

Научная статья
УДК 614.84; 699.8
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.70.37.026

Комплексная оценка пожарных рисков эксплуатации здания с учётом компенсирующих мероприятий

Леонид Юрьевич Фомичев¹
Ирина Анатольевна Минаева²
Ярослав Максимович Кузнецов³

¹ГБУ «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве», Москва, Россия

²Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, Россия

³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

¹<https://orcid.org/0009-0005-0270-740X>

Автор, ответственный за переписку: Леонид Юрьевич Фомичев, fomichev.lu@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается комплексный подход к оценке и снижению пожарных рисков при эксплуатации зданий на основе внедрения компенсирующих мероприятий в рамках разработки комплекса инженерно-технических мероприятий. Проведен анализ типовых нарушений требований пожарной безопасности, встречающихся в административных и общественных зданиях, а также их влияние на уровень индивидуального пожарного риска. В работе рассмотрены методы количественной оценки рисков, позволяющие обосновать выбор компенсирующих мероприятий, таких как установка дополнительных систем оповещения, автоматического пожаротушения, организация дополнительных путей эвакуации и обучение персонала действиям при пожаре. В статье приведены примеры реализации компенсирующих мероприятий на практике, их экономическая эффективность и влияние на снижение риска возникновения и развития пожара. Рассмотрены вопросы нормативного регулирования и возможности применения альтернативных инженерно-технических решений в случаях, когда устранение всех нарушений невозможно или экономически нецелесообразно. Полученные результаты подтверждают, что внедрение компенсирующих мероприятий позволяет обеспечить требуемый уровень пожарной безопасности при оптимальных затратах ресурсов и времени, что особенно актуально для зданий, построенных до введения ФЗ-123 с ограниченными возможностями проведения капитальных работ.

Ключевые слова: пожарная безопасность, требования пожарной безопасности, расчет пожарных рисков, технический регламент, проектирование зданий, нарушения в области пожарной безопасности, разработка компенсирующих мероприятий, техносферная безопасность, проектная документация

Для цитирования: Фомичев Л.Ю., Минаева И.А., Кузнецов Я.М. Комплексная оценка пожарных рисков эксплуатации здания с учётом компенсирующих мероприятий // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 269-284. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.70.37.026>.

Original article.

Comprehensive fire risk assessment of the building, taking into account compensating measures

*Leonid Yu. Fomichev*¹

*Irina A. Minaeva*²

*Yaroslav M. Kuznetsov*³

¹*GBU "Center for Expertise, Research and Testing in Construction", Moscow, Russia*

²*Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia*

³*National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

¹<https://orcid.org/0009-0005-0270-740X>

Corresponding author: *Leonid Yu. Fomichev, fomichev.lu@yandex.ru*

Abstract. The article considers an integrated approach to assessing and reducing fire risks in the operation of buildings based on the introduction of compensating measures as part of the development of a set of engineering and technical measures. The analysis of typical violations of fire safety requirements found in administrative and public buildings, as well as their impact on the level of individual fire risk, is carried out. The paper considers methods for quantifying risks, which make it possible to justify the choice of compensating measures, such as the installation of additional warning systems, automatic fire extinguishing, the organization of additional escape routes and staff training in fire prevention. The article provides examples of the implementation of compensating measures in practice, their economic effectiveness and impact on reducing the risk of fire occurrence and development. The issues of regulatory regulation and the possibility of using alternative engineering solutions in cases where the elimination of all violations is impossible or economically impractical are considered. The results obtained confirm that the implementation of compensatory measures makes it possible to ensure the required level of fire safety with optimal expenditure of resources and time, which is especially important for buildings built before the introduction of FZ-123 with limited capital work capabilities.

Keywords: fire safety, fire safety requirements, calculation of fire risks, technical regulations, building design, violations in the field of fire safety, development of compensatory measures, technosphere safety, project documentation

For citation: Fomichev L.Yu., Minaeva I.A., Kuznetsov Y.M. Comprehensive fire risk assessment of the building, taking into account compensating measures // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 3 (38). С. 269-284. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.70.37.026>.

Введение.

Выполнение требований пожарной безопасности является необходимым и очевидным условием предотвращения возникновения пожара и таких негативных последствий, как уничтожение или повреждение имущества, нанесения вреда здоровью людей. За нарушение нормативных требований предусмотрена ответственность в соответствии со статьей 20.4 КоАП РФ и статьей 219 Уголовного кодекса Российской Федерации [1].

Однако, статистика происшествий, связанных с пожарами, требует пристального внимания к вопросам повышения эффективности противопожарных мероприятий. Известно, что ежегодно в мире от пожаров погибают сотни тысяч человек. В Российской Федерации за 2024 год в пожарах, по информации МЧС РФ, погибли более 6 тысяч человек [2].

Здания и сооружения, должны быть безопасными на протяжении всего срока эксплуатации. В проектной документации на объекты капитального строительства наряду с разделами, содержащими объемно-планировочные, архитектурные решения, конструктивные решения и прочими, имеется раздел, относящийся к мероприятиям по обеспечению пожарной безопасности, включающий описание и обоснование проектных решений по обеспечению безопасности людей в случае возникновения пожара. На этапе строительства критически важно

соблюсти все технологические решения, предусмотренные проектной документацией. Однако, со временем, в связи с изменением нормативных требований или изменением назначения применения здания, оно может перестать соответствовать требованиям пожарной безопасности (ПБ) и не обеспечивать безопасность людей. В таком случае возникает вопрос о необходимости внесения изменений в конструкцию здания и применения объемно-планировочных решений. Также возможно применить оснащение здания необходимыми техническими средствами. Использование всех перечисленных подходов в совокупности дает уменьшение риска возникновения пожара, а при возникновении пожара обеспечивает своевременную и безопасную эвакуацию людей.

Согласно статистическим данным, в Российской Федерации среди нарушений в области пожарной безопасности, создающих угрозу здоровью и жизни людей, порядка 70 % связаны с такими зафиксированными фактами, как:

- ненадлежащее содержание путей эвакуации;
- неисправность систем противопожарной защиты;
- отсутствие противопожарных дверей;
- эксплуатация помещений с несоответствующим пределом огнестойкости (Рис.1) [3].



Рис.1. Распределение вида нарушений в области пожарной безопасности

Закономерна взаимосвязь зафиксированных МЧС России видов нарушений требований ПБ и тех условий, которые, главным образом, привели к гибели людей на пожарах в период с 2017 года по 2023 год (Табл.1) [4,5,6].

Табл.1. Факторы, способствовавшие гибели людей на пожарах в 2017–2023 гг.

Факторы	Количество погибших, чел.							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Несоответствие путей эвакуации требованиям пожарной безопасности	3	3	0	4	0	1	4	15
Отказ системы обнаружения пожара и управления эвакуацией людей	3	1	4	0	0	1	0	9
Позднее сообщение о пожаре	62	62	78	88	109	116	318	833
Отсутствие освещения на путях эвакуации	0	6	1	2	1	0	0	10
	Всего:							867

На основании данных, полученных во время проведения профилактических визитов, а также на основе экспертных оценок выявлено, что к числу факторов, провоцирующих указанные нарушения требований ПБ, относятся:

- Экономия денежных средств на мероприятиях по обеспечению пожарной безопасности и соблюдению нормативных требований по пожарной безопасности.
- Недостаточность финансирования бюджетных организаций.
- Низкая личная ответственность, недостаточная осведомленность, незнание нормативных требований в области пожарной безопасности.

Очевидно, существует и проблема, связанная с информированием лиц, назначенных ответственными за пожарную безопасность, в части возможных эффективных способов устранения нарушений обязательных требований ПБ.

Целью статьи является рассмотрение примера реализации компенсирующих мероприятий в области пожарной безопасности для обеспечения соответствия уровня пожарного риска здания нормативному.

Теория

С точки зрения пожарной безопасности, если здание соответствует требованиям Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", а также соблюдено одно из условий, предусмотренных ст. 6 №123-ФЗ, то его эксплуатация возможна безо всяких ограничений [7].

Разработка специальных технических условий (СТУ) осуществляется в случаях, когда на этапе проектирования отсутствовали нормативные требования ПБ для вновь строящихся объектов защиты, либо требования нормативных документов не могут быть напрямую применены из-за конструктивных или функциональных особенностей объекта, как указано в Статье 78 Федерального закона №123-ФЗ. [8].

В реальных условиях нередко встречаются ситуации, когда здание построено до введения в действие технического регламента, соответственно, при его строительстве применялись иные требования, либо здание имеет конструктивные особенности, либо изменился класс функциональной пожарной опасности. В качестве наиболее распространенных примеров можно привести несоответствие расстояний до соседних зданий из-за условий плотной застройки, проектирование жилых домов выше 75 метров (более 25 этажей), а также без аварийных выходов, необходимость приспособления к современному использованию памятника культурного наследия. В таких случаях, представляется возможным обеспечить выполнение в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности только при проведении реконструкции или капитальном ремонте, но внесение изменений в объемно-планировочные решения здания могут быть нецелесообразными как с точки зрения технической, так и экономической [9-11]

Необходимость разработки дополнительных мероприятий по пожарной безопасности может возникнуть вследствие замены технологического оборудования и систем противопожарной защиты иностранного производства на отечественное, которое, в связи с реализацией программы импортозамещения, запрета или трудности поставок, имеет сложность в обслуживании и поддержании работоспособности по причине отсутствия комплектующих [12-14]. Также, модернизация систем противопожарной защиты может потребоваться при превышении срока службы системы и ее компонентов, заявленного производителем по причине несоответствия требуемым значениям надежности, что является важным для критически важных объектов или объектов высокой категории пожароопасности [15,16].

В соответствии с законодательством допускается разработка специальной документации, отражающей особенности обеспечения пожарной безопасности объектов, если прямое соблюдение всех нормативных требований невозможно или нецелесообразно; такая

документация должна включать обоснование инженерно-технических и организационных мероприятий, подтверждающих достижение требуемого уровня безопасности.

Под пожарным риском понимают значение уровня пожарной опасности объекта защиты и возможных последствий возникновения пожара для людей и материальных ценностей. В соответствии со статьей 93 "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности", расчетная величина индивидуального пожарного риска, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара, в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать нормативное значение $R_{\text{норм}} = 10^{-6}$ [17, 18]

Для расчета пожарного риска используются утвержденные МЧС России документы: СП 505.1311500.2021 «Расчет пожарного риска. Требования к оформлению»; «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности» (приказ МЧС РФ от 14.11.2022 № 1140); «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (приказ МЧС России от 26.06.2024 №533).

В том случае, если $R > R_{\text{норм}}$, на рассматриваемом объекте защиты требуется предусмотреть мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска (Рис.2).

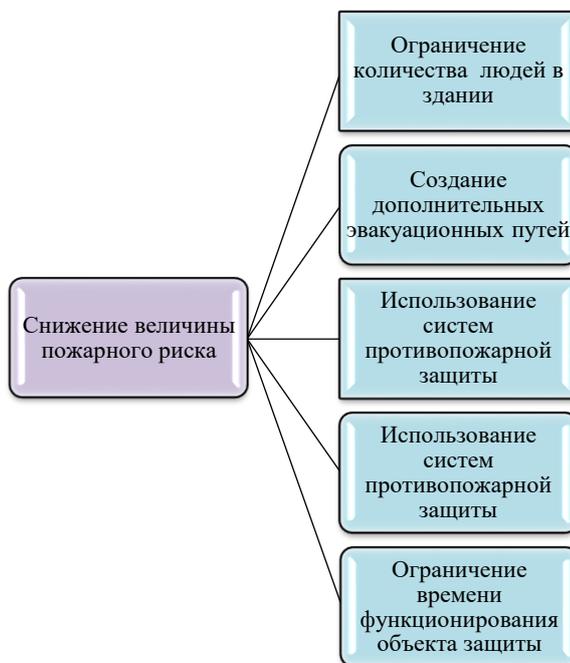


Рис.2. Виды мероприятий, направленных на снижение величины пожарного риска

Разработка комплекса инженерно-технических мероприятий, предлагаемых для реализации на объекте защиты в случае отступления от нормативных требований ПБ, проводится в соответствии с положениями ст. 6. ФЗ-123 и включает три основных этапа (Рис.3).



Рис.3. Этапы разработки комплекса инженерно-технических мероприятий по пожарной безопасности

При разработке комплекса мероприятий, направленных на снижение пожарного риска, должен быть произведен повторный расчет пожарного риска (Рис. 4).

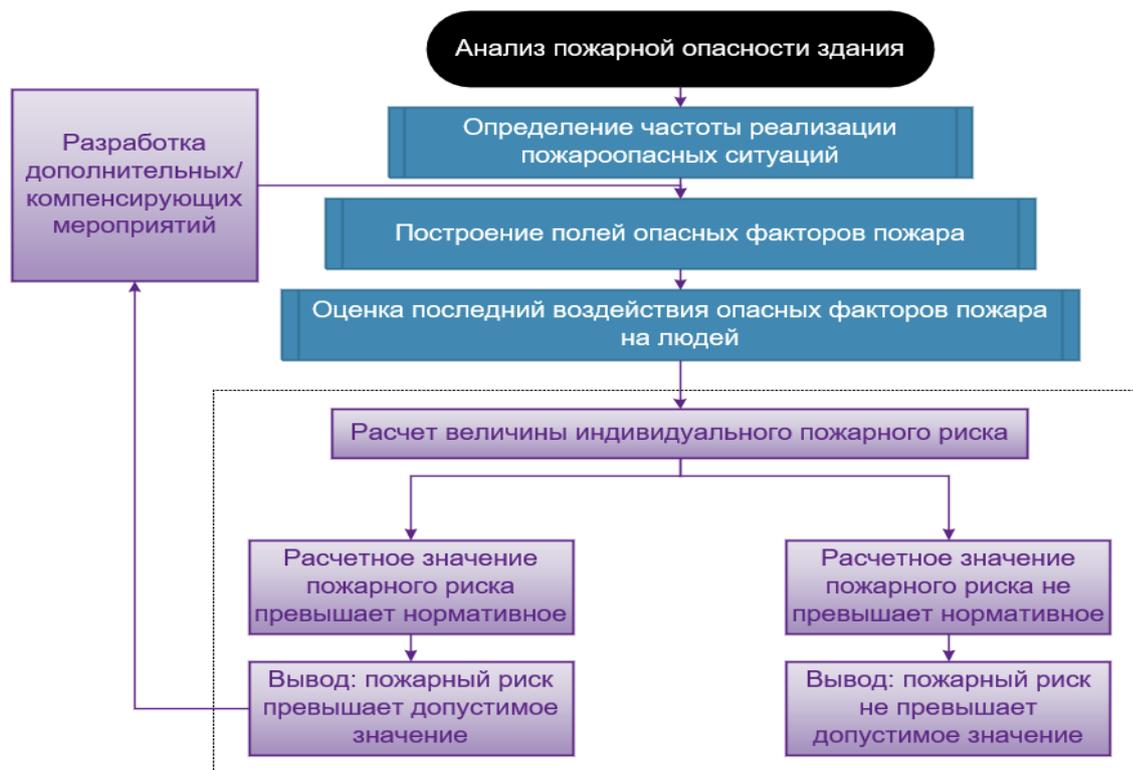


Рис.4. Схема проведения расчета пожарных рисков

Расчеты

В качестве примера рассмотрим административное здание с конкретными характеристиками, приведенными в Табл.3, и планировкой на Рис.5.

Табл.2. Характеристика объекта защиты- административного здания

Характеристика	Значение
Этажность	8 основных этажей выше уровня земли, 2 подземных этажа
Площадь	7382,4 кв. м
Год постройки	1966
Высота здания (Building height)	31,3 м.
Пожарно-техническая высота здания	Более 28 м.
Год ввода объекта защиты в эксплуатацию	до 2009 года
Дата проведения капитального ремонта	Не проводился
Время функционирования объекта защиты	Не более 12 часов
Лестничные клетки	Лестничные клетки: 3 лестничные клетки типа Л1 согласно классификации, приведенной в статье 40 Федерального закона №123-ФЗ.
Классы функциональной пожарной Опасности	Ф 4.3 – здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов

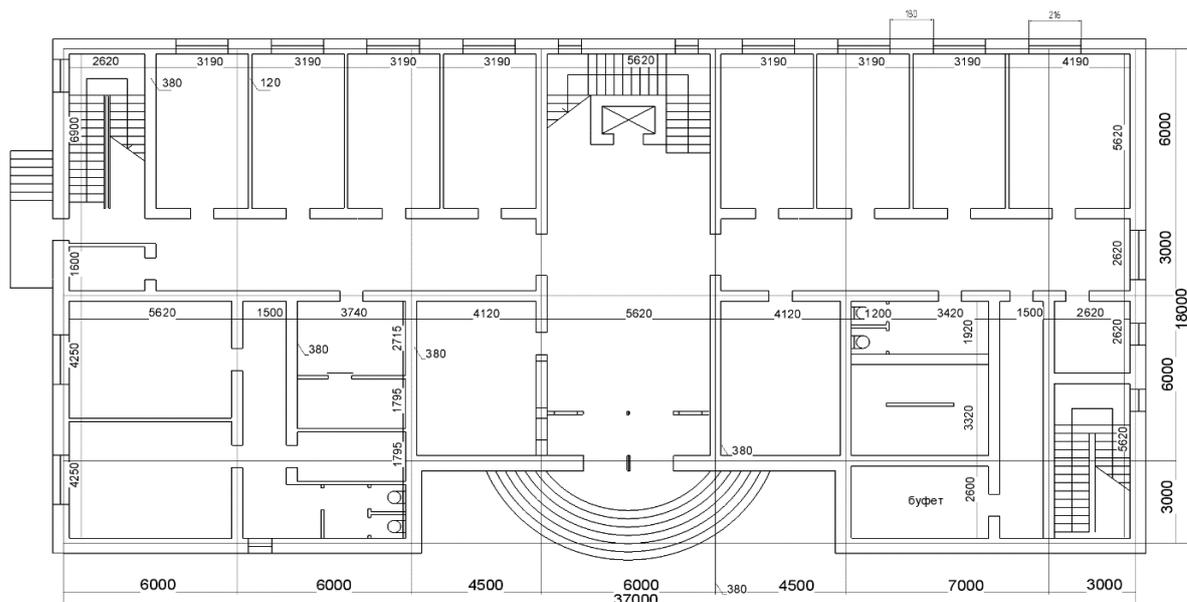


Рис.5. План этажа здания

Для обеспечения безопасности людей используются различные инженерные решения: рациональная организация путей эвакуации, установка систем обнаружения пожара, создание комплексов по оповещению и управлению эвакуацией, применение противодымной защиты помещений, монтаж автоматических и автономных устройств пожаротушения. Необходимость разработки мероприятий по обеспечению ПБ обусловлена несоответствием текущего состояния обеспечения пожарной безопасности здания обязательным требованиям нормативных документов (Табл.3):

1. В помещениях подземных этажей отсутствуют эвакуационные выходы, которые ведут наружу или обособлены от существующих лестничных клеток.
2. В подземном этаже здания отсутствуют тамбур-шлюзы 1-го типа с избыточным давлением воздуха.
3. В коридорах на наземных и подземных этажах здания отсутствует система противодымной вентиляции.
4. В здании высотой более 30 метров не обеспечено системой автоматического водяного пожаротушения.
5. В здании высотой более 28 метров отсутствуют незадымляемые эвакуационные лестничные клетки.
6. Ширина эвакуационных выходов с этажей здания составляет менее 1200 мм.
7. В помещениях последних этажей отсутствует второй эвакуационный выход (за исключением 8-го этажа).

Табл.3. Информация о системах противопожарной защиты в здании

Система	Необходимость наличия	Фактическое наличие
Автоматическая пожарная сигнализация	Требуется	Присутствует
Автоматическая установка пожаротушения	Требуется	Отсутствует
Система дымоудаления	Требуется	Отсутствует
Система оповещения и управления эвакуацией не ниже 3-го типа	Требуется	Присутствует
Внутренний противопожарный водопровод (Internal fire-fighting water supply)	Требуется	Присутствует

Устранение вышеперечисленных нарушений требований пожарной безопасности, технически осуществимо, однако это потребует существенных финансовых вложений и времени на разработку проектной документации и последующего монтажа систем противопожарной защиты. Во время производства работ доступ на этажи здания будет ограничен, что создаст неудобства пользователем здания и приведет к дополнительным затратам в связи с ограничением функционирования здания.

Оценка приблизительной стоимости работ по устранению обязательных требований пожарной безопасности и реализации компенсирующих мероприятий приведена с целью сравнительного анализа экономической целесообразности различных подходов к обеспечению нормативного уровня пожарной безопасности здания. Для определения стоимости были использованы актуальные коммерческие предложения от специализированных монтажных организаций, данные типовых смет, а также рыночные цены на оборудование и услуги по проектированию и строительству, распространенные на территории Российской Федерации по состоянию на 2024–2025 годы. Такой подход позволил показать, что внедрение компенсирующих мероприятий позволяет существенно снизить совокупные затраты на модернизацию противопожарной защиты по сравнению с полным устранением всех нарушений обязательных требований, сохраняя при этом нормативный уровень пожарной безопасности объекта, что подтверждается проведенными расчетами риска. Ориентировочная стоимость устранения нарушений требований пожарной безопасности представлена в Табл.4.

Табл.4. Ориентировочная стоимость устранения нарушений требований пожарной безопасности

Наименование работ	Приблизительная стоимость, руб.
Проектирование, монтаж системы дымоудаления	15 000 000
Работы по созданию дополнительных эвакуационных выходов из помещений подземных этажей	3 000 000
Монтаж тамбур–шлюзов с подпором воздуха	3 000 000
Проектирование, монтаж системы автоматического водяного пожаротушения в здании	20 000 000
Работы по созданию незадымляемых эвакуационных лестничных клеток	3 000 000
Строительно–монтажные работы по расширению ширины проемов эвакуационных выходов	1 500 000
Строительно–монтажные работы по созданию второго эвакуационного выхода	1 200 000
Итого:	46 700 000

В Табл.5 представлены обязательные требования пожарной безопасности, которые были нарушены и компенсирующие мероприятия, реализация которых позволит отступить от обязательных требований пожарной безопасности.

Табл.5. Мероприятия по снижению пожарного риска

Нарушенное требование	Компенсирующее мероприятие
Отсутствует система вытяжной противодымной вентиляции из коридоров на этажах здания (включая коридоры подвала)	Подтвердить уровень обеспечения пожарной безопасности людей с учетом отсутствия системы вытяжной противодымной вентиляции
	Предусмотреть аварийное освещение на путях эвакуации в поэтажных коридорах. Аварийное освещение должно подключаться к источнику питания, независимому от источника питания рабочего освещения, либо подключается к источнику бесперебойного питания со временем работы не менее 1 часа. [19]
	Установить в проемы выходов с этажей на лестничную клетку противопожарные дымогазонепроницаемые двери второго типа с пределом огнестойкости не менее EIS 30
	В поэтажных коридорах предусмотреть размещение фотолюминесцентной эвакуационной системы в соответствии с проектной документацией
	В надземных этажах необходимо ограничить одновременное пребывание людей в количестве, обеспечивающем безопасную эвакуацию с учетом

	фактических ширин выходов и технических решений. Расчет максимального количества посетителей должен быть обоснован исходя из анализа эвакуационных возможностей здания
Эвакуационные выходы из помещений подземных этажей не предусмотрены ведущими непосредственно наружу или обособленными от общих лестничных клеток здания	<p>При невозможности организации эвакуационных выходов из подземных этажей, ведущих непосредственно наружу и обособленных от общих лестничных клеток, следует оборудовать аварийные выходы через приямки или соседние здания. [20]</p> <p>Исключить одновременное нахождение более 5 человек на этаж в помещениях подземных этажей. Исключить размещение постоянных рабочих мест в помещениях подземных этажей.</p> <p>Допустить возможность осуществлять эвакуацию людей с использованием не менее 2-х аварийных выходов через приямки с оконными проемами размером в свету не менее 1,5 × 1,0 метра и одного аварийного выхода через подземный этаж соседнего здания.</p> <p>Необходимо разместить систему аварийного освещения на путях эвакуации. Система аварийного освещения должно подключаться к отдельному источнику питания, не взаимосвязанному с источником питания рабочего освещения, либо подключается к источнику бесперебойного питания со временем работы не менее 1 (одного) часа. Предусмотреть заполнением проемов выходов с этажей на лестничную клетку противопожарными дымогазонепроницаемыми дверями второго типа (предел огнестойкости не менее EIS 30).</p> <p>Оснастить коридоры на этажах фотолюминесцентной эвакуационной системы в соответствии с проектной документацией</p>
В подземном этаже здания вход в лифты осуществляется не через тамбур-шлюзы 1-го типа с избыточным давлением воздуха при пожаре	<p>На уровне подземного этажа перед входом в лифт требуется обеспечить наличие тамбур-шлюза 1-го типа с избыточным давлением воздуха.</p> <p>На подземном этаже перед входом в лестничные клетки с лифтами необходимо организовать тамбур-шлюз первого типа, оборудованный системой приточной противодымной вентиляцией при возникновении пожара</p>
Здание высотой более 30 метров не обеспечено системой автоматического пожаротушения	<p>Учитывая, что здание спроектировано и возведено до дня вступления в силу соответствующих положений 123-ФЗ, допускается не оборудовать здание системой автоматического пожаротушения. При проведении капитального ремонта, реконструкции или техническом перевооружении необходимо предусматривать систему автоматического пожаротушения в части проведенных работ.</p> <p>Подтвердить уровень обеспечения пожарной безопасности людей с учетом отсутствия системы автоматического пожаротушения [21]</p>
В здании высотой более 28 м отсутствуют незадымляемые эвакуационные лестничные клетки	<p>Предусмотреть на путях эвакуации на лестничных клетках аварийное освещение, которое должно подключаться к источнику питания, независимому от источника питания рабочего освещения, либо подключается к источнику бесперебойного питания со временем работы не менее 1 (одного) часа.</p> <p>Предусмотреть заполнением проемов выходов с этажей на лестничную клетку противопожарными дымогазонепроницаемыми дверями второго типа (предел огнестойкости не менее EIS 30).</p> <p>В надземных этажах следует ограничить одновременное нахождение людей в количестве не более 100 человек на этаж. В помещениях подземных этажей не более 5 человек на этаж. Исключить размещение постоянных рабочих мест в помещениях подземных этажей</p>
Ширина эвакуационных выходов с этажей здания составляет менее 1200 мм	<p>Подтвердить уровень обеспечения пожарной безопасности людей с учетом ширины эвакуационных выходов менее 1,2 метра.</p> <p>Предусмотреть аварийное освещение на путях эвакуации в поэтажных коридорах. Аварийное освещение должно подключаться к источнику питания, независимому от источника питания рабочего освещения, либо подключается к источнику бесперебойного питания со временем работы не менее 1 (одного) часа [22].</p> <p>Максимальная численность людей в помещениях надземных этажей не должна превышать 100 человек на каждом этаже, а в помещениях</p>

	подземных этажей - 5 человек на этаж. В подземных помещениях запрещается устройство постоянных рабочих мест
В помещениях последних этажей отсутствует второй эвакуационный выход (за исключением 8-го этажа)	Предусмотреть аварийное освещение на путях эвакуации в коридорах на всех этажах и лестничных клетках. Максимальное количество людей на 8-м этаже не должно превышать 20 человек одновременно. В поэтажных коридорах предусмотреть размещение фотолюминесцентной эвакуационной системы в соответствии с проектной документацией

В Табл.6 представлена приблизительная стоимость компенсирующих мероприятий, которые позволят отступить от обязательных требований пожарной безопасности.

Табл.6. Стоимость предлагаемых мероприятий

Наименование работ	Приблизительная стоимость, руб.
Монтаж аварийного освещения на путях эвакуации	1 500 000
Размещение фотолюминесцентной эвакуационной системы	900 000
Установка дымогазонепроницаемых дверей второго типа (предел огнестойкости не менее EIS 30)	1 800 000
Монтаж тамбур-шлюзов с подпором воздуха при пожаре	3 000 000
Работы по созданию незадымляемых эвакуационных лестничных клеток	2 400 000
Для защиты проемов выходов из подземных этажей на лестничную клетку предусмотреть установку системы дренчерной завесы	1 100 000
Разработка комплекса инженерно-технических мероприятий	400 000
Итого:	11 100 000

Реализация данных компенсирующих мероприятий подтверждается расчетом пожарных рисков в соответствии с действующим нормативным документом.

Величина индивидуального пожарного риска определяется по формуле:

$$R = Q_{PS1} \cdot (1 - K_{AFS1}) \cdot P_{F1} \cdot (1 - P_{PE1}) \cdot (1 - K_{FS1}), \quad (1)$$

где, $Q_{PS1} = 0.04$ – статистическая частота возникновения пожара в здании данной категории в течение года; $K_{AFS1} = 0.9$ – коэффициент, применяемый в случае если оборудование здания системой АУП в соответствии с требованиями по пожарной безопасности на момент введения здания в эксплуатацию не требуется.

K_{FS1} – коэффициент, учитывающий соответствие систем противопожарной защиты, направленных на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Вероятность присутствия людей в здании P_{F1} определяется из соотношения:

$$P_{F1} = \frac{t_f}{24} = 0.5, \quad (2)$$

где, $t_f = 12$ часов – время нахождения людей в здании (время функционирования объекта защиты).

P_{PE1} – вероятность эвакуации людей из здания.

$t_{EV} = 3$ мин – расчетное время, требуемое для эвакуации людей.

$t_{ES} = 1$ мин – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей).

$t_B = 5$ мин – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации).

$t_{CP} = 1$ мин – время существования скопления людей на участках пути.

Вероятность эвакуации $P_{PE1} = 0.999$, так как выполняются следующие условия:

$$0.8 \cdot t_B \geq (t_{EV} + t_{ES}), t_{CP} = 1 \text{ мин. } (t_{CP} \leq 1 \text{ мин. });$$

$$0.8 \cdot 5 \text{ мин. } \geq (3 \text{ мин. } + 1 \text{ мин. });$$

$$4 \text{ мин. } = 4 \text{ мин.}$$

Коэффициент, учитывающий соответствие систем противопожарной защиты, направленных на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, рассчитывается по формуле:

$$K_{FS1} = 1 - (K_{L1} \cdot K_{AL1}) \cdot (1 - K_{L1} \cdot K_{SP1}) \quad (3)$$

где, $K_{L1} = 0.8$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы автоматической пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{AL1} = 0.8$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения и управления эвакуацией людей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{SP1} = 0$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противодымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Вероятность эффективной работы систем противопожарной защиты равна:

$$K_{FS1} = 1 - (1 - 0.8 \cdot 0.8) \cdot (1 - 0.8 \cdot 0) = 0.64$$

Таким образом, расчетная величина индивидуального пожарного риска составляет:

$$R = 0.04 \cdot (1 - 0.9) \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.999) \cdot (1 - 0.64) = 7.2 \cdot 10^{-7}$$

и не превышает нормативное значение индивидуального пожарного риска $R_{норм} = 10^{-6}$.

Следовательно, рассматриваемые в данной работе мероприятия могут быть успешно реализованы в качестве компенсирующих мероприятий по пожарной безопасности с целью снижения величины пожарного риска до допустимого, при условии отступления от ряда требований. Их реализация позволит эксплуатировать здание безопасно для посетителей и работников.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследования в Федеральной службе по интеллектуальной собственности зарегистрирована программа для ЭВМ № 2024691344 от 20.12.24 «Программа для определения расчетных величин пожарного риска в зданиях». Расчетная программа написана на языке Python с применением:

- среды разработки JupyterNotebook,
- библиотеки Pandas для работы с табличными данными,
- библиотеки NumPy — для вычислений, что позволило эффективно выполнить расчет

и определить расчётные величины пожарного риска. Программа может применяться в образовательных целях, при проведении научно-исследовательских работ, а также для оценки возможности разработки мероприятий по пожарной безопасности специалистами по пожарной безопасности [23].

Разработанная программа для определения расчетных величин пожарного риска отличается от большинства существующих решений своей доступностью и удобством. Программа является бесплатной, не требует значительных вычислительных мощностей и легко устанавливается на стандартные персональные компьютеры. Благодаря интеграции с научной средой Jupyter Notebook и использованию библиотек Pandas и NumPy, она обеспечивает простой и быстрый расчет пожарных рисков, а также возможность подбора компенсирующих мероприятий. В отличие от многих коммерческих продуктов, программа прозрачна и воспроизводима, что облегчает проверку результатов. Программа проста в использовании и подходит как для научных исследований, так и для практической работы специалистов. Такой подход делает её ценным инструментом для быстрого и надежного анализа пожарного риска и разработки комплексных мероприятий по пожарной безопасности.

В Табл.7 представлено сравнение стоимости и времени на проведение работ по устранению нарушений обязательных требований и реализации компенсирующих мероприятий.

Табл.7. Сравнение стоимости и времени на проведение работ

Мероприятия	Приблизительная стоимость, руб.	Приблизительные сроки выполнения
Устранения нарушения обязательных требований	46 700 000	14 месяцев
Реализация компенсирующих мероприятий	11 100 000	6 месяцев

В результате произведенного расчета пожарного риска подтверждается эффективность и безопасность реализации компенсирующих мероприятий, которые позволят эксплуатировать административное здание с отступлением от нормативных требований пожарной безопасности.

Выполненный сравнительный анализ экономической эффективности показывает, что вариант с разработкой и реализацией компенсирующих мероприятий почти в 4 раза дешевле, чем выполнение обязательных требований. Реализация компенсирующих мероприятий может быть осуществлена в течение меньшего времени, чем устранение нарушений по предписанию, что позволит снизить время, в течение которого здание не будет эксплуатироваться или будет частично недоступно в связи с проведением работ. При этом уровень пожарной безопасности здания соответствует нормативным требованиям.

Стоит принять во внимание тот факт, что в типовых дополнительных профессиональных программах в области пожарной безопасности для ответственных должностных лиц, занимающих должности главных специалистов технического и производственного профиля, должностных лиц, исполняющих их обязанности, имеется модуль по оценке соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности, независимой оценке пожарного риска.

Заключение

Проведенный анализ выявил необходимость разработки компенсационных мер для обеспечения пожарной безопасности в административном здании, построенном по устаревшим нормативным требованиям.

Был предложен комплекс мероприятий, направленных на снижение пожарных рисков, включая:

1. Организацию аварийного освещения.
2. Установку противопожарных дверей.
3. Монтаж дренчерных завес.
4. Ограничение количества людей в здании.

Результаты выполненного расчета пожарных рисков позволяет утверждать, что реализация предлагаемых мероприятий позволит обеспечить необходимый уровень безопасности, с учетом отступления от обязательных требований нормативных документов по пожарной безопасности.

Экономический анализ показал, что внедрение компенсационных мер значительно выгоднее с точки зрения затрат, чем устранение всех нарушений требований пожарной безопасности.

Для повышения квалификационного уровня специалистов в области пожарной безопасности и работников, занимающихся обслуживанием зданий, следует внести дополнения в существующие образовательные программы, касающиеся изучения видов возможных компенсирующих мероприятий. Данная мера станет эффективным инструментом противодействия низкой осведомленности персонала о методах устранения нарушений и обеспечит надлежащий уровень пожарной безопасности объектов недвижимости.

Представленный подход основан на интеграции количественной оценки рисков с экономическим анализом эффективности компенсирующих мероприятий, что позволяет обеспечивать нормативный уровень пожарной безопасности, при этом сохраняя экономическую эффективность и рациональный подход при эксплуатации объектов недвижимости. В отличие от

традиционной практики, акцент делается на возможности гибкой модернизации объектов с учетом технических, финансовых и эксплуатационных ограничений.

Список источников

1. Белов А.Н. Некоторые аспекты уголовно-правового анализа нарушения требований пожарной безопасности // Сибирский юридический вестник. 2022. № 4 (99). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-ugolovno-pravovogo-analiza-narusheniya-trebovaniy-pozharnoy-bezopasnosti>. свободный.
2. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России). Официальный сайт [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/>. свободный.
3. Доклады с обобщением правоприменительной практики и руководством по соблюдению обязательных требований (утв. МЧС России 24.04.2024) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2024-04-26/08dabf2f34925ded519ac80f55f1b874.pdf>. свободный.
4. Гончаренко В.С., Четчина Т.А., Сибирко В.И. и др. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник / Рецензент: д-р техн.наук, проф. С.В. Соколов. — Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. — 114 с. — Режим доступа: <https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-disk-public%3A%2F%2FqJBGyvjeehDulMIAKIX0CerE%2FT24STJxC6SoQdWXTiRBgnrioP4zWvupyaN%2Fk%2BrHq%2FJ6bpmRyOJonT3VoXnDag%3D%3D&name=sbornik2021.pdf&nosw=1>.
5. Гончаренко В.С., Четчина Т.А., Сибирко В.И. и др. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информационно-аналитический сборник / Рецензент: д-р техн.наук, проф. С.В. Соколов. — Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. — 80 с. — Режим доступа: https://34.mchs.gov.ru/uploads/resource/2021-09-01/13-2-1-3-svody-pravil_1630505371346754682.pdf, свободный.
6. Гончаренко В.С., Четчина Т.А., Сибирко В.И. и др. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году: информационно-аналитический сборник / Рецензент: д-р техн.наук, проф. С.В. Соколов. — Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. — 110 с. — Режим доступа: <https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-disk-public%3A%2F%2FEY0Gyx4cWkuUPTpxoKE2NSzAzxFnY92SFBXXi0hZvCLV3IKO1naOllo8pS%2FHpniVq%2FJ6bpmRyOJonT3VoXnDag%3D%3D&name=Sbornik-2023-rogary.pdf&nosw=1>, свободный.
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – № 30. ч. 1. – Ст. 324.
8. Будыкина Т.А., Федотов С.Б., Ляшенко С.М. Оценка пожарной опасности объекта образования на основе термического анализа и определения расчетных величин пожарного риска // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2023. №2 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pozharnoy-opasnosti-obekta-obrazovaniya-na-osnove-termicheskogo-analiza-i-opredeleniya-raschetnyh-velichin-pozharnogo-riska>.
9. Ahmed W., Khudair B.H. Assessment Strategies of Fixed Firefighting system in Residential Multi-Story Building for Improving Fire Safety: A Review // Journal of Engineering. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.03.001>.
10. Mi H., Liu Y., Wang W., Xiao G. An Integrated Method for Fire Risk Assessment in Residential Buildings // Mathematical Problems in Engineering. 2020. Vol. 2020. P. 1-14. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/4753708>.
11. Alfalah G., Al-Shalwi M., Elshaboury N. et al. Development of Fire Safety Assessment Model for Buildings Using Analytic Hierarchy Process // Applied Sciences. 2023. URL: <https://doi.org/10.3390/app13052859>.
12. Cleef L., Yang M., Bouchaut B., Reniers G. Fire risk assessment tools for the built environment - An explorative study through a developers' survey // Fire Safety Journal. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103617>.

13. Фомичев Л.Ю., Минаева И.А. Вопросы импортозамещения для обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли // XVII Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России»: материалы конференции. — 2024. — № 17. — С. 40–41. — ISSN 2712-9004. — Режим доступа: https://xn--80aa3afkgvdf5he.xn--p1ai/AST-62_originalmaket_N.pdf, свободный.
14. Фомичев Л.Ю., Минаева И.А. Повышение надежности автоматической пожарной сигнализации на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Безопасность труда в промышленности. 2024. № 12. С. 47–52.
15. Бураков К.В. Расчеты пожарного риска и компенсирующие мероприятия // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. 2020. № 8. С. 23–27.
16. Bakirov I.K., Abdullin N.A., Pavlova Z.H. Research on the reliability of automatic fire alarms and their impact on safety in refinery // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 981. P. 032069. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/3/032069>.
17. Danzi E., Fiorentini L., Marmo L. FLAME: A Parametric Fire Risk Assessment Method Supporting Performance Based Approaches // Fire Technology. 2021. Vol. 57. P. 721–765. URL: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01014-9>.
18. Bakhtiyari S., Khalili R., Hosseinpour M.H. A risk-based approach for assessment and improvement of fire safety in existing buildings // Asian Journal of Civil Engineering. 2022. Vol. 23. P. 391 - 404. URL: <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00479-2>.
19. Кочнов О.В., Колбашов М.А., Савченко С.А., Князев В.Н., Хакимов М.А. Анализ и расчет надежности систем оповещения и эвакуации людей при пожаре для различных структурных построений // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. №4 (49). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-raschet-nadezhnosti-sistem-opovescheniya-i-evakuatsii-lyudey-pri-pozhare-dlya-razlichnyh-strukturnyh-postroeniy>.
20. Brzezińska D., Bryant P. Risk Index Method—A Tool for Sustainable, Holistic Building Fire Strategies // Sustainability. 2020. URL: <https://doi.org/10.3390/su12114469>.
21. Шаров И.Н. Эффективность оценки соответствия требованиям пожарной безопасности в форме федерального государственного пожарного надзора: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.10 / Шаров Иван Николаевич; [Место защиты: Акад. гос. противопожарной службы МЧС России]. - Москва, 2013. - 256 с.: ил.
22. Расследование и экспертиза пожаров: Учебное пособие / С. А. Назаров, В. В. Плешаков, И. А. Степанова [и др.]. – 1-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 289 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-15019-3. – EDN WGBAWG.
23. Фомичев Л.Ю. Программа для ЭВМ № 2024691344. Программа для определения расчетных величин пожарного риска в зданиях: № 2024691344: заявл. № 2024689642 от 08.12.2024: опубл. 20.12.2024. Бюл. № 12. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2024691344&TypeFile=html, свободный.

References

1. Belov, A.N. Some aspects of criminal-legal analysis of violations of fire safety requirements. *Siberian Legal Bulletin*, 2022, no. 4 (99). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-ugolovno-pravovogo-analiza-narusheniya-trebovaniy-pozharnoy-bezopasnosti> (in Russian).
2. Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia). Official website [Electronic resource]. Access mode: <https://www.mchs.gov.ru/>, free. (in Russian).
3. Reports summarizing law enforcement practices and guidelines for compliance with mandatory requirements (approved by EMERCOM of Russia on 24.04.2024) [Electronic resource]. Access mode: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2024-04-26/08dabf2f34925ded519ac80f55f1b874.pdf>, free. (in Russian).
4. Goncharenko, V.S., Chechetina, T.A., Sibirko, V.I., et al. Fires and Fire Safety in 2021: Statistical Collection / Reviewer: Dr. of Technical Sciences, Prof. S.V. Sokolov. Balashikha: FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2022. 114 p. Access mode: <https://docs.yandex.ru/docs/view?url=yadisk-public%3A%2F%2FqJBGyvjeehDulMIAKIX0CerE%2FT24STJxC6SoQdWXTiRBgnrioP4zWvupya>

N%2Fk%2BrHq%2FJ6bpmRyOJonT3VoXnDag%3D%3D&name=sbornik2021.pdf&nosw=1, free. (in Russian).

5. Goncharenko, V.S., Chechetina, T.A., Sibirko, V.I., et al. Fires and Fire Safety in 2022: Information and Analytical Collection / Reviewer: Dr. of Technical Sciences, Prof. S.V. Sokolov. Balashikha: FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2023. 80 p. Access mode: https://34.mchs.gov.ru/uploads/resource/2021-09-01/13-2-1-3-svody-pravil_1630505371346754682.pdf, free. (in Russian).

6. Goncharenko, V.S., Chechetina, T.A., Sibirko, V.I., et al. Fires and Fire Safety in 2023: Information and Analytical Collection / Reviewer: Dr. of Technical Sciences, Prof. S.V. Sokolov. Balashikha: FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2024. 110 p. Access mode: <https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-disk-public%3A%2F%2FEYOGyx4cWkuUPTpxoKE2NSzAzxFnY92SFBXXi0hZvCLV3IKO1naOllo8pS%2FHpnivq%2FJ6bpmRyOJonT3VoXnDag%3D%3D&name=Sbornik-2023-pogary.pdf&nosw=1>, free. (in Russian).

7. Technical regulations on fire safety requirements: Federal Law No. 123-FZ of 22.07.2008. Collection of Legislation of the Russian Federation, 2008, no. 30, part 1, art. 324. (in Russian)

8. Budykina, T.A., Fedotov, S.B., Lyashenko, S.M. Assessment of fire hazard of educational facilities based on thermal analysis and determination of calculated fire risk values. Scientific and Educational Problems of Civil Protection, 2023, no. 2 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pozharnoy-opasnosti-obekta-obrazovaniya-na-osnove-termicheskogo-analiza-i-opredeleniya-raschetnyh-velichin-pozharnogo-riska> (in Russian).

9. Ahmed, W., Khudair, B.H. Assessment Strategies of Fixed Firefighting system in Residential Multi-Story Building for Improving Fire Safety: A Review. Journal of Engineering, 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.03.001> (in English).

10. Mi, H., Liu, Y., Wang, W., Xiao, G. An Integrated Method for Fire Risk Assessment in Residential Buildings. Mathematical Problems in Engineering, 2020, vol. 2020, pp. 1-14. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/4753708> (in English).

11. Alfalah, G., Al-Shalwi, M., Elshaboury, N., et al. Development of Fire Safety Assessment Model for Buildings Using Analytic Hierarchy Process. Applied Sciences, 2023. URL: <https://doi.org/10.3390/app13052859> (in English).

12. Cleef, L., Yang, M., Bouchaut, B., Reniers, G. Fire risk assessment tools for the built environment - An explorative study through a developers' survey. Fire Safety Journal, 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103617> (in English).

13. Fomichev, L.Yu., Minaeva, I.A. Issues of import substitution to ensure fire safety at oil and gas facilities. XVII All-Russian Scientific and Technical Conference "Current Problems of the Development of the Oil and Gas Complex of Russia": Conference Proceedings, 2024, no. 17, pp. 40–41. ISSN 2712-9004. Access mode: https://xn--80aa3afkgvdf5he.xn--p1ai/AST-62_originalmaket_N.pdf, free.

14. Fomichev, L.Yu., Minaeva, I.A. Improving the reliability of automatic fire alarms at oil and oil product storage facilities. Occupational Safety in Industry, 2024, no. 12, pp. 47–52. (in Russian)

15. Burakov, K.V. Fire risk calculations and compensatory measures. Industrial and Environmental Safety, Occupational Safety, 2020, no. 8, pp. 23–27. (in Russian)

16. Bakirov, I.K., Abdullin, N.A., Pavlova, Z.H. Research on the reliability of automatic fire alarms and their impact on safety in refinery. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2022, vol. 981, p. 032069. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/3/032069> (in Russian).

17. Danzi, E., Fiorentini, L., Marmo, L. FLAME: A Parametric Fire Risk Assessment Method Supporting Performance Based Approaches. Fire Technology, 2021, vol. 57, pp. 721–765. URL: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01014-9> (in English).

18. Bakhtiyari, S., Khalili, R., Hosseinpour, M.H. A risk-based approach for assessment and improvement of fire safety in existing buildings. Asian Journal of Civil Engineering, 2022, vol. 23, pp. 391-404. URL: <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00479-2> (in English).

19. Kochnov, O.V., Kolbashov, M.A., Savchenko, S.A., Knyazev, V.N., Khakimov, M.A. Analysis and calculation of the reliability of fire alarm and evacuation systems for various structural configurations. Modern Problems of Civil Protection, 2023, no. 4 (49). URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-raschet-nadezhnosti-sistem-opovescheniya-i-evakuatsii-lyudey-pri-pozhare-dlya-razlichnyh-strukturnyh-postroeniy> (in Russian).

20. Brzezińska, D., Bryant, P. Risk Index Method—A Tool for Sustainable, Holistic Building Fire Strategies. Sustainability, 2020. URL: <https://doi.org/10.3390/su12114469> (in English).

21. Sharov, I. N. Effectiveness of Assessing Compliance with Fire Safety Requirements through Federal State Fire Supervision: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (05.13.10) / Ivan Nikolaevich Sharov; [Defense institution: Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia]. – Moscow, 2013. – 256 p.: ill. (in Russian)

22. Investigation and Forensic Analysis of Fires: Textbook / S. A. Nazarov, V. V. Pleshakov, I. A. Stepanova [et al.]. – 1st ed. – Moscow: Yurait Publishing House, 2022. – 289 p. – (Higher Education). – ISBN 978-5-534-15019-3. – EDN WGBAWG. (in Russian)

23. Fomichev, L.Yu. Computer program No. 2024691344. Program for determining calculated fire risk values in buildings: No. 2024691344: application No. 2024689642 dated 08.12.2024: published 20.12.2024. Bulletin No. 12. Access mode: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2024691344&TypeFile=html, free. (in Russian).

Информация об авторах

И.А. Минаева – кандидат технических наук

Information about the authors

I.A. Minaeva – Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.07.2025, одобрена после рецензирования 27.08.2025, принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 02.07.2025, approved after reviewing 27.08.2025, accepted for publication 01.09.2025.