



О. В. Кочнов,
заместитель
генерального директора
группы компаний ESCORT

109044, Москва, ул. Мельникова, д. 7, оф. 32,
8 (495) 937-5341/42, 663-9144 (многоканальные),
8 (800) 3333-005 (бесплатный),
info@escortpro.ru, support@escortpro.ru,
www.escortpro.ru



УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НАДЕЖНОСТИ СОУЭ НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА

В связи с активным ростом строительства высотных зданий и сооружений подходы к обеспечению безопасности людей требуют усовершенствования. Зададимся следующим вопросом, повысилась ли безопасность людей, находящихся в зданиях и сооружениях за последние, скажем, 10 лет, ведь оснований было предостаточно: это и введение рискориентированного подхода [1]; активная реформа нормативных оснований [2]; непрерывное совершенствование технологий производства систем пожарной автоматики (СПА) – систем пожаротушения (СПТ) и систем противопожарной защиты (СПЗ), систем обнаружения (СПС), систем дымоудаления (СПД), систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ).

Давайте посмотрим на статистику (рис. 1), согласно официальной статистике по пожарам ВНИИПО, в период с 2013 по 2021 г. при некотором снижении количества пожаров в зданиях и сооружениях, оборудованных системами пожаротушения и системами противопожарной защиты (СПЗ), число погибших и травмированных людей остается на высоком уровне [2]. Одной из причин такого положения дел является недостаточная работоспособность СПЗ: СПС, СПТ, в том числе СОУЭ, рис. 2.

Из графика видно, что при некоторой тенденции к повышению, надежность СПЗ остается на недостаточном уровне. Зададимся еще одним вопросом. А какой уровень считать достаточным? Попробуем разобраться.

Согласно приказу №1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности» (далее методике) [4], величина индивидуального пожарного риска (ИПР) считается обеспеченной, если находится в пределах одной миллионной в год⁻¹. Численным выражением величины ИПР, R, является частота воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на человека, находящегося в здании. ИПР определяется как максимальное значение пожарного риска, рассмотренного

Статистические данные по количеству пострадавших на объектах защиты в период с 2013 по 2021 г.

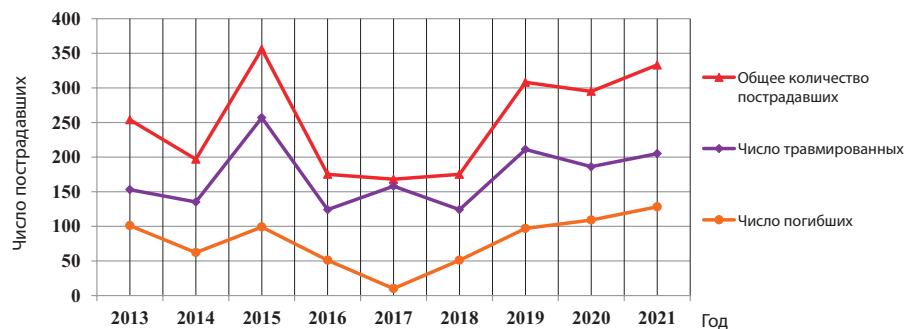


Рис. 1. Статистические данные по количеству пострадавших в зданиях и сооружениях в период с 2013 по 2021 г.

Работоспособность СПЗ (СОУЭ / СПС / СПД) в период с 2013 по 2021 г.

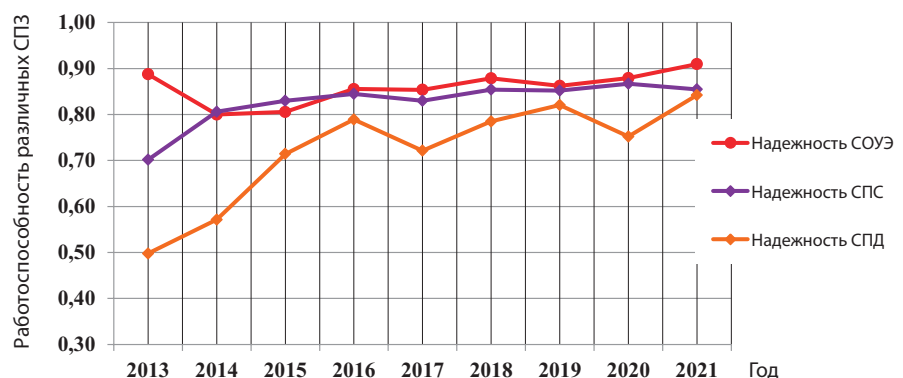


Рис. 2. Надежность СПЗ в период с 2013 по 2021 г.

для всех сценариев развития пожара. Расчетная величина ИПР определяется по следующей формуле:

$$R_{ij} = Q_{ni} \cdot P_{pri} \cdot (1 - P_{эij}) \cdot (1 - K_{спт}) \cdot (1 - K_{спзij}), \quad (1)$$

где Q_{ni} – частота возникновения пожара в здании в течение года; P_{pri} – вероятность присутствия людей в здании; $P_{эij}$ – вероятность эвакуации людей (рассчитывается); $K_{спт}$, $K_{спзij}$ – коэффициенты, учитывающие соответствие систем СПТ и СПЗ требованиям НД (приводятся в готовом виде).

Вероятность присутствия людей определяется в виде отношения среднего времени присутствия людей в анализируемом здании (сооружении) в течение суток к 24 часам. Коэффициент соответствия системы СПТ требованиям НД согласно методике принимается равным: $K_{спт} = 0,9$, при отсутствии в здании систем автоматического пожаротушения, $K_{спт} = 0$. Согласно формуле (1), применение СПТ с коэффициентом соответствия $K_{спт} = 0,9$ снижает ИПР в 10 раз.

Частота возникновения ОФП для различных типов защищаемых зданий и сооружений приведена в Приложении 3 методики [4]. При отсутствии статистических данных согласно методике допускается принимать $Q_n = 4 \cdot 10^{-2}$, которое можно интерпретировать как наихудший случай. Наиважнейшими параметрами, способы расчета которых указаны в методике, являются время блокировки $t_{бл}$ и расчетное время эвакуации людей из каждой зоны t_p . Эвакуация в здании считается обеспеченной, если люди эвакуируются в безопасную зону (место) раньше, чем ОФП достигнут своего критического значения. Основное условие обеспечения безопас-

ной эвакуации людей, принимаемого в качестве основного критерия безопасности для i -го сценария: $\max(t_{pi}) < 0,8t_{блi}$.

Порядок расчета величины ИПР [4] приведен на рис. 3.

Аспекты расчета вероятности эвакуации будут рассмотрены ниже, мы же обратимся к коэффициенту соответствия СПЗ. Коэффициент соответствия СПЗ требованиям нормативной документации (НД) по пожарной безопасности (ПБ) определяется по формуле [4]:

$$K_{спз} = 1 - (1 - K_{спс} \cdot K_{соуз}) \cdot (1 - K_{спс} \cdot K_{спд}), \quad (2)$$

где $K_{спс}$, $K_{спд}$, $K_{соуз}$ – коэффициенты соответствия систем СПС, СПД, СОУЭ требованиям НД по ПБ.

Согласно методике, значения параметров $K_{спс}$, $K_{спд}$, $K_{соуз}$ принимаются равными 0,8 в случае, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой, соответствующей требованиям НД по ПБ;
- здание не требует применения системы, в соответствии с НД по ПБ;
- эффективность систем подтверждена результатами исследований, расчетов или испытаний, подтверждающих обеспечение ПБ объекта защиты.

В остальных случаях коэффициенты соответствия принимаются равными нулю. С учетом (1) и (2), формулу для расчета коэффициента соответствия СПА можно представить в следующем виде:

$$K_{сна} = 1 - (1 - K_{спт}) \cdot (1 - K_{спс} \cdot K_{соуз}) \cdot (1 - K_{спс} \cdot K_{спд}), \quad (3)$$

Рассчитаем результирующий коэффициент соответствия СПА при подстановке

указанных значений для коэффициентов соответствия каждой из подсистем: $K_{спс} = K_{спд} = K_{соуз} = 0,8$; $K_{спт} = 0,9$. Тогда, $K_{сна} = 0,987$.

Полученная величина означает, что при использовании на объекте защиты СПА с коэффициентами соответствия, используемыми (рекомендуемыми) методикой [4], величина ИПР снизится в 77 раз. Резонно задать вопросом, корректен ли в целом данный подход? Ведь при детерминированных коэффициентах и неизменности формулы (2) соотношение для определения ИПР можно записать более тривиально, а именно: при соответствии подсистем СПА требованиям нормативной документации по ПБ должно быть обеспечено следующее соотношение:

$$Q_{ni} \cdot P_{pri} \cdot (1 - P_{эij}) \leq \frac{10^{-6}}{(1 - K_{сна})} \quad (4)$$

При $K_{сна} = 0,987$:
 $Q_{ni} \cdot P_{pri} \cdot (1 - P_{эij}) \leq 7,72 \cdot 10^{-5}, \quad (5)$

При постоянном присутствии защищаемого контингента, $P_{pri} = 1$; при отсутствии статистической информации или в случаях отнесения здания к типу, не перечисленному в таблице ПЗ.1 [4], $Q_{ni} = 0,04$, тогда формула (5) примет вид:

$$(1 - P_{эij}) \leq 1,9^{-3}, \quad (6)$$

для которого вероятность эвакуации людей:

$$P_{эij} \geq 0,9981 \quad (7)$$

Другими словами, оценка величины ИПР сводится к вычислению вероятности эвакуации людей. Это действительно так, но есть два препятствия к признанию адекватности предложенного подхода.

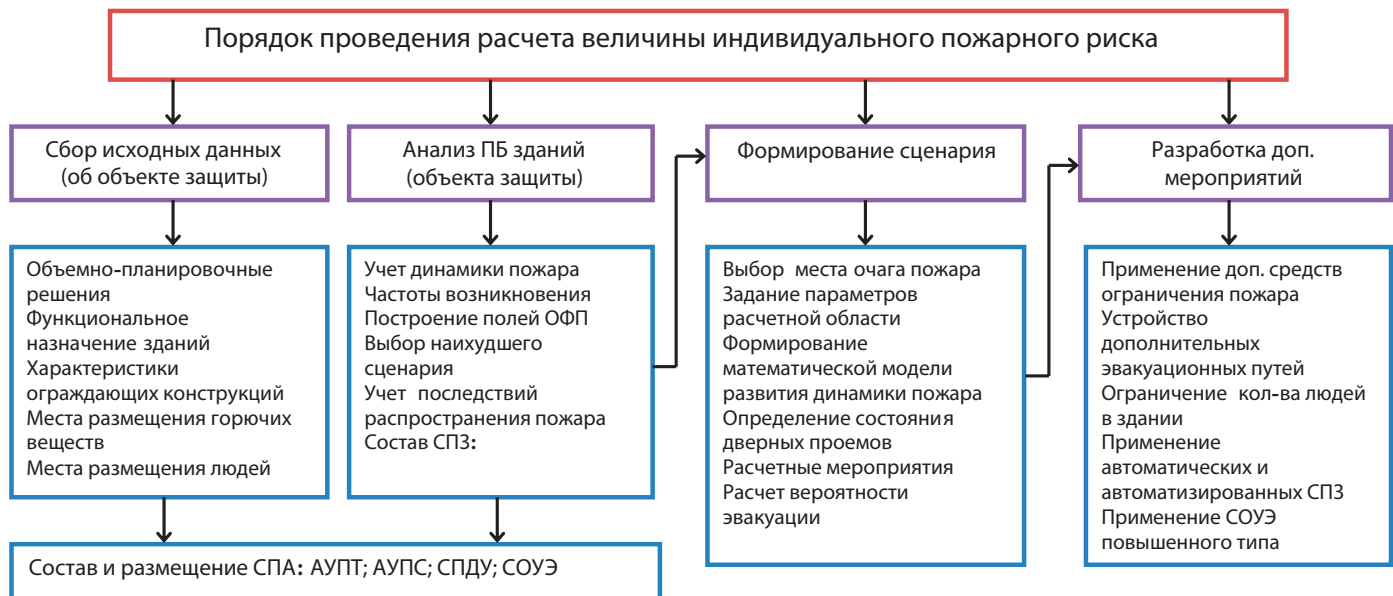


Рис. 3. Порядок расчета индивидуального пожарного риска

Первое – это сама формула для расчета вероятности эвакуации, ограниченная применимость которой обсуждалась в статье [5], и второе – необходимость учета реального структурного построения СПА. Что касается первого аспекта. Вероятность эвакуации в большинстве случаев принимает значение, $P_3 = 0,999$, при котором ИПП всегда находится в норме. Однако при $t_p > 0,8 \cdot t_{\text{бл}} - t_{\text{нз}}$, где t_p – расчетное время эвакуации людей; $t_{\text{бл}}$ – время блокировки (время достижения ОФП предельных значений); $t_{\text{нз}}$ – время начала эвакуации, вероятность эвакуации начинает резко снижаться по статистической формуле:

$$P_{\text{эij}} = 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нз}}} \quad (8)$$

Приведем перечень основных организационно-технических мероприятий, направленных на снижение величины ИПП:

- применение дополнительных объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара;
- устройство дополнительных эвакуационных путей, отвечающих требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре;
- устройство систем оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей и повышение их типа;
- применение СПЗ от воздействия опасных факторов пожара;
- устройство систем автоматического пожаротушения (СПТ);
- ограничение количества людей в здании (части здания, помещении) до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания наружу или в безопасную зону.

Обратимся к вопросу расчета надежности (работоспособности) СПА. Из рисунка 2 видно, что надежность подсистем СПЗ варьируется от 50% для СПТ (2013 год) до 91% для СОУЭ (2021 год).

Не стоит ли при расчете рисков использовать реальные цифры? Ответ – да, и более того, при расчете величины ИПП необходимо учитывать не только реальное структурное построение СПА, но и надежность каждой отдельной подсистемы СПЗ.

Коэффициент соответствия СПЗ требованиям НД по ПБ, используемый в методике [4], на сегодняшний день не получил однозначной интерпретации. Более содержательным аналогом данного коэффициента является параметр, используемый в методике расчета пожарного риска на производственных объектах [6], в котором определяется условная вероятность поражения человека при его нахождении в i -м помещении при реализации j -го сценария пожара:

$$Q = (1 - P_3) \cdot (1 - R), \quad (9)$$

где R – вероятность эффективной работы ТС по обеспечению безопасности людей в данном помещении.

Согласно методике [6] вероятность одновременной работы нескольких подсистем СПА определяется эффективностью каждого технического решения:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i), \quad (10)$$

где n – число технических решений противопожарной защиты в здании; R_i – вероятность эффективного срабатывания i -го технического решения.

В задаче расчета надежности данная формула представляет собой параллельное соединение подсистем (технических решений), согласно которому риск снижается пропорционально работоспособности каждой из подсистем. Очевидно, что на практике используются различные структурные построения СПА, но дело в том, структура, соответствующая формуле (3) не самая актуальная. Рассмотрим два достаточно распространенных примера структурного построения СПА, рис. 4.

На рисунке 4а изображена структурная схема взаимодействия системы СПТ с СПЗ, в которой СОУЭ и СПД активируются как от СПС, так и СПТ [2]. Данной схеме может соответствовать ситуация, когда, например, спринклерная СПТ срабатывает самостоятельно, а СПД и СОУЭ запускаются (срабатывают) по сигналу от СПС.

Для расчета надежности данных структурных схем перейдем к вероятностной трактовке коэффициентов соответствия, тогда:

$$P_{\text{сна а}} = 1 - (1 - P_{\text{спт}}) \cdot [1 - P_{\text{спс}} \cdot (1 - (1 - P_{\text{спд}}) \cdot (1 - P_{\text{соуэ}}))]; \quad (11)$$

$$P_{\text{сна б}} = P_{\text{спс}} \cdot [1 - (1 - P_{\text{спт}}) \cdot (1 - P_{\text{спд}}) \cdot (1 - P_{\text{соуэ}})] \quad (12)$$

где $P_{\text{спт}}$, $P_{\text{спс}}$, $P_{\text{спд}}$, $P_{\text{соуэ}}$ – коэффициенты соответствия систем СПС, СПД, СОУЭ требованиям НД по ПБ.

Для одних и тех же параметров надежности подсистем, но различных структурных построений риск может либо обеспечиваться, либо нет, из чего явно следует необходимость учета реального, а не формального структурного построения СПА. При возможности точного расчета (повышения) работоспособности СОУЭ можно более точно определять эффективность всей системы СПЗ. Нетрудно построить граничное условие для работоспособности СПА, обеспечивающей нормативное требование, $Q < 10^{-6}$. Из формулы (4) получим:

$$P_{\text{сна}} > 1 - \frac{10^{-6}}{Q_n \cdot P_{\text{сп}} \cdot (1 - P_3)} \quad (13)$$

Данное неравенство актуально при $Q_n \cdot P_{\text{сп}} \cdot (1 - P_3) \cdot (1 - P_{\text{сна}}) > 10^{-6}$.

Приведем пример: при $Q_n = 0,04$, $P_{\text{сп}} = 0,8$, $P_3 = 0,999$, надежность СПА должна быть не менее: $P_{\text{сна}} = 0,9688$.

Наличие достоверной информации о структурном построении позволяет оптимизировать работоспособность как всей СПА, так и отдельной подсистемы.

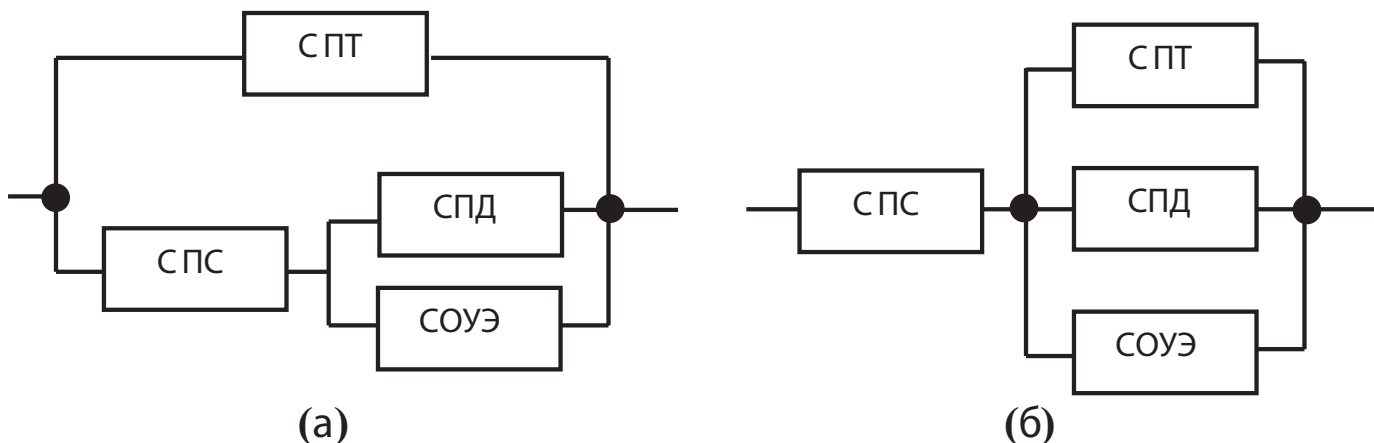


Рис. 4. Примеры упрощенных структурных схем взаимодействия систем СПТ и СПЗ

Оптимальные коэффициенты соответствия СОУЭ для различных структурных построений СПЗ

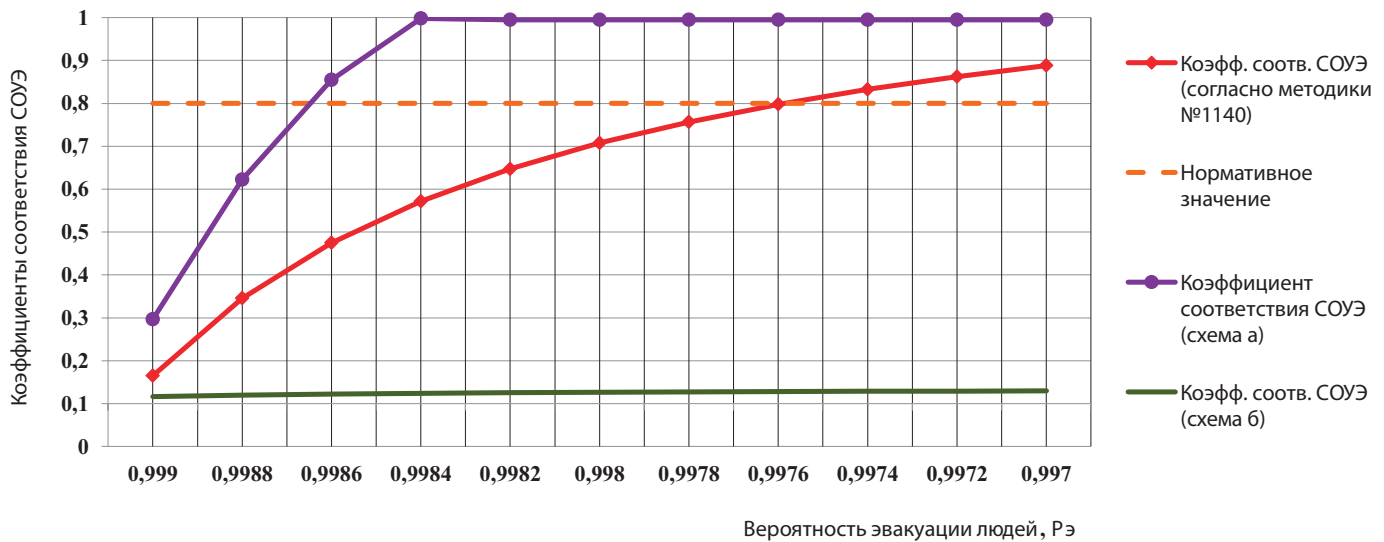


Рис. 5. Сравнение оптимальных эффективностей СОУЭ для различных структурных построений СПЗ

Запишем критерий для определения работоспособности СОУЭ для структурного построения (рис. 4а, 4б):

$$P_{\text{соуэ}_a} > \frac{1-10^{-5} \cdot P_{\text{спт}} \cdot P_{\text{спд}}}{P_{\text{спс}} \cdot (1-P_{\text{спд}})}; \quad (14)$$

$$P_{\text{соуэ}_b} > \frac{1 - \frac{10^{-6}}{Q_n \cdot P_{\text{сп}} \cdot (1-P_{\text{э}})} \cdot P_{\text{спс}} \cdot (P_{\text{спт}} + P_{\text{спд}} - P_{\text{спт}} \cdot P_{\text{спд}})}{P_{\text{спс}} \cdot (1 + P_{\text{спт}} + P_{\text{спд}} - P_{\text{спт}} \cdot P_{\text{спд}})} \quad (15)$$

Построим зависимости коэффициентов соответствия, точнее вероятностей эффективного срабатывания СОУЭ от вероятности эвакуации при: $P_{\text{э}} < 0,999$; $P_{\text{спт}} = 0,9$; $P_{\text{спд}} = P_{\text{спс}} = 0,8$, для которых риск остается в допустимых границах (рис.5):

Анализ полученных результатов

Из зависимостей (рис. 5) следует, что при структурном построении СПА, используемом в методике [4], вероятность эвакуации может снизиться до $P_{\text{э}} = 0,9976$ (вероятность, при которой риск увеличится в 2,4 раза), в то время как при использовании реальных схем (рис. 4б) ситуация неоднозначная. При использовании структуры, изображенной на рисунке 4а, вероятность эвакуации не должна превышать значение $P_{\text{э}} = 0,99875$ (вероятность, при которой риск увеличится в 1,2).

При использовании структуры, изображенной на рисунке 4б, надежность СОУЭ может быть невысокой, но так ли это? Очевидно – нет.

Дело в том, что мы проанализировали надежность (работоспособность) всего структурного построения таким образом, что каждая из рассмотренных под-

систем как бы выполняет одну и ту же целевую задачу, поэтому в структурной схеме (рис. 4б) СПТ, СПД, СОУЭ как бы дублируют друг друга. При этом надежность всего структурного построения определяется надежностью СПС. Но такой подход не вполне закономерен, так как каждая из подсистем решает свою вполне конкретную задачу: СПС – отвечает за обнаружение пожара; СПТ – осуществляет тушение пожара; СПД – выполняет задачи, связанные с удалением дыма; СОУЭ – осуществляет оповещение и управление эвакуацией людей.

Таким образом, величина ИПР может и должна определяться как работоспособностью отдельной подсистемы, так и всего структурного построения СПА. Так, если задача СОУЭ – оповещение людей и управление их эвакуацией, то эта, подчеркнем, самая приоритетная задача должна быть выполнена с самой высокой вероятностью. Если надежность работоспособности СОУЭ определяется 80%, не значит ли это, что согласно [2], 2,3% людей могут и не эвакуироваться?

Не случайно в требованиях стандарта ГОСТ Р 59639-2021 указано на важность обеспечения работоспособности и эффективности СОУЭ, определяемой всеми этапами жизненного цикла системы: грамотным проектированием, качественным монтажом и своевременной эксплуатацией. Согласно экспертному опросу [7, 8] максимальное усилие должно быть направлено на грамотное проектирование, которое не представляется возможным без предварительной оценки эффективности каждой из подсистем всего структурного построения СПА и степени их влияния на величину ИПР.

Используемая литература

1. Материал из Википедии, https://ru.wikipedia.org/wiki/Риск-ориентированный_подход_в_России (дата обращения 29.06.2024).
2. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2020.
3. Пожары и пожарная безопасность. Статистические сборники [коллектив авторов], М.: ВНИИПО, 2014–2021.
4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС России от 14.11.2022 №1140; зарег. в Минюсте России 20 марта 2023 г. № 72633.
5. Кочнов О.В. Роль системы оповещения в задаче эвакуации людей // Алгоритм безопасности. 2019. № 6. С. 78–82.
6. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями и дополнениями): Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404.
7. Кочнов О.В., Никифоров А.Л., Новожилова К.А. Аспекты определения эффективности систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 33–38.
8. Кочнов О.В., Никифоров А.Л., Новожилова К.А. Оценка коэффициентов значимости этапов жизненного цикла СОУЭ на основании результатов экспертного опроса // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 39–46.