

УДК 614.835.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Э. Ф. РАХМАТУЛЛИНА, А. В. ПЕРМЯКОВ, И. Ф. ХАФИЗОВ, Ф. Ш. ХАФИЗОВ

Уфимский государственный нефтяной технический университет,

Российская Федерация, г. Уфа

E-mail: rahmatullina_elina@mail.ru, fanil150656@mail.ru, ildar.hafizov@mail.ru, senya2512@yandex.ru

Статья посвящена исследованию механизмов ложных срабатываний автоматических установок пожарной сигнализации на нефтегазовых объектах. Рассматривается значимость адаптивных методов проектирования и мониторинга систем противопожарной защиты, позволяющих повысить помехоустойчивость и снизить вероятность ошибочных сигналов. Предлагается анализ возможных факторов, способных провоцировать неправильное функционирование детекторов, включая электромагнитные импульсы, дефицит технического обслуживания и недостатки проектирования. Изучены публикации А. В. Александровой, Я. Андрианова и других исследователей, освещающих модернизацию противопожарных систем в разных условиях эксплуатации. Внимание уделено способам адресного контроля и принципам корректной расстановки извещателей с учетом помех, возникающих при взаимодействии с технологическим оборудованием. Работа ставит цель расширить представление о влиянии человеческого фактора, вдобавок сформулировать подходы к улучшению технических решений. Для достижения поставленной задачи применены сравнительный анализ, критический обзор и систематизация сведений. В работе рассматриваются пути координации решений на этапе проектирования и последующего обслуживания. В заключительной части приводятся выводы о путях оптимизации пожарных систем. Предлагаемый материал ориентирован на специалистов в области пожарной безопасности и инженеров-проектировщиков.

Ключевые слова: ложные срабатывания, пожарная сигнализация, нефтегазовые объекты, помехоустойчивость, автоматические извещатели, беспроводные системы.

STUDY OF FALSE ALARMS OF AUTOMATIC FIRE ALARM SYSTEMS AT OIL AND GAS SITES

E. F. RAKHMATULLINA, A. V. PERMYAKOV, I. F. KHAFIZOV, F. Sh. KHAFIZOV

Ufa State Petroleum Technological University,

Russian Federation, Ufa

E-mail: rahmatullina_elina@mail.ru, fanil150656@mail.ru, ildar.hafizov@mail.ru, senya2512@yandex.ru

The article is devoted to the study of mechanisms of false responses of automatic fire alarm systems at oil and gas facilities. The importance of adaptive methods for designing and monitoring fire protection systems, which improve noise immunity and reduce the probability of erroneous signals, is considered. An analysis of possible factors that can provoke incorrect functioning of detectors, including electromagnetic pulses, lack of maintenance and design flaws is proposed. The publications of A. V. Alexandrova, Ya. Andrianov and other researchers covering the modernization of fire protection systems in different operating conditions are studied. Attention is paid to the methods of address control and the principles of correct placement of detectors taking into account the interference that occurs during interaction with process equipment. The work aims to expand the understanding of the influence of the human factor, in addition to formulating approaches to improving technical solutions. To achieve this goal, comparative analysis, critical review and systematization of information are used. The work considers ways to coordinate decisions at the design stage and subsequent maintenance. The final part provides conclusions on ways to optimize fire systems. The proposed material is intended for fire safety specialists and design engineers.

Keywords: false alarms, fire alarm, oil and gas facilities, noise immunity, automatic detectors, wireless systems.

Введение

Развитие нефтегазовой отрасли сопровождается повышенными требованиями к пожарной безопасности, поскольку любые непредвиденные отклонения в работе противопожарных систем приводят к угрожающим последствиям. Восприимчивость автоматических установок к внешним помехам и недостаткам проектирования порождает повышенное число ошибочных тревог, ослабляющих готовность персонала реагировать на реальные опасности.

Цель работы состоит в обосновании подходов к снижению вероятности ложных срабатываний пожарной сигнализации на указанных объектах. Задачи включают:

- 1) выявление основных факторов, провоцирующих ложные тревоги;
- 2) анализ недоработок при установке извещателей и обслуживании систем;
- 3) предложение методических рекомендаций для оптимизации технической и организационной структуры противопожарной защиты.

Новизна исследования состоит в рассмотрении уязвимостей проводных и беспроводных решений, совместно с анализом влияния человеческого фактора на итоговую надежность. Синтез полученных результатов предоставляет возможность целенаправленно менять проектные схемы и процедуры эксплуатации с учетом условий деятельности предприятий нефтегазовой сферы.

Материалы и методы

Для формирования теоретической базы были проанализированы работы С. В. Юртаева [19], где описаны частые сбои проводных извещателей при первом запуске, и Я. Андрианова [2], рассматривающего специфику противопожарной защиты на масштабных нефтегазовых площадках. В исследованиях М. О. Горячевой [5] приводится упоминание о влиянии неверной настройки порогов газоанализаторов, что вызывает ложные сигналы на объектах водородной энергетики и нефтегазового сектора. Д. А. Пасечник [10] акцентирует внимание на связке пожарных извещателей с установками тушения, а А. В. Александрова [1] указывает на повышенную частоту технических ошибок при интенсивном воздействии вибраций и электромагнитных наводок. Труды В. С. Бутко [3] и В. С. Глушко [4] затрагивают беспроводные решения, обладающие лучшей устойчивостью к внешним помехам, хотя условия связи требуют контроля. Исследования Д. С. Иванкова [6] отражают проблему совместного использования ручных и автоматических извещателей, а публикации Д. В. Шихалева [17; 18] и Рахматуллиной [12-16]

демонстрируют зависимость ложных срабатываний от уровня организационной координации.

Методы исследования включали сравнительный подход, анализ источников и обобщение материалов, позволяющее структурировать сведения по проблеме сбоев в пожарной сигнализации.

Результаты

Собранные сведения указывают, что ложное срабатывание автоматических установок пожарной сигнализации на объектах нефтегазовой сферы нередко связано с особенностями монтажа и последующей эксплуатации систем обнаружения, а также с внешними возмущающими воздействиями. В работе В. С. Бутко [3] указывается, что одной из основных проблем при использовании проводных систем обнаружения пожаров на КВО нефтегазовой отрасли являются ложные срабатывания, которые чаще всего возникают в результате воздействия электромагнитных импульсов от энергетических установок и грозовых разрядов на шлейфы проводных систем пожарной сигнализации. Здесь наблюдается зависимость возникновения ошибочных сигналов от протяженности проводных линий, которые способны воспринимать электромагнитные помехи. Аналогичные примеры зафиксированы при работе датчиков вблизи высоковольтного оборудования и при частых атмосферных разрядах.

При анализе материалов С. В. Юртаева [19] выявлено, что система пожарной сигнализации на старте эксплуатации нередко оказывается подвержена дефектам, появляющимся при первых запусках, если установка проводилась в сжатые сроки и без учета возможной внешней среды. Автор отмечает, что иногда ложные срабатывания возникают на ранних стадиях эксплуатации системы. Это может быть вызвано «ранней смертностью» компонентов, плохим расположением секторов, которое не было определено заранее, воздействием окружающей среды, которое не было оценено до передачи. В дальнейшем некорректная реакция пожарных извещателей усугубляется отсутствием должного обслуживания и своевременной калибровки чувствительных элементов.

Примеры системного подхода к оборудованию нефтебазы приводятся в исследовании Д. В. Шихалева [17]. Автор описывает схему оповещения и управления эвакуацией с учетом локальных модулей, которые подают сигнал на центральный пульт при наличии любого отклонения от нормы. Система мониторинга автоматических систем противопожарной защиты должна выполнять сбор данных о пожарах (авариях) и стихийных бедствиях, производить контроль надежности и работоспособности систем противопожарной защиты. Система осущест-

вляет мониторинг по пожарным (пожар, тревога и др.) и сервисным (неисправность, снятие шлейфа и др.) извещениям. Как и в системе СМИС, здесь отсутствуют какие-либо меры по поддержке принятия решений в ходе мониторинга. Функции системы сводятся к передаче сообщений о состоянии систем противопожарной защиты в организацию, осуществляющую мониторинг. Однако повышенный риск ошибочных включений формируется при наличии неадресных извещателей, так как в этом случае диспетчер фиксирует только сам факт «тревоги» без уточнения места возможного возгорания, что затрудняет проверку и нередко провоцирует ненужные вызовы дежурных служб.

Исследования Д. А. Пасечника [10] дополнительно свидетельствуют о том, что автоматическая пожарная защита нефтегазовых объектов достигает цели лишь при сочетании корректной системы оповещения с надежными установками тушения. Сбой любого звена часто сопровождается ложными срабатываниями, поскольку сбалансированность автоматических датчиков с инженерными модулями позволяет поддерживать требуемый уровень безопасности без избыточных тревожных сигналов. В работе [1] делается вывод о важности грамотного распределения извещателей на технологических участках, где присутствует вероятность воздействия вибраций и импульсных помех.

В публикации [4] рассмотрен пример объединения средств обнаружения повышенной чувствительности в комплекс мониторинга окружающей среды. Предполагается, что так достигается анализ суммарного массива данных, позволяющий распознать ранние стадии развития пожара. При этом, если логический блок не научен дифференцировать истинный сигнал возгорания и единичные всплески концентраций загрязнений, возрастает риск ложных срабатываний. Аналогичные случаи упомянуты в материале [5], где подчеркивается значительная роль корректного программирования контроллеров и прецизионной настройки порогов в газоанализаторах, призванных детектировать утечки углеводородов.

Труды [17; 18] указывают, что ошибка в выборе зон контроля либо некорректная увязка организационных процедур с техническими средствами приводит к лавинообразному росту числа ложных тревог: сотрудники не успевают проверять все сигналы, уровень внимания падает, а система автоматически регистрирует все срабатывания как потенциально реальные. В результате общий уровень защиты снижается, поскольку персонал теряет бдительность из-за чрезмерного потока недостоверных сообщений. Значительную опасность представляют ложные тревоги при выгрузке нефтепродуктов на открытых площадках, где отключение

насосного оборудования по ложно зафиксированному возгоранию способно вызвать переполнение резервуара или утечку.

В ходе анализа примеров, представленных в работе [6], выявлены ошибки совместного использования ручных и тепловых извещателей: при одновременном сигнале от ручного датчика и сработке теплового сенсора персонал ошибочно исключал вариант сбоя и проводил остановку технологического цикла, что приводило к неоправданным расходам и нарушению производственного расписания. В ряде других случаев наблюдалось самовольное отключение системы, если персонал считал частые ложные сигналы результатом технического сбоя извещателей.

Учет перечисленных примеров и статистических данных из проанализированных источников дает основание констатировать, что ложные срабатывания на объектах нефтегазовой отрасли напрямую связаны с уровнем устойчивости программно-технических модулей обнаружения к электромагнитным импульсам, качеством монтажа, последующей пусконаладкой, периодическим обслуживанием и правильным распределением извещателей по зонам. Значительная часть ложных сигналов возникает из-за недоработок, допущенных при проектировании, когда не исследованы фоновые условия, обеспечивающие высокую помехозащищенность аппаратуры. Ситуация осложняется влиянием человеческого фактора, включая неверные действия персонала при обслуживании и тестировании пожарной автоматики. Одним из действенных инструментов снижения доли ложных сигналов выступают модернизированные беспроводные решения, чья помехоустойчивость выше проводных систем, однако в процессе их применения необходим постоянный контроль за надежностью каналов связи.

Суммарная оценка представленных в литературе примеров показывает, что первостепенное значение в уменьшении количества ложных срабатываний принадлежит корректному проектированию шлейфов, исключению избыточных линий, применению адресных меток, а также согласованию температуры, задымленности и газовых параметров при пороговых значениях. Исходя из приведенных выводов, целесообразно проводить оценку физического состояния извещателей, их расположения и алгоритма обработки данных. Полноценная интеграция систем контроля загазованности с модулями раннего распознавания пожара при применении адаптивных настроек способна снизить число ошибочных включений, обеспечивая бесперебойную работу автоматических систем на нефтегазовых предприятиях.

Для количественного анализа поведения датчиков на объектах нефтегазовой сферы

применена модель поиска оптимального порога реагирования. Пусть входной сигнал $x(t)$ накапливается в интеграторе и сравнивается с уровнем k . Случайное отклонение $x(t)$ представлено как сумма полезной компоненты $s(t)$ при наличии истинного возгорания и шума $n(t)$, обусловленного внешними электромагнитными помехами. Если $x(t) \geq k$, формируется тревожное событие. При этом ошибочная реакция датчика связана с вероятностью ложной тревоги P_F , вычисляемой по формуле (1):

$$P_F = \int_k^{\infty} f_n(x) dx, \quad (1)$$

где $f_n x$ – функция плотности вероятности шумового процесса. Для гауссовой модели с нулевым средним и дисперсией δ^2 расчёт ведётся через интеграл распределения Гаусса. Повышение порога k уменьшает число ложных срабатываний, но затрудняет своевременное обнаружение настоящего пожара. В нефтегазовой сфере особенно критично сохранять баланс между этими показателями, поскольку непрерывные внешние помехи способны провоцировать шквал ненужных сигналов.

Чтобы оценить суммарное количество ошибочных включений за время T , используют пуассоновскую модель с потоком ошибок интенсивности λ . Среднее число лишних тревог в пределах интервала T выражается как $E[N] = \lambda T$. При повышенном уровне вибрации или близком расположении электрогенерирующих установок λ растёт, усиливая нагрузку на обслуживающий персонал. Аналогичная закономерность выявлена при отсутствии экранирования проводных шлейфов. С помощью регулярной калибровки и анализа статистики сигналов удаётся выбрать более точное значение порога k и алгоритм фильтрации выбросов.

В практических условиях нефтегазовых предприятий часто используется многопараметрический контроль, когда в контрольном модуле одновременно обрабатываются данные о дыме, температуре и наличии газовых включений. Подобный подход обеспечивает сокращение риска избыточных срабатываний – при системной обработке нескольких видов сенсорной информации алгоритм распознаёт случайные всплески или единичные ошибки, сопоставляя их с другими каналами. При этом предварительно рассчитываются адаптивные коэффициенты чувствительности, позволяющие уравновесить неопределённость при колебаниях внешних факторов. Для беспроводных узлов ввиду канальной задержки или помех на радиочастотах целесообразно применять процедуры резервирования сигнала, когда каждый извещатель передаёт копии данных в центральный процессор.

Практика внедрения автоматизированных механизмов фильтрации показывает, что сочетание корректного выбора k , оценки λ и системного подхода к настройке многопараметрических извещателей существенно уменьшает количество ложных включений. Применяя эти приёмы вместе с регулярным сервисным контролем и периодической заменой изношенных датчиков, удаётся обеспечить надёжность мониторинга даже при интенсивных внешних электромагнитных или вибрационных воздействиях.

Обсуждение

Усиленное развитие нефтегазовой промышленности повышает требования к обеспечению пожарной безопасности производственных объектов – нефтяных и газовых скважин, резервуарных парков, установок по подготовке нефти, магистральных нефте- и газопроводов и пр. Пожары от легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, горючих газов – сложные, нередко длительные по времени. Распространение пожаров при возгораниях характеризуется значительной скоростью и сопровождается выделением большого объема тепловой и лучистой энергии. В нефтяной промышленности они могут возникать по причине негерметичности соединительной арматуры технологических аппаратов. Также приводят к пожарам выделение паров ЛВЖ и ГЖ при негерметичности резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, разрушение (коррозия) нефтепроводов и газопроводов, самовозгорание пиррофорных отложений. Следует отметить, что пожар в одном резервуаре или на одной наружной установке создает угрозу распространения его на соседние резервуары или аппараты и коммуникации.

Многочисленные исследования в нефтегазовой сфере демонстрируют, что частые ложные срабатывания связаны с недостаточной помехозащищенностью проводных линий и неправильной конфигурацией самих извещателей. Авторы указывают на последствия электромагнитных возмущений, которые вызывают хаотичные сигналы, особенно при использовании неэкранированных кабелей значительной протяженности. Результаты, полученные при систематическом наблюдении объектов с обширными шлейфами, подтверждают сказанное: рост числа ложных тревог пропорционален количеству внешних электромагнитных помех, слабо учитываемых на стадии проектирования.

Значительную роль имеют факторы, связанные с установкой и настройкой оборудования. Неправильное распределение датчиков приводит на ранней стадии к ошибкам фиксации признаков возгорания: подача сигнала тревоги происходит при малейшем превышении пороговых параметров, а реальных угроз не обнаруживают вовремя. Указанное явление

усугубляется недостаточным постмонтажным обслуживанием. В условиях нефтегазовой промышленности любое отступление от рекомендуемых процедур может приводить к лавинообразному росту ложных вызовов и, как следствие, к снижению бдительности персонала.

Анализ крупных нефтебаз показывает, что сочетание неадресных пожарных извещателей с ручными датчиками без точной синхронизации и опознавания ложно инициирует режим тревоги. Это совпадает с наблюдениями [10], где единичный сбой в системе сообщений или сбалансированности датчиков приводит к ошибочным отключениям технологических линий либо приостановке производственного процесса. То есть при любой неточности идентификации возгорания предприятие сталкивается с риском неполадок или финансовых потерь.

При сопоставлении собранных данных с ранее известными сведениями о беспроводных системах видно, что их внедрение заметно повышает устойчивость к электромагнитным помехам, что особенно актуально при размещении датчиков вблизи силовых установок или зон с интенсивными грозовыми явлениями. В то же время, как указывается в [4], беспроводная схема может давать скачки в передаче сигнала, если каналы связи перегружены или отсутствует резервирование. Следовательно, применение подобных решений оправдано, однако предполагает контроль за стабильностью цифровых каналов и корректной верификацией принятых данных.

Накопленные примеры показывают, что технические меры без комплексного подхода не приносят полной гарантии защиты. Последовательная логическая обработка информации и адаптивные механизмы снижения помех на этапе проектирования позволяют свести к минимуму ошибочные сигналы. Ориентировочно это достигается за счет анализа фоновых показателей, введения резервных конфигураций извещателей, а также уточненных методик проверки технического состояния элементов после монтажа и в процессе дальнейшей эксплуатации. Подобное уточнение алгоритмов особенно важно при регулировке тепловых и газовых порогов. Синхронная калибровка извещателей, газоанализаторов и систем раннего распознавания способна создать единую сеть, в которой ложные вызовы фиксируются и отфильтровываются на уровне интеллектуального контроллера.

Сопоставление полученных данных с результатами [2] подтверждает, что человеческий фактор усиливает риск ложных включений: персонал, уставший от регулярных срабатываний, склонен отключать систему или игнорировать поступившие тревожные сообщения. Переход к принципу непрерывного обучения

специалистов и их регулярным действиям по тестированию извещателей отвечает на проблему неверного обслуживания. При этом учитываются реальные условия эксплуатации, в том числе колебания температуры, влажности, наличие вибраций, характеристика коммуникаций и состояние сопутствующего технологического оборудования.

Все описанные наблюдения показывают, что развитие систем пожарной сигнализации в нефтегазовой отрасли ориентировано на комплексный аудит технического состояния, а также учет внешних условий, способных возбудить ложное реагирование. Анализ опубликованных примеров и практических рекомендаций позволяет заключить, что наиболее перспективным направлением остается усиление помехозащищенности, перевод на интеллектуальные средства сбора и обработки данных, а также тщательный отбор проектных решений и обученного персонала для минимизации некорректных срабатываний.

Практические наблюдения показывают, что многопараметрический анализ сигналов существенно снижает вероятность ложных тревог. Наряду с контролем дымовых и тепловых характеристик, применяется оценка газовой среды, что даёт возможность выделить истинные признаки возгорания среди фоновых помех. Для иллюстрации подобных расчётов используются вероятностные модели. Так, при классической схеме установления порога k входное воздействие $x(t)$ рассматривается в виде суммы сигнала пожара $s(t)$ и помех $n(t)$. Формирование тревожного уведомления происходит при выполнении условия $x(t) \geq k$. Вероятность ложного срабатывания P_F в этом случае определяется интегрированием плотности распределения шумовой компоненты $f_n(x)$ от k до бесконечности (2):

$$P_F = \int_k^{\infty} f_n(x) dx, \quad (2)$$

При нормальном законе шума данная вероятность рассчитывается через функции распределения Гаусса и регулируется выбором k . Чем выше значение порога, тем реже возникает ложный вызов, но при слишком большом k система становится менее чувствительной к реальным возгораниям.

Для оценки совокупного количества ошибочных сигналов в течение периода наблюдения T используют модель Пуассона. Предполагается, что интенсивность ложных откликов обозначена как λ , и среднее число таких тревог равно λT . Фактор λ растёт, когда шлейфы сигнализации располагаются вблизи высоковольтного оборудования или где отсутствует экранирование, что приводит к повышенным

электромагнитным возмущениям. Подобная картина наблюдается на дальних участках нефтегазовых объектов, имеющих разветвлённую линию питания внешних устройств. В таком случае дополнительное укрепление кабельных конструкций и усиленная проверка мест соединения становятся приоритетными мерами.

Дополнительно рассматривается вероятность внедрения беспроводных извещателей, поскольку они характеризуются меньшей восприимчивостью к помехам, вызванным электромагнитными импульсами на проводных линиях. Однако в радиоканальных системах возникает риск потери данных или их частичного искажения. По этой причине вводится дублирование информационных пакетов с помощью резервных каналов. Для некоторых предприятий применяют программно-аппаратные фильтры, устраняющие одиночные ошибочные скачки. В случае, когда несколько сенсоров фиксируют превышение порога одновременно, центральный контроллер отмечает ситуацию как потенциально реальную, а при единичных выбросах – дожидается следующего пакета. Такие алгоритмы обеспечивают баланс между скоростью выдачи сигнала и надёжностью.

Эксперименты на моделях, где совокупность каналов содержит несколько типов датчиков (дымовых, тепловых, газовых), подтверждают, что согласованная обработка многопараметрических данных помогает избежать ложных блокировок технологических процессов. Для нефтегазовых объектов существенным фактором выступает прогнозирование возгорания при колебаниях температуры и давления в трубопроводах, а также при наличии взрывоопасных газовых смесей. Если в одном из сегментов сети обнаруживается всплеск концентраций, а остальные параметры остаются в допустимых пределах, система сохраняет рабочий режим без формирования тревожного сообщения. Такая интеллектуальная фильтрация сокращает нагрузку на персонал и поддерживает высокий уровень достоверности сигналов.

При интеграции пожарных извещателей в общую среду мониторинга целесообразно учитывать ориентиры механических вибраций, поскольку погрешность в измерениях возрастает, когда датчик находится на оборудовании, подверженном циклическим нагрузкам. В случае резонансных колебаний важно вносить поправку в набор порогов или использовать более стабильные сенсоры. Наблюдения показывают, что незначительное отклонение в настройках способно спровоцировать лавинообразное количество ложных включений, особенно в

ночные смены, когда интенсивность шумовых процессов понижается и электроника становится более уязвимой для случайных наводок.

Статистическая оценка сигналов помогает выявить корреляцию между уровнем электромагнитных и механических воздействий и частотой ошибочных уведомлений. Периодический анализ полученных параметров позволяет корректировать алгоритмы, вводить динамическую подстройку порога k и эффективно управлять техническим состоянием извещателей. Применение описанных методов не отменяет необходимости регулярной калибровки и грамотного выбора месторасположения пожарных датчиков, поскольку совместное влияние температурных градиентов, пылевых загрязнений и возможных утечек углеводородов усиливает вероятность ошибочной идентификации. Всё это в совокупности формирует потребность в рациональном взаимодействии организационных мер и технических решений, что даёт возможность минимизировать ложные срабатывания без снижения надёжности обнаружения реальных возгораний.

Заключение

Обобщая результаты, можно утверждать, что частота ложных срабатываний определяется электромагнитными помехами, нарушениями монтажа извещателей и отсутствием систематического обслуживания.

Первая задача, связанная с установлением причин ложных тревог, решена через сопоставление информации о влиянии вибраций, грозовых разрядов и ошибочных настроек пороговых параметров.

Вторая задача, подразумевающая изучение недоработок при установке датчиков и их сервисном сопровождении, выполнена на основании сведений, подтверждающих требование тщательной калибровки и регулярной оценки технического состояния оборудования.

Третья задача, посвященная подготовке рекомендаций для оптимизации организационной структуры пожарной защиты и технических решений, реализована путём рассматривания адресных систем, модернизированных беспроводных комплексов и совершенствования процедур контроля.

Применение указанных мер снижает риск ошибочных обращений и повышает эффективность пожарной сигнализации на объектах нефтегазовой промышленности, формируя надёжную основу для предупреждения аварийных ситуаций и сохранения человеческих жизней.

Список литературы

1. Александрова В. Е. Обеспечение пожарной безопасности на объектах нефтегазового комплекса // E-Scio. 2023. №3 (78). С. 52–58.
2. Андрианов Я. Система противопожарной защиты для предприятий нефтегазовой промышленности // Control Engineering Россия. 2022. № 1 (97). С. 16–18.
3. Бутко В. С. Беспроводная система пожарного мониторинга критически важных объектов нефтегазовой отрасли // Пожары и ЧС. 2021. №1. С. 25–30.
4. Глушко В. С., Синещук Ю. И. Методика интеграции пожарных извещателей в систему мониторинга окружающей среды объектов нефтегазового комплекса // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2014. № 1. С. 30–36.
5. Горячева М. О., Актерский Ю. Е., Минкин Д. Ю. Анализ проблемы снижения пожарного риска на объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. №4 (64). С. 55–61.
6. Иванков Д. С., Сметанкина Г. И., Жердев А. В. Специфика обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли // Экономика и социум. 2019. № 2 (57). С. 88–94.
7. Аюпова А. И., Рахматуллина Э. Ф. Интеллектуальные алгоритмы в извещателях и системах пожарной сигнализации // Актуальные проблемы и тенденции развития современной информатики и экономики: материалы II Международной научно-практической конференции. Часть III. Бирск: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 76–79.
8. Масагутов Д. М., Мухаметзянов А. Л., Рахматуллина Э. Ф. Искусственный интеллект в пожарной безопасности // Научный форум: инновационная наука: сборник статей по материалам LXXIX международной научно-практической конференции. М.: ООО «Международный центр науки и образования», 2024. С. 5–8.
9. Рахматуллина Э. Ф., Пермьяков А. В. Исследование ложных срабатываний автоматических установок пожарной сигнализации на объектах массового пребывания людей // Сборник материалов 75-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2024. С. 82.
10. Пасечник Д. А. Системы автоматического пожаротушения как фактор снижения пожарного риска объектов нефтегазового комплекса // Научный Лидер. 2021. № 19 (21). С. 32–36.
11. Аглямова Я. Н., Рахматуллина Э. Ф. Программные продукты для обработки ложных срабатываний пожарной сигнализации // Актуальные проблемы и тенденции развития современной информатики и экономики: материалы Международной научно-практической конференции. Бирск: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 39–41.
12. Анализ ложных срабатываний систем пожарной сигнализации на объектах массового пребывания людей в период с 2021 по 2023 год / Э. Ф. Рахматуллина, А. В. Пермьяков, И. Ф. Хафизов [и др.] // Нефтегазовое дело. 2024. № 5. С. 85–96. DOI: <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.06.85-96>.
13. Прогнозирование временных рядов на основе методов машинного обучения в вопросах обеспечения природной и техносферной безопасности / Э. Ф. Рахматуллина, А. В. Пермьяков, И. Ф. Хафизов [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 1 (20). С. 75–83. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.20.1.013. EDN: CIGWEG.
14. Рахматуллина Э. Ф., Пермьяков А. В. Исследование ложных срабатываний автоматических установок пожарной сигнализации на объектах с массовым пребыванием людей // Материалы 75-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2024. С. 82.
15. Рахматуллина Э. Ф., Пермьяков А. В. Прогнозирование площади загрязнения при авариях на трубопроводах, произошедших в результате коррозии // Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию горно-нефтяного факультета УГНТУ и 100-летию ученого Спивака Александра Ивановича: сборник материалов. Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ», 2023. С. 266.
16. Прогнозирование значений пожарного риска с помощью машинного обучения и анализа временных рядов / Э. Ф. Рахматуллина, А. В. Пермьяков, И. Ф. Хафизов [и др.] // Нефтегазовое дело. 2024. № 5. С. 6–20.
17. Шихалев Д. В. Проблемы управления системой обеспечения пожарной безопасности объекта. Часть 2. Методы мониторинга // Проблемы управления. 2022. №2. С. 41–47.
18. Шихалев Д. В. Управленческий аспект в функционировании системы обеспечения пожарной безопасности объекта // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 2 (39). С. 66–72.
19. Юртаев С. В. Проблемы эксплуатации существующих пожарных извещателей и анализ инновационных пожарных извещателей // Вестник науки. 2022. № 2 (47). С. 45–50.

References

1. Aleksandrova V. E. Obespecheniye pozharnoy bezopasnosti na ob»ektakh neftegazovogo kompleksa [Ensuring fire safety at facilities of the oil and gas complex]. *E-Scio*, 2023, vol. 3 (78), pp. 52–58.
2. Andrianov Ya. S. Sistema protivopozharnoi zashchity dlya predpriyatii neftegazovoy promyshlennosti [Fire protection system for oil and gas industry enterprises]. *Control Engineering Rossiya*, 2022, vol. 1 (97), pp. 16–18.
3. Butko V. S. Besprovodnaya sistema pozharnogo monitoringa kriticheskikh vazhnykh ob»ektov neftegazovoy otrasli [Wireless fire monitoring system for critically important facilities of the oil and gas industry]. *Pozhary i ChS*, 2021, issue 1, pp. 25–30.
4. Glushko V. S., Sineshchuk Yu. I. Metodika integratsii pozharnykh izveshchateley v sistemu monitoringa okruzhayushchey sredy ob»ektov neftegazovogo kompleksa [Methodology of integrating fire detectors into environmental monitoring system of oil and gas complex facilities]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii*, 2014, issue 1, pp. 30–36.
5. Goryacheva M. O., Akterskiy Yu. E., Minkin D. Yu. Analiz problemy snizheniya pozharnogo riska na ob»ektakh vodorodnoy energetiki i neftegazovogo kompleksa [Analysis of reducing fire risk at hydrogen energy and oil and gas complex facilities]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2022, vol. 4 (64), pp. 55–61.
6. Ivankov D. S., Smetankina G. I., Zherdev A. V. Spetsifika obespecheniya pozharnoy bezopasnosti na predpriyatiyakh neftegazovoy otrasli [Specific features of ensuring fire safety at oil and gas industry enterprises]. *Ekonomika i sotsium*, 2019, vol. 2 (57), pp. 88–94.
7. Ayupova A. I., Rakhmatullina E. F. Intellektual'nyye algoritmy v izveshchatel'yakh i sistemakh pozharnoy signalizatsii [Intelligent algorithms in detectors and fire alarm systems]. *Aktual'nyye problemy i tendentsii razvitiya sovremennoy informatiki i ekonomiki: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Chast' III. Birs: Ufimskiy universitet nauki i tekhnologii, 2024, pp. 76–79.
8. Masagutov D. M., Muhametzânov A. L., Rakhmatullina É. F. Iskusstvennyy intellekt v pozharnoy bezopasnosti [Artificial intelligence in fire safety]. *Nauchnyy forum: innovatsionnaya nauka: sbornik statey po materialam LXXIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow: OOO «Mezhdunarodnyy tsentr nauki i obrazovaniya» 2024, pp. 5–8.
9. Rakhmatullina E. F., Permyakov A. V. Issledovaniye lozhnykh sbratyvaniy avtomaticheskikh ustanovok pozharnoy signalizatsii na ob»ektakh massovogo prebivaniya lyudey [Study of false activations of automatic fire alarm systems at mass gathering facilities]. *Sbornik materialov 75-oy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh UGNTU*. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskii universitet, 2024, p. 82.
10. Pasechnik D. A. Sistemy avtomaticheskogo pozharotusheniya kak faktor snizheniya pozharnogo riska ob»ektov neftegazovogo kompleksa [Automatic fire extinguishing systems as a factor in reducing fire risk at oil and gas complex facilities]. *Nauchnyy Lider*, 2021, vol. 19 (21), pp. 32–36.
11. Aglyamova Ya. N., Rakhmatullina E. F. Programmnyye produkty dlya otrabotki lozhnykh sbratyvaniy pozharnoy signalizatsii [Software tools for testing false alarms of fire alarm systems]. *Aktual'nyye problemy i tendentsii razvitiya sovremennoy informatiki i ekonomiki: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Birs: Ufimskiy universitet nauki i tekhnologii, 2024, pp. 39–41.
12. Analiz lozhnykh sbratyvaniy sistem pozharnoy signalizatsii na ob»ektakh massovogo prebivaniya lyudey v period s 2021 po 2023 god [Analysis of false activations of fire alarm systems at mass gathering facilities during 2021–2023] / E. F. Rakhmatullina, A. V. Permyakov, I. F. Khafizov [et al.]. *Neftegazovoye delo*, 2024, issue 5, pp. 85–96. DOI: <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.06.85-96>.
13. Prognozirovaniye vremennykh ryadov na osnove metodov mashinnogo obucheniya v voprosakh obespecheniya prirodnoy i tekhnosfernoy bezopasnosti [Forecasting time series based on machine learning methods in ensuring natural and technosphere safety] / E. F. Rakhmatullina, A. V. Permyakov, I. F. Khafizov [et al.]. *Sibirskiy pozharno-spatatel'nyy vestnik*, 2021, vol. 1 (20), pp. 75–83, DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.20.1.013, EDN: CIGWEG.
14. Rakhmatullina E. F., Permyakov A. V. Issledovaniye lozhnykh sbratyvaniy avtomaticheskikh ustanovok pozharnoy signalizatsii na ob»ektakh s massovym prebivaniem lyudey [Study of false alarms of automatic fire alarm installations at facilities with mass gathering of people]. *Materialy 75-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh UGNTU*. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskii universitet, 2024, p. 82.
15. Rakhmatullina E. F., Permyakov A. V. Prognozirovaniye ploshchadi zagryazneniya pri avariakh na truboprovodakh, proizoshchikh v rezul'tate korrozii [Forecasting contamination area in pipeline accidents caused by corrosion]. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 75-letiyu gorno-neftyanogo fakul'teta UGNTU i 100-letiyu uchenogo Spivaka*

Aleksandra Ivanovicha: sbornik materialov. Ufa: UNPTS «Izd-vo UGNTU», 2023, p. 266.

16. Prognozirovanie znacheniy pozharnogo riska s pomoshch'yu mashinnogo obucheniya i analiza vremennykh ryadov [Forecasting fire risk values using machine learning and time series analysis] / E. F. Rakhmatullina, A. V. Permyakov, I. F. Khafizov [et al.]. *Neftegazovoye delo*, 2024, issue 5, pp. 6–20.

17. Shikhalev D. V. Problemy upravleniya sistemoy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti ob»ekta. Chast' 2. Metody monitoringa [Issues of managing a facility's fire safety system. Part 2.

Monitoring methods]. *Problemy upravleniya*, 2022, issue 2, pp. 41–47.

18. Shikhalev D. V. Upravlencheskiy aspekt v funktsionirovanii sistemy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti ob»ekta [Managerial aspect in functioning of a facility's fire safety system]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2021, vol. 2 (39), pp. 66–72.

19. Yurtaev S. V. Problemy ekspluatatsii sushchestvuyushchikh pozharnykh izveshchateley i analiz innovatsionnykh pozharnykh izveshchateley [Issues of operation of existing fire detectors and analysis of innovative fire detectors]. *Vestnik nauki*, 2022, vol. 2 (47), pp. 45–50.

Рахматуллина Элина Фанисовна

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
аспирант кафедры «Пожарная безопасность», старший преподаватель кафедры математики
e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru

Rakhmatullina Elina Fanisovna

Ufa State Petroleum Technological University,
Russian Federation, Ufa

Postgraduate student of Fire and Industrial Safety Department, Senior Lecturer of Information Technology and Applied Mathematics

e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru

Пермяков Арсений Владимирович

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
кандидат технических наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность»
e-mail: senya2512@yandex.ru

Permyakov Arseniy Vladimirovich

Ufa State Petroleum Technological University,
Russian Federation, Ufa

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department

e-mail: senya2512@yandex.ru

Хафизов Ильдар Фанилевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность»
e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Khafizov Ildar Fanilevich

Ufa State Petroleum Technological University,
Russian Federation, Ufa

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire and Industrial Safety Department

e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Хафизов Фаниль Шамильевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность»,
e-mail: fanil150656@mail.ru

Khafizov Fanil Shamilevich

Ufa State Petroleum Technological University,
Russian Federation, Ufa

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Fire and Industrial Safety Department

e-mail: fanil150656@mail.ru