

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА

Д.В. Седов,

преподаватель кафедры ПБТПЗиС
ФГОУ ВПО ВСИ МВД России,
кандидат технических наук

Приводятся три уточнения методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: 1) уточнение формулы для расчета вероятности эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре; 2) уточнение формулы для расчета вероятности эвакуации людей из здания; 3) уточнение формулы для расчета величины индивидуального пожарного риска.

Three specifications of a technique of definition of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger are resulted: 1) specification of the formula for calculation of probability of effective work of system of the fire-prevention protection directed on maintenance of safe evacuation of people at a fire; 2) specification of the formula for calculation of probability of evacuation of people from a building; 3) specification of the formula for calculation of size of individual fire risk.*

В настоящее время расчет величины индивидуального пожарного риска (ИПР) производится по методике [1], где учитывается, что на величину ИПР оказывают влияние вероятность $P_{нз}$ эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, и вероятность $P_э$ эвакуации людей. Поэтому правильное определение данных величин является важной частью процедуры оценки риска. Однако при внимательном анализе указанной методики были выявлены неточности в формулах для расчета $P_{нз}$ и $P_э$. Кроме того, была выявлена неточность в формуле для оценки самого ИПР. Данные неточности могут приводить к серьезной недооценке пожарной опасности здания, требуют исправления и рассмотрены ниже.

1. Уточнение формулы для расчета вероятности эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре

Согласно [1] (п. 13) система противопожарной защиты, направленная на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре (СППЗОБЭ), состоит из 1) системы обнаружения пожара (СОП); 2) системы оповещения

* Sedov D.V. Specification of a design procedure of individual fire risk.

людей о пожаре и управления эвакуацией (СОУЭ); 3) системы противодымной защиты (СПДЗ). От вероятностей эффективной работы данных систем согласно [1] и зависит вероятность эффективной работы СППЗОБЭ:

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

где $P_{пз}$ – вероятность эффективной работы СППЗОБЭ; $R_{обн}$ – вероятность эффективного срабатывания СОП (вероятность эффективного срабатывания пожарной сигнализации); $R_{СОУЭ}$ – условная вероятность эффективного срабатывания СОУЭ в случае эффективного срабатывания СОП; $R_{ПДЗ}$ – условная вероятность эффективного срабатывания СПДЗ в случае эффективного срабатывания СОП.

Анализируя данную формулу, можно прийти к выводу, что в методике [1] СОУЭ и СПДЗ рассматриваются как независимые друг от друга системы, то есть их срабатывание может происходить независимо друг от друга. Смысл формулы (1) можно проиллюстрировать структурной схемой, показанной на рис. 1.

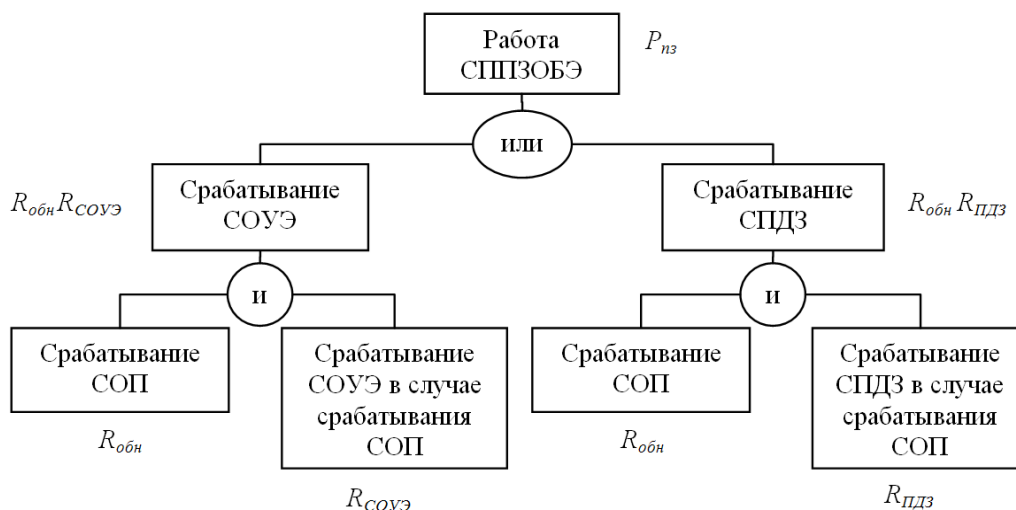


Рис. 1. Структурная схема для определения вероятности работы СППЗОБЭ

Согласно данной структурной схеме СППЗОБЭ будет работать, если произойдет хотя бы одно из трех событий: 1) срабатывание СОУЭ; 2) срабатывание СПДЗ; 3) одновременное срабатывание СОУЭ и СПДЗ. При реализации хотя бы одного из этих событий считается, что СППЗОБЭ будет работать (конечно, в каждом отдельном случае эффективность ее работы будет разной). Обратим внимание на одновременное срабатывание СОУЭ и СПДЗ. Согласно подходу [1] в данном случае должна сработать СОП и включиться СОУЭ, и в тоже время, но совершенно независимо, должна снова сработать СОП и включиться СПДЗ (см. рис. 1). Получается так, как будто в здании имеется две СОП.

Ошибка заключается в первоначальной постановке вопроса. СОУЭ и СПДЗ – это не две независимые системы, а это две подсистемы СППЗОБЭ, связанные между собой СОП. Срабатывание СОУЭ и СПДЗ зависит от срабатывания одной единственной СОП. В этом случае возможны следующие три варианта работы СППЗОБЭ: 1) срабатывание СОП и СОУЭ; 2) срабатывание СОП и СПДЗ; 3) срабатывание СОП, СОУЭ и СПДЗ. Вероятность реализации хотя бы одного из данных вариантов (вероятность работы СППЗОБЭ) можно найти с помощью структурной схемы, представленной на рис. 2.

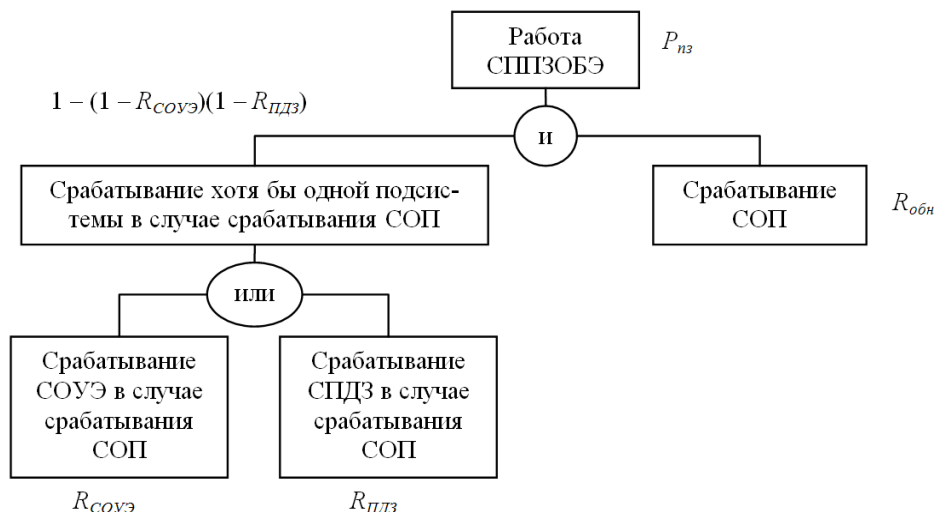


Рис. 2. Уточненная структурная схема для определения вероятности работы СППЗОБЭ

В соответствии с уточненной структурной схемой вероятность работы СППЗОБЭ будет определяться по формуле:

$$P_{nz} = R_{обн} [1 - (1 - R_{СОУЭ})(1 - R_{ПДЗ})] \quad (2)$$

Полученная формула учитывает, что СОУЭ и СПДЗ связаны только с одной СОП, а не каждая со своей отдельной СОП.

Что касается количественной разности результатов, которые получаются по формулам (1) и (2), то ее можно проанализировать, если вместо $R_{обн}$, $R_{СОУЭ}$ и $R_{ПДЗ}$ подставить их значения: $R_{обн} = R_{СОУЭ} = R_{ПДЗ} = 0,8$ [1]. Тогда по формуле (1) получаем, что $P_{nz(1)} = 0,8704$, а по формуле (2) – $P_{nz(2)} = 0,768$. То есть по формуле (1) вероятность эффективной работы СППЗОБЭ составила на 13,3 % больше, чем по формуле (2). Это объясняется тем, что формула (1) предполагает использование не одной СОП, а двух. $P_{nz(1)}$ будет тем больше $P_{nz(2)}$, чем меньшие значения будут иметь $R_{обн}$ и чем большие значения будут иметь $R_{СОУЭ}$ и $R_{ПДЗ}$.

При необоснованном увеличении P_{nz} значение ИПР будет необоснованно уменьшено. Поэтому расчет ИПР должен проводиться с учетом выражения (2).

2. Уточнение формулы для расчета вероятности эвакуации людей при пожаре

Согласно методике [1] выражение для оценки вероятности эвакуации людей при пожаре $P_э$ имеет вид:

$$P_э = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_p + t_{нэ} \leq 0,8t_{\text{бл}} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин,} \\ \frac{0,8t_{\text{бл}} - t_p}{t_{нэ}}, & \text{если } t_p < 0,8t_{\text{бл}} < t_p + t_{нэ} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин,} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8t_{\text{бл}} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин,} \end{cases} \quad (3)$$

где $P_э$ – вероятность эвакуации людей из здания; t_p – расчетное время эвакуации, мин; $t_{нэ}$ – время начала эвакуации, мин; $t_{ск}$ – время существования скоплений, мин; $0,8t_{\text{бл}}$ – необходимое время эвакуации из здания при пожаре, мин (0,8 – коэффициент запаса надежности; $t_{\text{бл}}$ – время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара, мин).

Проблема использования данной формулы заключается в следующем. Если необходимое время эвакуации $0,8t_{\text{бл}}$ будет больше или равно времени выхода людей из здания ($t_{нэ} + t_p$), то вероятность того, что человек безопасно эвакуируется $P_э$, будет наибольшей (0,999). Если $0,8t_{\text{бл}}$ будет меньше или равно t_p , то вероятность $P_э$ будет наименьшей (равной 0). Если же $0,8t_{\text{бл}}$ будет находиться между ($t_p + t_{нэ}$) и t_p , то вероятность $P_э$ будет принимать промежуточные значения между 1 и 0, а не между 0,999 и 0, как следует из логики вещей. Из (3) видно, что, если стоящее в числителе выражение ($0,8t_{\text{бл}} - t_p$) по своей величине будет стремиться к $t_{нэ}$, находящемуся в знаменателе, то вероятность $P_э$ будет стремиться к 1. Таким образом, при определенных значениях $t_{\text{бл}}$, $t_{нэ}$ и t_p вероятность $P_э$ может превышать свое «максимально возможное» значение (0,999), что не только противоречит логике рассуждений, но и дает возможность, предлагая различные конструктивные, объемно-планировочные и другие решения, так варьировать величинами $t_{\text{бл}}$, $t_{нэ}$ и t_p , что вероятность эвакуации будет сколь угодно близкой к 1, а ИПР – сколь угодно близким к нулю.

Исправление указанной неточности вполне понятно: если значение $P_э$ не должно превышать 0,999, то числитель не должен превышать $0,999t_{нэ}$. Для этого формула для расчета $P_э$ для случая $t_p < 0,8t_{\text{бл}} < t_p + t_{нэ}$ должна быть записана в виде:

$$P_э = \frac{0,999(0,8t_{\text{бл}} - t_p)}{t_{нэ}}. \quad (4)$$

Данное уточнение позволит исключить возможность искусственного снижения пожарной опасности зданий и сделать методику [1] более строгой.

3. Уточнение формулы для расчета величины индивидуального пожарного риска

Как указывалось выше, в методике [1] учитывается, что на величину ИПР оказывает влияние вероятность P_{nz} эффективной работы СППЗОБЭ. При этом данное влияние настолько ощутимо, что если P_{nz} будет равна 1, то ИПР станет равным нулю:

$$Q_6 = Q_n(1 - R_{an})P_{np}(1 - P_9)(1 - P_{nz}), \quad (5)$$

где Q_6 – ИПР; Q_n – вероятность пожара в здании; R_{an} – вероятность эффективной работы установок пожаротушения; P_{np} – вероятность присутствия людей в здании; P_9 – вероятность эвакуации людей из здания; P_{nz} – вероятность эффективной работы СППЗОБЭ.

В чем же заключается работа СППЗОБЭ, и способна ли она свести к нулю ИПР, то есть полностью ликвидировать опасность гибели человека при пожаре? Как указывалось выше, согласно [1] (п. 13) СППЗОБЭ состоит из трех систем: СОП, СОУЭ и СПДЗ. Эффективная работа СОП заключается в обнаружении пожара и отправке сигнала на СОУЭ и СПДЗ. Эффективная работа СОУЭ обеспечивает скорейший выход людей из здания, эффективная работа СПДЗ приводит к увеличению времени блокирования эвакуационных путей и выходов опасными факторами пожара. Но даже при 100-процентной вероятности срабатывания СОП, СОУЭ и СПДЗ, то есть при $P_{nz} = 1$, вероятность воздействия опасных факторов пожара на людей все равно будет существовать, а значит, ИПР будет больше нуля! В основе данного противоречия лежит первая неточность формулы (5): вероятность P_{nz} не может сводить ИПР к нулю.

Также необходимо указать на то, что в формуле (5) изначально заложен отказ СППЗОБЭ [имеется в виду множитель $(1 - P_{nz})$], а значит, процесс эвакуации должен рассматриваться без ее учета. То есть время начала эвакуации должно приниматься как для здания, не оборудованного СОУЭ, люди не должны выходить по наиболее оптимальному пути, а СПДЗ не должна оказывать влияние на динамику опасных факторов пожара. Однако, как это ни странно, в методике [1] сказано, что величина P_9 , входящая в формулу (5), рассчитывается с учетом имеющихся в здании СОУЭ и СПДЗ. В этом состоит вторая неточность формулы (5).

Устранение данных недостатков начнем с определения понятия ИПР. ИПР для здания – это вероятность гибели человека в результате пожара в данном здании. Для того чтобы человек погиб, необходимо одновременное возникновение тех событий: 1) в рассматриваемом здании должен произойти пожар; 2) в рассматриваемом здании должен присутствовать человек; 3) человек должен не успеть выйти из здания вовремя. Следовательно, ИПР определяется следующим образом:

$$Q_6 = Q_n P_{np} (1 - P_9).$$

Однако существует еще три фактора, которые могут влиять на величину ИПР. Во-первых, это эффективная работа установок автоматического пожаротушения (АУПТ). Ведь если такая установка будет эффективно работать, то пожар будет потушен, человек не погибнет,

а ИПР будет равен нулю. Во-вторых, это эффективная работа СОУЭ. Эффективная работа данной системы обеспечивает скорейший выход человека из здания, так как минимизирует время начала эвакуации и показывает наиболее оптимальный путь к выходу. В-третьих, это эффективная работа СПДЗ, которой приводит к увеличению времени блокирования эвакуационных путей и выходов опасными факторами пожара. Таким образом, первый фактор (АУПТ) прямо влияет на величину ИПР, а два вторых – косвенно (они влияют на вероятность эвакуации $P_э$, которая, в свою очередь, влияет на величину риска). В связи с этим формула для расчета величины ИПР принимает вид:

$$Q_э = Q_n P_{np} (1 - R_{an}) (1 - P_э). \quad (6)$$

Рассмотрим вероятность эвакуации $P_э$. Величина $P_э$ при одновременном срабатывании СОУЭ и СПДЗ примет наибольшее значение, при одновременном отказе данных систем – наименьшее. При срабатывании какой-либо одной из систем $P_э$ примет промежуточное значение. То есть при наличии в здании СОУЭ и СПДЗ величина $P_э$ может принимать различные значения, зависящие от конкретного сценария. В формуле (6) это обстоятельство не учитывается. Для его учета составим логическую схему развития пожара и проанализируем все возможные сценарии (рис. 4).

При возникновении пожара в здании может оказаться, что людей в здании нет (см. рис. 4). В этом случае пожар не будет представлять опасность для человека (сценарий A_{12}). Если люди в здании присутствуют, то опасность гибели человека будет существовать. В этом случае может сработать АУПТ, если ей оборудовано рассматриваемое здание. Если АУПТ будет работать эффективно, то опасность для человека ликвидируется, так как пожар будет потушен (сценарий A_1). Если же АУПТ будет работать не эффективно, или она отсутствует, то опасность гибели человека существовать будет. В этом случае может сработать, а может и не сработать СОП. Если СОП сработает, то может сработать или не сработать СОУЭ. Если СОУЭ сработает, то может сработать или не сработать СПДЗ. Но даже если СПДЗ сработает вместе с СОУЭ, то, все равно, человек может либо успеть (сценарий A_2), либо не успеть (сценарий A_3) вовремя эвакуироваться из здания. Если он успеет выйти из здания, то опасности для его жизни не будет. Если же он не успеет вовремя выйти, то опасность гибели существовать будет.

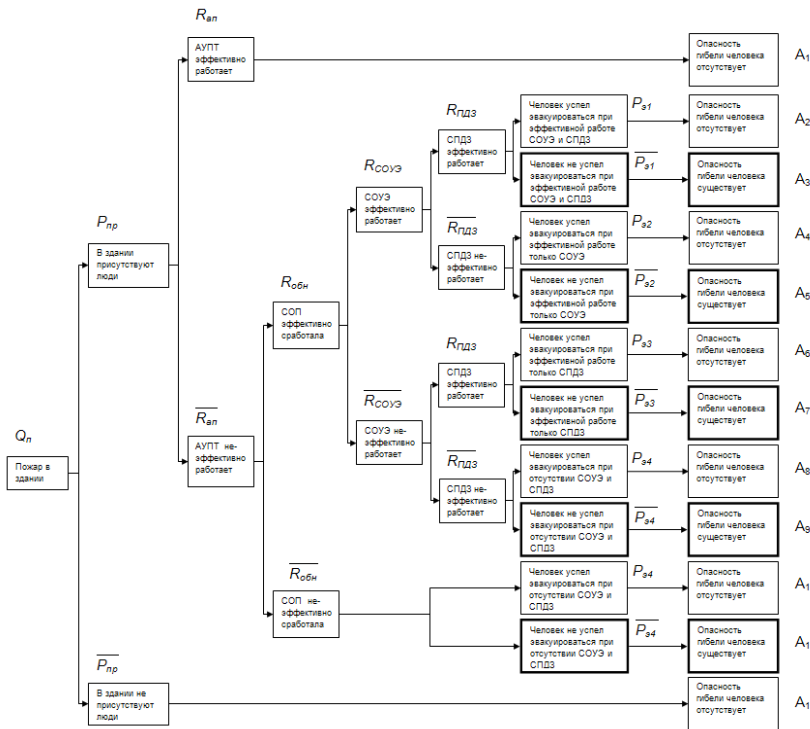


Рис. 4. Логическая схема развития пожара: над событиями указаны их вероятности; толстой линией выделены сценарии, опасные для человека

Как видно из рис. 4, имеются четыре комбинации работы СОУЭ и СПДЗ: 1) их одновременная работа, 2) работает СОУЭ, но не работает СПДЗ, 3) работает СПДЗ, но не работает СОУЭ, 4) обе системы не работают. Поэтому и значений $P_{э}$ будет четыре: на рис. 4 они обозначены как $P_{э1}$, $P_{э2}$, $P_{э3}$, $P_{э4}$. Значения данных вероятностей эвакуации можно определить по формулам:

$$P_{э1} = \frac{0,999(0,8t_{\delta,л1} - t_p)}{t_{нэ1}}; P_{э2} = \frac{0,999(0,8t_{\delta,л2} - t_p)}{t_{нэ1}};$$

$$P_{э3} = \frac{0,999(0,8t_{\delta,л1} - t_p)}{t_{нэ2}}; P_{э4} = \frac{0,999(0,8t_{\delta,л2} - t_p)}{t_{нэ2}}, \quad (7)$$

где $t_{нэ1}$ – время начала эвакуации, которое определяется для соответствующих класса функциональной пожарной опасности здания и типа СОУЭ, мин; $t_{нэ2}$ – время начала эвакуации, которое определяется для соответствующего класса функциональной пожарной опасности здания при отсутствии СОУЭ, мин; $t_{бл1}$ – время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара с учетом работы СПДЗ, мин; $t_{бл2}$ – время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара без учета работы СПДЗ, мин.

Если не сработает СОП, то СОУЭ и СПДЗ не смогут начать работать. Однако и в этом случае люди либо успеют вовремя выйти из здания (сценарий A_{10}), либо не успеют (сценарий A_{11}). Поэтому вероятность эвакуации в данном случае тоже должна определяться без учета СОУЭ и СПДЗ, то есть должна быть равна $P_{э4}$.

Из двенадцати возможных сценариев развития пожара опасность для человека представляют только пять: A_3 , A_5 , A_7 , A_9 и A_{11} . Вероятность гибели человека при осуществлении остальных сценариев равна нулю. ИПР же должен складываться только из вероятностей сценариев, представляющих опасность для человека. Расчетные формулы для вероятностей реализации каждого из опасных сценариев представлены ниже. В них введено следующее обозначение для повторяющихся множителей:

$$B = Q_n P_{np} (1 - R_{ан}).$$

$$Q(A_3) = (1 - P_{э1}) R_{ИДЗ} R_{COУЭ} R_{обн} B;$$

$$Q(A_5) = (1 - P_{э2}) (1 - R_{ИДЗ}) R_{COУЭ} R_{обн} B;$$

$$Q(A_7) = (1 - P_{э3}) R_{ИДЗ} (1 - R_{COУЭ}) R_{обн} B;$$

$$Q(A_9) = (1 - P_{э4}) (1 - R_{ИДЗ}) (1 - R_{COУЭ}) R_{обн} B;$$

$$Q(A_{11}) = (1 - P_{э4}) (1 - R_{обн}) B.$$

ИПР равен сумме вероятностей реализации вышеуказанных сценариев:

$$Q_* = Q(A_3) + Q(A_5) + Q(A_7) + Q(A_9) + Q(A_{11}). \quad (8)$$

Отметим, что по формуле (8) не может получиться число, превышающее 1. Более того, при суммировании вероятностей вообще всех возможных сценариев, то есть от $Q(A_1)$ до $Q(A_{12})$, получится число, равное вероятности пожара Q_n , которое меньше 1.

Если просуммировать вероятности только самых опасных для людей сценариев A_9 и A_{11} , то получится примечательный результат:

$$\begin{aligned} Q(A_9) + Q(A_{11}) &= (1 - P_{э4}) (1 - R_{ИДЗ}) (1 - R_{COУЭ}) R_{обн} B + (1 - P_{э4}) (1 - R_{обн}) B = \\ &= B (1 - P_{э4}) (1 - R_{обн}) [1 - (1 - R_{ИДЗ}) (1 - R_{COУЭ})]. \end{aligned}$$

В 1-й части настоящей статьи было показано, что выражение $R_{обн} [1 - (1 - R_{ИДЗ}) (1 - R_{COУЭ})]$ представляет собой вероятность эффективной работы СППЗОБЭ, то есть $P_{нз}$. Таким образом, получаем:

$$Q(A_9) + Q(A_{11}) = B (1 - P_{э4}) (1 - P_{нз}) = Q_n P_{np} (1 - R_{ан}) (1 - P_{э4}) (1 - P_{нз}),$$

то есть выражение аналогичное формуле (5), которая приведена в [1]. Полученное выражение, также как и формула (5), содержит множитель $(1 -$

$P_{нз}$), который говорит о том, что данный случай соответствует сценарию, когда СППЗОБЭ не работает. Но здесь, в отличие от (5), учитывается, что вероятность эвакуации $P_{э4}$ определяется для здания, в котором не работают или отсутствуют СОУЭ и СПДЗ. По полученной формуле при $P_{нз} = 1$, также как и по формуле (5), получается 0. Однако не будем забывать, что данная формула составлена только из двух сценариев развития пожара (A_9 и A_{11}). Если же рассмотреть всю сумму опасных сценариев ($A_3, A_5, A_7, A_9, A_{11}$), то есть найти ИПР, то при $P_{нз} = 1$ получим сценарий A_3 , вероятность которого для данного случая будет равна:

$$\begin{aligned} Q_e &= Q(A_3) = (1 - P_{э1}) R_{ПДЗ} R_{COYЭ} R_{обн} B = (1 - P_{э1}) \cdot 1 \cdot 1 \cdot B = \\ &= Q_n P_{np} (1 - R_{ан}) (1 - P_{э1}). \end{aligned}$$

В данной формуле вероятность эвакуации $P_{э1}$ рассчитывается с учетом работы СОУЭ и СПДЗ, как и в методике [1]. Но при этом учитывается, что данные системы работают, а вовсе не происходит их полный отказ (отказ СППЗОБЭ), как принимается в [1]. И, самое главное, при $P_{нз} = 1$ риск не получается равным нулю.

Выражение (8) можно упростить и вывести более лаконичную формулу для расчета величины ИПР:

$$Q_e = Q_n P_{np} (1 - R_{ан}) (1 - P_э), \quad (9)$$

где величину $P_э$, которая определяется по формуле:

$$\begin{aligned} P_э &= R_{ПДЗ} R_{COYЭ} R_{обн} P_{э1} + (1 - R_{ПДЗ}) R_{COYЭ} R_{обн} (P_{э2} - P_{э4}) + \\ &+ R_{ПДЗ} (1 - R_{COYЭ}) R_{обн} (P_{э3} - P_{э4}) + (1 - R_{ПДЗ} R_{COYЭ} R_{обн}) P_{э4}, \end{aligned} \quad (10)$$

можно назвать суммарной вероятностью эвакуации, учитывающей все возможные комбинации срабатывания и отказов СОП, СОУЭ и СПДЗ.

Формула (9) для расчета ИПР выведена после ряда простых преобразований выражения (8). Поэтому нет необходимости анализировать разности $(P_{э2} - P_{э4})$ и $(P_{э3} - P_{э4})$, входящие в формулу (10) на предмет того, могут ли они получаться отрицательными. Какими бы они не получались, при подстановке величины $P_э$ в выражение (9) результат будет равносильен выражению (8). Предметом дискуссии может стать принцип получения самого выражения (8). Но он прозрачен и не вызывает сомнений. Можно также утверждать, что величина $P_{э4}$ будет меньше, чем $P_{э2}$ или $P_{э3}$, так как $P_{э4}$ – это вероятность эвакуации в самых неблагоприятных условиях (при неработающих СОУЭ и СПДЗ). Поэтому разности $(P_{э2} - P_{э4})$ и $(P_{э3} - P_{э4})$ будут всегда положительными.

Таким образом, для расчета полного значения ИПР необходимо рассмотреть максимум четыре варианта эвакуации людей из здания. Если же здание не оборудовано какой-либо из систем (СОП, СОУЭ, СПДЗ), то вариантов эвакуации будет меньше. Для каждого из этих вариантов необходимо определить соответствующую вероятность эвакуации людей ($P_{э1}, P_{э2}, P_{э3}, P_{э4}$). Зная вероятности эвакуации для различных сценариев, можно рассчитать величину ИПР по формуле (9).

Таким образом, предлагается внести в методику [1] три уточнения. Первое касается расчета вероятности эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей [она должна рассчитываться по формуле (2)], второе – расчета вероятности эвакуации [расчет должен производиться с учетом формулы (4)], третье – расчета индивидуального пожарного риска [расчет необходимо проводить по формулам (9), (10) и (7)]. Данные уточнения позволят проводить более точную оценку пожарной опасности зданий и устранить возможности для ее искусственного снижения.

Материалы данной статьи отправлены для рассмотрения во Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, который является разработчиком методики [1].

Примечание

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. – Утв. приказом МЧС России № 382 от 30.06.2009.