

В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: reglament2004@mail.ru)

В. И. ПРИСАДКОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: z080637@yandex.ru)

И. В. КОСТЕРИН, канд. техн. наук, начальник отделения экспертно-консалтингового отдела, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: kosteriniv@gmail.com)

УДК 64.841

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ИХ ПРОЦЕССОВ И ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ

Изложены результаты анализа “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности”. Показано, что ее недостатки обусловлены детерминистическим описанием процессов эвакуации людей, распространения опасных факторов пожара и функционирования автоматических систем противопожарной защиты. Предложены новые подходы к обеспечению на этапе проектирования требуемого значения расчетной величины пожарного риска на основе имитационно-стохастического моделирования этих процессов и модель дерева событий для вероятностного описания сценариев пожара, которая позволяет отобразить стохастичность процессов, определяющих безопасность людей на начальной стадии развития пожара. Для оценки вероятности динамики ОФП и эвакуации людей при пожаре из объекта предложено использовать метод статистических испытаний и имитационного моделирования индивидуального движения людей с учетом их физических возможностей и психофизиологического состояния. Показано, что использование вероятностных представлений позволит повысить адекватность моделей для оценки индивидуального пожарного риска.

Ключевые слова: индивидуальный пожарный риск; вероятностно-стохастический анализ; дерево событий; сценарии пожаров; вероятность эвакуации; методика; расчет; пожарный риск.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17

Казалось бы, минули те времена, когда при пожаре человек мог рассчитывать на спасение только с помощью путей эвакуации. Сегодня это еще и автоматические и автономные установки пожаротушения (АУП), которые должны “ликвидировать пожар в помещении до возникновения критических значений опасных факторов пожара”, и система противодымной защиты (ПДЗ), и системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) [1]. Их совместное с системой предотвращения пожаров функционирование должно обеспечить выполнение следующего требования: “Индивидуальный пожарный риск в зданиях и сооружениях не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке” [1, ст. 79], т. е. индивидуаль-

ный пожарный риск Q_v должен отвечать его нормативному значению $Q_v^H = 1 \cdot 10^{-6}$, если

$$Q_v \leq Q_v^H. \quad (1)$$

Выполнение условия (1) является показателем реализации требований Технических регламентов [1, 2], первостепенной целью которых является “защита жизни или здоровья граждан” [3, ст. 6]. Этот показатель впервые был сформулирован в ГОСТ 12.1.004–91*.

Согласно ГОСТ 12.1.004–91* “вероятность (Q_v)” вычисляют для людей в каждом здании (помещении) по формуле

$$Q_v = Q_n(1 - P_3)(1 - P_{п.з}), \quad (2)$$

где Q_n — вероятность пожара в здании в год;

$P_{\text{э}}$ — вероятность эвакуации людей;

$P_{\text{п.з}}$ — вероятность эффективной работы технических решений противопожарной защиты”.

Этот методический принцип и был положен в основу нормативного документа “Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности” (далее — Методика) [4] и ее последующей редакции [5], который “определяет порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска” [1, ст. 2, п. 1].

В этих редакциях Методики [4, 5] приводятся формулы для вычисления $Q_{\text{в}}$, в которых входящие в них величины имеют различные обозначения и по-разному интерпретируются, но имеют один и тот же физический смысл, отражающий концепцию ГОСТ 12.1.004–91*:

- Методика [4]:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{п}} (1 - R_{\text{ап}}) P_{\text{пр}} (1 - P_{\text{эв}}) (1 - P_{\text{п.з}}); \quad (3)$$

- Методика в редакции 2015 г. [5]:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{п}} (1 - K_{\text{ап}}) P_{\text{пр}} (1 - P_{\text{эв}}) (1 - K_{\text{п.з}}), \quad (4)$$

и соответственно:

$$P_{\text{п.з}} = 1 - (1 - R_{\text{обн}} R_{\text{СОУЭ}}) (1 - R_{\text{обн}} R_{\text{ПДЗ}}); \quad (5)$$

$$K_{\text{п.з}} = 1 - (1 - K_{\text{обн}} K_{\text{СОУЭ}}) (1 - K_{\text{обн}} K_{\text{ПДЗ}}). \quad (6)$$

Несмотря на отличающуюся словесную интерпретацию величин $R_{\text{ап}}$ и $K_{\text{ап}}$, $P_{\text{п.з}}$ и $K_{\text{п.з}}$, $R_{\text{обн}}$ и $K_{\text{обн}}$, $R_{\text{СОУЭ}}$ и $K_{\text{СОУЭ}}$, $R_{\text{ПДЗ}}$ и $K_{\text{ПДЗ}}$, их сущность не изменяется. Это вероятность безотказного функционирования соответствующих систем и вероятность присутствия человека в здании в течение суточного цикла его эксплуатации $P_{\text{пр}}$. Вероятностная (случайная) величина характеризуется, как известно, математическим ожиданием (средним) и мерой рассеивания (дисперсией, или среднеквадратическим отклонением). В Методике же [4, 5] они заменены детерминированными (постоянными) величинами, имеющими значения 0,9 и 0,8, поэтому они, по-видимому, и названы коэффициентами. Однако это в принципе некорректно, так как известно, что произведение случайных зависимых величин не равно произведению их математических ожиданий: поскольку если для одной из случайных величин берется среднее арифметическое, то для другой необходимо использовать гармоническое среднее. Например, привычное для детерминизма соотношение (расстояние) = (скорость) × (время) не “работает”. Нам, людям, которые “проходят” теорию вероятностей, на этот факт указал математик еще полвека назад [6]. Зачем же, как говорят, “наступать на грабли дважды”? Тем более это недопустимо, поскольку анализ Методики [7, 8] приводит к выводу, что требуемый уровень индивидуального пожарного риска не может быть

обеспечен при $P_{\text{эв}} \leq 0,999$, т. е. только за счет функционирования автоматических систем противопожарной защиты (рис. 1).

В связи с этим Методика необоснованно устанавливает соотношения, при которых принимается вероятность эвакуации людей $P_{\text{эв}} = 0,999$:

$$t_{\text{р}} + t_{\text{н.э}} \leq 0,8 t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин}, \quad (7)$$

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

$t_{\text{н.э}}$ — интервал времени с момента возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин;

$t_{\text{бл}}$ — время с момента начала пожара до образования на участке эвакуационного пути опасных факторов пожара (ОФП) с предельно допустимыми (т. е. неопасными) для людей значениями, мин;

$t_{\text{ск}}$ — время существования скоплений людей на участках эвакуационного пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

Однако и в этих соотношениях все использованные параметры являются случайными величинами и функциями, описывающими стохастические по своей природе процессы. В Методике же они описываются, как правило, детерминированными зависимостями. Поэтому даже тогда, когда делается попытка ввести в нее случайную величину, она воспринимается ее пользователями как детерминированная. В этом отношении показателен пример нормирования времени начала эвакуации $t_{\text{н.э}}$. Время начала эвакуации — случайная величина, поэтому и в ГОСТ 12.1.004–91*, и в Методике [4, 5] она определена как *интервал времени* от возникновения пожара до начала эвакуации людей, т. е. период времени, в течение которо-

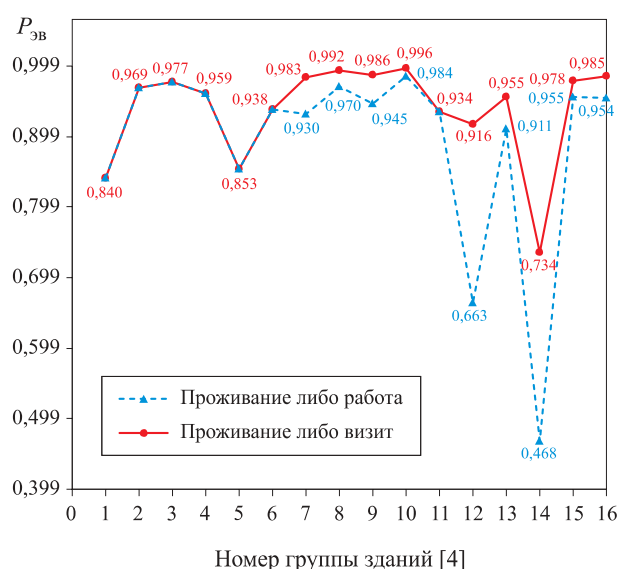


Рис. 1. Требуемое значение вероятности безопасной эвакуации людей $P_{\text{эв}}$ для достижения нормативного значения $Q_{\text{в}}''$ в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности (группа здания № 16 с $Q_{\text{п}} = 0,04$)

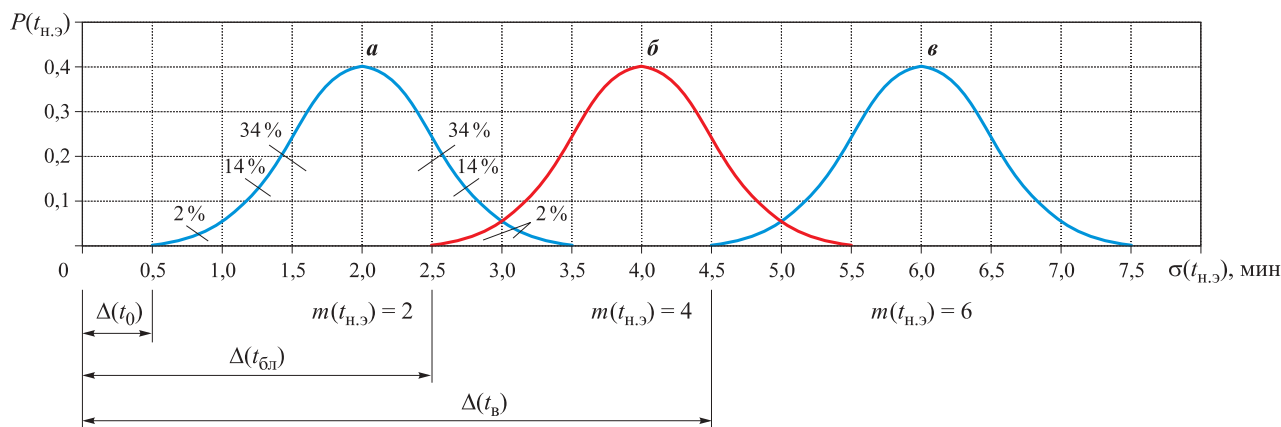


Рис. 2. Плотность распределения вероятности времени начала эвакуации $P(t_{н.э})$ при оборудовании здания СОУЭ типа: а — V и VI; б — III и II; в — I

го каждый человек по мере его готовности (каждый в свой момент времени) начинает двигаться к эвакуационному выходу из помещения. Так этот параметр и описывается, например, в МГСН 4.19–2005 [9] (рис. 2).

Стремление представить эти зависимости в более простом виде, заменив их на эквивалентное им равномерное распределение, привело, однако, к истолкованию приведенных в Методике значений $t_{н.э}$ как времени ожидания общего момента одновременного начала эвакуации всех людей [10].

Усугубление парадигмы детерминизма в редакции Методики [5] приводит к тому, что никакие усовершенствования функционирования автоматизированных систем противопожарной защиты не могут повлиять на расчетную величину пожарного риска $Q_в$: ни новации, вносимые в их функционирование, ни даже дублирование этих систем не могут повлиять на постоянные значения коэффициентов K .

Тогда значение $t_{эв}$ становится буквально панацеей обеспечения безопасности людей при пожаре и условий (1). Однако значение $P_{эв} = 0,999$ неправомерно назначать, его необходимо обеспечить. Нетрудно заметить, что при $P_э = 0,999$ вероятность “отказа” ($1 - P_{эв}$) в системе “эвакуация” должна составлять 0,001, что в 100–200 раз ниже этого показателя для любой автоматизированной системы пожаротушения и противопожарной защиты! Иначе говоря, надежность безопасности эвакуации каждого отдельного человека должна быть в 100 раз более высокой, чем надежность безотказной работы элемента существующих систем противопожарной защиты. При этом системы противопожарной защиты — “дело рук человеческих”, а человек — продукт “природы и общества”, неподвластных творчеству ни одного специалиста противопожарной защиты.

Нетрудно заметить, что при таком значении $P_{эв}$ в большинстве случаев “прикрываются” все недостатки систем противопожарной защиты и пожаротушения, поскольку при $P_{эв} = 0,999$ их может и не быть

вообще, если значение $P_{пр}$ чуть меньше единицы. А оно равно единице только для зданий с круглосуточным пребыванием в них людей [11]. При этом неправильно было бы считать, что вероятность индивидуального присутствия человека в здании эквивалентна времени эксплуатации здания в течение суток, т. е. времени нахождения в нем разных людей $t_{функц}$. Это все равно что считать время его присутствия в городском туалете равным 24 ч, поскольку туалет функционирует круглосуточно (к сожалению, такие казусы наблюдаются в практике экспертиз).

Методика определения расчетных величин пожарного риска, базирующаяся на парадигме детерминизма, строго говоря, расходится с реальными жизненными ситуациями (рис. 3).

Вероятностный характер зависимости между основными параметрами людских потоков фиксировался на всех гносеологических уровнях их исследований: и на эмпирическом уровне (рис. 4) [12], и на теоретическом [13], где она была описана в виде элементарной случайной функции. В Методике [4, 5]

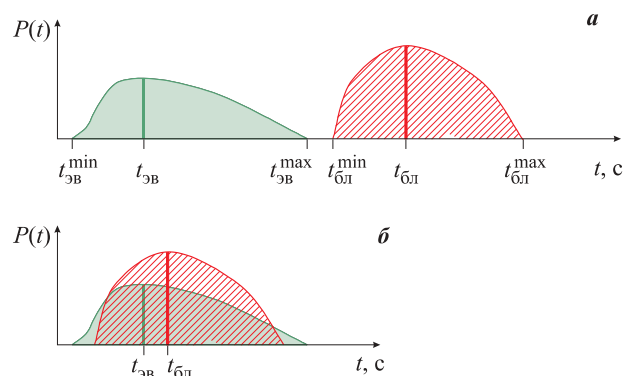


Рис. 3. Иллюстрация обеспечения условий своевременной эвакуации людей: а — при действительном развитии процессов эвакуации ($t_{эв} = t_{н.э} + t_p$) и опасных факторов пожара ($t_{бл}$), описываемых плотностями распределения вероятностей времени их достижения $P(t)$; б — при детерминированном описании этих процессов, игнорирующем действительный (вероятностный) характер этих процессов (соотношение только между средними значениями $t_{эв} \leq t_{бл}$)

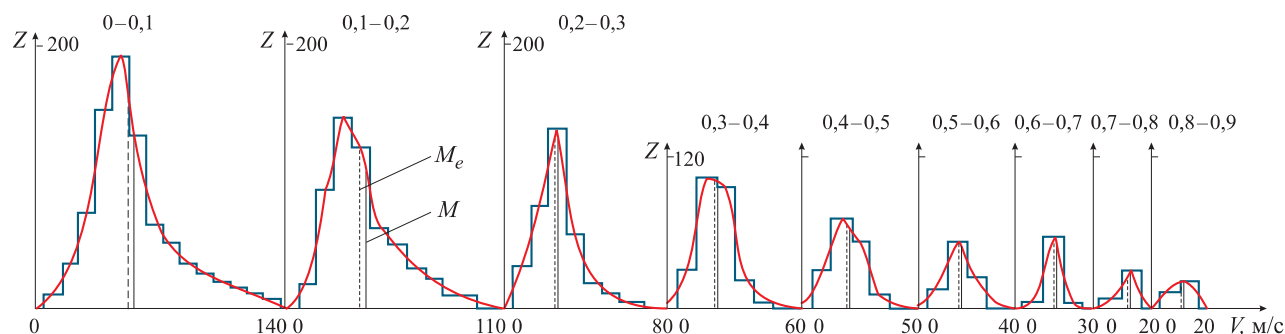


Рис. 4. Примеры гистограмм и полигонов распределения значений скоростей движения по горизонтальным путям, полученных визуальным методом [12] (M — математическое ожидание; M_e — медиана; Z — количество наблюдений)

и в ГОСТ 12.1.004–91* использована лишь одна из ее возможных реализаций. Инвариантность этой функции показана для всех серий натурных наблюдений, проведенных в нашей стране и за рубежом [14].

Введение коэффициента 0,8 в формулу (7) не может учесть стохастичность процесса распространения ОФП по системе участков эвакуационных путей и выходов. Этот факт был доказан неоднократно при многовариантном моделировании динамики распространения ОФП с использованием и зонной [7, 8, 15, 16], и полевой [7, 8, 17] моделей (рис. 5 и 6).

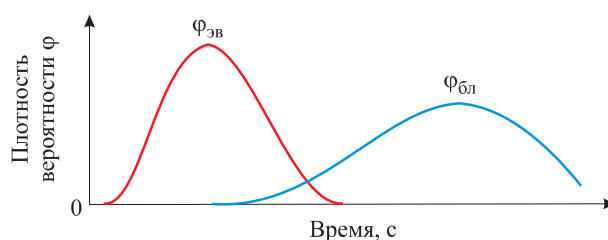


Рис. 5. Оценка вероятности эвакуации и распространения ОФП по плотностям их вероятности $\varphi_{эв}$ и $\varphi_{бл}$ для здания с многосветным пространством с помощью стохастического имитатора [16]

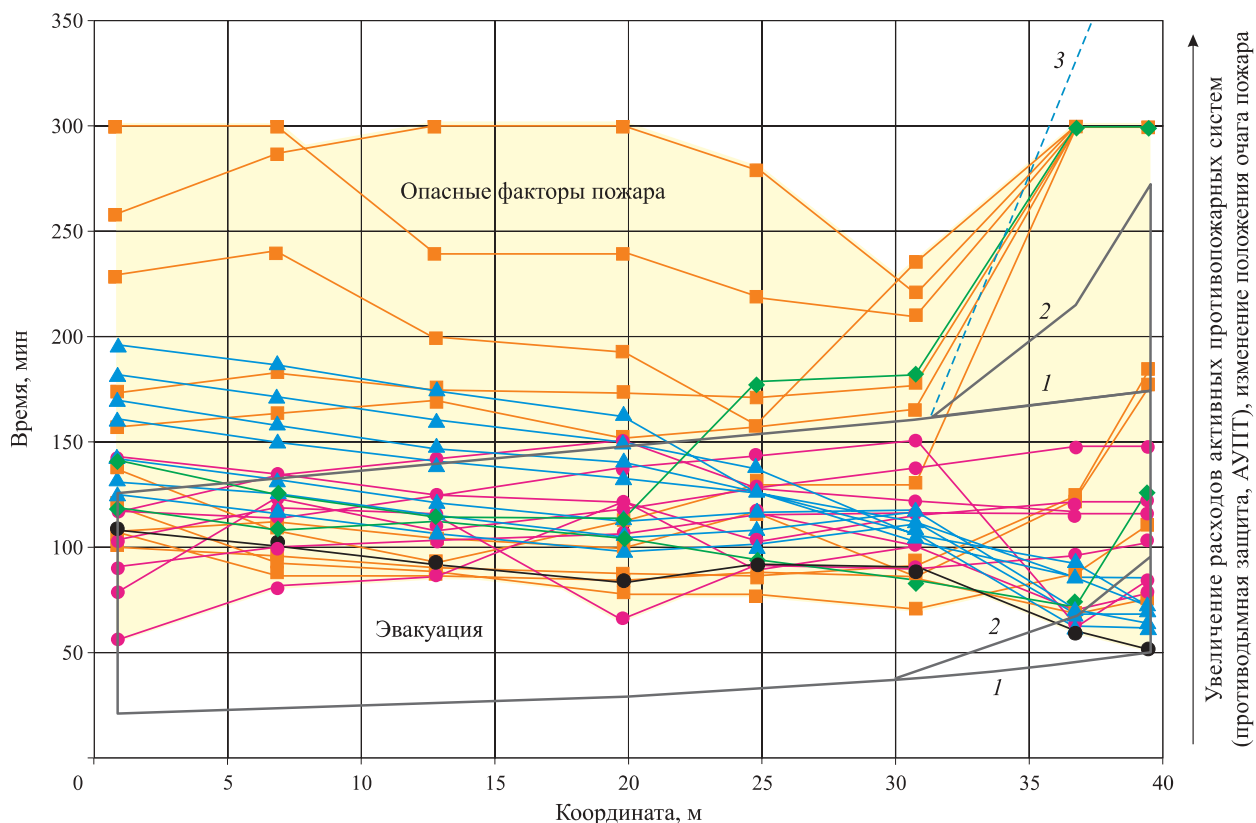


Рис. 6. Область возможных решений по выбору систем обеспечения пожарной безопасности на этаже пожара на основе моделирования ОФП [16]: ● — отсутствие систем противопожарной защиты; ● — изменение расположения помещения очага пожара и клапана дымоудаления; ■ — изменение расхода воздуха через клапан дымоудаления; ▲ — изменение расхода воды системы пожаротушения (дренчерная завеса); ◆ — изменение расхода воздуха через клапан дымоудаления и расхода дренчерной системы пожаротушения (дренчерная завеса). Результаты моделирования эвакуации: 1 — максимальные и минимальные значения времени движения людей на этаже при одностороннем расположении коридора; 2 — то же, при двустороннем расположении коридора; 3 — время движения людей в случае скопления в лестничной клетке

Полученные результаты, показавшие вариабельность значений необходимого и расчетного времени эвакуации при неизменности причинно-следственной обусловленности связи между параметрами моделируемых процессов, позволяют преодолеть консерватизм сторонников детерминизма. Они дают возможность получить аналитические выводы, определяющие вероятность совместного наступления событий [7, 8] — времени эвакуации людей $E(t)$ и времени блокирования путей эвакуации $B(t)$, исходя из первоначального допущения о распределении плотностей их вероятностей по нормальному закону. Тогда удастся получить аналитическую формулу для оценки вероятности безопасной эвакуации $p(S)$:

$$p(S) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\mu_2 - \mu_1}{\sqrt{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} \right) \right], \quad (8)$$

где μ_1 , μ_2 , σ_1 , σ_2 — математические ожидания и стандартные отклонения распределения значений времени эвакуации и времени блокирования путей эвакуации.

Вводя различные значения этих параметров, можно оценить необходимость учета влияния стохастичности процессов движения людских потоков и распространения ОФП на безопасность людей при эвакуации на начальной стадии пожара (рис. 7).

Отсюда следует, что при $t_p + t_{н.э} \leq 0,8t_{бл}$ вероятность эвакуации $P_{эв} \neq 0,999$.

Таким образом, методика определения расчетных величин пожарного риска, которая должна реализовать принцип вероятности (1), является детерминированной по сути большинства используемых в ней способов представления физико-технических характеристик расчетных величин, методов и моделей. В ней не учитываются возможности снижения пожарного риска за счет вероятного использования индивидуальных средств противопожарной защиты населения [18] и тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водопроводом [19], отсутствует учет влияния эффективности (а не только

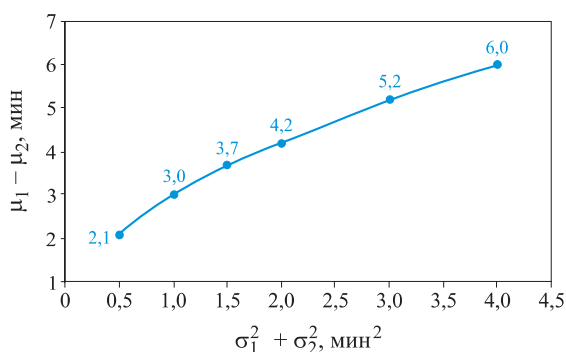


Рис. 7. Значения $\mu_1 - \mu_2$ и $\sigma_1^2 + \sigma_2^2$ для обеспечения вероятности эвакуации на уровне $P_{эв} = 0,999$

надежности) автоматических установок пожаротушения [20–22].

Методика [4] в существующем виде не учитывает неоднородности состава людских потоков в большинстве зданий общественного и промышленного назначения [23–25]. Такое состояние Методики не соответствует принципам классификации зданий по функциональной пожарной опасности, которые требуют представления в ней расчетных величин и зависимостей между параметрами движения людей “с учетом их возраста, физического состояния, возможности пребывания в состоянии сна, вида основного функционального контингента и его количества” [1].

Приведенные данные определяют многочисленность возможных вариантов, которые необходимо учитывать при анализе сценариев пожара:

- место нахождения и различное количество людей в течение суток в элементах объемно-планировочной структуры зданий и сооружений массового назначения;
- широко изменяющийся демографический состав образующихся групп людей;
- вариабельность пожарной нагрузки в помещениях;
- непостоянство параметров создаваемой искусственной среды в элементах объемно-планировочной структуры;
- нестабильность показателей надежности и эффективности функционирования автоматических систем противопожарной защиты, которыми они оборудуются;
- непредсказуемость мест возникновения очага пожара, что формирует стохастичность процессов эвакуации людей и динамики опасных факторов пожара.

Отсюда следует необходимость глубокого статистического анализа случайных величин $t_{н.э}$, t_p и $t_{бл}$. Такой анализ невозможно провести без расчета (моделирования) возможных многочисленных сценариев пожара. Поскольку требуется определить индивидуальный пожарный риск, актуализируется необходимость разработки современной модели индивидуального движения людей, учитывающей выявленные особенности поведения людей, определяемые их возрастными психофизиологическими и физическими возможностями, которые сплошь и рядом имеют лишь качественные характеристики поведения*.

Необходимость систематизации расчетов сценариев пожара с учетом моделирования реальной стохастичности динамики ОФП и стохастичности

* Поведение — это система взаимосвязанных реакций, осуществляемых живыми организмами для приспособления к среде, включая их двигательную активность.

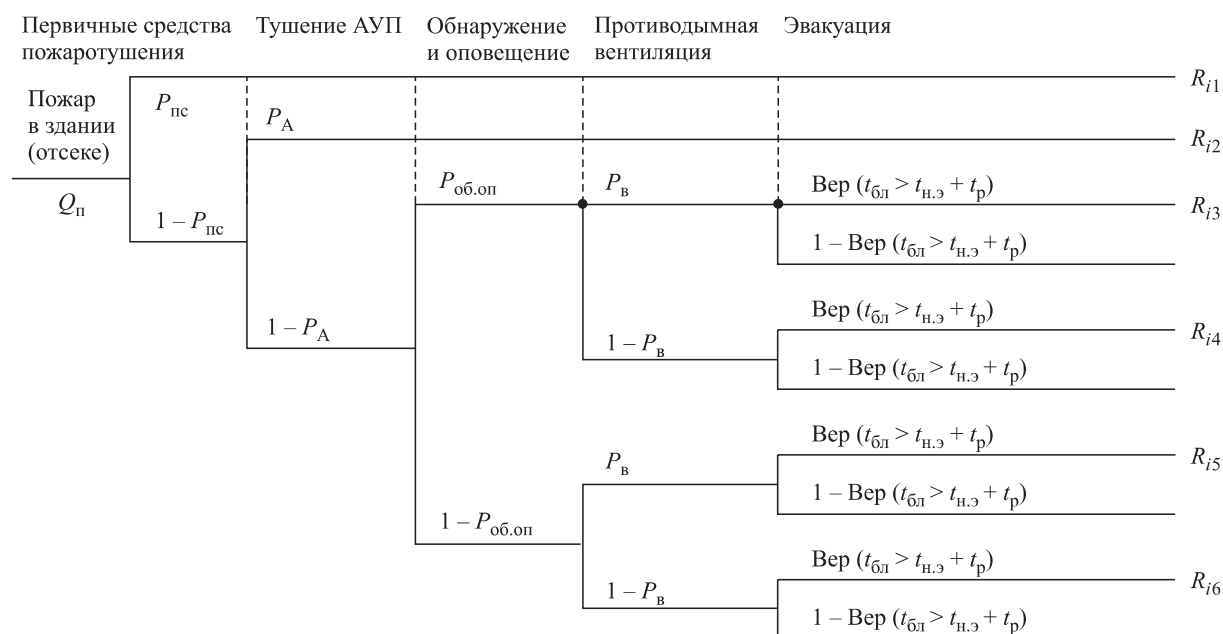


Рис. 8. Дерево событий при i -м сценарии пожара

проявления закономерностей поведения людей в зависимости от их физических возможностей и психофизиологического состояния определяет актуальность разработки новой методологии расчета индивидуального пожарного риска, способной учитывать стохастичность определяющих его процессов. Описанный опыт их моделирования позволяет считать, что расчет индивидуального пожарного риска целесообразно проводить в два этапа.

На первом этапе должны быть оперативно получены статистические данные по распределению вероятностей времени безопасной эвакуации и времени блокирования опасными факторами пожара эвакуационных путей и выходов. Графический пример представления результатов первого этапа представлен на рис. 5.

Эти результаты создают базу статистических данных для оценки вероятности безопасной эвакуации (формула (8)) (см. рис. 7). Их применение позволяет выявить пессимистические варианты развития чрезвычайной ситуации и установить значения параметров, обуславливающих их появление. В результате выявления причин формирования пессимистических вариантов разрабатываются способы и методы их устранения, включая и изменения размеров эвакуационных путей и выходов, ведущие прежде всего к ликвидации скоплений людей или уменьшению времени их существования $t_{ск}$.

На втором этапе осуществляется моделирование процессов индивидуального поведения людей в составе выявленных групп эвакуирующихся, что создает статистику по $P(t_{н.э} + t_{р})$, и производится расчет распространения ОФП при возможных ва-

риантах необходимых технических решений автоматических систем противопожарной защиты.

Из двух этапов первый будет наиболее трудоемким, поэтому рассмотрим предлагаемый метод его осуществления. Для систематизации расчетов сценариев пожара предлагается использовать методологию дерева событий (рис. 8), широко применяемую в квалиметрии.

Расчетная величина $Q_{в}$ определяется как

$$Q_{в} = \max \{Q_{в,1}, Q_{в,2}, \dots, Q_{в,N}\}, \quad (9)$$

где N — количество рассмотренных сценариев пожара.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{в,i}$ определяется по формуле

$$Q_{в,i} = Q_{п,i} \prod_{j=1}^6 (1 - R_{ij}), \quad (10)$$

где $Q_{п,i}$ — частота возникновения пожара в здании; R_{ij} — расчетная вероятность непопадания людей при пожаре под действие ОФП, значения которых превышают критические, при реализации одного из j -х подсценариев i -го сценария пожара.

Индекс j соответствует ветвям дерева событий i -го сценария пожара, для которых

$$t_{н.э} + t_{р} < t_{бл}. \quad (11)$$

Величина $1 - \prod_{j=1}^6 (1 - R_{ij})$ представляет собой,

по сути, оценку системы противопожарной защиты объекта при ее "испытании" по i -му сценарию пожара (при заданном месте возникновения и харак-

теристиках очага пожара). На рис. 8 основные события (подсценарии или варианты) обозначены R_{ij} ($j = 1, \dots, 6$).

Сценарий пожара учитывает следующие противопожарные системы:

- первичные средства пожаротушения с надежностью тушения пожара в очаге $P_{\text{пс}}$;
- наличие автоматической установки пожаротушения (АУП) с надежностью выполнения задачи P_A ;
- системы обнаружения и оповещения людей о пожаре с надежностью выполнения задачи $P_{\text{об.оп}}$;
- системы противодымной вентиляции с надежностью выполнения задачи P_B .

Обозначим вероятность события $t_{\text{бл}} > t_{\text{н.э}} + t_p$ при реализации j -го подсценария i -го сценария пожара как

$$I_{ij} = \text{Вер}_{ij}(t_{\text{бл}} > t_{\text{н.э}} + t_p). \quad (12)$$

Можно принять, что в случае успешного тушения очага пожара первичными средствами пожаротушения или спринклерной системой автоматического пожаротушения условия для успешной эвакуации будут обеспечены.

Тогда на основе дерева событий (см. рис. 8) получим:

$$\begin{aligned} R_{i1} &= Q_{\text{п}} P_{\text{пс}}; \\ R_{i2} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) P_A; \\ R_{i3} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) (1 - P_A) P_{\text{об.оп}} P_B I_{i3}; \\ R_{i4} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) (1 - P_A) P_{\text{об.оп}} (1 - P_B) I_{i4}; \\ R_{i5} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) (1 - P_A) P_B (1 - P_{\text{об.оп}}) I_{i5}; \\ R_{i6} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) (1 - P_A) (1 - P_{\text{об.оп}}) (1 - P_B) I_{i6}. \end{aligned} \quad (13)$$

При этом в формуле (13) значения $Q_{\text{п}}$, P_A , $P_{\text{об.оп}}$ и P_B должны быть установлены заранее, а для расчета вероятностей I_{ij} (I_{i3} , I_{i4} , I_{i5} и I_{i6}) по формуле (12) может быть принята одна из рассмотренных выше имитационных моделей.

Случайными входными факторами при расчете времени блокирования $t_{\text{бл}}$ являются, например, следующие [26]:

- удельная скорость выгорания Ψ ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$);
- линейная скорость распространения пламени по поверхности $V_{\text{л}}$ ($\text{м}/\text{с}$);
- дымообразующая способность горючих материалов $D_{\text{п}}$ ($\text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$);
- максимальная площадь пожара S_{max} (м^2);
- количество эвакуирующихся людей на этажах здания;
- время начала эвакуации;
- высота расположения очага.

Случайные входные факторы при отсутствии дополнительных данных по их законам распределения можно аппроксимировать, соответственно, рав-

номерным, треугольным и усеченным нормальными законами распределения случайных величин.

При оценке времени эвакуации $t_{\text{эв}}$ в качестве случайных входных факторов целесообразно принять следующие:

- скорости движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности [25, 27]: $V = \varphi(D)$;
- распределения людей по помещениям на момент начала эвакуации и время начала их эвакуации $t_{\text{н.э}}$.

Как известно [28], при стохастическом моделировании методом Монте-Карло оценка вероятности события проводится через отношение

$$I_{ij} = n_{ij} / M_i, \quad (14)$$

где n_{ij} — количество испытаний, при которых получен искомый результат, например $t_p + t_{\text{н.э}} < t_{\text{бл}}$;

M_i — общее число статистических испытаний.

При этом следует учитывать, что при скоплении людей на путях эвакуации плотностью свыше $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в течение более 6 мин вероятность эвакуации равна нулю, поэтому при обработке результатов статистических испытаний используются оценки:

$$I_{ij} = (n_{ij} - n_{\text{ск}}) / M_i, \quad (15)$$

где $n_{\text{ск}}$ — количество испытаний, при которых плотность людского потока в течение 6 мин превышала критическое значение.

Вероятность тушения пожара на ранней стадии с использованием первичных средств пожаротушения определяется по статистическим данным о пожарах или расчетным путем. Например, при тушении пожара в помещении с очагом пожара только стволом от внутреннего противопожарного водопровода вероятность тушения пожара [19]

$$P_{\text{пс}} = \text{Вер}(Q_{\text{тр}} \leq Q_{\text{ф}}), \quad (16)$$

где $Q_{\text{тр}}$, $Q_{\text{ф}}$ — случайные величины;

$Q_{\text{тр}}$ — требуемый расход огнетушащего средства на тушение пожара, л/с;

$Q_{\text{ф}}$ — фактически обеспечиваемый расход, л/с.

В этой модели параметры $Q_{\text{ф}}$, $V_{\text{л}}$, необходимая интенсивность подачи огнетушащих средств J ($\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$) и время распространения горения от начала его возникновения до подачи первого ствола τ (мин) являются случайными величинами.

В инженерных расчетах величина $P_{\text{пс}}$ определяется по формуле

$$\begin{aligned} P_{\text{пс}} &= K_1 K_2 \text{Вер}(Q_{\text{тр}} < Q_{\text{ф}}) = \\ &= K_1 K_2 \Phi \left(\frac{\bar{Q}_{\text{ф}} - \bar{Q}_{\text{тр}}}{\sqrt{\sigma_{\text{ф}}^2 + \sigma_{\text{тр}}^2}} \right), \end{aligned} \quad (17)$$

где K_1 — вероятность нахождения в помещении очага пожара людей, обученных тушению пожара;

K_2 — вероятность нахождения внутреннего противопожарного водопровода в работоспособном состоянии;

Φ — функция нормированного нормального распределения;

$\bar{Q}_\Phi, \bar{Q}_{\text{тр}}$ — математические ожидания Q_Φ и $Q_{\text{тр}}$;

$\sigma_\Phi, \sigma_{\text{тр}}$ — стандартные отклонения Q_Φ и $Q_{\text{тр}}$.

С учетом принимаемого равномерного закона распределения случайной величины Q_Φ в диапазоне $Q_{\min} \leq Q_\Phi \leq Q_{\max}$

$$\bar{Q}_\Phi = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2}; \sigma_\Phi = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{6}. \quad (18)$$

Для круговой модели пожара математическое ожидание и стандартное отклонение требуемого расхода воды на цели пожаротушения определяются соответственно как

$$\bar{Q}_{\text{тр}} = \frac{\pi}{4} \bar{J} \bar{\tau}^2 \bar{V}_\lambda^2; \quad (19)$$

$$\sigma_{\text{тр}}^2 = \left(\frac{\pi}{4} \bar{\tau}^2 \bar{V}_\lambda^2 \right)^2 \sigma_J^2 + \left(\frac{\pi}{2} \bar{J} \bar{\tau} \bar{V}_\lambda^2 \right)^2 \sigma_\tau^2 + \left(\frac{\pi}{2} \bar{J} \bar{\tau}^2 \bar{V}_\lambda \right)^2 \sigma_V^2, \quad (20)$$

где “черта” над параметрами обозначает математические ожидания соответствующих величин;

σ_J — стандартное отклонение интенсивности подачи J , л/(с·м²);

σ_τ — стандартное отклонение времени подачи первого ствола, с;

σ_V — стандартное отклонение скорости распространения продуктов горения, м/с.

В общем случае для оценки вероятности $P_{\text{пс}}$ необходимо составить дерево событий (отказов), учитывающее надежность использования внутреннего противопожарного водопровода, огнетушителей, подручных средств пожаротушения. Оценка эффективности отдельных первичных средств может быть получена по статистическим данным по пожарам, на основе которых можно определить $P_{\text{пс}}$.

При стохастическом моделировании для оценки $\text{Вер}(t_{\text{бл}} > t_{\text{н.э}} + t_{\text{р}})$ необходимо в дальнейшем стандартизировать минимальный набор случайных входных факторов в зависимости, в первую очередь, от класса функциональной пожарной опасности объектов, их степени огнестойкости, этажности зданий. Информационное обеспечение моделирования должно включать справочные данные и результаты научных исследований.

Выводы

1. Анализ опыта применения нормативных документов показывает, что существующая Методика определения расчетных величин пожарного риска в

зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [4] отличается определенной ограниченностью в силу детерминизма представления в ней расчетных величин и поэтому требует переработки на основе учета стохастичности процессов и функционирования систем противопожарной защиты, определяющих безопасность людей на начальной стадии пожара.

2. Предложена методологическая концепция разработки редакции Методики [5], основанной на вероятностных представлениях и позволяющей учитывать произошедшие за последние десятилетия изменения демографической структуры населения мира [29, 30] и вариабельность состава людских потоков в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности. Вероятностная методика открывает возможность для учета результатов новаторских технических решений систем противопожарной защиты в зданиях и сооружениях всех классов функциональной пожарной опасности.

3. Происходящие изменения значений параметров поведения людей заставляют авторов зарубежных эмпирических моделей расчетных зависимостей между параметрами людских потоков отказаться от их применения [31, 32]. Установленные же в России закономерности связей между ними дают возможность продуктивно расширять область их применения, поскольку позволяют учитывать происходящие изменения демографической структуры населения за счет органического учета вероятностной структуры людских потоков и открытой психофизиологической обусловленности наблюдаемых значений параметров движения различных возрастных групп людей в соответствии с их изменяющимися физическими возможностями.

4. Установленные психофизические закономерности работы спасателей [33] позволяют включить этот процесс в состав предлагаемой Методики.

5. Предлагаемая методология определения расчетной величины пожарного риска должна быть активно использована при предстоящем переходе проектирования зданий и сооружений на использование системы строительных норм [34].

6. Разработка новой вероятностной методики потребует больших затрат сил и времени для разработки необходимого математического и программного обеспечения с использованием имитационного моделирования, их внедрения в практику оценки пожарных рисков. В связи с этим вполне естественно, что в определенный период новая вероятностная методика может использоваться параллельно с существующей детерминированной методикой для оценки пожарной опасности особо важных и ответственных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 15.11.2016).
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (в ред. 2016) // Российская газета. — 31.12.2009. — № 255.
3. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (в ред. 2016) // Российская газета. — 2002. — № 245.
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382; введ. 30.06.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
5. Изменения, вносимые в приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 : приказ МЧС России от 02.12.2015 № 632. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191988/ (дата обращения: 04.01.2016).
6. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / Пер. с англ. — М. : Мир, 1966. — 288 с.
7. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфёненко А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 3. — С. 41–51.
8. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфёненко А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения (окончание) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 31–39.
9. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве. — Введ. 28.12.2005 // Вестник Мэра и Правительства Москвы. — 2006. — № 7.
10. Пособие по применению “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности” / А. А. Абашкин и др. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ВНИИПО, 2014. — 226 с.
11. Буга П. Г. Исследование пешеходного движения в городских узлах : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1974.
12. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : учебное пособие для вузов. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Стройиздат, 1979. — 375 с.
13. Холщевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков. Диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.
14. Холщевников В. В., Гилетич А. Н., Ушаков Д. В., Парфёненко А. П. Общая закономерность изменения параметров движения людских потоков различного функционального контингента в зданиях и сооружениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 32–41.
15. Никонов С. А. Разработка мероприятий по организации эвакуации при пожарах в зданиях с массовым пребыванием людей на основе моделирования движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1985.
16. Костерин И. В. Оценка вероятности эвакуации людей при пожарах из зданий с многосветными пространствами : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012.
17. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2013. — 190 с.
18. Заикин С. В., Бушманов С. А., Парфёненко А. П., Белосохов И. Р. Обеспечение безопасности людей при пожарах в зданиях посредством применения самоспасателей. Часть 3. Результаты испытаний и их обсуждение // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 25–30.
19. Присадков В. И., Мусласова С. В., Костерин И. В., Фадеев В. Е., Шамаев А. М. Расчетные оценки эффективности тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водопроводом // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1 (принята к печати).
20. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Некрасов В. П., Гилетич А. Н. Оценка влияния автоматических установок пожаротушения на величину пожарного риска для производственных объектов // Пожарная безопасность. — 2011. — № 1. — С. 72–83.

21. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Шебеко А. Ю., Дроздов А. Е., Кириллов Д. С., Гилетич А. Ю. Совершенствование методов определения расчетных величин пожарного риска для производственных объектов // Пожарная безопасность. — 2011. — № 3. — С. 57–65.
22. Самошин Д. А. К вопросу о защите людей техническими средствами пожарной автоматики // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 12. — С. 53–59. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.53-59.
23. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfyonenko A. P., Belosokhov I. R. Study of children evacuation from pre-school education institutions // Fire and Materials. — 2012. — Vol. 36, No. 5-6. — P. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
24. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. I. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire // Human Behaviour In Fire : Proceedings of 5th International Symposium. — Cambridge, UK, 2012. — P. 587–593.
25. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфёненко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосокхов И. Р. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учебное пособие. — М. : АГПС МЧС России, 2015. — 260 с.
26. Костерин И. В., Присадков В. И., Лицкевич В. В. Вероятностная модель оценки времени блокирования эвакуационных путей при развитии пожара в зданиях с многосветными пространствами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 45–48.
27. Самошин Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации. — М. : АГПС МЧС России, 2016. — 209 с.
28. Лоу А. М., Кельтон В. Д. Имитационное моделирование / Пер. с англ. — СПб. : Питер; Киев : Изд. группа BHV, 2004. — 847 с.
29. Всемирный доклад об инвалидности / Всемирная организация здравоохранения, Всемирный банк. — Мальта, 2012. — 350 с.
30. World health statistics (NLM classification : WA 900.1). — Geneva : World Health Organization Press, 2014. — 178 p.
31. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 78. — P. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
32. Pauls J. L., Fruin J. J., Zupan J. M. Minimum stair width for evacuation, overtaking movement and counterflow — Technical bases and suggestions for the past, present and future // Pedestrian and Evacuation Dynamics / Waldau-Drexler N., Gattermann P., Knoflacher H., Schreckenberg M. (eds.). — Berlin : Springer Verlag, 2005. — P. 57–69. DOI: 10.1007/978-3-540-47064-9_5.
33. Истратов Р. Н. Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 54–63.
34. Степанов А. Ю., Михеев Д. В. Актуальные задачи технического нормирования в области создания безбарьерной среды // Проектирование комфортной, безопасной и доступной среды. Актуальные вопросы нормирования : научно-практическая конференция / Минстрой России; Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве. — М., 2016.

Материал поступил в редакцию 30 ноября 2016 г.

Для цитирования: Холщевников В. В., Присадков В. И., Костерин И. В. Совершенствование методологии определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях на основе стохастического описания определяющих их процессов и деревьев событий // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17.

English

IMPROVEMENT METHODOLOGY FOR DETERMINING THE CALCULATED VALUE OF THE FIRE RISK IN BUILDINGS AND STRUCTURES BASED ON STOCHASTIC DESCRIPTION OF DETERMINING THEIR PROCESSES AND TREES EVENTS

KHOLSHCHEVNIKOV V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: reglament2004@mail.ru)

PRISADKOV V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: z080637@yandex.ru)

KOSTERIN I. V., Candidate of Technical Sciences, Head of Office of Research Expertise and Consulting Department, Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: kosteriniv@gmail.com)

ABSTRACT

It was analyzed the current state of methodology for determining the estimated value of fire risk in buildings, structures and fire compartments of different classes of functional fire hazard (Annex to the Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia on 30.06.2009 No. 382 as amended on 02.12.2015). It was founded that the main parameters used in the procedure are random variables and functions, describing stochastic processes in nature. In the same procedure there are used deterministic parameters of the calculated values, which can sometimes lead to the actual non-compliance with the normative values of individual fire risk.

It is shown that the probability of evacuation, accepted under certain conditions equal to 0.999, shall be provided and calculated taking into account the random nature of the spread of fire hazards and processes evacuation during fires, fire safety characteristics of the system objects.

It is proposed to improve the methodology for assessing individual fire risk for public facilities in the following areas:

- 1) improved methods of structure;
- 2) consideration of the stochastic nature of the input factors affecting the magnitude of the fire risk;
- 3) accounting for stochastic processes of evacuation, the emergence and spread of fire hazards in the way of evacuation;
- 4) extension of the list of input factors that affect the value of fire risk, based on their probability characteristics.

In this case the object is given a list of fire scenarios, which is described as an event tree.

To simplify accounting stochastic computational variables and processes dynamics hazards of fire and evacuation of magnitude Q_v , individual fire risk assessment proposed to be carried out in two stages. In the first stage, covering the calculated variants of fire scenarios, the probability of a successful evacuation $Ver(t_{bl} > t_{se} + t_e)$, where t_{bl} — while blocking dangerous factors of fire escape routes; t_{se} — the start time of the evacuation; t_e — time of the evacuation can be carried out Monte Carlo using simulation systems. In the second stage payment identified in the first phase of extreme situations is carried out using the specified models, fully taking into account the specifics of the individual movements of people that make up the flow of evacuees in this building, and possible dynamics of fire hazards taking into account peculiarities of functioning of its engineering systems.

The proposals on improvement of individual risk methods allow to increase the reliability and accuracy of the estimates, although stipulate additional requirements in terms of knowledge of random variables of input factors distributions.

Keywords: individual fire risk; probabilistic and stochastic analysis; tree event; fire scenarios; probability of evacuation; calculation methods of fire risk.

REFERENCES

1. *Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016)* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 15 November 2016).
2. About safety of buildings and constructions. Federal Law on 30.12.2009. *Rossiyskaya gazeta (Russian Newspaper)*, 31.12.2009, no. 255 (in Russian).
3. On technical regulation. Federal Law on 27.12.2002 No. 184. *Rossiyskaya gazeta (Russian Newspaper)*, 2002, no. 245 (in Russian).

4. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
5. *Changes to Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382. Order of Emercom of Russia on 02.12.2015 No. 632* (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191988/ (Accessed 4 January 2016).
6. Haight F. A. *Mathematical theories of traffic flow*. New York, London, Academic Press, 1963 (Russ. ed.: Kheyт F. Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov. Moscow, Mir Publ., 1966. 288 p.).
7. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Belosokhov I. R., Istratov R. N., Kudrin I. S., Parfenenko A. P. The paradoxes of safe buildings evacuation regulations and their resolution. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 3, pp. 41–51 (in Russian).
8. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Belosokhov I. R., Istratov R. N., Kudrin I. S., Parfenenko A. P. The paradoxes of safe buildings evacuation regulations and their resolution (ending). *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 31–39 (in Russian).
9. Moscow city construction norms 4.19–2005. Temporary regulations multifunctional design of highrise buildings and complexes of buildings in Moscow. *Vestnik Mera i Pravitelstva Moskvy (Statement of the Mayor and the Government of Moscow)*, 2006, no. 7 (in Russian).
10. Abashkin A. A. et al. *Aid on the use of the method for determining the estimated fire risk in buildings, structures and buildings of various classes of functional fire hazards*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2014. 226 p. (in Russian).
11. Buga P. G. *Research walking in urban nodes*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1974 (in Russian).
12. Predtechenskiy V. M., Milinskiy A. I. *Design of buildings taking into account organization of the movement of pedestrian flows*. Edition 2. Moscow, Stroyizdat, 1979. 375 p. (in Russian).
13. Kholshchevnikov V. V. *Relationship between parameters of human flow. Diploma No. 24-S on the discovery in the field of social psychology*. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, International Association of Authors of Scientific Discoveries Publ., 2005 (in Russian).
14. Kholshchevnikov V. V., Giletich A. N., Ushakov D. V., Parfenenko A. P. The general pattern between parameters of the movement of a human flow for different contingent in the buildings and constructions. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 32–41 (in Russian).
15. Nikonov S. A. *Development of measures for evacuation during fires in buildings with a mass stay of people on the basis of modeling foot traffic*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1985 (in Russian).
16. Kosterin I. V. *Estimating the probability of evacuation during fires in buildings with open spaces*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2012 (in Russian).
17. Kudrin I. S. *Influence of parameters of traffic flows of people in case of fire in the volumetric-planning solutions of tall buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2013. 190 p. (in Russian).
18. Zaikin S. V., Bushmanov S. A., Parfenenko A. P., Belosokhov I. R. Supporting safety of people under fires in buildings by the use of the respiratory protective devices. Part 3. Results of tests and their arguing. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 25–30 (in Russian).
19. Prisadkov V. I., Muslakova S. V., Kosterin I. V., Fadeev V. E., Shamaev A. M. Estimates the effectiveness of extinguishing a fire in the hearth with internal plumbing. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2017, no. 1 (in press) (in Russian).
20. Shebeko Yu. N., Gordienko D. M., Nekrasov V. P., Giletich A. N. Estimation of influence of automatic fire extinguishing systems on size of fire risk for industrial facilities. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2011, no. 1, pp. 72–83 (in Russian).
21. Shebeko Yu. N., Gordienko D. M., Shebeko A. Yu., Drozdov A. E., Kirillov D. S., Giletich A. N. An improvement of the methods for a fire risk assessment at industrial facilities. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2011, no. 3, pp. 57–65 (in Russian).
22. Samoshin D. A. Towards the discussion of the protection of building occupants with technical means of fire automatics. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 12, pp. 53–59 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.53-59.
23. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfyonenko A. P., Belosokhov I. R. Study of children evacuation from pre-school education institutions. *Fire and Materials*, 2012, vol. 36, no. 5-6, pp. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.

24. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. I. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire. In: *Human Behaviour In Fire. Proceedings of 5th International Symposium*. Cambridge, UK, 2012, pp. 587–593.
25. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P., Kudrin I. S., Istratov R. N., Belosohov I. R. *The evacuation and human behavior in fires. Tutorial*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 260 p. (in Russian).
26. Kosterin I. V., Prisadkov V. I., Litskevich V. V. Probabilistic model of estimation of the time of evacuation routes blocking the development from atrium at the fire in public buildings. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 45–48 (in Russian).
27. Samoshin D. A. *The composition of the flows of people and the parameters of their movement during the evacuation*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2016. 209 p. (in Russian).
28. Law A. M., Kelton W. D. *Simulation modeling and analysis*. Osborne, McGrae-Hill, 2000 (Russ. ed.: Lou A. M., Kelton V. D. Imitatsionnoye modelirovaniye. Saint Petersburg, Piter Publ., Kiev, Izdatel'skaya gruppa VNV, 2004. 847 p.).
29. *The World Report on Disability*. World Health Organization, The World Bank. Malta, 2012. 350 p. (in Russian).
30. *World health statistics (NLM classification: WA 900.1)*. Geneva, World Health Organization Press, 2014. 178 p.
31. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
32. Pauls J. L., Fruin J. J., Zupan J. M. Minimum stair width for evacuation, overtaking movement and counterflow — Technical bases and suggestions for the past, present and future. In: Waldau-Drexler N., Gattermann P., Knoflacher H., Schreckenberger M. (eds.). *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Berlin, Springer Verlag, 2005, pp. 57–69. DOI: 10.1007/978-3-540-47064-9_5.
33. Istratov R. N. Study on rescue possibilities of immobile people from medical and social institutions in case of fire. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 54–63 (in Russian).
34. Stepanov A. Yu., Mikheev D. V. Actual problems of technical regulation in the field of barrier-free environment. In: *Designing of the comfortable, safety and accessible environment. Topical issues of regulation. Proceedings of Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2016 (in Russian).

For citation: Kholshchevnikov V. V., Prisadkov V. I., Kosterin I. V. Improvement methodology for determining the calculated value of the fire risk in buildings and structures based on stochastic description of determining their processes and trees events. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17.