

УДК 614.84

doi: 10.37657/vniipo.avpb.2023.92.26.001

ПЕРЕРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Максим Валерьевич Фомин, Максим Михайлович Рукавишников, Александр Юрьевич Хатунцев, Елена Александровна Воронина

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.

Аннотация. В статье освещены промежуточные результаты научно-исследовательской работы, проводимой специалистами ФГБУ ВНИИПО МЧС России по переработке «Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах». Описана актуальность проводимой работы, а также рассмотрены предложения по внесению изменений в действующую методику.

Ключевые слова: пожарный риск, оценка риска, анализ пожарного риска, опасные факторы пожара, радиоактивные вещества, строительные конструкции

Для цитирования: Фомин М.В., Рукавишников М.М., Хатунцев А.Ю., Воронина Е.А. Переработка Методики определения величин пожарного риска на производственных объектах // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2023. № 3 (17). С. 6–13. <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2023.92.26.001>.

REVISION OF THE METHODOLOGY FOR DETERMINING FIRE RISK VALUES AT INDUSTRIAL FACILITIES

Maxim V. Fomin, Maxim M. Rukavishnikov, Alexander Yu. Khatuntsev, Elena A. Voronina

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

Abstract. This article highlights the intermediate results of the research work carried out by specialists of FGBU VNIIPO EMERCOM of Russia on revision of «Methodology for determining fire risk values at industrial facilities». The relevance of the work is described, as well as proposals for making changes to the current methodology are considered.

Keywords: fire risk, risk assessment, fire risk analysis, fire hazards, radioactive substances, building structures

For citation: Fomin M.V., Rukavishnikov M.M., Khatuntsev A.Yu., Voronina E.A. Revision of the methodology for determining fire risk values at industrial facilities. Aktual'nye Voprosy Pozharnoi Bezopasnosti – Current Fire Safety Issues, 2023, no. 3, pp. 6-13. (In Russ.). <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2023.92.26.001>.

Введение

В настоящее время в России соответствие производственных объектов требованиям Федерального закона № 123-ФЗ [1] в некоторых случаях подтверждается расчетом пожарного риска. При этом расчет пожарного риска проводится

в соответствии с Методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (далее – Методика) [2].

Эксплуатация производственных объектов зачастую предварительно предусматривает проектирование и строительство большого количества сложных зданий и сооружений, при этом технологические цепочки таких объектов представляют собой совокупность из высокотехнологичных аппаратов, что усложняет анализ пожарной опасности объекта защиты. Тем не менее с момента внесения последних изменений в Методику прошло более 10 лет. За данный промежуток времени в стране проводилась активная модернизация промышленных предприятий и технологий производства.

Поэтому своевременная актуализация и совершенствование Методики в соответствии с современным состоянием научно-технической базы в различных сферах промышленности является важной задачей. В особенности данный вопрос актуален для тех производств, в которых осуществляются различные взрывопожароопасные технологические процессы.

Общий подход к совершенствованию методики оценки пожарного риска

Результат проведенного в научно-исследовательской работе (НИР) специалистами ФГБУ ВНИИПО МЧС России анализа научной литературы и нормативных документов показал, что за рубежом отсутствует единый подход к оценке пожарного риска. При этом подходы, применимые к объектам, представляющим повышенную опасность, могут значительно отличаться от методик, используемых для остальных объектов. Зачастую подходы к анализу пожарного риска ограничиваются общими принципами, а методики его количественной оценки могут быть использованы из соответствующих стандартов [3, 4], носящих рекомендательный характер [5].

С учетом накопленного опыта использования отечественной Методики в практических задачах при выборе подхода к ее совершенствованию можно выделить следующие задачи:

- 1) повышение точности расчетных методов по определению величин пожарного риска;
- 2) обеспечение возможности учета более широкого круга мероприятий по обеспечению пожарной безопасности при расчете пожарного риска;
- 3) повышение точности оценки воздействия на человека опасных факторов пожара (ОФП) при реализации различных пожароопасных сценариев.

Помимо анализа различных подходов к оценке пожарного риска, в том числе на основе отечественных работ, в НИР уделено внимание оценке пожаров в помещениях с точки зрения особенности образования, распространения и воздействия на человека токсичных продуктов горения. В частности, была учтена их значимость при оценке времени блокирования путей эвакуации с учетом совокупного влияния токсичных веществ на человека. Также был проведен анализ существующих исследований в области оценки влияния пределов огнестойкости строительных конструкций здания на безопасность людей при их эвакуации.

Кроме того, важной задачей для исследователей являлась адаптация существующей Методики для оценки пожарного риска на объектах, связанных с обращением с радиоактивными веществами. С этой целью были проанализированы соответствующие научные работы по анализу инцидентов на объектах ядерной энергетики в России, работы с примерами оценки пожарных рисков и анализа безопасности, а также соответствующие данной области отечественные и зарубежные нормативные документы.

С учетом результатов научных работ, проведенных ФГБУ ВНИИПО МЧС России по данной теме ранее (научные диссертации [6] и [7]), была определена направленность текущих исследований:

1) необходимость в разработке подходов, позволяющих оценивать величину пожарного риска для объектов производства, переработки, хранения радиоактивных веществ и материалов;

2) необходимость совершенствования методов оценки пожарного риска производственных объектов в части учета распределения условной вероятности поражения человека в здании, предела огнестойкости несущих конструкций здания, из которого производится эвакуация людей;

3) целесообразность применения новых подходов к оценке воздействия опасных факторов пожара на человека в помещении;

4) переход к новым методическим принципам и сближению требований отечественных методик определения расчетных величин пожарного риска с современными международными стандартами, нормами и правилами.

Ниже рассмотрены предложения, внесенные в проект обновленной редакции Методики, по промежуточным результатам исследований.

Предложения по совершенствованию методики определения индивидуального пожарного риска

Анализ различных сценариев возникновения и развития пожара в здании сопровождается в том числе определением условных вероятностей воспламенения горючих веществ, поступающих в рассматриваемое помещение в результате разгерметизации технологического оборудования (мгновенного и с задержкой по времени).

В качестве одного из предлагаемых нововведений в Методику предлагается подход, изложенный в пособии [8], согласно которому условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного $P_{\text{посл.воспл}}$ в течение интервала времени t , мин, с момента начала поступления в помещение горючего вещества в результате реализации пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, может быть определена по следующей формуле:

$$P_{\text{посл.воспл}}(t) = P_{\text{посл.воспл}} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{20}\right) \right\}, \quad (1)$$

где $P_{\text{посл.воспл}}$ – общая условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного, которая может быть принята по табл. П2.1 прил. № 2 Методики.

В случае выброса в помещение горючих веществ, нагретых до температуры самовоспламенения и выше, а также выброса, характеризующегося наличием действующего источника зажигания, очевидно, рассматривается мгновенное воспламенение указанных веществ с условной вероятностью, равной 1.

При анализе возможности распространения пожара и/или его опасных факторов через противопожарные преграды нужно учитывать возможность распространения пожара и ОФП в случае потери противопожарными преградами способности обеспечивать локализацию пожара, а также возможность отказа устройств, обеспечивающих автоматическое закрывание элементов заполнения проемов в противопожарных преградах. При этом условная вероятность распространения пожара за пределы n -го помещения очага пожара через противопожарные преграды D_{FRij} до завершения эвакуации людей из здания может быть определена по следующей формуле:

$$D_{FRnj} = (1 - B_{Gnj}) (1 - C_{nj}), \quad (2)$$

где B_{Gnj} – условная вероятность распространения пожара через проемы в противопожарных преградах (определяется исходя из количества указанных проемов, проектных решений по их заполнению и условной вероятности эффективного срабатывания заполнения проемов); C_{nj} – условная вероятность поражения человека ОФП при его распространении через проемы в противопожарных преградах.

При этом условная вероятность поражения человека ОФП в данном случае может быть определена следующим образом:

$$C_{nj} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\beta_{nj}} \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right) dx, \quad (3)$$

где β_{nj} – пробит-функция, характеризующая изменение пожароблокирующих свойств преграды под воздействием на нее факторов пожара.

Отметим, что существующая Методика не учитывает блокирование путей эвакуации вследствие нарушения целостности или обрушения строительных конструкций. Однако вклад в величину пожарного риска, обусловленный возможностью блокирования эвакуационных путей при нарушении целостности их ограждающих конструкций, при определенных условиях (большое число людей в помещении и малое значение предела огнестойкости) может быть значителен [9].

В соответствии с подходом, описанным в источнике [10] и внесенным в проект обновленной Методики, вероятность потери несущими конструкциями своей целостности, которая соответствует формуле (3), определяется с учетом пробит-функции, характеризующей реакцию строительных конструкций на воздействие факторов пожара:

$$\beta_{nj} = \frac{FR - f_{\text{ЭКВ}nj}}{\sqrt{\sigma_{FR}^2 + \sigma_{\text{ЭКВ}j}^2}}, \quad (4)$$

где FR – предел огнестойкости несущих конструкций здания, который определяется на основе проектных решений, мин; $f_{\text{ЭКВ}nj}$ – эквивалентная продолжительность пожара, соответствующая расчетному времени воздействия j -го сценария пожара при эвакуации людей из n -го помещения, мин; σ_{FR} – стандартное отклонение предела огнестойкости несущих конструкций здания, мин; $\sigma_{\text{ЭКВ}j}$ – стандартное отклонение эквивалентной продолжительности j -го сценария пожара, мин.

Используя данный подход, а также подходы, описанные в работах [11–13], можно определить вероятность эвакуации с учетом значения пробит-функции по формуле

$$E_{nj} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\gamma_{nj}} \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right) dx\right) (1 - C_{nj}), \quad (5)$$

$$\gamma_{nj} = \frac{0,8\tau_{\text{бл}nj} - t_{\text{р}nj} - \tau_{\text{н.э}nj}}{\sqrt{\sigma_{1nj}^2 + \sigma_{2nj}^2}}, \quad (6)$$

где $\tau_{\text{бл}nj}$ – время от начала реализации j -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из n -го помещения в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из n -го помещения), мин; $t_{\text{р}nj}$ – расчетное время эвакуации людей из n -го помещения при j -м сценарии пожара,

мин; $\tau_{в.эпj}$ – интервал времени от начала реализации j -го сценария пожара до начала эвакуации людей из n -го помещения, мин; σ_{1nj} – стандартное отклонение расчетного времени эвакуации людей $t_{рnj}$ из n -го помещения при j -м сценарии пожара, мин; σ_{2nj} – стандартное отклонение времени $\tau_{блнj}$ от начала реализации j -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из n -го помещения в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из n -го помещения), мин.

Предложения по учету критериев поражения человека ОФП в помещении

В проект Методики был внесен подход к определению времени блокирования путей эвакуации [14], исходя из достижения критического значения по одному из двух параметров – эффективной дозы X_{FED} токсичного вещества на путях эвакуации или эффективной концентрации данного вещества на путях эвакуации X_{FEC} – величины, равной 1.

Эффективная доза X_{FED} рассчитывается по формуле

$$X_{FED} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_1}^{t_2} \frac{C_i}{(C \cdot t)_i} \Delta t, \quad (7)$$

где C_i – средняя концентрация i -го токсичного продукта горения или термического разложения в выбранный отрезок времени Δt , мкл · л⁻¹; Δt – выбранный отрезок времени, мин; $(C \cdot t)_i$ – удельная экспозиционная доза, которая может воспрепятствовать самостоятельной эвакуации находящихся в опасной зоне людей, мкл · мин · л⁻¹.

Эффективную концентрацию X_{FEC} предлагается определять по формуле

$$X_{FEC} = \sum_i \frac{\varphi_i}{F_i}, \quad (8)$$

где φ_i – средняя концентрация i -го токсичного продукта горения, мкл · л⁻¹; F_i – концентрация i -го токсичного продукта, при которой люди, находящиеся в зоне пожара, не могут предпринимать эффективные действия, направленные на спасение, мкл · л⁻¹.

Заметным преимуществом данного подхода является возможность учитывать комбинированное воздействие рассматриваемых ядов на организм человека.

При этом критическую продолжительность пожара по повышению концентрации на путях эвакуации токсичных продуктов горения допускается определять исходя из подхода, схожего с существующей Методикой, и исходя из их независимого воздействия.

Также применим аналогичный подход к оценке длительности пожара по тепловому потоку и температуре, изложенный в зарубежном стандарте [15]. Согласно стандарту, величина критической продолжительности пожара $t_{кр}^T$ определяется исходя из времени достижения на путях эвакуации эффективной тепловой дозой Q_{FED} величины, равной 1.

При этом величина эффективной тепловой дозы определяется следующей формулой

$$Q_{FED} = \begin{cases} \sum_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{t_{conv}} \right) \Delta t, \text{ если } q < 2,5 \text{ кВт/м}^2 \\ \sum_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{t_{rad}} + \frac{1}{t_{conv}} \right) \Delta t, \text{ если } q \geq 2,5 \text{ кВт/м}^2 \end{cases} \quad (9)$$

где t_{rad} – допустимое время воздействия теплового излучения в течение промежутка времени Δt , мин; t_{conv} – допустимое время воздействия повышенной температуры в течение промежутка времени Δt , мин; q – интенсивность теплового потока, кВт/м²; Δt – промежуток времени воздействия, мин; t_1, t_2 – границы временного интервала, в течение которого рассматривается возможность эвакуации людей из помещения, мин.

Для определения допустимого времени воздействия по тепловому излучению и повышенной температуре предусмотрены соответствующие эмпирические формулы. Указанный стандарт [15] предусматривает также возможность определения продолжительности пожара по критическим значениям в зависимости от влажности воздуха в помещении.

Критическая продолжительность пожара $t_{KP}^{П.В}$ по потере видимости в указанном стандарте определяется по времени достижения на путях эвакуации расстояния, критического по потере видимости с учетом объемно-планировочных решений и параметров системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

Предложения по учету специфики объектов с обращением радиоактивных веществ

В соответствии с действующими нормативными документами, обеспечение радиационной безопасности имеет приоритет, по сравнению, в том числе, с безопасностью персонала. Поэтому для учета специфики расчета пожарного риска на объектах с обращением радиоактивных материалов было предложено следующее.

Время начала эвакуации персонала должно включать в себя время, необходимое на проведение регламентных операций при пожаре.

При отсутствии сведений допускается принимать время на проведение регламентных операций в блочном пункте управления атомной станции равным 300 с.

Частота реализации пожара на атомной станции может быть принята в соответствии с проведенным вероятностным анализом безопасности, а также на основе анализа пожаров на атомных станциях.

При рассмотрении сценариев пожаров на атомных станциях следует в обязательном порядке рассматривать сценарии пожара в блочном пункте управления и эвакуации оперативного персонала в резервный пункт управления.

На объектах обращения с радиоактивными веществами расчет пожарного риска в зоне с обращением радиоактивных веществ (зоне контролируемого доступа) должен проводиться с учетом времени, затрачиваемого на эвакуацию через шлюзы и двери для персонала.

Возможность появления на пути эвакуации радиоактивных веществ должна оцениваться следующим образом:

- по условной вероятности распространения пожара через противопожарные преграды и проемы в них (определяется исходя из количества указанных проемов, проектных решений по их заполнению и условной вероятности эффективного срабатывания заполнения проемов) по формулам (2) и (3);

- по частоте проектных исходных событий с появлением на путях эвакуации радиоактивных веществ (разгерметизация транспортно-упаковочных контейнеров и пр.).

При рассмотрении сценариев пожара в зданиях, сооружениях, наружных установках, в которых не предусматривается обращение с радиоактивными ве-

ществами, но являющихся частью таких объектов, допускается не учитывать специфику объектов с обращением радиоактивных веществ.

Принимается, что при распространении пожара в зоне контролируемого доступа через конструкции на пути эвакуации вероятность поражения человека при эвакуации по этим путям равна 1.

Заключение

На данный момент результатом 1 этапа НИР, проводимой в ФГБУ ВНИИПО МЧС России, является проект первой редакции переработанной Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.

В разработанном проекте Методики учтены особенности оценки пожарного риска на объектах обращения с радиоактивными веществами, влияние предела огнестойкости конструкций, находящихся на пути эвакуации, а также противопожарных преград на вероятность успешной эвакуации людей при пожаре. Рассмотрены новые подходы к определению критериев поражения человека ОФП, находящегося в помещении, на основе эффективных доз и концентраций.

По мнению исполнителей НИР, итоговые результаты работы позволят повысить достоверность оценки уровня пожарной безопасности людей на производственных объектах, снизить финансовые и временные затраты при проектировании объектов с обращением радиоактивных веществ.

Список литературы

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 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 14 июля 2022 г. № 276-ФЗ). Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 г. № 404: зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2009 г. № 14541 (в ред. приказа МЧС России от 14.12.2010 г. № 649). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. ISO/TS 16732:2005. Fire safety engineering – Guidance on fire risk assessment (гармонизированный национальный стандарт ГОСТ Р 51901.10-2009 «Менеджмент риска. Процедуры работы с пожарным риском на предприятии»).
4. NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments – Quincy, MA: National Fire Protection Association.
5. Guidance Document for Incorporating Risk Concepts into NFPA Codes and Standards – National Fire Protection Association. 2015.
6. Гордиенко Д.М. Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03. М., 2017. 386 с.
7. Трунева В.А. Совершенствование методов определения расчетных величин пожарного риска для производственных зданий и сооружений нефтегазовой отрасли: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. М., 2017. 175 с.
8. CPR 18E. Guide line for quantitative risk assessment (Purple book) / Committee for the Prevention of Disasters. The Hague. 1999.
9. Присадков В.И. Надежность строительных конструкций при пожаре // Огнестойкость строительных конструкций: сб. тр. М.: ВНИИПО, 1986. С. 70–73.

10. Особенности оценки пожарного риска для сложных и уникальных сооружений / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. 2009. № 1. С. 39–44.
11. Присадков В.И. Надежность строительных конструкций при пожаре // Огнестойкость строительных конструкций: сб. тр. М.: ВНИИПО, 1986. С. 70–73.
12. Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю., Гилетич А.Н. Методы определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов // Пожаровзрывобезопасность. Т. 27, № 11. 2018. С. 51–57.
13. Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю. Условия пожарной безопасности при определении допустимых параметров функционирования производственных объектов // Пожарная безопасность. 2009. № 4. С. 61–66.
14. Молчадский И.С., Присадков В.И. Моделирование пожаров в помещениях и зданиях // Юбилейный сборник трудов ВНИИПО. М.: ВНИИПО, 1997. С. 157–175.
15. ISO 13571:2012. Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data. 2012. P. 21.

**Статья поступила в редакцию 19.04.2023;
одобрена после рецензирования 26.06.2023;
принята к публикации 10.07.2023.**

Фомин Максим Валерьевич – старший научный сотрудник; **Рукавишников Максим Михайлович** – научный сотрудник; **Хатунцев Александр Юрьевич** – научный сотрудник; **Воронина Елена Александровна** – научный сотрудник. Тел. (495)-524-82-09. E-mail: 3.5.1@vniipo.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.

Maxim V. Fomin – Senior Researcher; **Maxim M. Rukavishnikov** – Researcher; **Alexander Yu. Khatuntsev** – Researcher; **Elena A. Voronina** – Researcher. Phone: (495)-524-82-09. E-mail: 3.5.1@vniipo.ru.

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