

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33>

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Обзор

Кухтяев А.Д.^{1,*}

¹Московский государственный технологический университет Станкин, Москва, Российская Федерация

¹ООО «РОСТО ПЛЮС», Егорьевск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kuhtyaev.sasha[at]gmail.com)

Аннотация

Технологии пожарной сигнализации, мониторинга, оповещения и наблюдения на промышленных предприятиях и производственных комплексах прошли долгий путь развития, постоянно совершенствуясь для улучшения мер пожарной безопасности. Благодаря новым датчикам, беспроводным системам и искусственному интеллекту пожарная сигнализация теперь может обнаруживать пожар более точно и быстро. Это потенциально способно спасти многие жизни и минимизировать ущерб в случае пожара. Учитывая изложенное, в статье рассмотрены вопросы разработки интеллектуальной системы пожарной безопасности производства. Отдельное внимание уделено беспроводной связи и коммуникационным возможностям, которые добавлены к базовым характеристикам различных видов пожарных датчиков, системам видеомониторинга.

Ключевые слова: пожар, безопасность, производство, датчик, наблюдение.

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT FIRE SYSTEM FOR PRODUCTION SECURITY

Review article

Kukhtyaev A.D.^{1,*}

¹Moscow State Technological University Stankin, Moscow, Russian Federation

¹ROSTO PLUS LLC, Egorьевsk, Russian Federation

* Corresponding author (kuhtyaev.sasha[at]gmail.com)

Abstract

Fire alarm, monitoring, alerting and surveillance technologies in industrial plants and manufacturing facilities have come a long way, constantly evolving to improve fire safety measures. Thanks to new sensors, wireless systems and artificial intelligence, fire alarms can now detect fires more accurately and quickly. This has the potential to save many lives and minimize damage in the event of a fire. Taking into account the above, the work discusses the development of an intelligent fire safety system for manufacturing. Special attention is paid to wireless communication and communication capabilities that are added to the basic characteristics of various types of fire sensors, video monitoring systems.

Keywords: fire, security, production, sensor, surveillance.

Введение

Весь мир полагается на бесперебойную работу различных отраслей промышленности для поставок необходимых товаров и материалов, включая замороженные продукты, лекарства, автомобильные детали и картонную упаковку. Промышленные объекты представляют собой опасную среду с многочисленными рисками пожаров и взрывов, которые могут повредить помещения или дорогостоящее оборудование [1]. В результате вынужденные простои, а также ремонт или замена разрушенных активов влекут за собой высокие незапланированные затраты.

Ежегодно большое количество пожаров по всему миру приводит к неизмеримым и не поддающимся описанию разрушениям. Например, в Европе на промышленных объектах происходит в среднем 37 910 пожаров в год. Число смертей невелико – в среднем всего одна-две смерти, однако затраты на потерю товарно-материальных ценностей и ущерб составляют около 500 млн. евро [2]. Проблемы с электричеством являются основной причиной пожаров, на их долю приходится 24%. Обычно это происходит при открытой проводке, перегруженных кабелях и удлинителях. Чтобы свести к минимуму их воздействие, необходимо внедрение инновационных и эффективных технологий раннего предупреждения о пожарах.

До недавнего времени большинство пожарных сигнализаций имели очень ограниченные функциональные возможности. Обычно срабатывает только простая тревога без предоставления какой-либо конкретной информации об обстоятельствах пожара, не говоря уже о его прогнозировании. Неадекватность старых систем или непригодность систем пожарной безопасности к новым, вертикально развивающимся реальным условиям породила спрос на новые, усовершенствованные механизмы. Сегодня уже не подлежит сомнению тот факт, что будущее технологий пожарной сигнализации – за интеллектуальными технологиями, способными анализировать и интерпретировать данные в режиме реального времени. Эти системы могут обнаруживать закономерности, контролировать условия окружающей среды, различать нормальную деятельность и потенциальную опасность пожара [3].

Используя алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения, интеллектуальные системы пожарной сигнализации могут обеспечить более точное и надежное обнаружение возгорания, сводя к минимуму ложные срабатывания и максимизируя возможности раннего предупреждения. Кроме того, сегодня наблюдается растущая

тенденция в сфере интеграции систем пожарной сигнализации, обеспечивающей бесперебойную связь с другими контурами безопасности внутри здания, включая пожаротушение, аварийное освещение и контроль доступа.

Однако, несмотря на актуальность и значимость рассматриваемой проблематики, по причине новизны интеллектуальных технологий, а также перманентного появления новых устройств и методов, свойства и возможности которых только предстоит изучить и опробовать на практике, ряд вопросов остается открытым. В частности, отдельного внимания заслуживают идеи, принципы, модели, методы и инструментальные средства, которые используются при проектировании интеллектуальных систем пожарного мониторинга. В более глубокой проработке нуждаются методы, основанные на достижении Четвертой промышленной революции, которые позволят снизить количество ложных тревог и одновременно бороться с пожарами с использованием всех доступных операторов в различных подразделениях промышленных систем.

Таким образом, обозначенные обстоятельства предопределили выбор темы данной статьи.

Постановка задачи. Рассмотреть подходы и методы разработки интеллектуальной системы пожарной безопасности производства.

Методы исследования. Комплексный метод исследований, который включает анализ и обобщение научно-технических достижений современного состояния обеспечения пожарной безопасности производственных комплексов, группировку и абстракцию, цифровое моделирование с использованием графических и формульных выражений, а также эмпирические наблюдения и исследования.

Результаты исследования

Для снижения ущерба и травматизма при промышленных пожарах очень важно своевременное и точное обнаружение фактов возгорания. Например, Хафизов Б. отмечает, что в последние годы технологии обнаружения пожара становятся все более сложными, интеллектуальными и мощными, развиваясь от традиционных «точечных» датчиков до видеотехнологий (на основе камер), которые можно разделить на методы обработки сигналов, изображений и видео [4]. Однако традиционные «точечные» датчики (детекторы дыма и тепла) обычно требуют достаточно высокой температуры или значительной концентрации дыма для срабатывания сигнализации, что ограничивает их применение в целях раннего обнаружения небольших пожаров, таких как горение кабелей.

Шкитронов М.Е. акцентирует внимание на том, что в последние десятилетия повышение вычислительной мощности компьютеров и снижение стоимости датчиков изображения позволили использовать видеотехнологии обнаружения пожаров для приложений, работающих в режиме реального времени [5]. В то же время остаются нерешенными вопросы улучшения коммуникационных и интеграционных возможностей используемых систем. В связи с этим ученый считает, что необходимо повышать уровень интеграции пожарной сигнализации с другими системами безопасности, такими контроль доступа, что может улучшить координацию действий при чрезвычайных ситуациях и оптимизировать стратегии эвакуации здания. Кроме того, развитие беспроводных технологий и облачных решений будет способствовать бесперебойной связи между системами пожарной сигнализации и группами экстренного реагирования, обеспечивая более быстрые и эффективные действия при наступлении чрезвычайной ситуации.

Ватенмахер И.Б. посвятил свои публикации изучению систем мониторинга зданий, например, таким, которые подключены к пожарным извещателям, датчикам отслеживания и мониторам [6]. Ученым было установлено, что подобные системы способны определить, какой пожарный извещатель идентифицировал возгорание, поскольку каждый из них имеет свой собственный адрес. Однако открытым остался вопрос разрыва между пожарной безопасностью и информационным моделированием зданий (BIM).

Основываясь на имеющихся в настоящее время достижениях в области систем пожарной сигнализации, мониторинга и обнаружения возгораний, а также принимая во внимание передовые технологии Четвертой промышленной революции, считаем, что в качестве основы интеллектуальной системы пожарной безопасности производства целесообразно использовать беспроводную систему ZigBee. Беспроводные датчики дыма, оснащенные ZigBee, вместе с ИТ-технологиями могут своевременно обнаруживать возгорание, активировать сигнализацию в случае пожара, оповещать специальные службы в случае наступления чрезвычайной ситуации.

Предлагаемая интеллектуальная система включает в себя видеонаблюдение, беспроводной мониторинг работы оборудования в цехах и на производственных площадках, удаленный мониторинг расхода воды, интеллектуальный мониторинг пожарных гидрантов и мощности пожарного оборудования, беспроводное независимое обнаружение дыма, мониторинг пожарных дверей, вентиляторов дымоудаления, мониторинг аварийного освещения и знаков эвакуации, и т.д., для отслеживания состояния работы производственных систем в режиме реального времени (см. рис. 1).



Рисунок 1 - Схема интеллектуальной системы пожарной безопасности производства
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33.1>

Примечание: составлена автором

Представленная на рис. 1 система реализуется на практике благодаря оборудованию интеллектуальной системы пожарной инспекции, которое необходимо для надежного и эффективного сбора данных о состоянии объектов пожаротушения. На основе данных мониторинга можно своевременно оповещать о нарушениях на участках, площадках, цехах и осуществлять интеллектуальный подбор пожарного персонала, пожарных автомобилей, пожарных инструментов и т.д., формируя адаптивный интеллектуальный план спасения при пожаре.

Оборудование интеллектуальной системы состоит из приемника, автоматических датчиков, ручных передатчиков, звуковых устройств, противопожарных дверей, противопожарных шторок, дымовых заслонок и сетевых устройств, к которым они подключены. Приемник устанавливается в центре пожарной охраны или в офисе управления в здании. Он получает сигналы от датчиков при возникновении пожара и управляет такими действиями, как отображение информации о месте возникновения пожара и подача звуковых сигналов, например звонков или голосовых сообщений. Приемник также обеспечивает питание всей системы. Обычно он работает от сети переменного тока 100 В, но при этом оснащен резервным источником питания на случай сбоя в электросети [7] (см. рис. 2).

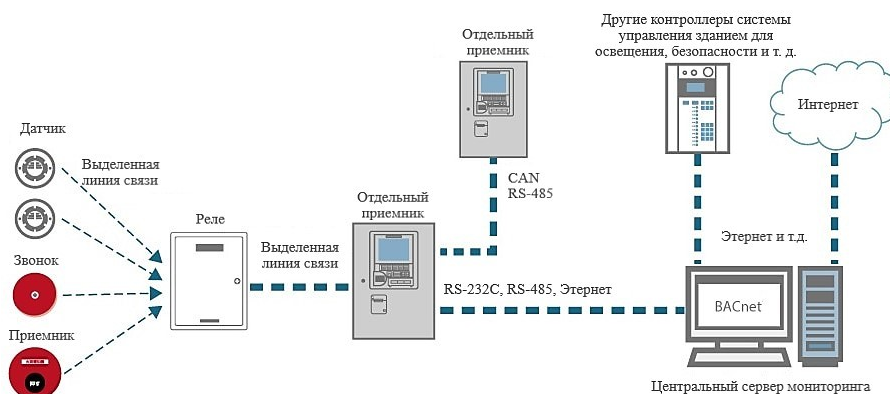


Рисунок 2 - Пример приемника и периферийной системы интеллектуальной системы пожарной безопасности производства

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33.2>

Примечание: составлено автором

Автоматические датчики установлены в различных зонах сигнализации по всему зданию. Они обнаруживают возникновение пожара по теплу, дыму или пламени и отправляют сигнал приемнику. Звуковые устройства установлены в различных местах. Эти устройства аварийной сигнализации издают звуковой сигнал или голосовое предупреждение при получении сигнала от приемника. Каждое из этих устройств подключается к сети через проводную или беспроводную систему связи. Проводные сети используют стандарт передачи данных RS-485 по выделенным проводам, а беспроводные сети используют, среди прочего, диапазон 420 МГц, Bluetooth® Low Energy (LE) или диапазон суб-ГГц [8].

В рамках разработанной системы предлагаем использовать следующие типы датчиков.

1. Датчик СО + дым

Существующие автономные пожарные датчики тревожного типа в основном способны обнаруживать возгорание с помощью датчиков дыма и локальной сигнализации. Беспроводной датчик СО + дым обеспечивает беспроводное соединение с другими датчиками, что позволяет реализовывать дополнительную функцию безопасности. По сути, он состоит из двух датчиков – СО и инфракрасного датчика дыма (ИК-дым), упакованных в один блок. Использование компактного одноблочного датчика СО + дым является менее затратным, чем установка двух датчиков по отдельности. Для активации звуковой сигнализации после подтверждения обнаружения добавляется беспроводной зуммер. В таблице 1 приведены технические характеристики датчика СО + дым.

Таблица 1 - Технические характеристики датчика СО + дым

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33.3>

Датчик	СО	ИК-дым
Порог, %	0.055 (550 мд)	15 об./м
Сигнал тревоги	Зуммер (1 мВт, 54 мА)	
Передача	ZigBee (2,4 ГГц, 9600 бит/с)	
Размер (мм)	50 Н × 120 D	

Утечка СПГ или сжиженного газа, используемого в производственных процессах, является потенциально опасной. Например, утечка природного газа может привести к немедленной смерти при вдыхании высокой концентрации [9]. Эти газы являются легковоспламеняющимися. Разработанная система включает в себя ИК-датчики СПГ и сжиженного газа. В таблице 2 приведены технические характеристики датчиков.

Таблица 2 - Технические характеристики датчика СПГ и сжиженного газа

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33.4>

Датчик	СПГ	Сжиженный газ
Порог, %	1.25	0.45
Ток, мА	120	
Передача	ZigBee (2,4 ГГц, 9600 бит/с)	
Размер, мм	180 W × 130 Н × 35 D	

3. Беспроводной ввод/вывод и интерфейс протокола управления передачей/интернет-протокол

Беспроводные датчики подключаются к контрольной панели через модуль беспроводного ввода/вывода. Беспроводная технология ZigBee используется для приема беспроводного сигнала от каждого датчика и инициирования системы сигнализации в случае пожара. Результаты тестирования, полученные с помощью программы связи, показывают, что беспроводной модуль может охватывать зону в радиусе 7 метров [10]. Система оповещения подключается к контрольной панели через последовательные порты. По выделенной линии система автоматически вызывает пожарную службу для оповещения и оказания помощи в тушении пожара. Впоследствии автоматически оповещаются и работники предприятия. Система аварийного оповещения включает в себя голосовую передачу, ручной вызов и регистратор связи. В таблице 3 приведены характеристики модулей беспроводного ввода/вывода и интерфейса протокола управления передачей/интернет-протокола.

Таблица 3 - Характеристики модулей беспроводного ввода/вывода и интерфейса протокола управления передачей/интернет-протокола

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33.5>

Модуль	Модуль беспроводного ввода/вывода	Интерфейс протокола управления передачей/интернет-протокол
Ток, мА	100	200
Передача	Zigbee	Serial
Размер	53 W × 40 D	65 W × 18 H × 42 D

Отдельный акцент необходимо сделать на интеллектуальной технологии видеомониторинга, которая выполняет две основные функции: функцию мониторинга и функцию управления. Функция мониторинга включает в себя систему видеомониторинга внутри производственных помещений и снаружи, интеллектуальные средства видеоанализа с помощью компьютерного зрения для обнаружения, идентификации возгорания, отслеживания динамики пожара, сбора статистики и т. д. Этот модуль мониторинга разрезает поток видеоданных, извлекает кадры данных через равные промежутки времени и проводит предварительный анализ данных на соответствующем кадре с помощью алгоритма повышения резкости.

Благодаря системе видеомониторинга можно получить всесторонние показатели работы оборудования и обслуживающего персонала. Система может интеллектуально определять информацию об аварийных ситуациях, неправильном движении, проникновении в запретные зоны и других видах поведения, что помогает своевременно получать информацию о чрезвычайных ситуациях, отслеживать и прогнозировать динамику развития событий.

Система интеллектуального видеомониторинга состоит из фронтальных устройств и внутренней системы управления видео. Фронтальные устройства включают в себя инфракрасные тепловизоры, модули пожарной сигнализации, камеры видимого света, устройства высокоточного интеллектуального панорамирования-наклона, сетевое оборудование передачи, которое отвечает за сбор, анализ и передачу изображений.

Внутренняя система управления видео состоит из центрального сервера, сервера хранения видео, сервера управления ГИС, сервера связи сигнализации, сервера передачи потокового мультимедиа, сервера аварийных команд, интеллектуального сервера управления питанием и неисправностями. Данная часть системы отвечает за управление оборудованием, управление пользователями, запись видеонаблюдения, ретрансляцию потокового медиа, подтверждение и анализ поведения пожара, ориентацию пожара, маркировку карт ГИС и т.д.

Общая схема интеллектуальной технологии видеомониторинга представлена на рис. 3.



Рисунок 3 - Схема интеллектуальной технологии видеомониторинга
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33.6>

Что касается мониторинга противопожарного оборудования, он включен в систему, т.к. очень важно осуществлять интеллектуальный мониторинг пожарных гидрантов. С помощью беспроводного оборудования мониторинга можно отслеживать, есть ли утечка воды в трубопроводной сети системы пожарных гидрантов, обеспечивается ли давление воды на выходе и можно ли нормально запустить пожарный насос. При возникновении неисправности подается сигнал тревоги, что позволяет достичь цели удаленного мониторинга.

Заключение

В проведенном исследовании представлена структура интеллектуальной системы пожарной безопасности производства с использованием беспроводной технологии ZigBee. Отдельное внимание уделено беспроводной связи и коммуникационным возможностям, которые добавлены к базовым характеристикам различных видов пожарных датчиков, системам видеомониторинга.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Мишкин Д.В., Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33.7>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Mishkin D.V., Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.33.7>

Список литературы / References

1. Востриков А.Ю. Пожарная безопасность технологических процессов и производств / А.Ю. Востриков, И.Д. Нечаев, А.В. Аксеновский // Наука и Образование. — 2020. — Т. 3. — № 4. — С. 5-10.
2. Бушнев Г.В. Вероятностный и детерминированный подход к обеспечению промышленной и пожарной безопасности производства / Г.В. Бушнев, Д.А. Корнеев // Трибуна ученого. — 2021. — № 4. — С. 23-27.
3. Доржиев Д.А. Пожарная безопасность на производстве / Д.А. Доржиев, В.А. Лебедева, О.В. Скоблещкая // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. — 2022. — Т. 2. — С. 208-210.
4. Хафизов Б. Как обеспечить безопасность промышленных и производственных предприятий с помощью видеотехнологии / Б. Хафизов // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. — 2021. — № 1. — С. 46-52.
5. Шкитронов М.Е. Анализ интеллектуальных систем распознавания и прогнозирования пожара: зарубежный опыт / М.Е. Шкитронов // Вестник педагогических наук. — 2022. — № 6. — С. 191-194.
6. Ватенмахер И.Б. Анализ вариантов решения проблемы пожарной безопасности промышленных предприятий / И.Б. Ватенмахер // Точная наука. — 2020. — № 87. — С. 21-23.
7. Барабанов А.Г. Особенности организации деятельности по осуществлению пожарной безопасности промышленных предприятий / А.Г. Барабанов // Наука, образование и культура. — 2022. — № 1 (61). — С. 65-67.
8. Миронов М.Р. Управление обеспечения пожарной безопасности промышленного объекта / М.Р. Миронов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. — 2023. — № 5. — С. 144-151.

9. Гвоздев Е.В. Развитие методологии управления риском на взрывопожароопасных объектах предприятий / Е.В. Гвоздев // Безопасность труда в промышленности. — 2023. — № 8. — С. 61-69.

10. Бородин А.А. Системы автоматической противопожарной защиты предприятий в контексте трендов Индустрии 4.0 / А.А. Бородин // Газовая промышленность. — 2022. — № 9 (837). — С. 60-61.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vostrikov A.Yu. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov i proizvodstv [Fire Safety of Technological Processes and Production] / A.YU. Vostrikov, I.D. Nechaev, A.V. Aksenovskij // Nauka i Obrazovanie [Science and Education]. — 2020. — Vol. 3. — No. 4. — P. 5-10. [in Russian]

2. Bushnev G.V. Veroyatnostnyj i determinirovannyj podhod k obespecheniyu promyshlennoj i pozharnoj bezopasnosti proizvodstva [Probabilistic and Deterministic Approach to Ensuring Industrial and Fire Safety of Production] / G.V. Bushnev, D.A. Korneev // Tribuna uchenogo [Tribune of the Scientist]. — 2021. — No. 4. — p. 23-27. [in Russian]

3. Dorzhiev D.A. Pozharnaya bezopasnost' na proizvodstve [Fire Safety at Work] / D.A. Dorzhiev, V.A. Lebedeva, O.V. Skobleckaya // Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke [Scientific, Technical and Economic Cooperation of Asia-Pacific Countries in the 21st Century]. — 2022. — Vol. 2. — P. 208-210. [in Russian]

4. Khafizov B. Kak obespechit' bezopasnost' promyshlennyh i proizvodstvennyh predpriyatij s pomoshch'yu videotekhnologii [How to Ensure the Safety of Industrial and Production Enterprises Using Video Technology] / B. Khafizov // Ohrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennyh predpriyatiyah [Occupational Health and Safety Equipment at Industrial Enterprises]. — 2021. — No. 1. — P. 46-52. [in Russian]

5. Shkitronov M.E. Analiz intellektual'nyh sistem raspoznavaniya i prognozirovaniya pozhara: zarubezhnyj opyt [Analysis of Intelligent Fire Recognition and Forecasting Systems: foreign experience] / M.E. SHkitronov // Vestnik pedagogicheskikh nauk [Bulletin of Pedagogical Sciences]. — 2022. — No. 6. — p. 191-194. [in Russian]

6. Vatenmacher I.B. Analiz variantov resheniya problemy pozharnoj bezopasnosti promyshlennyh predpriyatij [Analysis of Options for Solving the Problem of Fire Safety of Industrial Enterprises] / I.B. Vatenmaher // Tochnaya nauka [Exact Science]. — 2020. — No. 87. — p. 21-23. [in Russian]

7. Barabanov A.G. Osobennosti organizacii deyatel'nosti po osushchestvleniyu pozharnoj bezopasnosti promyshlennyh predpriyatij [Features of Organizing Activities to Implement Fire Safety of Industrial Enterprises] / A.G. Barabanov // Nauka, obrazovanie i kul'tura [Science, Education and Culture]. — 2022. — No. 1 (61). — p. 65-67. [in Russian]

8. Mironov M.R. Upravlenie obespecheniya pozharnoj bezopasnosti promyshlennogo ob'ekta [Directorate for Ensuring Fire Safety of an Industrial Facility] / M.R. Mironov // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem [Forging and Stamping Production. Processing of Materials by Pressure]. — 2023. — No. 5. — P. 144-151. [in Russian]

9. Gvozdev E.V. Razvitie metodologii upravleniya riskom na vzryvopozharoопасnyh ob'ektah predpriyatij [Development of Risk Management Methodology at Explosion- and Fire-hazardous Enterprise Facilities] / E.V. Gvozdev // Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Labor Safety in Industry]. — 2023. — No. 8. — P. 61-69. [in Russian]

10. Borodin A.A. Sistemy avtomaticheskoy protivopozharnoj zashchity predpriyatij v kontekste trendov Industrii 4.0 [Automatic Fire Protection Systems for Enterprises in the Context of Industry 4.0 Trends] / A.A. Borodin // Gazovaya promyshlennost' [Gas Industry]. — 2022. — No. 9 (837). — p. 60-61. [in Russian]