

УДК 614.84

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ

Штерензон Вера Анатольевна^{1,2}, Худякова Светлана Александровна², Али Елена Борисовна³, Шпаньков Андрей Владимирович²

¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

² Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

³ Ижевский государственный технический университет, г. Ижевск, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе рассматриваются результаты комплексных исследований статистических показателей обстановки с пожарами применительно к системам пожарной автоматики за 2004–2023 гг. (по данным ВНИИПО МЧС России). Актуальность данного исследования определяется важностью оценки эффективности работы довольно дорогостоящих систем пожарной автоматики в контексте предотвращения пожаров и их негативных последствий. Исследовано влияние различных вариантов функционирования систем пожарной автоматики на количество погибших и травмированных и объем материального ущерба и спасенных материальных ценностей. Выявлена средняя и сильная корреляционная связь между материальным ущербом, количеством погибших и травмированных, спасенными материальными ценностями и количеством пожаров для тех ситуаций, когда система пожарной автоматики сработала и выполнила свою задачу. Исследование показало, что на объектах с установленными системами пожарной автоматики количество погибших/травмированных не превышало 2–3 % от общего количества погибших/травмированных, а вот материальный ущерб в отдельные годы даже при использовании систем пожарной автоматики достигал 30 % от общего материального ущерба. Для сравнения различных типов систем пожарной автоматики предложены критерий «относительная сохраненность ресурсов» и формула расчета указанного критерия. Сравнительный анализ различных типов систем пожарной автоматики по критерию «относительная сохраненность ресурсов» показал, что применение систем оповещения и управления эвакуацией способствует большему сохранению материальных и человеческих ресурсов.

Ключевые слова: пожар, показатели обстановки с пожарами, системы пожарной автоматики, статистический анализ, комплексное исследование

Для цитирования: Анализ результатов работы систем пожарной автоматики / В. А. Штерензон [и др.] // Техносферная безопасность. 2026. № 1 (50). С. 47–61.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE FIRE ALARM SYSTEMS OPERATION

Vera A. Shterenzon^{1,2}, Svetlana A. Khudyakova², Elena B. Ali³, Andrey V. Shpankov²

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russian Federation

² UISFS of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

³ Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. This paper examines the results of a comprehensive statistical study of fire safety indicators related to fire alarm systems for the period 2004–2023 (based on data from the VNIPO EMERCOM of Russia). The relevance of this study is determined by the importance of assessing the effectiveness of relatively expensive fire alarm systems in the context of fire prevention and their negative consequences. The impact of various fire alarm system operating options on the number of fatalities and injuries, the amount of material damage, and the amount of salvaged material assets is studied. A moderate to strong correlation was found between material damage, the number of fatalities and injuries, the amount of salvaged material assets, and the number of fires for those situations where the fire alarm system was activated and fulfilled its purpose. The study showed that at facilities with fire alarm systems installed, the number of fatalities and injuries did not exceed 2–3 % of the total number of fatalities and injuries, while material damage in some years, even with the use of fire alarm systems, reached 30 % of the total material damage. To compare different types of fire alarm systems, a "relative resource conservation" criterion and a calculation formula for this criterion are proposed. A comparative analysis of different types of fire alarm systems based on the "relative resource conservation" criterion revealed that the use of warning and evacuation management systems contributes to greater conservation of material and human resources.

Keywords: fire, fire situation indicators, fire automation systems, statistical analysis, comprehensive research

For citation: Analysis of the results of the fire alarm systems operation / V. A. Shterenzon et al. // Technospheric safety. 2026. No. 1 (50). Pp. 47–61.

Введение

Современные промышленные, логистические и социальные объекты, которые возводятся для длительной надежной эксплуатации, очень ресурсозатратны при создании и эксплуатации и, к сожалению, в значительной степени уязвимы с точки зрения пожарной опасности. Часто факторы, которые инициируют пожары, по своей «стоимости» несопоставимы с последствиями пожаров. Данные сайта Международной ассоциации пожарно-спасательных служб [1] свидетельствуют о том, что, несмотря на колоссальные финансовые и организационные усилия, даже в странах с высокотехнологичной экономикой [2] задачи обеспечения пожарной и тех-

носферной безопасности далеки от своего окончательного решения: в среднем за год в мире происходит более двух миллионов пожаров, погибают десятки тысяч человек, остаются травмированными сотни тысяч человек, совокупный материальный ущерб составляет десятки и сотни миллиардов денежных единиц. Именно поэтому уже на этапе создания любых инфраструктурных проектов параллельно решается вопрос их обеспечения наиболее эффективными системами и средствами пожарной безопасности — пожары в значительной степени влияют на стабильность, стоимость, инвестиционную привлекательность и перспективы инфраструктурных проектов, производственных и логистических процессов и систем.

Данная работа посвящена исследованию результатов работы систем пожарной автоматики. Исходными данными для исследования были статистические данные, опубликованные на сайте МЧС России [3] и в информационно-аналитических сборниках ВНИИПО «Статистика пожаров и их последствий» [4], конкретно — результаты работы пожарной автоматики при пожарах в 2004–2023 гг.

Анализ статистических данных ВНИИПО показал, что в течение рассмотренного периода:

- доля *пожаров* на объектах, оснащенных системами пожарной автоматики, не превышала 2 % от общего количества пожаров в Российской Федерации;
- доля *погибших* на объектах, оснащенных системами пожарной автоматики, не превышала 1,5 % от общего количества погибших на пожарах;
- доля *травмированных* на объектах, оснащенных системами пожарной автоматики, не превышала 3 % от общего количества травмированных на пожарах;
- доля *материального ущерба* на объектах, оснащенных системами пожарной автоматики, доходила до 30 % от общего материального ущерба от пожаров.

Эти данные (особенно доля материального ущерба) показывают, насколько важен вопрос изучения последствий функционирования систем пожарной автоматики. Системный анализ опубликованных результатов научно-прикладных изысканий в вопросе эффективности и последствий работы систем пожарной автоматики показал, что подобных исследований недостаточно и они чаще всего очень узко направлены на анализ функционирования конкретного вида систем пожарной автоматики в конкретных условиях эксплуатации [5–10].

Стоимость современных систем пожарной автоматики (с учетом проектирования, изготовления, монтажа, контроля и т. д.) составляет (в зависимости от типа и особенностей объекта, на котором устанавливается система пожарной автоматики, от ее целевого функционального назначения) от сотен тысяч до миллионов рублей. Последствия их успешного или неуспешного функционирования оцениваются в миллионы рублей и затрагивают десятки и сотни человеческих судеб. Эти два фактора делают актуальность исследования результатов и последствий работы систем пожарной автоматики очевидной.

Объект исследования — системы пожарной автоматики.

Предмет исследования — результаты работы и последствия функционирования систем пожарной автоматики.

Цель исследования — выявить особенности и закономерности влияния систем пожарной автоматики на показатели обстановки с пожарами.

Методы исследования — системный анализ статистических данных и результатов их обработки, математическое моделирование (методы регрессионного, корреляционного, дисперсионного анализа), методы сравнительного анализа.

Авторы статьи полагают, что полученные результаты исследования имеют определенную теоретическую и практическую ценность относительно более глубокого понимания результатов и последствий функционирования систем пожарной автоматики и могут быть использованы как в учебном процессе для обучающихся по специальности «Пожарная безопасность» и направлению подготовки «Техносферная безопасность», так и в последующих научно-практических

исследованиях эффективности применения конкретных систем пожарной автоматики.

Результаты исследований

Согласно СП 484.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования», система пожарной автоматики (далее — система ПА) — это совокупность взаимодействующих систем пожарной сигнализации, передачи извещений о пожаре, оповещения и управления эвакуацией людей, противодымной вентиляции, установок автоматического пожаротушения и иного оборудования автоматической противопожарной защиты, предназначенных для обеспечения пожарной безопасности объекта [11]. Соответственно, основное назначение систем ПА состоит в своевременном (т. е. как можно более раннем) обнаружении места возникновения пожара и оповещении людей, формировании регламентированных управляющих сигналов для систем оповещения с целью ускоренной эвакуации людей, формировании управляющих сигналов для систем автоматического тушения возникшего пожара и управления противопожарным оборудованием. Сама система ПА, ее архитектура, техническое и программное обеспечение, состав и расположение компонентов, интеграция с другими системами безопасности проектируются индивидуально под конкретный охраняемый объект и особенности его структуры и жизнедеятельности.

Вопросы проектирования, монтажа, эксплуатации систем ПА в Российской Федерации регламентируются ГОСТ Р 59638–2021 «Системы пожарной сигнализации.

Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность» [12]. Анализ вопроса оценки эффективности функционирования систем ПА позволяет выделить три группы количественных показателей:

- группа А: показатели функциональной надежности (показатели безотказности, долговечности, восстанавливаемости, сохраняемости, комплексные показатели);
- группа В: временные показатели (время обнаружения возгорания, время передачи управляющих сигналов, время срабатывания компонентов систем ПА);
- группа С: показатели, связанные с ложными срабатываниями систем ПА и их последствиями (количество ложных срабатываний в единицу времени, ущерб от порчи производственных, торговых, транспортных и т. д. систем, прерывания производственных процессов, неоправданной эвакуации людей).

Помимо своих естественных (физических) единиц измерения все перечисленные характеристики имеют еще и финансовое измерение. В связи с тем, что стратегической целью создания и использования систем ПА является максимальное снижение показателей обстановки с пожарами (количество погибших и травмированных, материальный ущерб и т. д.), авторы исследования полагают, что эти количественные показатели также можно использовать как косвенные показатели для анализа последствий функционирования систем ПА.

В соответствии с Федеральным законом № 69-ФЗ от 21.12.1994 «О пожарной безопасности» пожар — это неконтролируемое горение вне специального очага, распространяющееся во времени и пространстве

и причиняющее вред материальным ценностям. Пожар представляет собой развивающийся сложным образом во времени и в пространстве случайный процесс, в котором параллельно-последовательно протекают несколько физико-химических процессов. Факторы, которые приводят к пожару и способствуют его развитию, можно разделить на случайные и детерминированные.

К детерминированным факторам можно отнести: геометрические параметры помещений объектов возгорания (площадь, объем, высота помещения, наличие и количество окон и дверей, количество и расположение горючих материалов); наличие и характеристики систем противопожарной защиты (виды, марки, количество, характеристики, расположение) и др. Условно детерминированными можно считать физико-химические свойства горючих материалов и строительных материалов.

К случайным факторам можно отнести: место и время возникновения пожара, наличие или отсутствие горючих материалов в месте возникновения пожара, наличие (количество, тип, характеристики) горючих материалов в месте возникновения пожара, скорость ветра и направление воздушных потоков, влажность воздуха, отказы оборудования (тип и время возникновения отказа), действия людей (своевременные или несвоевременные, профессиональные или непрофессиональные) и т. д. Случайные факторы определяют возникновение и начальную стадию развития пожара, а детерминированные факторы определяют закономерности дальнейшего распространения огня и дыма, поэтому и показатели обстановки с пожарами носят случайный характер.

Сравнение случаев пожаров, в которых были задействованы системы ПА, с инцидентами, где такие системы отсутствовали

Исследование статистики пожаров за выбранный период 2004–2023 гг. показало следующие результаты.

- С начала 2000-х годов *материальный ущерб* на один пожар в случаях, когда была задействована ПА (независимо от результата ее функционирования), увеличился почти в десять раз. В то же время в ситуациях без установленной ПА материальный ущерб на один пожар изменялся в пределах одного порядка и значительно уступал показателям, связанным с наличием ПА.
- Число *погибших* на один пожар (в пересчете на 1 000 человек) для ситуаций, когда функционировала ПА, за исследуемый период уменьшилось на 25 %, но все равно значительно превышало число погибших на один пожар (в пересчете на 1 000 человек) для ситуаций без установленной ПА.
- Количество *травмированных* на один пожар (в расчете на 1 000 человек) в условиях, когда была предусмотрена ПА, за 2004–2023 гг. увеличивалось и варьировалось в значительных пределах, составляя в среднем от 40 до 120 человек. В то же время число травмированных на один пожар (в расчете на 1 000 человек) в условиях отсутствия ПА возрастало медленно и колебалось в более узком диапазоне: от 60 до 80 человек на пожар.

Системы ПА устанавливаются на объектах, подверженных высоким рискам катастрофических последствий от пожаров. Приведенные данные свидетельствуют о том,

что в течение исследуемого периода развитие и внедрение систем ПА способствовало снижению числа погибших в результате пожаров, «переведя» их в категорию травмированных, однако задача по уменьшению материального ущерба от пожаров не была успешно решена.

Анализ последствий пожаров по результатам функционирования систем ПА (без кластеризации по типам)

Результаты работы и последствия функционирования систем ПА зависят от двух интегративных по своей природе факторов:

- объект защиты: многоуровневость архитектуры, интенсивность и опасность протекающих внутри процессов, безопасность конструкции и строительных материалов, количество одновременно находящихся людей и т. д., каждый объект защиты относится к определенному классу функциональной пожарной опасности;
- система ПА: качество проектирования, изготовления, контроля и сборки, качество монтажа и технического обслуживания, тип, характеристики и качество огнетушащего вещества, профессиональная компетентность обслуживающего персонала и сотрудников противопожарной службы.

Анализ пожарных ситуаций, когда была задействована система ПА, за период 2004–2023 гг. показал следующее.

- В начале 2000-х годов доля пожаров, когда ПА срабатывала и выполняла свои функции, составляла менее 50 %. К 2021–2023 гг. этот показатель возрос до более чем 85 %. Это связано с тем, что за прошедшие два десятилетия возводимые объекты инфраструктуры

стали более сложными как в функциональном, так и в архитектурном плане, что, в свою очередь, привело к повышению их стоимости. На таких объектах, безусловно, устанавливается современная и более надежная ПА.

- В начале 2000-х гг. доля материального ущерба от случаев пожаров, когда ПА срабатывала и выполняла свои функции, составляла менее 40 %. К 2021–2023 гг. этот показатель вырос до 80–90 %. Причина в том, что появилось и появляется много новых сложных объектов инфраструктуры, стоимость которых кратно (а где-то и многократно) выросла.
- В начале 2000-х гг. доля травмированных людей на пожарах, когда ПА срабатывала и выполняла свои функции, составляла 40–50 %. К 2021–2023 гг. этот показатель повысился до 75–85 %. Это связано с укрупнением объектов инфраструктуры и повышением концентрации работающих или находящихся там людей.
- В начале 2000-х гг. доля погибших людей на пожарах, когда ПА срабатывала и выполнила свои функции, составляла 30–40 %. К 2021–2023 гг. этот показатель вырос до 60–70 %.

В исследуемый период наблюдалось снижение доли пожаров, при которых ПА срабатывала, но не выполняла функции: с 4,5 % до 1,5 %. Также зафиксировано уменьшение случаев полного отказа ПА (от 40 % до 10 %) и ситуаций, когда система не была включена вовсе (с 10 % до 4 %).

Доля материального ущерба от пожаров, в которых системы ПА не были включены, не сработали или не выполнили свою задачу, за исследуемый период 2004–2023 гг. в общем тренде уменьшалась, но по годам

и результатам ситуация проявлялась очень разнонаправленно без какой-то ярко выраженной достоверной закономерности.

Общий тренд для доли *погибших* от пожаров, в которых ПА сработала, но свою задачу не выполнила, не сработала или не была включена, — уменьшение, но не кардинальное. Более заметно за исследуемый период уменьшалась доля погибших от пожаров, в которых система ПА сработала, но свою задачу не выполнила (от 30 % до 3–5 %). Что касается доли погибших в ситуациях, когда ПА не была включена или не сработала, то тут наличие разнонаправленной статистики не позволило выявить достоверную временную закономерность.

За исследуемый период доля *травмированных* на пожарах, в которых ПА сработала, но свою задачу не выполнила, не сработала или не была включена, имела тенденцию к уменьшению в основном за счет ситуаций, когда ПА сработала, но свою задачу не выполнила. Для случаев, когда система ПА была не включена или не сработала, также наблюдается отсутствие более или менее выраженной временной закономерности.

Исследование последствий срабатывания систем ПА

Ранее было отмечено, что пожар как процесс во времени и в пространстве носит случайный характер; показатели обстановки с пожарами являются случайными величинами. При попытке найти взаимосвязь между показателями пожарной опасности речь не идет о функциональной связи между ними (в явном виде ее нет), поэтому для исследования этих величин были использованы методы статистического анализа. Показатели обстановки с пожарами были проверены на нормальность распределе-

ния, на наличие корреляционной связи. Были получены следующие результаты:

- в ситуациях пожаров, когда ПА не была подключена, корреляционной связи (даже средней) между материальным ущербом, количеством погибших и травмированных, спасенными материальными ценностями и количеством пожаров не выявлено;
- в ситуациях пожаров, когда ПА присутствовала, но не сработала, корреляционной связи между указанными показателями пожарной опасности не установлено;
- в ситуациях пожаров, когда ПА сработала, но свою задачу не выполнила, средняя корреляционная связь (коэффициент парной корреляции $r > 0,6$) выявлена только для зависимости числа погибших и травмированных от количества пожаров; между материальным ущербом, спасенными материальными ценностями и количеством пожаров корреляционной связи не выявлено;
- в ситуациях пожаров, когда ПА присутствовала, сработала, выполнила свою задачу, выявлена средняя и сильная корреляционная связь (коэффициент парной корреляции $r > 0,6$) между материальным ущербом, количеством погибших и травмированных, спасенными материальными ценностями и количеством пожаров; полученные математические модели можно использовать для решения предиктивных задач.

Детальный анализ временных трендов статистических показателей обстановки с пожарами по всем видам срабатывания ПА и всем объектам, на которых была установлена ПА, в период 2004–2023 гг. позволил сформулировать следующие выводы.

- При количестве пожаров менее 100–120 наибольшее количество *погибших* выявлено в ситуациях, где ПА не сработала, а наименьшее число погибших (как это следует из статистики ВНИИПО) — в ситуациях, когда ПА не была включена; с увеличением количества пожаров более 100–120 значительная доля погибших выявлена в ситуациях, когда ПА сработала, но свою задачу не выполнила.
- При количестве пожаров менее 100–120 наибольший *материальный ущерб* пришелся на те пожары, в которых ПА не сработала. С увеличением количества пожаров более 100–120 значительная часть материального ущерба приходилась на пожары, в которых ПА сработала, но свою задачу не выполнила. При значительном увеличении числа пожаров (более 1 000) основной материальный ущерб был при пожарах, в которых ПА сработала и свою задачу выполнила.
- При количестве пожаров менее 100–120 наибольший объем *спасенных материальных ценностей* выявлен в ситуациях, когда ПА не сработала. С увеличением количества пожаров более 100–120 эта величина уменьшается и при количестве пожаров более 1 000 основную роль в спасении материальных ценностей играют случаи, когда ПА сработала и свою задачу выполнила.
- При количестве пожаров менее 100–120 наибольшее количество *травмированных* выявлено в ситуациях, когда ПА не сработала. С увеличением количества пожаров более 100–120 наибольшее количество травмированных выявлено в ситуациях, когда ПА сработала, но не выполнила свою задачу.

Исследование последствий срабатывания различных систем ПА

В данном исследовании были рассмотрены следующие системы ПА, для которых в сборниках ВНИИПО [13] опубликованы статистические данные: системы охранно-пожарной и пожарной сигнализации, установки или модули пожаротушения, системы противодымной защиты, системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ), системы передачи извещений (СПИ).

Анализ статистических данных относительно обстановки с пожарами, приведенных в сборниках ВНИИПО, по указанным выше типам систем ПА позволил выделить следующие закономерности для исследуемого периода 2004–2023 гг.

- Доля *пожаров* (от общего количества пожаров с наличием систем ПА), в которых были задействованы установки пожарной сигнализации (независимо от результата срабатывания), всегда была больше по отношению к остальным видам ПА, возрастая от 30 % до 60 %. Доля пожаров, в которых были задействованы установки и модули пожаротушения, была наименьшей в пределах 5 %. До 2015 г. росла доля пожаров с установками охранно-пожарной сигнализации (от 28 % до 40 %), но далее она уменьшилась до 25 %. Доля пожаров с системами оповещения и управления эвакуацией не превышала 10 %.
- Показатели *материального ущерба*, приходящиеся на рассматриваемые типы систем ПА, изменялись хаотично, временных закономерностей не выявлено. Доля материального ущерба в ситуациях с работой систем противодымной защиты чаще всего была наи-

меньшей: наибольший материальный ущерб чаще всего был в ситуациях с установками пожарной сигнализации.

- Наибольшая доля *погибших* была выявлена в ситуациях с присутствием установок пожарной сигнализации. Эта величина в течение исследуемого периода возрастала от 30 % до 70 %. Влияние остальных видов систем ПА хаотичен и не имеет временных закономерностей.
- Наибольшая доля *травмированных* была также выявлена в ситуациях с присутствием установок пожарной сигнализации. Эта величина в течение исследуемого периода возрастала от 50 % до 75 %. Наибольшее количество травмированных зафиксировано в тех случаях, когда функционировали системы пожарной сигнализации совместно с противодымной защитой.

Если проанализировать общие и усредненные значения показателей обстановки с пожарами в ситуациях, где были задействованы рассматриваемые типы систем ПА (независимо от результата срабатывания) за исследуемый период 2004–2023 гг., то можно отметить, что за указанный период более 80 % пожаров, более 80 % материального ущерба, более 60 % спасенных материальных ценностей, более 75 % погибших и более 75 % травмированных были в ситуациях, когда работали установки охранно-пожарной сигнализации и установки пожарной сигнализации. Наибольшая доля пожаров, материального ущерба, спасенных материальных ценностей, погибших и травмированных в ситуациях применения систем пожарной автоматики приходилась на установки пожарной сигнализации; наименьшая доля пожаров, погибших, травмированных приходилась на системы

оповещения и управления эвакуацией, а наименьшая доля материального ущерба и спасенных материальных ценностей приходилась на системы противодымной защиты.

Исследование влияния количества пожаров на материальный ущерб, спасенные материальные ценности, количество погибших и травмированных на основании статистических данных ВНИИПО позволило сделать следующие выводы.

- При количестве пожаров менее 100–120 больше всего *погибших* (в среднем 40 человек в год независимо от числа пожаров) выявлено в ситуациях с присутствием установок охранно-пожарных сигнализаций; в ситуациях пожаров, где были задействованы остальные типы рассматриваемых систем пожарной автоматики, погибших в 4–5 раз меньше; с увеличением количества пожаров более 100–120 начинает возрастать количество погибших в ситуациях, где задействованы установки и модули пожаротушения (коэффициент парной корреляции $>0,6$). Влияние установок пожарно-охранной сигнализации уменьшается, в то время как роль других систем пожарной автоматики остается незначительной.
- При количестве пожаров менее 100–120 *большой материальный ущерб* присутствовал в тех случаях, когда использовались установки и модули пожаротушения; при этом *материальный ущерб* постепенно снижался; влияние остальных видов систем ПА на материальный ущерб меньше. При количестве пожаров более 100–120 с увеличением количества пожаров резко возрастает материальный ущерб в случаях применения систем оповещения и управления

эвакуацией (коэффициент парной корреляции $>0,5$). При количестве пожаров более 500 начинает возрастать материальный ущерб при установках пожарной сигнализации (коэффициент парной корреляции $>0,7$). При количестве пожаров более 1 200 наибольший материальный ущерб возникает в ситуациях с установками пожарной сигнализации (коэффициент парной корреляции $>0,6$).

- При количестве пожаров менее 100–120 больше всего *материальных ценностей* было спасено в случаях, связанных с установками охранно-пожарной сигнализации, а также системами и модулями пожаротушения. Когда количество пожаров превышает 100–120, наибольшее количество спасенных ценностей наблюдается при использовании установок и модулей пожаротушения, в то время как системы оповещения и управления эвакуацией показали менее эффективные результаты. Остальные типы систем ПА обеспечили гораздо меньшую сохранность материальных ценностей.
- При количестве пожаров менее 100–120 большее количество *травмированных* было зафиксировано в ситуациях с установками пожарной сигнализации (пожарная сигнализация) и системами противодымной защиты. При количестве пожаров более 100–120 больше всего травмированных было зафиксировано в ситуациях с установками пожарной сигнализации (коэффициент парной корреляции $>0,5$), в ситуациях с установками и модулями пожаротушения и системами оповещения и управления эвакуацией, меньшее количество травмированных — в ситуациях с системами оповещения и управления эвакуацией.

Сравнение систем ПА по показателю «количество погибших на один пожар (на 1 000 человек)» в ситуациях, когда система сработала и выполнила свою функцию, продемонстрировало, что наибольшее количество погибших наблюдается в случаях функционирования систем противодымной защиты и систем оповещения и управления эвакуацией. Наименьшее число жертв зафиксировано при работе установок пожарно-охранной сигнализации.

Сравнение систем ПА по критерию «количество травмированных на один пожар (на 1 000 человек)» в ситуациях, когда система сработала и выполнила свою функцию, показало, что больше всего на один пожар травмировалось также в случаях работы систем противодымной защиты и систем оповещения и управления эвакуацией, а меньше всего — при работе установок пожарно-охранной сигнализации.

Сравнение систем ПА по критерию «материальный ущерб» на один пожар в ситуациях, когда система сработала и выполнила свою функцию, показало, что больше всего материального ущерба на один пожар было получено также в случаях работы систем оповещения и управления эвакуацией, а меньше всего — при работе установок пожарной сигнализации и систем противодымной защиты.

Сравнение систем ПА по критерию «спасенные материальные ценности» на один пожар в ситуациях, когда система сработала и выполнила свою функцию, показало, что больше всего на один пожар было спасено также в случаях работы систем оповещения и управления эвакуацией и установок и модулей пожаротушения, а меньше всего — при работе установок пожарной сигнализации и систем противодымной защиты.

Ранее было отмечено, что стратегическая цель разработки и применения систем пожарной автоматики — снижение количества пострадавших от пожара (погибших и травмированных) и снижение материального ущерба. Изложенные выше результаты не совсем однозначны (и где-то даже противоположны), так как функционирование систем пожарной автоматики может иметь как потенциально негативные, так и положительные послед-

ствия; мы имеем дело со случайными процессами и случайными значениями показателей обстановки с пожарами. Поэтому в качестве критерия эффективности выполнения системой ПА заложенного в нее функционала предлагается критерий «относительная сохраненность ресурсов». Тогда для сравнения систем ПА можно предложить следующий безразмерный коэффициент K «относительная сохраненность ресурсов»:

$$K = \frac{SM \ Nt}{MD \ Nd} ,$$

где:

SM — спасенные материальные ценности, тыс. руб.;

MD — материальный ущерб, тыс. руб.;

Nt — количество травмированных, чел.;

Nd — количество погибших, чел.

Фактически коэффициент K отражает, как соотносятся спасенные во время ликвидации пожара ресурсы (люди и материальные ценности) с «потерями» этих ресурсов от пожара. Коэффициент K может принимать только положительные значения. Если материальный ущерб больше спасенных материальных ценностей и количество погибших больше количества травмированных, то это означает, что потери от результатов работы системы ПА больше сохраненных человеческих жизней и материальных ресурсов. В этом случае можно говорить, что система ПА недостаточно эффективно справилась со своим функциональным назначением. Чем больше по значению коэффициент K , тем меньше материальный ущерб по отношению к спасенным материальным ценностям и количество погибших меньше по отношению к травмированным (но живым). В этом случае можно говорить о более эффективной работе системы ПА.

В данном исследовании был выполнен расчет коэффициента K для рассматриваемых

типов систем ПА (установки охранно-пожарной сигнализации, установки пожарной сигнализации, установки и модули пожаротушения, системы противодымной защиты, системы оповещения и управления эвакуацией) за исследуемый период 2004–2023 гг. Чаще всего максимальные значения коэффициента K соответствовали системам оповещения и управления эвакуацией, причем с 2004 г. до 2015 г. наблюдалось уменьшение этого коэффициента (т. е. эффективность этих систем тоже уменьшалась), но в последующие годы ситуация восстановилась. На втором месте — системы противодымной защиты. Остальные типы систем ПА были менее эффективны с точки зрения рассматриваемого критерия, хуже всего показатели у систем охранно-пожарной сигнализации.

Также был выполнен расчет коэффициента K для случаев пожаров 2004–2023 гг., когда каждая из рассматриваемых систем ПА сработала и выполнила свою функцию. В данном исследовании эффективность

систем оповещения и управления эвакуацией по отношению к другим системам ПА также оказалась выше. На втором месте — установки и модули пожаротушения. Хуже всего по введенному критерию относительной сохраненности ресурсов показатели у систем охранно-пожарной сигнализации.

Выводы и заключение

Актуальность исследования последствий срабатывания систем ПА связана с ключевыми аспектами их успешного функционирования: технологический аспект (интеграция с современными цифровыми системами управления обнаружением и тушением пожаров, обеспечение безопасности уникальных объектов, снижение ложных срабатываний), нормативный правовой аспект (согласование с международными нормативными правовыми документами), экономический аспект (повышение эффективности систем пожарной автоматики позволяет значительно сократить потери от пожаров), социальный аспект (повышение культуры безопасности и психологического комфорта людей), научно-прикладной аспект (разработка математических моделей для прогнозирования развития пожара и оценки рисков, моделирование влияния человеческого фактора на эффективность пожарной автоматики).

Статистический анализ данных функционирования различных типов систем ПА в период 2004–2023 гг. выявил их крайне неоднородное влияние на показатели обстановки с пожарами. Результаты сравнительного анализа последствий функционирования различных типов систем автоматики по предложенному критерию относительной сохраненности ресурсов показали, что системы

оповещения и управления эвакуацией больше способствуют сохранению материальных и человеческих ресурсов.

Авторы статьи полагают, что полученные результаты анализа последствий функционирования различных типов систем ПА можно использовать для углубления знаний и для развития исследовательских и системно-аналитических компетенций у курсантов и слушателей вузов МЧС по рассмотренному вопросу. Полученные в исследовании результаты расширяют понимание последствий возникновения пожаров при различных вариантах срабатывания рассмотренных систем ПА.

По данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕСМИИС) [14] в 2024 г. объем сегмента ПА вырос на 12 % и достиг почти 55 млрд руб., рынок практически полностью занят российскими экосистемами пожарной безопасности. Их конкурентное преимущество — высокие скорости работы алгоритмов управления компонентов систем и устойчивость при масштабировании. Традиционно доминирующее место в структуре распределения систем пожарной безопасности занимают инфраструктурные объекты социального назначения (жилые здания, образовательные и медицинские организации и т. д.). Значительную группу также составляют производственные, складские, логистические объекты. В связи с расширением производственных кластеров, наращиванием логистической инфраструктуры, а также импортозамещением потребность в современных высокотехнологичных системах пожарной безопасности будет только возрастать. Вопрос экономической целесообразности производства системы ПА напрямую определяется надежностью и качеством

системы, затратами на ее производство, востребованностью и ценами на рынке. Решение этого вопроса невозможно без системных научно-прикладных изысканий и оценки влияния различных типов систем ПА и результатов их функционирования на показатели пожарной опасности. Авторы

полагают, что полученные результаты создают обоснованные предпосылки для дальнейших исследований влияния технико-технологических и экономических показателей систем ПА различных производителей на показатели обстановки с пожарами в случаях применения этих систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. The International Association of Fire Services. URL: <https://www.ctif.org/> (дата обращения: 25.09.2025).
2. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П. Анализ обстановки с пожарами в США // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 3. С. 98–104. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54796914> (дата обращения: 25.09.2025). DOI 10.25257/FE.2023.3.98-104
3. Итоги деятельности МЧС России. URL: <https://clck.ru/3RuqhQ> (дата обращения: 25.09.2025).
4. Сайт ФГБУ ВНИИПО МЧС России. URL: <https://www.vniipo.ru/> (дата обращения: 25.09.2025).
5. Демехин Ф. В. Методологические основы совершенствования автоматизированных систем противопожарной защиты предприятий нефтеперерабатывающего комплекса с применением видеотехнологий : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. СПб., 2009. 43 с.
6. Зубарева В. А., Пашкевич Н. А., Апальков А. С. Анализ эффективности использования систем обнаружения и предотвращения пожара на промышленных предприятиях // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2012. № 2. С. 157–162. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993898> (дата обращения: 25.09.2025).
7. Перец Н. А. Анализ эффективности систем автоматической пожарной сигнализации в условиях массового скопления людей // Вестник науки. 2025. Т. 4. № 7 (88). С. 397–402.
8. Порошин А. А., Кондашов А. А., Сибирко В. И. Оценка работоспособности систем пожарной сигнализации на объектах жилого фонда за период с 2016 по 2020 гг. // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 1 (91). С. 19–29. DOI: 10.25257/TTS.2021.1.91.19-32
9. Обстановка с пожарами и эффективность срабатывания систем пожарной сигнализации на объектах судоходства / А. А. Порошин [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. 2022. № 3. С. 37–47. URL: <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-37-47> (дата обращения: 25.09.2025).
10. Соколов С. В., Костюченко Д. В. Эффективность средств пожарной автоматики на пожарах в жилых домах // Пожарная автоматика. Взрывобезопасность. 2014. № 6, Т. 23. С. 70–75. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22018782> (дата обращения: 25.09.2025).

11. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования. М., 2020. 23 с.
12. ГОСТ Р 59638–2021. Системы пожарной сигнализации. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность. М., 2021. 19 с.
13. Пожары и пожарная безопасность в 2023 г. : информационно-аналитический сборник. Балашиха, 2024. 110 с.
14. Чудакова И., Воронин Д. Пожарная отрасль — в огне реформ // Рубеж : информационно-аналитический журнал. URL: <https://ru-bezh.ru/infografika/pozharnaya-otrasl-v-ogne-reform> (дата обращения: 25.09.2025).

REFERENCES

1. The International Association of Fire Services. URL: <https://www.ctif.org/> (accessed 25.09.2025).
2. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Grigorieva M. P. Analysis of the fire situation in the USA // Fires and emergencies: prevention, liquidation. 2023. No. 3. Pp. 98–104. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54796914> (accessed 25.09.2025). DOI 10.25257/FE.2023.3.98-104
3. Results of the activities of the Ministry of Emergency Situations of Russia. URL: <https://clck.ru/3RuqhQ> (accessed 25.09.2025).
4. Website of the Federal State Budgetary Institution VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia. URL: <https://www.vniipo.ru/> (accessed 25.09.2025).
5. Demehin F. V. Methodological foundations for improving automated fire protection systems at oil refining enterprises using video technologies : Abstract of a Doctor of Technical Sciences dissertation. St. Petersburg. 2009. 43 p.
6. Zubareva V. A., Pashkevich N. A., Apalkov A. S. Analysis of the efficiency of using fire detection and prevention systems at industrial enterprises // Bulletin of the Scientific Center for Safety in the Coal Industry. 2012. No. 2. Pp. 157–162. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993898> (accessed 25.09.2025).
7. Perets N. A. Analysis of the efficiency of automatic fire alarm systems in conditions of mass gatherings of people // Bulletin of Science. 2025. Vol. 4. No. 7 (88). Pp. 397–402.
8. Poroshin A. A., Kondashov A. A., Sibirko V. I. Assessment of the performance of fire alarm systems at residential buildings for the period from 2016 to 2020 // Technologies of technosphere safety. 2021. No. 1 (91). Pp. 19–29. DOI: 10.25257/TTS.2021.1.91.19-32
9. Fire situation and efficiency of fire alarm systems at shipping facilities / A. A. Poroshin et al. // Safety of man-made and natural systems. 2022. No. 3. Pp. 37–47. URL: <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-37-47> (accessed 25.09.2025).
10. Sokolov S. V., Kostyuchenko D. V. Efficiency of fire automatic systems during fires in residential buildings // Fire automatics. Explosion safety. 2014. No. 6. Vol. 23. Pp. 70–75. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22018782> (accessed 25.09.2025).
11. SP 484.1311500.2020. Fire Protection Systems. Fire Alarm Systems and Automation of Fire Protection Systems. Design Standards and Rules. Moscow, 2020. 23 p.

12. GOST R 59638–2021. Fire Alarm Systems. Guidelines for Design, Installation, Maintenance, and Repair. Performance Test Methods. Moscow, 2021. 19 p.
13. Fires and Fire Safety in 2023 : Information and Analytical Collection. Balashikha, 2024. 110 p.
14. Chudakova I., Voronin D. The Fire Industry — in the Fire of Reform // Rubezh. URL: <https://ru-bezh.ru/infografika/pozharnaya-otrasl-v-ogne-reform> (accessed 25.09.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Штерензон Вера Анатольевна, канд. техн. наук, доцент, доцент Уральского федерального университета (620002, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19); доцент Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 660374; ORCID 0000-0001-5265-9489; e-mail: v.a.shterenzon@urfu.ru

Худякова Светлана Александровна, канд. пед. наук, доцент, начальник кафедры математики и информатики Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 788349; e-mail: hudyakovac@mail.ru

Али Елена Борисовна, канд. техн. наук, доцент, доцент Ижевского государственного технического университета (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7); РИНЦ ID: 368391; ORCID 0000-0001-8380-8248; e-mail: Leb06@mail.ru

Шпаньков Андрей Владимирович, старший преподаватель кафедры математики и информатики Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 851206; e-mail: shpankov_andrey@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vera A. Shterenzon, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Ural Federal University (19 Mira St., Yekaterinburg, 620022, Russian Federation), Associate Professor of UISFS of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Yekaterinburg, 620062, Russian Federation); ID RSCI: 660374; ORCID 0000-0001-5265-9489; e-mail: v.a.shterenzon@urfu.ru

Svetlana A. Khudyakova, Cand. Sci. (Ped.), Associate Professor, Head of Department, UISFS of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Yekaterinburg, 620062, Russian Federation); ID RSCI: 788349; e-mail: hudyakovac@mail.ru

Elena B. Ali, Cand. Sci (Eng), Associate Professor, Izhevsk State Technical University (7 Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Russian Federation); ID RSCI: 368391; ORCID: 0000-0001-8380-8248; e-mail: Leb06@mail.ru

Andrey V. Shpankov, Senior lecturer, UISFS of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Yekaterinburg, 620062, Russian Federation); ID RSCI: 851206; e-mail: shpankov_andrey@mail.ru