

Совершенствование обоснования выбора технических решений системы пожарной безопасности объекта защиты на основе учета удельной массовой скорости выгорания для веществ и материалов

Анна Владимировна Александрова¹ ✉, Роман Евгеньевич Попко^{1,2}

¹ Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ), г. Краснодар, Россия

² ООО «Спектр ПБ», г. Краснодар, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В целях модернизации законодательства в области пожарной безопасности актуальными представляются задачи выявления существующих требований, которые несут элементы неактуального и/или избыточного характера, для последующей их корректировки. Наиболее важными направлениями нормотворческой деятельности в области пожарной профилактики пожаров являются разработка, модификация, гармонизация и актуализация обязательных и «добровольных» требований на основе выполненных исследований нормативной базы, регламентирующей противопожарные требования к промышленным объектам, а также научно обоснованному выбору области их применения.

Цели и задачи. Цель настоящего исследования — совершенствование выбора наиболее эффективных и рациональных технических решений при построении системы пожарной безопасности объекта защиты на основе более широкого использования характеристик используемых на нем материалов и веществ по показателю удельной массовой скорости выгорания. Задачи исследования включали обоснование необходимости уточнения исходных характеристик применяемых материалов и веществ на объекте защиты, влияющих на выбор элементов системы пожарной безопасности; обоснование целесообразности применения показателя — удельной массовой скорости выгорания для рациональных технических решений в системе пожарной безопасности; предложение последовательности разработки системы пожарной безопасности на базе расширенного учета предложенного критерия.

Основная часть. На практических примерах обоснована необходимость уточнения исходных характеристик применяемых материалов и веществ на объекте защиты, влияющих на выбор элементов системы пожарной безопасности. Показана целесообразность применения показателя — удельной массовой скорости выгорания для рациональных технических решений в системе пожарной безопасности. Предложена последовательность разработки системы пожарной безопасности на базе расширенного учета предложенного показателя.

Выводы. Таким образом, показаны предпосылки для совершенствования существующей обязательной системы пожарно-технической классификации для установления объективных требований пожарной безопасности, учитывающей все особенности защищаемого объекта. Предложены инструменты, позволяющие использование критерия удельной массовой скорости выгорания. Описан примерный алгоритм принятия решения по выбору наиболее оптимальных элементов системы пожарной безопасности в зависимости от удельной массовой скорости выгорания.

Ключевые слова: обязательные требования пожарной безопасности; распространение пожара; пожарно-техническая классификация; взрыв; ущерб от пожара

Для цитирования: Александрова А.В., Попко Р.Е. Совершенствование обоснования выбора технических решений системы пожарной безопасности объекта защиты на основе учета удельной массовой скорости выгорания для веществ и материалов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 6. С. 58–66. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.06.58-66

✉ Александрова Анна Владимировна, e-mail: alexanna@mail.ru

Improving the justification of the choice of technical solutions for the fire safety system of the protected object based on the specific mass fraction of burning for substances and materials

Anna V. Aleksandrova¹ ✉, Roman E. Popko^{1,2}

¹ Kuban State Technological University (KubSTU), Krasnodar, Russian Federation

² Spectrum PB LLC, Krasnodar, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In order to modernize the legislation in the field of fire safety, it is important to identify existing requirements that are outdated and/or redundant, in order to correct them. It is also important to expand the application of the existing mandatory classification system for various protected objects and substances and materials that can be a fire hazard. The most important areas of normative activity in the field of fire prevention are the development, modification, harmonization, and updating of mandatory and "voluntary" requirements based on the research of the regulatory framework governing fire protection requirements for industrial facilities, as well as the scientifically based selection of their application areas.

Goals and objectives. The purpose of this study is to improve the selection of the most effective and rational technical solutions for building a fire safety system for a protected object based on a broader use of the characteristics of the materials and substances used on the object, as measured by the specific mass rate of combustion. The objectives of the study include: justifying the need to clarify the initial characteristics of the materials and substances used on the protected object that affect the selection of elements in the fire safety system; justifying the use of the specific mass rate of combustion as a criterion for selecting rational technical solutions in the fire safety system; and proposing a sequence for developing a fire safety system based on the expanded consideration of the proposed criterion.

Analytical part. The practical examples substantiate the need for a more extensive use of the physical and chemical properties of combustible substances and materials that affect the choice of fire safety system elements. The expediency of using the specific mass rate of combustion for rational technical solutions in the fire safety system is shown. The sequence of developing a fire safety system based on the extended consideration of the proposed indicator is proposed.

Conclusions. Thus, the prerequisites for improving the existing mandatory fire-technical classification system are shown to establish objective fire safety requirements that take into account all the features of the protected object. The tools allowing the use of the criterion of the specific mass burnout rate are proposed. An approximate decision-making algorithm is described for choosing the most optimal elements of a fire safety system depending on the specific mass burnout rate.

Keywords: mandatory fire safety requirements; fire spread; fire technical classification; explosion; fire damage

For citation: Aleksandrova A.V., Popko R.E. Improving the justification of the choice of technical solutions for the fire safety system of the protected object based on the specific mass fraction of burning for substances and materials. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(6):58-66. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.06.58-66 (rus).

✉ Anna Vladimirovna Aleksandrova, e-mail: alexanna@mail.ru

Введение

Важную роль в модернизации системы обязательных требований, в том числе в области обеспечения пожарной и промышленной безопасности, выполнило вступление в силу Федерального закона «Об обязательных требованиях в Российской Федерации» от 31.07.2020 № 247-ФЗ, закрепившего, в частности, принципы установления и оценки применения обязательных требований (среди которых: обоснованность, правовая определенность и исполнимость обязательных требований)¹. Высшим руководством нашей страны анонсирован новый виток

модернизированной «регуляторной гильотины», которая называется властями инструментом пересмотра и отмены нормативных правовых актов, негативно влияющих на общий бизнес-климат и регуляторную среду².

Надо также упомянуть, что содержание ст. 22 Закона о госконтроле предусматривает необходимость осуществления госконтроля (надзора), муниципального контроля на основе управления рисками причинения вреда (ущерба), определяющего выбор профилактических мероприятий и контрольных (надзорных)

¹ Об обязательных требованиях в Российской Федерации : Федеральный закон от 31.07.2020 № 247-ФЗ. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007310002>

² Официальный сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. Механизм «регуляторной гильотины». URL: https://economy.gov.ru/material/directions/gosudarstvennoe_upravlenie/mechanizm_regulyatornoy_gilotyiny/

мероприятий, их содержание (в том числе объем проверяемых обязательных требований), интенсивность и результаты³.

Наиболее важными направлениями нормотворческой деятельности в области пожарной профилактики пожаров являются разработка, модификация, гармонизация и актуализация обязательных и «добровольных» требований на основе выполненных исследований нормативной базы, регламентирующей противопожарные требования к промышленным объектам [1–3], а также научно обоснованному выбору области их применения [4, 5]. Часть исследований направлена на формирование научной основы для совершенствования пожарно-технической экспертизы, рассматриваются некоторые неопределенности и стереотипы, связанные с горючестью горючего вещества или материала [6, 7].

В целях модернизации законодательства в области пожарной безопасности актуальными представляются задачи выявления существующих требований, которые несут элементы неактуального и/или избыточного характера, для последующей их корректировки.

Существующая система пожарно-технической классификации, представленная в Федеральном законе⁴, является устойчивой частью ранее существовавшей (консервативной) системы государственных требований к обеспечению пожарной безопасности объекта, основанной на безальтернативности установленных государством требований.

Сутью консервативной системы является применение закрытого и сравнительно небольшого по количеству перечня технических решений в качестве обязательных требований. При таком подходе пожарная и промышленная безопасность считаются обеспеченными, если исполнен весь перечень технических решений, установленный нормативным актом, содержащим обязательные требования.

При устоявшейся системе обеспечения пожарной безопасности такая часть нормативных требований как пожарно-техническая классификация не могла гибко развиваться, так как еще большая детализация квалифицируемой характеристики или появление новых видов квалификации были бы неспособны значительно повлиять на принятие окончательных технических решений.

Цель настоящего исследования — совершенствование выбора наиболее эффективных и рациональных технических решений при построении системы

пожарной безопасности объекта защиты на основе более широкого использования характеристик, используемых на нем материалов и веществ по показателю удельной массовой скорости выгорания.

Задачи исследования:

- обосновать необходимость уточнения исходных характеристик применяемых материалов и веществ на объекте защиты, влияющих на выбор элементов системы пожарной безопасности;
- обосновать целесообразность применения показателя — удельной массовой скорости выгорания для выработки рациональных технических решений в системе пожарной безопасности;
- предложить последовательность разработки системы пожарной безопасности на базе расширенного учета предложенного критерия (на примерах).

Основная (аналитическая часть)

В ходе настоящего исследования для решения задачи анализа и выявления обязательных требований, нуждающихся в актуализации, был выявлен ряд таковых примеров. В качестве одного из примеров можно рассмотреть СП 486.1311500.2020⁵. В данном документе по-прежнему осталось требование об оснащении производственных и складских помещений категории А площадью более 300 м² системами автоматического пожаротушения, что само по себе является неоднозначным с учетом многообразия оснащения современного складского хозяйства и экономической целесообразности с позиции возможного прогнозируемого ущерба. Очевидно, что для помещений категории А увеличение затрат на предотвращение взрыва за счет снижения затрат на пожаротушение будет более целесообразнее, чем для низких категорий пожарной опасности.

Другим характерным примером может являться требование о расстоянии между секциями наружных установок не менее 15 м, изложенное в СП 4.13130.2013⁶, однако этим же сводом правил определено, что ширина наружной установки (или ее секции) зависит от наличия оборудования высотой до 18 м. При этом можно считать вполне вероятным, что упавшее при пожаре оборудование высотой 18 м на соседнюю секцию, размещенную на расстоянии

³ О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации : Федеральный закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ. URL: <https://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102801479>

⁴ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ.

⁵ СП 486.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Нормы и правила проектирования. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/vse-dokumenty/6696>

⁶ СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. URL: vody-pravil-mchs-rossii/6667

15 м, станет причиной дальнейшей эскалации аварии (пожара).

Оба приведенных примера показывают, что типов обязательной пожарно-технической классификации, изложенных в Федеральном законе⁴, недостаточно для установления обоснованных требований пожарной безопасности, особенно для опасных производственных объектов, подпадающих под регулирование Федерального закона⁷.

В качестве разработки предложений по совершенствованию обязательных требований пожарной безопасности авторы рассматривают целесообразность более широкого учета показателя «удельная массовая скорость выгорания, килограмм в секунду на квадратный метр» для оценки пожарной опасности веществ и материалов в зависимости от их агрегатного состояния (табл. 1 Федерального закона⁴). Данный показатель устанавливается только для жидких веществ и твердых материалов и не устанавливается для газообразных веществ и пылей.

Подробнее рассмотрим потенциальное влияние данного показателя на систему обеспечения пожарной безопасности. При этом отметим, что данный показатель никоим образом не должен снижать эффективность работы системы пожарной безопасности в части решения задач по недопустимости причинения вреда жизни и здоровью людей и сохранности имущества третьих лиц. Влияние допустимо только для той части системы пожарной безопасности, которая нацелена на сохранность имущества собственника.

Физическая связь показателя «удельная массовая скорость выгорания» с системой пожарной безопасности является вполне очевидной, это скорость реагирования системы пожарной безопасности на развивающийся фактор причинения вреда имуществу собственника. Рассмотрим в качестве обоснования примеры «А» и «Б».

Согласно первому примеру («А») на территории промышленного предприятия, имеющего объектовую пожарную охрану, размещено складское здание категории В — пожароопасность. Самое большое, диктующее помещение имеет категорию В2, пожарную нагрузку составляют труднотвердые и горючие твердые материалы и вещества. Помещение является отдельным пожарным отсеком площадью 25 000 м². В складском помещении организовано хранение на стеллажах высотой более 5,5 м, что требует оснащения здания автоматической установкой пожаротушения. Время прибытия первого пожар-

ного автомобиля и подачи первой компактной струи не превышает 5 мин.

Известно, что современные программные средства позволяют проводить весьма точное моделирование аварий, в том числе взрывов и пожаров [6–8]. Среди программных средств существуют как успешные отечественные, так и зарубежные (например, TOXI+Risk, Fenix+, ПК «Русь», FireGuard, FLACS и т.п.) [9–11]. Данные результатов такого моделирования являются важным обоснованием при выборе и оценке эффективности мер пожарной безопасности [12–14]. Моделирование и имитационные методы были приняты в экспертном сообществе для проведения исследований из-за многофакторности и сложности получения базы данных реальных случаев пожаров и взрывов, связанных с этим явлением [15].

Математическое моделирование наиболее вероятного пожара в рамках настоящего исследования показало, что в течение 10 мин (это является двукратным относительно времени прибытия пожарных подразделений) пожар не распространится за пределы одного стеллажа хранения и величина прогнозируемого ущерба не будет превышать 1,5 млн рублей. Очевидно, что многомиллионные затраты на автоматическую установку пожаротушения (проектирование, монтаж, обслуживание) с финансовой точки зрения не целесообразны для предотвращения ущерба размером менее 1,5 млн рублей. В этом случае эффективной мерой можно считать установку системы раннего обнаружения пожара (например, аспирационной) с автоматической передачей сигнала в пожарную охрану предприятия. При сопоставимой эффективности способов тушения применение существующей пожарной охраны предприятия экономически целесообразнее.

Согласно второму примеру («Б»), в административно-бытовом здании размещено помещение с оборудованием автоматической системы управления сложными технологическими процессами, нарушение работы которых может повлиять на безопасность людей. Оборудование размещено в нескольких металлических несгораемых запираемых шкафах. В соответствии с действующими требованиями помещение должно оборудоваться автоматической установкой пожаротушения. Математическое моделирование пожара в шкафу с самой большой пожарной нагрузкой показало, что температура воздуха в помещении при максимальной температуре пожара в шкафу не достигнет предела требуемого для срабатывания теплового извещателя. Требуемая плотность дыма для срабатывания дымового пожарного извещателя наступит через 8–9 мин от начала возгорания. Отметим, что 8–9 мин — это недопустимое время для реагирования системы пожарной безопасности, и даже при обеспечении безопасности жизни и здоровья

⁷ О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102057586&backlink=1&nd=102048376&rdk=0>

людей экономический ущерб, вызванный изменением технологического процесса (остановка, перевод в безопасный режим и так далее) из-за пожара, будет неприемлем для собственника объекта. В рассматриваемом примере правильным решением будет защита объема шкафа самосрабатывающим огнетушителем с передачей сигнала на пост дежурного.

Оба приведенных примера («А» и «Б») показывают, что наличие обязательной пожарно-технической классификации, дифференцирующей скорость выгорания пожарной нагрузки, могло бы стать исходными данными для принятия более оптимального технико-экономического решения при формировании системы пожарной безопасности объекта.

Еще одним направлением актуализации требований в области пожарной безопасности можно считать сложность формализации отступлений от норм добровольного применения. В соответствии с требованиями ч. 2 ст. 78 Федерального закона⁴ специальные технические условия (СТУ) готовятся на отсутствующие требования пожарной безопасности для зданий и сооружений. В рассматриваемых примерах речь идет об отступлении от нормативных требований добровольного применения. Расчетные обоснования для приведенных примеров на практике являются также затруднительными вследствие того, что обязательные требования пожарной безопасности не содержат количественных или качественных критериев, позволяющих определить достаточный уровень обеспечения сохранности имущества собственника от пожара.

Далее рассмотрим, каким образом предлагаемая пожарно-техническая классификация могла бы влиять на защиту объектов, размещенных в помещениях категорий «А» и «Б». Как отмечалось выше, для газообразных веществ и пылей критерия по удельной массовой скорости выгорания нет, и это обосновано. Очевидно, что для помещений категории «А» и «Б» наиболее вероятен взрыв и затем последующий пожар, поэтому говорить, что элементы системы пожарной безопасности, нацеленные на недопущение развития пожара или его тушение, могут помочь минимизировать потенциальный финансовый ущерб, возникший после взрыва, нельзя. Следовательно, само отсутствие критерия по удельной массовой скорости выгорания должно создать базу и задать направление для построения системы пожарной безопасности в сторону целей предотвращения взрыва, а не попыток спасения «того, что осталось» после взрыва.

Рассмотрим дополнительно примеры.

Согласно примеру «В», здание насосной для перекачки легковоспламеняющейся жидкости категории «А» площадью более 300 м². В здании размещена группа из трех перекачивающих центробежных насосов (два рабочих и один резервный). Насосы

приводятся в действие электрическими двигателями. В соответствии с действующими требованиями здание должно быть оборудовано автоматической установкой пожаротушения. Проведенный анализ пожарной опасности показал, что при появлении нежелательных исходных событий (разгерметизация насоса и появление источника зажигания с энергией, способной воспламенить перекачиваемую легковоспламеняемую жидкость) наиболее вероятен взрыв и избыточное давление взрыва способно нарушить соосность между центробежными насосами и электрическими двигателями, что потребует длительного останова насосной для ее последующего ремонта. Вариант развития пожара по сценарию «пожар пролива» стремится к нулю в силу физико-химических свойств перекачиваемой легковоспламеняемой жидкости. Очевидно, что в рассматриваемом примере «В» автоматическая установка пожаротушения не способна предотвратить потенциальный ущерб и не может являться эффективным техническим решением. Следовательно, собственнику объекта необходимо концентрировать свои затраты на недопущении образования облака топливно-воздушной смеси в границах нижнего (НКПР) и верхнего (ВКПР) концентрационных пределов распространения пламени (воспламенения) и недопущении появления источника зажигания. Как пример, одним из технических решений может быть не нормативное, а расчетное увеличение кратности воздухообмена аварийной вентиляции для недопущения образования облака топливно-воздушной смеси в значении, большем НКПР.

Вернемся к примеру, приведенному в начале статьи («А»). Предположим, что в границах пожарной секции наружной установки категории АН размещен колонный аппарат с обращающимся горючим газом под давлением высотой 18 м. Расстояние до соседней секции составляет нормативные 15 м. Анализ пожарной опасности показал, что при разгерметизации колонного аппарата наиболее вероятен взрыв облака топливно-воздушной смеси с последующим пожаром пролива. При этом расчетно определено, что давление взрыва разрушит технологическое оборудование, размещенное на соседней секции с неминуемой эскалацией аварии на соседнюю секцию. При описанном сценарии развития пожара сил и средств существующей пожарной части предприятия недостаточно и потребуются привлечение дополнительных сил и средств для ликвидации последствий пожара. Необходимо учитывать, что с точки зрения экономической целесообразности увеличение численности пожарной охраны предприятия нецелесообразно, так как ее возможные действия не смогут предотвратить ущерб, причиненный взрывом. Логично допустить, что собственнику объекта необходимо оснастить силы пожарной охраны техникой и оборудованием

для спасения людей, или, как минимум, сделать это направление в оснащении приоритетным. Данный пример показывает, что нормативные 15 м недостаточны для предотвращения эскалации аварии, при этом 15 м противопожарного расстояния — это увеличение «пятна застройки», увеличение землеотвода, удлинение связующих коммуникаций. Более правильным было бы отказаться от противопожарного расстояния между секциями, а сэкономленные средства потратить на повышение надежности оборудования (как основного технологического, так и систем противоаварийной защиты).

Выводы

Ряд рассмотренных примеров позволяет сделать следующие выводы:

- для твердых материалов и жидких веществ пожарно-техническая классификация по удельной массовой скорости выгорания веществ и материалов может стать основной при выборе наиболее эффективного способа тушения пожара. В данном случае максимальная эффективность — это минимальное время, требуемое для прекращения негативного воздействия на имущество собственника;
- для газообразных веществ и пылей невозможность установления значений по удельной скорости массового выгорания является основанием для оптимизации той части системы пожарной безопасности, которая направлена на тушение пожара, и усиления той части системы обеспечения пожарной безопасности, которая направлена на предупреждение аварии.

При этом всё следует понимать, что при горении твердых веществ и жидкостей собственник объекта может посредством системы пожарной безопасности физически управлять размерами причиненного вреда. Но при взрыве газообразных веществ и пылей собственник объекта может управлять посредством системы пожарной безопасности только вероятностью возникновения взрыва. При методологическом единстве практическая реализация определения требуемых затрат на систему пожарной безопасности будет разной [16, 17].

Учитывая, что предлагаемая классификация в первую очередь влияет на размер потенциального ущерба, право для определения качественных и качественно-количественных характеристик должно быть закреплено за собственником имущества. При этом решение собственника объекта должно иметь характер обязательных требований и должно быть закреплено на уровне федерального законодательства.

По мнению авторов исследования, качественная характеристика должна на базовом уровне классифицировать твердые, жидкие, газообразные вещества и пыли по признаку их наличия. Для твердых

и жидких веществ «присутствует», для газообразных веществ «отсутствует». Первая квалификация определит основной путь развития системы пожарной и промышленной безопасности для объекта защиты.

Рассматривая качественно-количественную характеристику, необходимо отметить, что она будет неодинакова, даже в пределах одной производственной площадки для разных объектов защиты. Качественно-количественная характеристика своей классификацией должна определять целесообразность использования элемента пожарной безопасности, основанную на сопоставлении скорости тушения пожара и скорости причинения вреда имуществу (для твердых и жидких веществ). Для газообразных веществ и пылей сравнение должно быть основано на сопоставлении вероятности возникновения аварии и стоимости элемента противопожарной защиты, направленной на предотвращение рассматриваемой аварии.

В описанных случаях качественно-количественная характеристика может быть «применимо» или «не применимо». Количественная составляющая качественно-количественной характеристики должна определяться собственником имущества самостоятельно, и, в принципе, результаты количественной составляющей должны быть внутренним бизнес-процессом собственника имущества [18–20].

Например, собственник объекта считает для себя приемлемым ущерб, который повлечет за собой пожар продолжительностью не более 5 мин (предположим, до 500 тысяч рублей). Время прибытия первого пожарного подразделения и его развертывания составляет не менее 8 мин. Соответственно, время реагирования любой части системы пожарной безопасности более 5 мин собственником классифицируется как «неприемлемое», и как альтернативное решение, отвечающее требованиям собственника, рассматривается автоматическая установка пожаротушения или автоматическая система обнаружения пожара, с передачей сигнала на пост охраны.

И в заключение пример, когда собственник объекта, проведя анализ пожарной опасности объекта и рассчитав вероятность гибели людей (предположим, 10^{-5}), установил, что для него допустимо принять вероятность гибели имущества 10^{-2} . Проанализировав вероятность эффективной работы предусмотренных систем промышленной безопасности, собственник объекта принял решение, что вероятность гибели имущества 10^{-2} может быть достигнута проведением дополнительного неразрушающего контроля сварных швов, и при этом допустимо отказаться от приобретения дорогостоящего пожарного автомобиля пенного тушения.

Таким образом, разработанные рекомендации по совершенствованию процесса формирования отдельных норм пожарной безопасности могут быть

применены для расширения научно-практической информации в области методологии, определяющей основание для принятия актуальных требований и мер пожарной безопасности, а также риск-ориентированного управления пожарным риском на объектах защиты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сметков Г.И., Пехотиков В.А., Рябиков А.И., Назаров А.А. Актуализация национальной нормативной базы в области обеспечения пожарной безопасности электропроводок // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 11. С. 29–36. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-11-29-36. EDN MWQAWY.
2. Лисанов М.В., Агапов А.А., Зайнетдинов С.Х., Сумской С.И., Софьин А.С. Актуализация руководств по безопасности в области оценки риска аварий на производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 7. С. 85–92. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-7-85-92. EDN VHMXXR.
3. Махутов Н.А., Резников Д.О., Лисанов М.В. Нормирование и управление рисками, связанными с эксплуатацией опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 12. С. 85–91. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-85-91. EDN QOLKYW.
4. Гражданкин А.И., Печеркин А.С., Сидоров В.И. О возможности единых и контрпродуктивности одинаковых критериев оценки риска промышленной аварии // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 10. С. 36–44. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-10-36-44. EDN ILYUTX.
5. Kodur V., Kumar P., Rafi M.M. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety // PSU Research Review. 2020. No. 4 (1). Pp. 1–23. DOI: 10.1108/PRR-12-2018-0033
6. Алексеев С.Г., Гурьев Е.С., Полуян Л.В., Барбин Н.М. О показателях пожаровзрывоопасности // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 6. С. 40–45. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-6-40-45. EDN ATLTMU.
7. Романенко А.И., Тараканова В.В., Тертычная С.В. Применение программного обеспечения при расчетах по пожарной безопасности // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. № 11. Т. 3 (59). С. 165–169. DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0025. EDN JALJNF.
8. Сурина Г.П., Порошин А.А., Васильева Л.В. Программные средства для расчета численности персонала пожарной охраны промышленных предприятий с учетом функционирования инженерных систем противопожарной защиты // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 2 (21). С. 85–89. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.82.81.015. EDN JNEQHS.
9. Королев Д.С., Вытовтов А.В., Епифанов Е.Н. Исследование процесса протекания пожара на действующем объекте защиты и оценка различных опасных воздействий на людей // Безопасность жизнедеятельности. 2023. № 11 (275). С. 21–26. EDN XSXQVW.
10. Avdeeva M., Byzov A., Smyshlyaeva K., Leonova N. Assessment of the fire situation of a certain building using fenix+ // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. No. 1259. Pp. 391–400. DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6_35. EDN LHETMF.
11. Скрипник И.Л., Дементьев Ф.А., Савельев Д.В., Булатов В.О. Анализ разных подходов при расчете динамики опасных факторов пожара с использованием компьютерных технологий // Техносферная безопасность. 2024. № 1 (42). С. 47–57. EDN WITIHU.
12. Pasnak I., Prydatko O., Gavriluk A. Development of algorithms for efficient management of fire rescue units // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. No. 3 (81). Pp. 22–28. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71604. EDN WIQVUR.
13. Farhadzadeh E.M., Muradaliyev A.Z., Ismailova S.M., Yusifli R.F. Computer Technology of Formation Control Samples of Fire Safety Rules of Objects Electro Power Systems // Reliability: Theory & Applications. 2019. No. 14. Vol. 2 (53). Pp. 10–18. DOI: 10.24411/1932-2321-2019-12001. EDN RPTLLR.
14. Kyrylaha N., Chernenko V. Fire risk assessment in light of socio-economic factors // Економічний часопис-XXI. 2017. No. 166 (7–8). Pp. 37–40. DOI: 10.21003/ea.V166-07. EDN ZWNXID.
15. Cortés D., Gil D., Azorín J., Vandecasteele F., Verstockt S. A review of modelling and simulation methods for flashover prediction in confined space fires // Applied Sciences (Switzerland). 2020. No. 10 (16). P. 5609. DOI: 10.3390/app10165609. EDN WXBXPL.
16. Granovskiy E.A., Lyfar V.A., Vorona A.P., Barbuca I.M., Jarosz W. Modelling the evacuation during fires of buildings — the risk analysis // Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza. 2011. No. 24 (4). Pp. 59–63. EDN TEHGSP.
17. Shikhalev D.V. Problems of managing the fire safety system of a facility. Part I: assessment methods // Control Sciences. 2022. No. 1. Pp. 2–14. DOI: 10.25728/cs.2022.1.1. EDN JGJIKV.
18. Софьин А.С., Агапов А.А., Буйновский С.А., Каньгин П.С., Авдеев А.С. Опыт внедрения системы прогнозирования последствий аварий в режиме реального времени ТОХИ+Прогноз на производстве аммиака и кар-

бамида // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 12. С. 66–73. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-66-73. EDN HNNHFX.

19. Гвоздев Е.В. Постановка и решение задачи по развитию системы комплексной безопасности на взрывопожароопасных производственных объектах предприятий // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 10. С. 45–53. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-10-45-53. EDN NGMGLG.
20. Савельев А.П., Шкрабак В.С., Готов С.В., Еналеева С.А., Чугунов А.М., Шкрабак Р.В. Обоснование условий функционирования складов нефтепродуктов предприятия АПК в соответствии с требованиями пожарной безопасности // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 136–146. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp136-146. EDN DDFUKU.

REFERENCES

1. Smelkov G.I., Pekhotikov V.A., Ryabikov A.I., Nazarov A.A. Updating of the national normative base in the field of ensuring fire safety of electrical wiring. *Occupational safety in industry*. 2020; 11:29-36. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-11-29-36. EDN MWQAWY. (rus).
2. Lisanov M.V., Agapov A.A., Zaynetdinov S.Kh., Sumskey S.I., Sofyin A.S. Updating safety guides in the field of accident risk assessment at the production facilities. *Occupational safety in industry*. 2023; 7:85-92. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-7-85-92. EDN VHMXXR. (rus).
3. Makhutov N.A., Reznikov D.O., Lisanov M.V. Risk regulation and management related to the operation of hazardous production facilities. *Occupational safety in industry*. 2020; 12:85-91. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-85-91. EDN QOLKYW. (rus).
4. Grazhdankin A.I., Pecherkin A.S., Sidorov V.I. On the possibility of uniform and counterproductive identical criteria for assessing the risk of an industrial accident. *Occupational safety in industry*. 2023; 10:36-44. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-10-36-44. EDN ILYUTX. (rus).
5. Kodur V., Kumar P., Rafi M.M. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review*. 2020; 4(1):1-23. DOI: 10.1108/PRR-12-2018-0033
6. Alekseev S.G., Guryev E.S., Poluyan L.V., Barbin N.M. About fire and explosion hazard indicators. *Occupational safety in industry*. 2020; 6:40-45. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-6-40-45. EDN ATLTMU. (rus).
7. Romanenko A.I., Tarakanova V.V., Tertychnaya S.V. Software application for the fire safety calculations. *XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus*. 2022; 11:3(59):165-169. DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0025. EDN JALJNF. (rus).
8. Surina G.P., Poroshin A.A., Vasilyeva L.V. Software for calculating the number personnel of fire brigades of an industrial enterprises, taking into account the functioning of engineering fire protection systems. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2021; 2(21):85-89. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.82.81.015. EDN JNEQHS. (rus).
9. Korolev D.S., Vytovtov A.V., Epifanov E.N. Investigation of the fire process at the operating object of protection and assessment of various hazardous effects on people. *Life Safety*. 2023; 11(275):21-26. EDN XSXQVW. (rus).
10. Avdeeva M., Byzov A., Smyshlyaeva K., Leonova N. Assessment of the fire situation of a certain building using fenix+. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021; 1259:391-400. DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6_35. EDN LHETMF.
11. Skripnik I.L., Dementiev F.A., Savelyev D.V., Bulatov V.O. Analysis of calculation procedures for determination of fire hazards using computer technologies. *Technosphere safety*. 2024; 1(42):47-57. EDN WITIHU. (rus).
12. Pasnak I., Prydatko O., Gavriluk A. Development of algorithms for efficient management of fire rescue units. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016; 3(81):22-28. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71604. EDN WIQVUR.
13. Farhadzadeh E.M., Muradaliyev A.Z., Ismailova S.M., Yusifli R.F. Computer Technology of Formation Control Samples of Fire Safety Rules of Objects Electro Power Systems. *Reliability: Theory & Applications*. 2019; 14:2(53):10-18. DOI: 10.24411/1932-2321-2019-1201. EDN RPTLLR.
14. Kyrylaha N., Chernenko V. Fire risk assessment in light of socio-economic factors. *Economic magazine-XXI*. 2017; 166(7-8):37-40. DOI: 10.21003/ea.V166-07. EDN ZWNXID.
15. Cortés D., Gil D., Azorín J., Vandecasteele F., Verstockt S. A review of modelling and simulation methods for flashover prediction in confined space fires. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020; 10(16):5609. DOI: 10.3390/app10165609. EDN WXBXP.
16. Granovskiy E.A., Lyfar V.A., Vorona A.P., Barbuca I.M., Jarosz W. Modelling the evacuation during fires of buildings — the risk analysis. *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. 2011; 24(4):59-63. EDN TEHGSP.
17. Shikhalev D.V. Problems of managing the fire safety system of a facility. Part I: assessment methods. *Control Sciences*. 2022; 1:2-14. DOI: 10.25728/cs.2022.1.1. EDN JGJIKV.

18. Sofyin A.S., Agapov A.A., Buinovskiy S.A., Kanygin P.S., Avdeev A.S. Experience in implementing a real-time accident forecast system toxi+prognosis for the production of ammonia and carbamide. *Occupational safety in industry*. 2020; 12:66-73. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-66-73. EDN HNHXXF. (rus).
19. Gvozdev E.V. Setting and solving the problem of developing an integrated safety system at the explosion and fire-hazardous production facilities of the enterprise. *Occupational safety in industry*. 2023; 10:45-53. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-10-45-53. EDN NGMGLG. (rus).
20. Savelyev A.P., Shkrabak V.S., Glotov S.V., Enaleeva S.A., Chugunov A.M., Shkrabak R.V. Optimization of fire safety measures at the agribusiness protection facility with a mass stay of people. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; 6:136-146. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp136-146. EDN DDFUKU. (rus).

Поступила 26.09.2025, после доработки 17.11.2025;

принята к публикации 5.12.2025

Received September 26, 2025; Received in revised form November 17, 2025;

Accepted December 5, 2025

Информация об авторах

АЛЕКСАНДРОВА Анна Владимировна, к.т.н., доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ), Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2; SPIN-код: 6617-6500; ORCID: 0000-0002-3394-5786; e-mail: alexanna@mail.ru

ПОПКО Роман Евгеньевич, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности, Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ), Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2; главный инженер проектов, ООО «Спектр ПБ», Россия, 350049, г. Краснодар, ул. им. Котовского, 42; SPIN-код: 6523-8548; ORCID: 0009-0009-5190-808X; e-mail: popko-r@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Anna V. ALEKSANDROVA, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety, Kuban State Technological University (KubSTU), Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russian Federation; SPIN-code: 6617-6500; ORCID: 0000-0002-3394-5786; e-mail: popko-r@mail.ru

Roman E. POPKO, Senior Lecturer of the Department of Life Safety, Kuban State Technological University (KubSTU), Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russian Federation; Chief Engineer of Projects, Spectrum PB LLC, Kotovskogo St., 42, Krasnodar, 350049, Russian Federation; SPIN-code: 6523-8548; ORCID: 0009-0009-5190-808X; e-mail: popko-r@mail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.