектов общественного назначения / Д.В. Ушаков, А.А. Абашкин, А.В. Карпов, С.Г. Панфилов, М.В. Фомин // Горение и проблемы тушения пожаров: тез. докл. XXIX Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: в 2 ч. Ч. 2. М.: ВНИИПО, 2017. С. 391–395.
22. Литвинцев К.Ю., Кирик Е.С., Ягодка Е.А. Проблемы применения численного моделирования при определении расчетных величин пожарного риска // Вычислительные технологии. 2019. Т. 24. № 4. С. 56–69.

23. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска: постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272.

24. Об утверждении Административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий исполнения государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности: приказ МЧС России от 30 ноября 2016 года № 644.

25. *Лобаев И.А., Ягодка Е.А., Проценко А.Ю.* Проблема оценки соответствия исходных данных, принятых в расчете пожарного риска // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: материалы Дней науки с международным участием, посвященных году гражданской обороны в 2 ч. Ч. 1. Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2017. С. 89–93.

26. *McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., Baum H., Rehm R.* Fire dynamics simulator (version 5). Technical reference guide: NIST Special Publication 1018-5. Washington: National Institute of Standards and Technology, 2007. 86 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018-5.

27. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» / *А.А. Абашкин, А.В. Карпов, Д.В. Ушаков., М.В. Фомин, А.Н. Гилетич, П.М. Комков, Д.А. Самошин.* М.: ВНИИПО, 2014. 226 с.

Материал поступил в редакцию 23.04.2020 г.

Кирик Екатерина Сергеевна – старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Тел. 8 (902) 992-16-89. E-mail: kirik@icm.krasn.ru (Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Красноярск).

Хасанов Ирек Равильевич – главный научный сотрудник, доктор технических наук. Тел. (495) 521-89-38. E-mail: irhas@ Rambler.ru (Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России)), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Литвинцев Кирилл Юрьевич – старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Тел. 8 (913) 528-59-26. E-mail: sttupick@yandex.ru (Институт теплофизики им. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Новосибирск).

Ягодка Евгений Алексеевич – заместитель начальника УНК – начальник кафедры надзорной деятельности УНК ОНД, кандидат технических наук, доцент. Тел. (495) 617-26-40. E-mail: e.a.yagodka@yandex.ru (АГПС МЧС России, г. Москва).

E.S. Kirik, I.R. Khasanov, K.Yu. Litvintsev, E.A. Yagodka

INITIAL DATA FOR FIRE RISK ASSESSMENT CALCULATION

There is carried out the analysis of the initial data structure used for numerical modeling of fires based on regulatory requirements and investigation in performance of calculations to determine the estimated value of fire risk for municipal buildings. It is shown that the calculation result depends on the composition and quality of the initial data. And as a consequence, the quality of the developed fire prevention measures also depends on the composition and quality of the initial data. There is given the classification of the initial data used in calculations to determine the estimated value of fire risk for the object of protection. The two main data sets are distinguished: those obtained on the object and those determined by formulated scenarios. A list of parameters that have a qualitative and quantitative impact on the calculation result is provided. Methods for determining the quantitative values of such parameters as the fire area, specific mass of the combustible load are presented.

Keywords: *fire risk assessment, municipal buildings, initial data, computational domain, initial conditions, boundary conditions, fire spread simulation, evacuation simulation*

Ekaterina S. Kirik – Senior Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Phone: +79029921689. E-mail: kirik@icm.krasn.ru.

Institute of Computation Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Krasnoyarsk.

Irek R. Khasanov – Main Researcher, Doctor of Technical Sciences. Phone: (495) 521-89-38. E-mail: irhas@rambler.ru.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.

Kirill Yu. Litvintsev – Senior Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Phone: +79135285926. E-mail: sttupick@yandex.ru.

Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS (IT SB RAS), Russia, Novosibirsk.

Evgeniy A. Yagodka – Deputy Head of UNK – Chief of Chair of Supervisory Activity of UNK of OND, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Phone: (495) 617-26-40. E-mail: e.a.yagodka@yandex.ru.

The State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Russia, Moscow.