

Вопрос о перспективах развития интеллектуальных пожарных извещателей

Станислав Александрович Ермаков ✉, Владислав Васильевич Димитрюк, Сергей Михайлович Жданов, Александр Андреевич Фадеев

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Современные технологии в системах пожарной автоматики играют важную роль в предупреждении и быстром обнаружении пожаров. Неработающая или некорректно функционирующая техника и технология часто становятся основной причиной возникновения пожара. Однако внимание отечественных авторов к обозначению трендов интеллектуальных пожарных извещателей оказывается недостаточным и статья имеет целью освещение данного вопроса. Решены соответствующие задачи по определению системы пожарной автоматики и роли извещателей в ее функционировании по выявлению основных направлений исследований актуальных отечественных и зарубежных публикаций, касающиеся применения искусственного интеллекта и интернета вещей в системе пожарной автоматики. Наличие точных показателей и возможность корректировки параметров позволяют обеспечить высокий уровень безопасности процесса и при необходимости вовремя реагировать.

Аналитическая часть. Рассмотрены интеллектуальные пожарные извещатели, основанные на таких средствах и технологиях, как машинное обучение и искусственный нос, а также их применение в обнаружении опасных факторов пожара. Представлены схемы и данные использования пожарных извещателей. Проанализированы условия безопасности на разных уровнях, предложены методы преобразования сигналов, поступающих от пожарных извещателей, и варианты интеграции электронного носа и тепловизионных камер в систему пожарной автоматики. Кроме того, отмечены преимущества использования искусственного носа, машинного зрения и микросенсорных кластеров в обеспечении пожарной безопасности.

Выводы. Использование интеллектуальных пожарных извещателей значительно повышает эффективность и надежность системы пожарной автоматики. Результаты работы будут полезны исследователям, разработчикам и инженерам системы пожарной автоматики, студентам направлений подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» и 27.03.01 «Стандартизация и метрология», а также при изучении дисциплины «Интеллектуальные системы измерения, контроля качества и сертификации продукции» по направлению подготовки 27.04.02 «Управление качеством».

Ключевые слова: искусственный нос; машинное зрение; система пожарной автоматики; опасные факторы пожара; безопасность объекта

Для цитирования: Ермаков С.А., Димитрюк В.В., Жданов С.М., Фадеев А.А. Вопрос о перспективах развития интеллектуальных пожарных извещателей // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 2. С. 68–76. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.02.68-76

✉ Ермаков Станислав Александрович, e-mail: ErmakovSA@mgsu.ru

Prospects for development of intelligent fire detectors

Stanislav A. Ermakov ✉, Vladislav V. Dimitryuk, Sergey M. Zhdanov, Aleksandr A. Fadeev

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Advanced technologies, integrated into automatic fire fighting systems, are vital for prevention and fast detection of fires. Non-functional or malfunctioning equipment and technology often become the main cause of fire. However, trends in intelligent fire detectors enjoy insufficient attention of domestic authors. Therefore, the article focuses on this issue. Relevant tasks are solved to study automatic fire fighting systems and the role of detectors in their operation, to identify the main areas of research addressed by relevant domestic and foreign publications. The availability of accurate values and adjustability of parameters ensure high process safety and a good response time, if needed.

Analysis. Intelligent detectors, taking advantage of such tools and technologies as machine learning and electronic nose, their application in fire hazard detection are considered. Diagrams and data, describing the use of

fire detectors, are presented. Different levels of safety conditions are analyzed. Methods for converting signals, coming from detectors, as well as options for integrating electronic nose techniques and thermal imaging cameras into automatic fire fighting systems are proposed. In addition, authors emphasize the benefits of electronic nose, machine vision, and micro-sensor clusters in fire safety assurance.

Conclusions. Intelligent fire detectors skyrocket the efficiency and reliability of automatic fire fighting systems. The authors' findings will be helpful for researchers, engineers and designers of automatic fire fighting systems, students majoring in 20.03.01 Technosphere Safety, 27.03.01 Standardization and Metrology, students majoring in 27.04.02 Intelligent Measurement Systems for Quality Management, Quality Control and Product Certification.

Keywords: electronic nose; machine vision; automatic fire fighting systems; fire danger factors; facility safety

For citation: Ermakov S.A., Dmitryuk V.V., Zhdanov S.M., Fadeev A.A. Prospects for development of intelligent fire detectors. *Pozharovzryvbezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(2):68-76. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.02.68-76 (rus).

✉ Stanislav Aleksandrovich Ermakov, e-mail: ErmakovSA@mgsu.ru

Введение

Цель исследования состоит в определении трендов интеллектуальных пожарных извещателей. В связи с этим решаются следующие задачи:

- обозначить систему пожарной автоматики и место в ней извещателей;
- выявить основные направления актуальных отечественных и зарубежных публикаций, связанных с возможным использованием искусственного интеллекта и интернета вещей в системе пожарной автоматики.

При расследовании несчастных случаев при пожаре основной причиной их возникновения считается объективный фактор, к которому относят состояние техники и технологии.

Современные технологии и развитие цифровой среды ставят перед обществом новые вызовы в области обеспечения пожарной безопасности. В связи с этим повышение эффективности и оперативности процессов контроля и предотвращения пожаров становится актуальной проблемой.

Интеллектуальные извещатели нашли свое применение в этой сфере, предоставляя возможность быстрого обнаружения опасных факторов пожара и поддерживая высокий уровень безопасности. Однако развитие этих устройств подвержено некоторым ограничениям. Мировой рынок средств обнаружения пожара вырастет с 7,82 млрд долл. в 2022 г. до 8,71 млрд долл. в 2023 г.¹

В концепцию интеграции нескольких информационных и коммуникационных технологий для безопасного функционирования городской инфраструктуры, которую называют «умный город», входят «умные здания и инфраструктура» и «умная безопасность» [1].

Обеспечение безопасности объекта и его качества требуют постоянного контроля или поддержания рациональных параметров в процессе

обслуживания. Классификация извещателей указана в работах² [2–4]. Сверхраннему обнаружению и сканирующей лазерной технологии уделено внимание в [5]. Интеграция объектно-ориентированной модели строительного объекта и интернета вещей, частью которого являются такие извещатели, представлена в [6].

Основная часть

Был применен системный анализ, абстрагирование, индукция и дедукция, были изучены научные работы по автоматизации систем пожарной защиты.

Примером обеспечения пожарной безопасности могут служить противопожарная сигнализация и соответствующее срабатывание извещателей, которые используются для обнаружения опасных факторов пожара, таких как пламя и искры, тепловой поток, повышение температуры окружающей среды, повышение концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения (угарный газ, а также мелкодисперсные и твердые частицы, акролеин и циановодород), понижение концентрации кислорода, снижение видимости в дыму. Когда извещатели обнаруживают пламя, высокую температуру или утечку газа, они могут немедленно активировать устройство отключения газа [6, 7]. Совмещение автономных пожарных извещателей с бытовыми приборами описано в [8]. Блок-схема электросчетчика-извещателя с подавлением пожарно-электрического вреда и опасных факторов пожара в квартире высотного здания приведена в [9]. В качестве оконечного варианта с целью минимизации ложного срабатывания системы пожарной сигнализации предлагается использовать техническое устройство, реализующее принципы нейронной сети [10]. Выбор правильного числа газоанализаторов, расположение, а также характеристики и компоненты извещателей, листинг

¹ Fire Detection Equipment Global Market Report. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/fire-detection-equipment-global-market-report> (дата обращения: 23.11.2023).

² Лазаренков А.М., Фасевич Ю.Н. Пожарная безопасность : учебное пособие по дисциплине «Охрана труда». Минск : БНТУ, 2019. 126 с. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/50880> (дата обращения: 17.04.2024).

программы с кодом работы в системе «умный дом» имеются в [11].

Все извещатели (например, термпары, камеры, детекторы дыма) для интеллектуального пожаротушения должны быть частью системы автоматизации зданий и сооружений. Многие существующие датчики и сеть могут быть использованы и модернизированы для интеллектуальной системы пожаротушения. Например, существующая система энергосбережения в интеллектуальном здании установит массивные датчики температуры почти во всех помещениях для управления системой кондиционирования воздуха, чтобы обеспечить как комфортную среду в помещении, так и экономию энергии. Эти данные с датчиков температуры также можно собирать и передавать в систему пожарной автоматики. В случае возникновения пожара эти извещатели могут автоматически переключаться в режим высокочастотного сбора и отправлять данные в модель искусственного интеллекта как для визуализации сцены пожара, так и для его прогноза. Более совершенные датчики, такие как инфракрасная камера, лазерный сканер, лидар, датчики газа и видимости, также могут быть установлены в такой инфраструктуре, как туннель, склад, музей и терминал аэропорта, для предоставления большего количества данных о пожаре и поддержки прогноза пожара [12].

Так, система мониторинга тоннелей может быть оснащена функцией изоляции самотестирования неисправностей, которая позволяет регулярно проводить самотестирование, сообщать о причине неисправности, а также вовремя прерывать и корректировать эту систему, что эффективно снижает частоту отказов [13].

В исследовании [14] рассматривается новое применение машинного обучения для обнаружения пожара на основе измерений акустических извещателей.

Интеллектуальные интерфейсы представляют собой специализированные устройства, предназначенные для обеспечения взаимодействия между различными системами и устройствами путем преобразования сигналов из одной формы в другую. Они обеспечивают не только передачу данных, но и обработку полученной информации, что позволяет автоматизировать процессы и обеспечить более эффективное функционирование системы пожарной безопасности.

Основными функциями интеллектуальных интерфейсов являются общение, автоматический синтез программы, обоснование и обучение.

Таким образом, интеллектуальные интерфейсы являются важной составляющей систем пожарной безопасности и выполняют ряд функций, направленных на обеспечение безопасности объекта. Они обеспечивают связь между различными компонен-

тами системы, обработку и анализ информации, а также эффективное управление и контроль.

Умные системы пожарной автоматики предоставляют возможность интегрировать различные компоненты в единую сеть, включая извещатели, оповещатели и системы пожаротушения (рис. 1), что позволяет осуществлять централизованное управление и контроль над всей системой.

Использование интеллектуальных интерфейсов значительно повышает эффективность и надежность систем пожарной безопасности. Они обеспечивают более раннее обнаружение пожаров и позволяют быстро реагировать на них, что существенно снижает риск для жизни и имущества. Кроме того, такие интерфейсы упрощают управление и контроль над системой, делая ее более доступной и удобной для пользователей.

На схеме (рис. 2) изображены интеллектуальные извещатели $D(u, j)$, которые соединены с преобразователем I . Он трансформирует сигнал от датчика в вид

$$D(u, j) \rightarrow d(u, j)$$

и далее с компьютером (микропроцессором) осуществляет контроль и управление (по правилам $R(u, j)_i$ на уровне i) и формирует сообщение $s(u, j)$:

$$s(u, j) = F\{d(u, j), R(u, j)_i\},$$

где функция F соответствует введенной ранее программе с информационным обеспечением, и устанавливает в зависимости от принятых значений



Рис. 1. Роль автоматической пожарной сигнализации в технических системах противопожарной защиты

Fig. 1. The role of automatic fire alarms in fire alarm systems

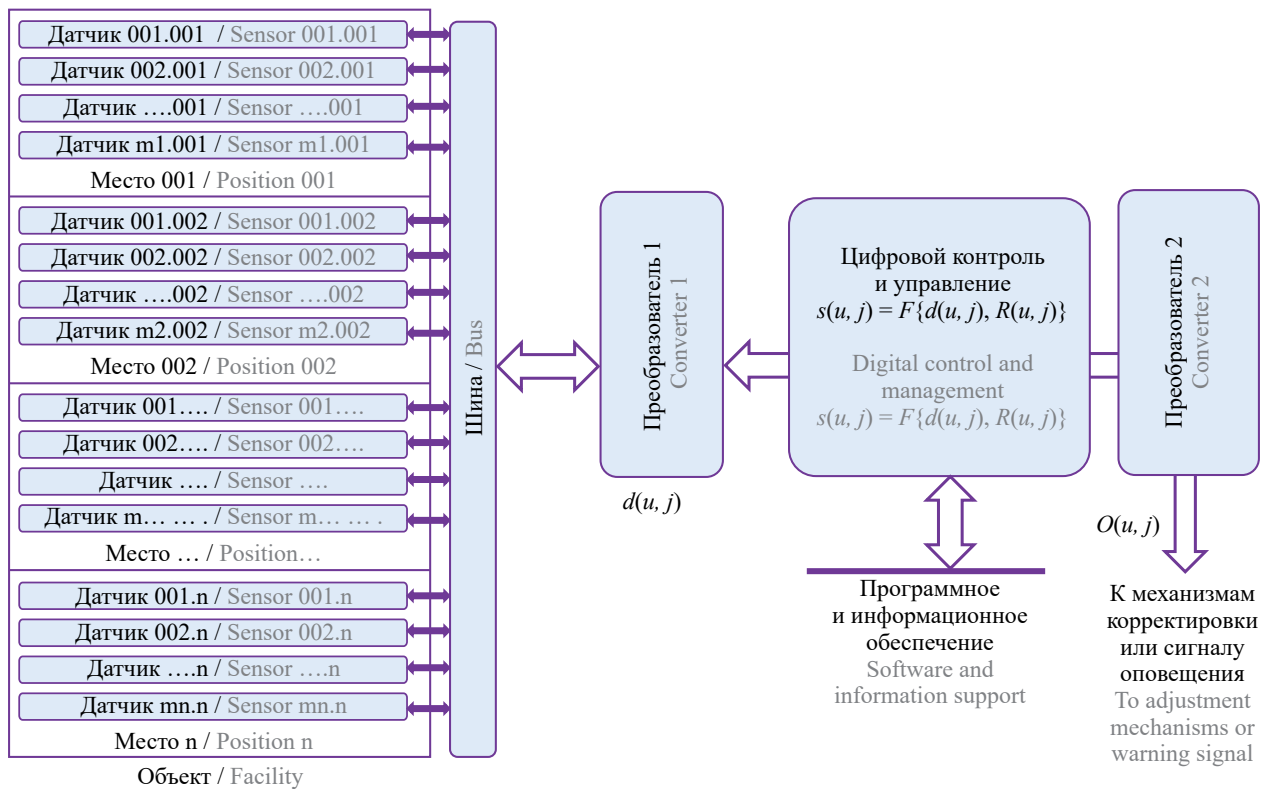


Рис. 2. Взаимодействие интеллектуальных извещателей с другими частями системы пожарной автоматики
Fig. 2. Interaction between intelligent detectors and other components of an automatic firefighting system

параметров и уровня i вид сообщения или значение к действию. Так, если:

$$R(u, j)_i \nlessgtr d(u, j)_i \pm c,$$

то условия безопасности на i -м уровне ($i = 1 \dots 5$; при $i = 1$ — безопасно, а при $i = 5$ — наиболее опасно) при допустимой неточности c не обеспечены в i месте объекта извещателя j . При

$$d(u, j) - c < R(u, j)_1$$

имеем безопасные условия, а при

$$d(u, j) + c < R(u, j)_5$$

возникает угроза безопасности.

Сигнал $s(u, j)$ от компьютера через средство и преобразователь 2

$$s(u, j) \rightarrow O(u, j)$$

может поступать на исполнительный механизм оборудования для корректировки контролируемого параметра извещателей (при необходимости) или подавать диспетчеру соответствующий сигнал через оповещатель.

Уровень i служит для обеспечения нескольких уровней безопасности в системе пожаротушения с соответствующими интеллектуальными датчи-

ками и программами, имеющими соответствующее информационное обеспечение и настройку.

Одним из важных элементов системы пожарной безопасности являются контроллеры. Они — центральные устройства, ответственные за обработку и анализ данных от датчиков, за принятие решений и управление другими компонентами системы. Контроллеры обеспечивают координацию и синхронизацию работы всей системы, позволяя ей функционировать эффективно и надежно. Они также предоставляют возможность удаленного доступа и мониторинга системы пожарной безопасности.

Контроллер системы пожарной автоматики предназначается для применения в автоматических системах пожарной сигнализации и пожаротушения на промышленных объектах различного назначения. Данный прибор обеспечивает сбор информации от пожарных извещателей, сигнализаторов, концевых выключателей, а также их электропитание, обработку принятой информации, формирование сигналов управления автоматическими средствами пожаротушения, контроль их состояния, управление оповещателями, выдачу сигналов для включения (отключения) технологического оборудования³.

³ Контроллеры систем пожарной автоматики «СПАРК» на ПЛК GE IP. URL: <https://spetzpozsh.com/catalog/fire-control-systems/fire-automation-controllers-spark-ge-ip/> (дата обращения: 09.12.2023).

Один из существенных типов контроллеров представляют собой нейрокомпьютеры — устройства, способные выполнять вычисления высокой сложности и принимать решения на основе полученных данных. Они используют нейронные сети и другие алгоритмы для этого.

Главным преимуществом нейрокомпьютеров является возможность осуществления массовых параллельных вычислений. Для этого базовые процессорные элементы обычно соединяют в вычислительные комплексы, при этом делается попытка вместить как можно больше элементов на одном чипе, а оставшиеся компоненты размещаются на мультипроцессорных платах.

Искусственный нос — инновационная технология, которая находит все большее применение в различных областях науки и промышленности. Эта технология может быть интегрирована в систему пожарной автоматики, о чем свидетельствуют публикации двух последних десятилетий [15–18]. Основная задача искусственного носа заключается в обнаружении и анализе различных химических соединений. Для эмуляции биологического носа необходимо учитывать несколько факторов.

Первый фактор — способность обнаруживать и анализировать различные компоненты газов. Биологический нос может обнаружить даже самые низкие концентрации веществ, в то время как технологии все еще имеют определенные ограничения.

Второй фактор — способность различать и идентифицировать запахи. Биологический нос способен распознавать множество различных запахов и идентифицировать их, в то время как технологии могут иметь трудности с этим.

Третий фактор — устойчивость к воздействию внешних факторов. Биологический нос обладает уникальной способностью адаптироваться к изменяющимся условиям, в то время как технологии могут быть более уязвимыми к таким факторам, как температура или влажность.

Чтобы эффективно имитировать биологический нос, необходимо постоянно улучшать и развивать технологии анализа газов, учитывая указанные ниже факторы. Только так можно достичь высокой точности и надежности измерений, приближенных к возможностям человеческого обоняния.

Для создания эффективных сенсоров используются различные материалы, их выбор является одним из ключевых аспектов в разработке искусственного носа. Важно использовать компоненты, обладающие определенной реакцией на анализируемые химические соединения, такие как полимеры, металлы и наночастицы. Измерения резонансной частоты позволяют искусственным носам определить харак-

теристики анализируемых химических соединений, такие как концентрация и тип вещества.

Для обработки получаемых сигналов часто используются нейросети, повышающие точность и скорость анализа.

Однако разные алгоритмы обработки данных дают различные результаты. Поэтому необходимо провести сравнительный анализ алгоритмов распознавания сигналов с использованием нейросетей и традиционных методов обработки данных, чтобы выбрать наиболее эффективный. Это важно для обеспечения надежности и точности системы анализа химических соединений.

Искусственный нос также должен быть интегрирован в систему и управляться ею. Для этого необходимы специальные программы и интерфейсы для контроля его работы и получения необходимой информации.

Для успешного использования искусственного носа важно провести тестирование разработанной системы и сравнить ее эффективность с эффективностью биологического носа. Это поможет оценить достоверность результатов и усовершенствовать работу искусственного носа, что особенно важно для задач с высокими требованиями к точности и надежности анализа.

Искусственный нос имеет широкий спектр применения и может быть использован в различных задачах, где требуется обнаружение и анализ химических соединений, не доступных для человеческого обоняния.

Это средство предлагают применять, чтобы отслеживать угрозы, связанные с горючими жидкостями в автобусах в частности, и своевременно выдавать предупреждения о безопасности [15]. Искусственные носы могут также за считанные минуты обнаруживать лесные пожары в течение первого часа их тления, что значительно увеличивает шансы на их тушение⁴. Изучен потенциал использования технологии для раннего обнаружения пожаров, возникающих в результате возгорания лесных товаров на складах и в других помещениях [16].

Система машинного зрения — это совокупность компонентов и процессов, предназначенных для обработки и анализа изображений. Она включает в себя источники изображений, которые могут быть камерами или другими устройствами, способными регистрировать визуальную информацию.

Машинное зрение по сравнению с традиционной системой пожарной сигнализации, основанной

⁴ Darshil Patel Electronic Noses Sniff Out Diseases, WildFires, and Pestered Plants April 21, 2023. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/news/electronic-noses-sniff-out-diseases-wildfires-and-pestered-plants/> (дата обращения: 08.12.2023).

на пожарных извещателях, характеризуется большей эффективностью [19].

Для машинного зрения используются различные камеры и датчики. Например, видеокamеры позволяют получать изображения визуальной информации. Тепловизионные камеры используются для определения тепловых излучений, что может быть полезно при обнаружении пожаров. 3D-камеры позволяют получить трехмерное изображение, что важно для точного распознавания объектов.

Полученное изображение отправляется на обработку, где анализируются особые признаки с использованием алгоритмов обработки, таких как фильтры, сегментация и улучшение контрастности. Система извлекает особенности из обработанного изображения для определения объектов и их характеристик.

Машинное зрение использует модели глубокого обучения для классификации и распознавания объектов, предварительно обученных на больших наборах размеченных изображений [20, 21]. Модели обеспечивают высокую точность распознавания объектов.

После распознавания система интерпретирует данные и принимает решения в соответствии с предварительными установками или правилами. Интеграция с другими системами позволяет обмениваться данными для более точного анализа. Технология также обеспечивает хранение и управление данными для доступа к хронологической информации и ее использования при обработке новых изображений.

Типичными задачами, которые решаются с помощью систем машинного зрения, являются обнаружение и поиск объектов, измерение размеров, цветовой анализ. В системах безопасности машинное зрение позволяет распознавать лица, анализировать видеопотоки и обнаруживать аномалии^{5, 6}.

Однако существуют и некоторые трудности и ограничения в области машинного зрения. Например, сложность обработки и анализа больших объемов данных, необходимость высокой вычислительной мощности и ресурсов, а также проблемы с надежностью и безопасностью системы. Кроме того, машинное зрение также сталкивается с этическими и юридическими вопросами, связанными с приватностью данных и использованием в интеллектуальных системах. Это требует дальнейших исследований и разработок в этой области, а также внимательного внедрения и регулирования с точки зрения этики и безопасности.

⁵ Что такое машинное зрение 1.04.2015. URL: <https://www.vitec.ru/znaniya/articles/prakticheskie-voprosi-primeneniya-teh-zreniya/?ysclid=ln97tuzkqp886809939> (дата обращения: 09.12.2023).

⁶ Что такое машинное зрение? Amazon Web Service. URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/computer-vision/> (дата обращения: 09.12.2023).

Микросенсорные кластеры — технология, способная решать сложные задачи и предоставлять ценную информацию в различных областях. Их можно использовать в таких технологиях, как искусственный нос или система машинного зрения. Основными компонентами микросенсорного кластера являются датчики, процессор, память, порты ввода-вывода и коммуникационные интерфейсы.

Микросенсорные кластеры имеют широкий спектр применений за счет их компактности, энергоэффективности и возможности работы в реальном времени, их можно встроить в различные устройства, начиная от смартфонов и домашних устройств умного дома до больших промышленных систем. Они могут использоваться для мониторинга энергопотребления в зданиях или производственных процессах, позволяя оптимизировать эффективность и экономить энергию, а также могут применяться для контроля качества воздуха в помещениях.

Выводы

Произведен обзор применения интеллектуальных пожарных извещателей в задачах обнаружения опасных факторов пожара. Например, предлагается интегрировать датчики температуры в интеллектуальную систему пожаротушения.

Рассмотрено преобразование сигналов с интеллектуальных пожарных извещателей, предложены условия безопасности на разных уровнях.

Для координации и синхронизации системы применяются контроллеры, нейрокомпьютеры в частности, позволяющие производить массовые параллельные вычисления.

Искусственный нос также может быть интегрирован в систему пожарной автоматики, о чем свидетельствуют публикации двух последних десятилетий. К особенностям такой технологии относят возможности обнаружения незначительных концентраций различных газов и запахов (в том числе недоступных биологическому носу) благодаря измерениям резонансной частоты и устойчивости к внешним воздействиям.

С помощью машинного зрения происходит извлечение особенностей из обрабатываемых изображений и дальнейшая их классификация и распознавание в моделях глубокого обучения. Для измерений характеристик теплового потока применяются тепловизионные камеры.

Микросенсорные кластеры позволяют контролировать качество воздуха и передавать соответствующие сведения в систему пожаротушения.

Таким образом, использование интеллектуальных пожарных извещателей значительно повышает эффективность и надежность системы пожарной безопасности. Они обеспечивают более раннее обнару-

ружение пожаров и позволяют быстро реагировать на них, что существенно снижает риск для жизни и имущества. Кроме того, такие извещатели упрощают управление и контроль над системой пожарной автоматики, делая ее более доступной и удобной для пользователей.

В исследовании были обозначены тренды интеллектуальных пожарных извещателей, а также решены

задачи по определению системы пожарной автоматики и места в ней извещателей, по выявлению основных направлений актуальных отечественных и зарубежных публикаций по вопросу применения искусственного интеллекта и интернета вещей в системе пожарной автоматики. Результаты работы будут полезны исследователям, разработчикам системы пожарной автоматики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гительман Л.Д., Кожеевников М.В. Электрификация как драйвер развития «умных городов» // Экономика региона. 2017. Т. 13. Вып. 4. С. 1199–1210. DOI: 10.17059/2017-4-18
2. Корольченко Д.А., Корольченко А.Я. Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума : уч. пос., 3-е изд., перераб. и доп. М. : Пожнаука, 2011.
3. Ву Т.З. Автоматическое управление интеллектуальным зданием на основе датчиков // Перспективы развития информационных технологий. 2011. № 3–2. С. 57–60.
4. Lui Z., Kim A.K. Review of recent developments in fire detection technologies // Journal of Fire Protection Engineering. 2003. Vol. 13. Issue 2. Pp. 1–20. DOI: 10.1177/104239103033496
5. Дарбаков Д.В., Менкеев А.И., Членов А.Н. Современное состояние и перспективы развития аспирационных пожарных извещателей (АПИ) // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. № 9. С. 202–205.
6. Jiang L. Intelligent control of building fire protection system using digital twins and semantic web technologies // Automation in construction. 2023. Vol. 147. Issue 8. P. 104728. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104728
7. Hsu W.-L., Jhuang J.Y., Huang C.S., Liang C.K., Shiau Y.C. Application of internet of things in a kitchen fire prevention system // Applied Sciences. 2019. Vol. 3520. Vol. 9. Issue 17. Pp. 1–22. DOI: 10.3390/app9173520
8. Белозеров В.В. Методы, модели и средства автоматизации управления техносферной безопасностью : автореф. ... дис. д-ра техн. наук. Ростов н/Д, 2012. 46 с.
9. Перигов А.В. Системный анализ и нанотехнологии безопасности в инженерных системах жилых высотных зданий // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Т. 10. № 2. С. 114–130.
10. Андреев А.В., Доронин А.С., Терехин С.Н. Перспективы построения систем пожарной сигнализации на принципах искусственного интеллекта (на примере газовых пожарных извещателей) // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2022. № 1. С. 65–74.
11. Maxkamov B., Muminova S.S., Sidiqov S.M. o'g'li. Ensuring fire safety during the implementation of the “smart house” concept // Science and innovation. 2022. No. 3. Pp. 338–345. DOI: 10.5281/zenodo.6819386
12. Huang X., Wu X., Usmani A. Perspectives of using artificial intelligence in building fire safety // Handbook of Cognitive and Autonomous Systems for Fire Resilient Infrastructures. Chapter 6 / Naser M., Corbett G. (eds.). Springer, 2022. Pp. 1–25. DOI: 10.1007/978-3-030-98685-8_6
13. Li H., Chen Z., Lu Y., Li P., Wang Q.A., Liu Z. et al. Research on intelligent monitoring of fire safety and fire rescue plan for tunnel operation under quasi-unattended background // Buildings. 2023. Vol. 13. Issue 8. P. 2110. DOI: 10.3390/buildings13082110
14. Martinsson J., Runefors M., Frantzich H., Glebe D., McNamee M., Mogren O. A novel method for smart fire detection using acoustic measurements and machine learning: proof of concept // Fire Technology. 2022. Vol. 58. Issue 6. Pp. 3385–3403. DOI: 10.1007/s10694-022-01307-1
15. Wu Z., Wang H., Wang X., Zheng H., Chen Z., Meng C. Development of electronic nose for qualitative and quantitative monitoring of volatile flammable liquids // Sensors. 2020. Vol. 20. Issue 7. P. 1817. Pp. 1–12. DOI: 10.3390/s20071817
16. Joseph P., Bakirtzis D., Vieille A. An “electronic nose” as a potential device for fire detection of forest product fire loads in enclosures // Wood Material Science and Engineering. 2014. Vol. 10. Issue 1. Pp. 130–144. DOI: 10.1080/17480272.2014.939713
17. Khorramifar A., Karami H., Lvova L., Kolouri A., Lazuka E., Pilat-Rožek M. et al. Environmental engineering applications of electronic nose systems based on MOX gas sensors // Sensors. 2023. Vol. 23. Issue 12. P. 5716. DOI: 10.3390/s23125716
18. Scorsone E., Pisanelli A.M., Persaud K. Development of an electronic nose for fire detection // Sensors and Actuators B Chemical. 2006. Vol. 116. Issue 1–2. Pp. 55–61. DOI: 10.1016/j.snb.2005.12.059
19. Станкевич Т.С., Мишук Б.Р. Интеллектуальный подход к детектированию дыма как опасного фактора пожара // Вестник молодежной науки. 2022. № 1 (33). С. 1–8. DOI: 10.46845/2541-82-54-2022-1(31)-11-11
20. Geetha S., Abhishek C.S., Akshayanat C.S. Machine vision based fire detection techniques: a survey // Fire Technology. 2021. Vol. 57. Issue 2. Pp. 591–623. DOI: 10.1007/s10694-020-01064-z

21. Mondal M.S., Prasad V., Kumar R., Saha N., Guha S., Ghosh R. et al. Automating fire detection and suppression with computer vision: a multi-layered filtering approach to enhanced fire safety and rapid response // *Fire Technology*. 2023. Vol. 59. Issue 4. Pp. 1555–1583. DOI: 10.1007/s10694-023-01392-w

REFERENCES

1. Gitelman L.D., Kozhevnikov M.V. Electrification as a driver of the development of “smart cities”. *The economy of the region*. 2017; 13(4):1199-1210. DOI: 10.17059/2017-4-18 (rus).
2. Korolchenko D.A., Korolchenko A.Ya. *Fundamentals of fire safety of an enterprise, a complete course of fire-technical minimum : textbook, 3rd ed., rev. and exp.* Moscow, Pozhnauka Publ., 2011. (rus).
3. Wu T.Z. Automatic control of an intelligent building based on sensors. *Prospects for the development of information technologies*. 2011; 3-2: 57-60. (rus).
4. Lui Z., Kim A.K. Review of recent developments in fire detection technologies. *Journal of Fire Protection Engineering*. 2003; 13(2):1-20. DOI: 10.1177/104239103033496
5. Darbakov D.V., Menkeev A.I., Members A.N. The current state and prospects of development of aspiration fire detectors (API). *Fire safety: problems and prospects*. 2018; 1(9):202-205. (rus).
6. Jiang L. Intelligent control of building fire protection system using digital twins and semantic web technologies. *Automation in construction*. 2023; 147(8):104728. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104728
7. Hsu W.-L., Jhuang J.Y., Huang C.S., Liang C.K., Shiao Y.C. Application of internet of things in a kitchen fire prevention system. *Applied Sciences*. 2019; 9(3520):1-22. DOI: 10.3390/app9173520
8. Belozеров V.V. *Methods, models and means of automation of technosphere safety management : abstract of the dissertation of the Doctor of Technical Sciences*. Rostov-on-Don, 2012; 46. (rus).
9. Perikov A.V. System analysis and nanotechnology of safety in engineering systems of residential high-rise buildings. *Nanotechnology in construction*. 2018; 10(2):114-130. (rus).
10. Andreev A.V., Doronin A.S., Terekhin S.N. Prospects for building fire alarm systems based on the principles of artificial intelligence (on the example of gas fire detectors). *Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. 2022; 1:65-74. (rus).
11. Maxkamov B., Muminova S.S., Sidiqov S.M. o'g'li. Ensuring fire safety during the implementation of the “smart house” concept. *Science and innovation*. 2022; 3:338-345. DOI: 10.5281/zenodo.6819386
12. Huang X., Wu X., Usmani A. Perspectives of using artificial intelligence in building fire safety. *Handbook of Cognitive and Autonomous Systems for Fire Resilient Infrastructures*. Chapter 6. Naser M., Corbett G. (eds.). Springer. 2022; 1-25. DOI: 10.1007/978-3-030-98685-8_6
13. Li H., Chen Z., Lu Y., Li P., Wang Q.A., Liu Z. et al. Research on intelligent monitoring of fire safety and fire rescue plan for tunnel operation under quasi-unattended background. *Buildings*. 2023; 13(8):2110. DOI: 10.3390/buildings13082110
14. Martinsson J., Runefors M., Frantzich H., Glebe D., McNamee M., Mogren O. A novel method for smart fire detection using acoustic measurements and machine learning: proof of concept. *Fire Technology*. 2022; 58(6):3385-3403. DOI: 10.1007/s10694-022-01307-1
15. Wu Z., Wang H., Wang X., Zheng H., Chen Z., Meng C. Development of electronic nose for qualitative and quantitative monitoring of volatile flammable liquids. *Sensors*. 2020; 20(7):1817. DOI: 10.3390/s20071817
16. Joseph P., Bakirtzis D., Vieille A. An “electronic nose” as a potential device for fire detection of forest product fire loads in enclosures. *Wood Material Science and Engineering*. 2014; 10(1):130-144. DOI: 10.1080/17480272.2014.939713
17. Khorramifar A., Karami H., Lvova L., Kolouri A., Łazuka E., Piłat-Rożek M. et al. Environmental engineering applications of electronic nose systems based on MOX gas sensors. *Sensors*. 2023; 23(12):5716. DOI: 10.3390/s23125716
18. Scorsone E., Pisanelli A.M., Persaud K. Development of an electronic nose for fire detection. *Sensors and Actuators B Chemical*. 2006; 116(1-2):55-61. DOI: 10.1016/j.snb.2005.12.059
19. Stankevich T.S., Mishchuk B.R. Intelligent approach to smoke detection as a dangerous fire factor. *Vestnik youth science*. 2022; 1(33):1-8. DOI: 10.46845/2541-82-54-2022-1(31)-11-11 (rus).
20. Geetha S., Abhishek C.S., Akshayanat C.S. Machine vision based fire detection techniques: a survey. *Fire Technology*. 2021; 57:591-623. DOI: 10.1007/s10694-020-01064-z
21. Mondal M.S., Prasad V., Kumar R., Saha N., Guha S., Ghosh R. et al. Automating fire detection and suppression with computer vision: a multi-layered filtering approach to enhanced fire safety and rapid response. *Fire Technology*. 2023; 59(4):1555-1583. DOI: 10.1007/s10694-023-01392-w

Поступила 13.12.2023, после доработки 15.01.2024;

принята к публикации 15.03.2024

Received December 13, 2023; Received in revised form January 15, 2024;

Accepted March 15, 2024

Информация об авторах

ЕРМАКОВ Станислав Александрович, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; РИНЦ ID: 638451; Scopus AuthorID: 56073793500; ORCID: 0000-0002-9158-8801; e-mail: ErmakovSA@mgsu.ru

ДИМИТРИЮК Владислав Васильевич, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ORCID: 0009-0008-7868-0751; e-mail: ivmockve@mail.ru

ЖДАНОВ Сергей Михайлович, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ORCID: 0009-0009-7644-8040; e-mail: zhsm060602@mail.ru

ФАДЕЕВ Александр Андреевич, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ORCID: 0009-0009-0986-9312; e-mail: alexxx2002dans@gmail.com

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

Information about the authors

Stanislav A. ERMAKOV, Senior Lecturer of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 638451; Scopus AuthorID: 56073793500; ORCID: 0000000291588801; e-mail: ErmakovSA@mgsu.ru

Vladislav V. DIMITRYUK, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0009-0008-7868-0751; e-mail: ivmockve@mail.ru

Sergey M. ZHDANOV, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0009-0009-7644-8040; e-mail: zhsm060602@mail.ru

Aleksandr A. FADEEV, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0009-0009-0986-9312; e-mail: alexxx2002dans@gmail.com

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