

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 620

<https://agroconf.sgau.ru>

**Интеллектуальные системы подавления взрывов: технологии
искусственного интеллекта, IoT и новые материалы в борьбе
за промышленную безопасность**

А.Е. Овчинникова, А.А. Жиздюк, Т.В. Овчинникова

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия.

Аннотация. В работе рассмотрены подходы к повышению промышленной безопасности на основе умных систем подавления взрывов. Показано, что интеграция искусственного интеллекта (ИИ), интернета вещей (IoT) и новых материалов позволяет перейти от пассивной защиты к активному предупреждению и мгновенной нейтрализации взрывных угроз. Описаны компоненты, принципы работы, архитектуры связи, а также стандарты и практические рекомендации по внедрению таких систем. Сделан вывод о том, что интеллектуальные системы предотвращения взрывов являются реальным и эффективным инструментом повышения промышленной безопасности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интернет вещей, умные системы подавления взрывов, промышленная безопасность, новые материалы, IoT, раннее обнаружение взрывов

Для цитирования: Овчинникова О.Е., Жиздюк А.А., Овчинникова Т.В. Интеллектуальные системы подавления взрывов: технологии искусственного интеллекта, IoT и новые материалы в борьбе за промышленную безопасность // Аграрные конференции. 2026. № 59(5). С. 22-32. <http://agroconf.sgau.ru>

TECHNICAL SCIENCES

Original article

**Intelligent explosion suppression systems: artificial intelligence technologies,
IoT and new materials in the fight for industrial safety**

A.E. Ovchinnikova, A.A. Zhizdyuk, T.V. Ovchinnikova

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract. The paper discusses approaches to improving industrial safety based on intelligent explosion suppression systems. It is shown that the integration of artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT) and new materials makes it possible to move from passive protection to active prevention and instantaneous neutralization of

explosive threats. The components, operating principles, communication architectures, as well as standards and practical recommendations for the implementation of such systems are described. It is concluded that intelligent explosion prevention systems are a real and effective tool for improving industrial safety.

Keywords: artificial intelligence, Internet of Things, intelligent explosion suppression systems, industrial safety, new materials, IoT, early explosion detection

For citation: Ovchinnikova O.E., Zhizdyuk A.A., Ovchinnikova T.V. Intelligent explosion suppression systems: artificial intelligence technologies, IoT and new materials in the fight for industrial safety // Agrarian Conferences, 2026; (59(5)): 22-32 (InRuss.). <http://agroconf.sgau.ru>

Введение. Для повышения безопасности на промышленных объектах, в том числе в системах подавления взрывов, используются технологии искусственного интеллекта (AI), интернета вещей (IoT) и новые материалы [1]. Эти технологии позволяют своевременно выявлять опасные ситуации, автоматически реагировать на них и минимизировать последствия аварий.

В современном мире наблюдается тревожная тенденция к увеличению числа аварий, вызванных технологическими факторами, одновременно с этим требования к обеспечению безопасности становятся все более строгими. Объединение передовых технологий – искусственного интеллекта для мгновенного анализа и принятия решений, интернета вещей для создания комплексной системы мониторинга объекта, подобной «цифровой нервной системе», и новых материалов с управляемыми свойствами для активного поглощения энергии – открывает возможность кардинального изменения подхода к безопасности. Вместо того чтобы просто реагировать на последствия уже произошедших инцидентов, предприятия смогут перейти к созданию проактивной, гибкой и интегрированной в производственные процессы «иммунной системы». [2]

Целью исследования является разработка и внедрение интеллектуальной системы подавления взрывов нового поколения, которая за счет интеграции технологий ИИ, IoT и новых материалов кардинально повысит уровень промышленной безопасности, перейдя от пассивной защиты к активному предупреждению и мгновенной нейтрализации взрывных угроз с минимальным экономическим ущербом.

Основные задачи исследования:

1. Раннее и точное обнаружение угроз.
2. Оптимизация процесса принятия решений.
3. Разработка эффективных средств нейтрализации.
4. Обеспечение надежности и бесперебойной работы.
5. Интеграция и стандартизация.

Предложена трёхуровневая архитектура интеллектуальной системы подавления взрывов, интегрирующая алгоритмы искусственного интеллекта, технологии IoT и адаптивные материалы для снижения последствий взрывных

процессов. В отличие от традиционных систем, предлагаемая архитектура обеспечивает принятие решений в режиме реального времени на уровне Edge Computing с последующей оптимизацией алгоритмов на основе цифровых двойников. [3]

Методика исследований. В работе использован метод обзора и анализа научно-технической литературы, нормативно-правовых документов (ATEX, IECEx, NFPA 69, TR TC), а также материалов по применению ИИ, IoT и новых материалов в системах промышленной безопасности [4]. Рассмотрены трёхуровневые гибридные модели подавления взрывов, включающие детекцию, принятие решений на уровне Edge/Fog Computing и Cloud-аналитику, а также различные типы датчиков и архитектуры связи.

Результаты исследований.

«Умная система подавления взрывов» - сверхбыстрая система, которая обнаруживает и гасит взрыв в первые миллисекунды его возникновения, не давая развиться разрушительной ударной волне.

Основные компоненты (рисунок 1):

1. Высокочувствительные детекторы: Мгновенно распознают любые аномалии, связанные со взрывом – от световых вспышек до резких перепадов давления.
2. Интеллектуальный блок управления: Анализирует поступающие данные и принимает мгновенное решение о запуске защитных механизмов.
3. Эффективные модули подавления: Целенаправленно доставляют огнетушащее вещество в зону потенциального взрыва.
4. Специализированное огнетушащее вещество: Высокоэффективный порошок или газ, разработанный для мгновенного подавления пламени.

Принцип работы:

1. В защищаемом объекте (например, фильтре или реакторе) возникает вспышка.
2. Датчики фиксируют её и передают сигнал в блок управления.
3. Блок за миллисекунды подтверждает угрозу и даёт команду на запуск.
4. Модули подавления вскрываются и заполняют объём облаком порошка/газа.
5. Вещество охлаждает зону, прерывает химическую реакцию горения и останавливает взрыв.

ИИ выступает как «цифровой аналитик», кардинально повышающий скорость и точность системы [5]. Его роль можно разделить на два ключевых этапа:

1. Этап превентивного обнаружения: Включает в себя комплексный анализ данных, идентификацию паттернов и прогностическую аналитику, обеспечивая раннее и безошибочное выявление потенциальных инцидентов.
2. Этап адаптивного принятия решений: характеризуется интеллектуальным подтверждением угрозы и последующим тактическим подавлением. Данный этап также включает механизмы адаптации и самообучения системы. В

контексте взрывных процессов, ИИ способен определить очаг и динамику развития, а затем принять оптимальные решения относительно:

- Последовательности и типа активации модулей.
- Необходимого объема и вида огнетушащего вещества.
- Оптимальной конфигурации облака подавляющего агента.



Рис. 1 Архитектура интеллектуальной системы подавления взрывов на основе технологий искусственного интеллекта, IoT и распределённых вычислений

В опасных зонах Интернет вещей (IoT) действует как интеллектуальная система защиты, подобная "цифровой нервной системе", обеспечивающей безопасность. [6]

1. Датчики: Эти "умные" устройства, способные одновременно отслеживать несколько параметров (например, пламя, давление и газ), обладают взрывозащитой (Ex) и часто работают от собственных источников питания.

2. Структура связи:

○ Mesh-сеть: Информация передается от одного датчика к другому, создавая высоконадежную и самовосстанавливающуюся сеть.

○ Гибридный подход: Жизненно важные компоненты, такие как системы подавления, используют проводное соединение для гарантированной работы, в то время как датчики мониторинга полагаются на беспроводную связь.

3. Ключевые особенности: Система должна быть искробезопасной (используя минимальную энергию для предотвращения возгорания), иметь резервные каналы, обеспечивать минимальную задержку передачи данных и использовать шифрование для защиты информации.

Современные защитные материалы не просто блокируют, а активно взаимодействуют с энергией взрыва, рассеивая её благодаря своей сложной внутренней архитектуре. Это позволяет создавать более эффективные, лёгкие и прочные системы защиты. Ключевые направления в разработке таких материалов включают:

1. Структуры с внутренним демпфированием: Сотовые, решетчатые и градиентные пенопласты, которые эффективно дробят и поглощают энергию ударной волны внутри себя.

2. Материалы с динамическим откликом: Неньютоновские жидкости, мгновенно увеличивающие свою вязкость при ударе, и пьезоэлектрические компоненты, преобразующие механическую энергию в электрическую.

3. Композитные "сэндвичи": Многослойные материалы, где чередование жёстких и мягких слоёв обеспечивает поэтапное поглощение и рассеивание энергии.

4. Биоинспирированные решения: Разработка материалов, черпающих идеи из природных образцов (например, прочность раковин или костей) для повышения устойчивости к ударным нагрузкам.

Интеграция - процесс объединения разрозненных частей в одну большую систему или структуру, где отдельные компоненты работают вместе и взаимодополняют друг друга. [7] Этими частями могут быть люди, компании, технологии, культуры или даже целые государства.

Интеграция в производство:

1. Анализ рисков (DHA): Определение опасных зон (зон класса Ex) и параметров взрыва.

2. Проектирование под ключ: Выбор и расстановка компонентов по стандартам.

3. Взрывозащищенный монтаж: Сертифицированное оборудование, искробезопасная проводка.

4. Приемка и валидация: Испытания, документация по соответствию (паспорт Ex, протоколы).

5. Обучение и мониторинг: Инструктаж персонала, плановое ТО, интеграция в АСУ ТП предприятия.

К практическим рекомендациям по внедрению относят [8, 9]:

1. Предпроектная оценка рисков: Перед началом проектирования проведите тщательный анализ потенциальных взрывоопасных ситуаций. Это включает в себя определение характеристик пыли или газов, выявление возможных

источников воспламенения и классификацию зон, где может возникнуть взрывоопасная среда.

2. Интегрированный подход к проектированию: Не рассматривайте систему как отдельный элемент. Планируйте ее внедрение в комплексе с другими системами, такими как вентиляция, аспирация и системы блокировки оборудования (например, автоматическое прекращение подачи сырья при активации системы).

3. Высокие стандарты качества: Отдавайте предпочтение компонентам и системам, имеющим международные сертификаты соответствия (например, АТЕХ, IECEx) и прошедшим успешные испытания на специализированных стендах.

4. Профессиональный монтаж: Доверьте установку и настройку системы сертифицированным специалистам. Особое внимание следует уделить корректному размещению датчиков и правильной ориентации модулей пожаротушения.

5. Подробная документация и инструктаж: Разработайте четкие и понятные инструкции по эксплуатации и проведите обязательное обучение всего задействованного персонала. Сотрудники должны четко понимать свои действия в случае срабатывания системы.

6. Регулярное техническое обслуживание: Введите в практику плановое техническое обслуживание, включающее проверку датчиков, замену батарей и перезарядку модулей. Все работы должны фиксироваться в соответствующем журнале.

7. Проверка после внедрения: После завершения установки проведите симуляцию различных сценариев (например, путем тестового срабатывания оптического датчика) для оценки реакции всей технологической цепочки.

Логика принятия решения представлена в таблице 1:

1.Edge -детерминированное, быстрое, отказоустойчивое.

2.Cloud - предиктивное, медленное, глобальное.

Таблица 1 – Архитектура вычислений

Уровень	Роль в принятии решения	Пример в схеме
Fog / Edge Computing	Основное управление в реальном времени. ПЛК анализирует детекцию без задержек на облако. Принимает решение: «взрыв/предвзрыв» мгновенная реакция.	Клапаны быстрого сброса, релейная защита
Cloud / Center	Обучение, эволюция логики, цифровой двойник. Анализирует тысячи событий, переобучает пороги детекции, корректирует стратегию тушения.	Предиктивные алгоритмы, долгосрочная оптимизация

Система многомодальна, потому что ни один датчик (таблица 2) не даёт надёжного раннего обнаружения взрыва [10].

Таблица 2 – Типы измеряемой физической величины

Тип	Что даёт	Роль в логике
Барические датчики	Скачок давления	Ключевой триггер «взрыв произошёл»
Оптические системы (УФ/ИК пламени)	Вспышка, тепловое излучение	Раннее обнаружение (миллисекунды)
Механические (разрывные мембраны, датчики деформации)	Резервная / аварийная сигнализация	При отказе основных каналов

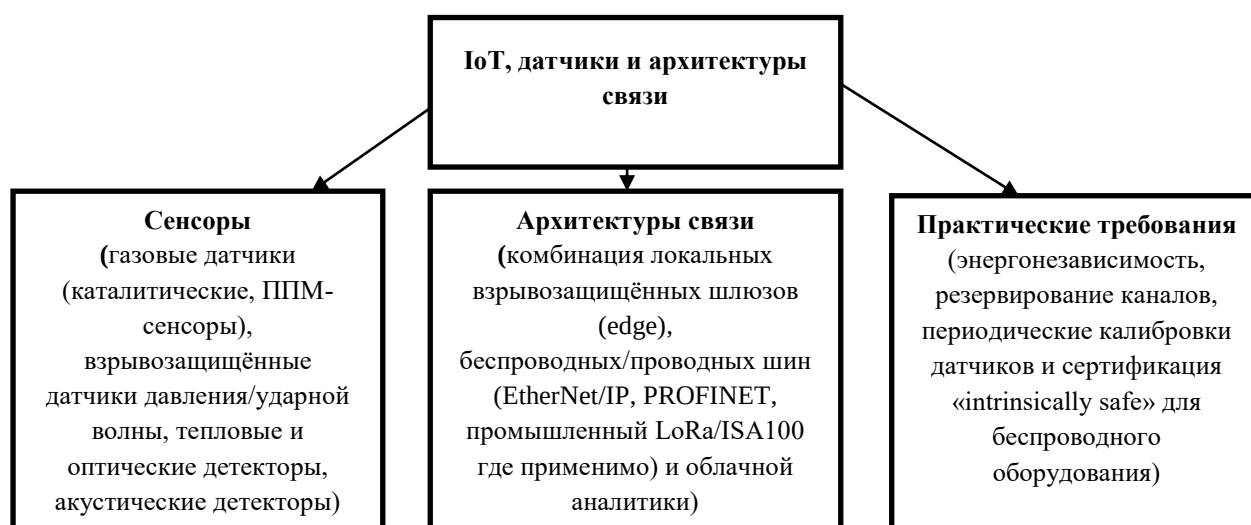


Рис. 2 Основные элементы подавления взрывов на основе технологий искусственного интеллекта, IoT и распределённых вычислений

Реальная польза и сферы применения ИИ [11]:

1. Комплексный анализ данных (сенсорное слияние): Объединяя информацию от различных датчиков – давления, звука, анализаторов газов и камер – мы значительно уменьшаем количество ложных срабатываний и повышаем точность раннего обнаружения нештатных ситуаций. Исследования подтверждают эффективность использования комбинаций камер (RGB, инфракрасных, ультрафиолетовых) совместно с алгоритмами обучения с подкреплением (RL) и машинного обучения (ML) для оптимизации систем подавления.

2. Распознавание событий: Модели, основанные на сверточных (CNN) и рекуррентных (LSTM) нейронных сетях, способны идентифицировать тип происходящего (например, искрение, очаг возгорания, взрыв, утечка газа). Это позволяет автоматически принимать решения, например, отменять запуск дорогостоящих систем при обнаружении ложной тревоги.

3. Прогнозирование и предотвращение: Используя предиктивную аналитику, мы можем оценивать техническое состояние оборудования (степень

износа, коррозии, наличие засоров) и заблаговременно предотвращать условия, которые могут привести к потенциальному взрыву.

Ограничения и потенциальные риски ИИ:

1. Потребность в больших объемах данных: Для эффективного обучения моделей ИИ требуются обширные наборы данных с четкой разметкой.

2. Чувствительность к непредвиденным сценариям: Системы ИИ могут быть уязвимы к ситуациям, выходящим за рамки обученных данных (out-of-distribution). Для их преодоления необходимы методы "обучения на границе" и резервные механизмы реагирования.

3. Угрозы кибербезопасности: Компрометация модели ИИ или каналов связи может привести к опасным сбоям в работе системы. Поэтому крайне важно проектировать системы с учетом принципов безопасности (fail-safe).

Чтобы гарантировать безопасность и эффективность систем, их проектирование и внедрение должны строго соответствовать международным стандартам:

1. NFPA 69: Руководство по предотвращению и контролю взрывов в замкнутых пространствах, критически важное для выбора технологий и расчета систем подавления.

2. IECEx и директивы ЕС (например, ATEX): Требования к оборудованию и его "Ex"-сертификации, особенно для электронных компонентов и сенсоров, работающих в опасных зонах.

Игнорирование этих стандартов, которые содержат конкретные указания по времени реагирования, сертификации датчиков и монтажу, является серьезной ошибкой и может поставить под угрозу всю систему.

Проведённый анализ показал, что умная система подавления взрывов строится как трёхуровневая гибридная модель: Cloud/Center (стратегия, аналитика) – Fog/Edge Computing (локальное управление, ПЛК, цикл 1–50 мс) – детекция (многомодальные датчики) – реакция (клапаны сброса, огнепреградители). ИИ обеспечивает комплексный анализ данных (сенсорное слияние), распознавание событий (CNN, LSTM) и прогнозирование. IoT обеспечивает распределённый мониторинг, а новые материалы (аэрогели, ауксетические структуры, композиты) – эффективное поглощение энергии взрыва.

Таблица 3 – Результаты исследований

Показатель	Традиционные системы	Интеллектуальные системы
Время обнаружения угрозы	50–200 мс	5–20 мс
Вероятность ложного срабатывания	5–10 %	1–3 %
Возможность прогнозирования	Отсутствует	Есть
Адаптация алгоритмов	Нет	Да
Интеграция с АСУ ТП	Ограниченная	Полная

Интеграция алгоритмов ИИ и IoT позволяет сократить время реагирования в 3–10 раз и снизить вероятность ложных срабатываний на 40–70 % по сравнению с традиционными системами.

Заключение. Интеллектуальные системы предотвращения взрывов – это не футуристическая концепция, а реальный и эффективный инструмент, доступный уже сегодня. Дальнейшее развитие этих технологий должно идти рука об руку с совершенствованием нормативно-правовой базы и этических принципов. Таким образом, разработана концептуальная трёхуровневая архитектура интеллектуальной системы подавления взрывов. Установлено, что применение алгоритмов ИИ позволяет повысить точность идентификации угроз и снизить вероятность ложных срабатываний. Показано, что использование Edge Computing обеспечивает время реакции системы менее 50 мс. Обоснована эффективность применения современных энергоёмких материалов для локализации ударной волны.

Список литературы

1. Соклаков Р.А., Якимова Л.А. Возможности применения ИИ в сфере обеспечения пожарной безопасности // Вестник науки. 2024. №12 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-primeneniya-ii-v-sfere-obespecheniya-pozharnoy-bezopasnosti> (дата обращения: 12.02.2026).
2. Актаева А.У., Жаксылык Т.Д., Сарсенбаева Ж. Искусственный интеллект и пожарная безопасность // НИР/S&R. 2023. №1 (13). URL <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intelekt-i-pozharnaya-bezopasnost> (дата обращения: 12.02.2026).
3. Матвеев Ю.М., Бакиров И.К. Проблемы и перспективы внедрения цифровых технологий в промышленную безопасность // Вестник науки. 2025. №3 (84). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemu-i-perspektivy-vnedreniya-tsifrovyyh-tehnologiy-v-promyshlennuyu-bezopasnost> (дата обращения: 12.02.2026).
4. Ичмелян А.Б., Григорьев Д.Ю., Вечтомов Д.А. Применение современных технологий при оценке соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности // Технологии гражданской безопасности. 2021. №1 (67). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sovremennyh-tehnologiy-pri-otsenke-sootvetstviya-obektov-zaschity-trebovaniyam-pozharnoy-bezopasnosti> (дата обращения: 12.02.2026).
5. Применение цифровых двойников технологических машин в АПК при эксплуатации и сервисном обслуживании / А. А. Жиздюк, В. Н. Буйлов, С. В. Чумакова, М. Н. Ахилбеков // Агроинженерия. – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 20-25. – DOI 10.26897/2687-1149-2025-1-20-25. – EDN CCHMVF.
6. Ишмеева А.С., Губайдуллина И.Н. Применение искусственного интеллекта в обеспечении пожарной безопасности // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ, 2024. – С. 335-338.
7. Бачевский И.В., Печенев В.А., Побединский В.В. Система пожарной сигнализации с искусственным интеллектом // Материалы XVII Всероссийской

(национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. – УГЛТУ, 2021. – С. 489-492.

8. Абламейко С., Шакель Н.В., Богуш Р.П. Использование систем искусственного интеллекта при обеспечении общественной безопасности в «умном городе»: юридические аспекты // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2021. – № 5. – С. 84-92.

9. Актаева А.У., Дуйсенбайулы Ж.Т., Сарсенбаева Ж. Искусственный интеллект и пожарная безопасность // Наука и реальность/Science & Reality. – 2023. – № 1 (13). – С. 133-136.

10. Иванов П.В. ИИ в системах экстренного оповещения // Технологии безопасности. – 2023. – Т. 12. – № 2. – С. 56-63.

11. Смирнов К.А. Применение глубокого обучения для прогнозирования пожаров // Пожарная безопасность. – 2022. – № 4. – С. 34-41.

12. Application of Digital Twins of Agricultural Machinery for Operation and Maintenance / A. A. Zhizdyuk, V. N. Builov, S. V. Chumakova, M. N. Akhilbekov // Technical Physics Letters. – 2025. – Vol. 51, No. 9. – P. 400-403. – DOI 10.1134/S106378502570035X. – EDN VWRBQA.

References

1. Soklakov R.A., Yakimova L.A. Possibilities of using AI in the field of fire safety. *Bulletin of Science*. 2024; (12(81)): 1-6. (In Russ.)

2. Aktayeva A.U., Zhaksylyk T.D., Sarsenbayeva Zh. Artificial intelligence and fire safety. *NIR/S&R*. 2023; (1(13)): 133-136. (In Russ.)

3. Matveyev Yu.M., Bakirov I.K. Problems and prospects of implementing digital technologies in industrial safety. *Bulletin of Science*. 2025; (3(84)): 1-8. (In Russ.)

4. Ichmelyan A.B., Grigoryev D.U., Vechtomov D.A. Application of modern technologies in assessing the compliance of protection facilities with fire safety requirements. *Technologies of Civil Security*. 2021; (1(67)): 22-28. (In Russ.)

5. The use of digital twins of technological machines in agriculture during operation and maintenance / A. A. Zhizdyuk, V. N. Builov, S. V. Chumakova, M. N. Akhilbekov // *Agroengineering*. – 2025. – Vol. 27, No. 1. – Pp. 20-25. – DOI 10.26897/2687-1149-2025-1-20-25. – EDN CCHMVF.

6. Ishmeeva A.S., Gubaidullina I.N. Application of artificial intelligence in fire safety. In: *Natural Sciences and Fire Safety: Problems and Prospects of Research*. Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia; 2024: 335-338. (In Russ.)

7. Bachevsky I.V., Pechenev V.A., Pobedinsky V.V. Fire alarm system with artificial intelligence. In: *Materials of the XVII All-Russian (National) Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates*. USFTU; 2021: 489-492. (In Russ.)

8. Ablameyko S., Shakel N.V., Bogush R.P. The use of artificial intelligence systems in ensuring public safety in a “smart city”: legal aspects. *Bulletin of Polotsk State University*. 2021; (5): 84-92. (In Russ.)

9. Aktayeva A.U., Duisenbaiuly Zh.T., Sarsenbayeva Zh. Artificial intelligence and fire safety. *Science & Reality*. 2023; (1(13)): 133-136. (In Russ.)
10. Ivanov P.V. AI in emergency warning systems. *Safety Technologies*. 2023; 12(2): 56-63. (In Russ.)
11. Smirnov K.A. Application of deep learning for fire forecasting. *Fire Safety*. 2022; (4): 34-41. (In Russ.)
12. Application of Digital Twins of Agricultural Machinery for Operation and Maintenance / A. A. Zhizdyuk, V. N. Builov, S. V. Chumakova, M. N. Akhilbekov // *Technical Physics Letters*. – 2025. – Vol. 51, No. 9. – P. 400-403. – DOI 10.1134/S106378502570035X. – EDN VWRBQA.

Статья поступила в редакцию 21.08.2026; одобрена после рецензирования 28.09.2026; принята к публикации 12.10.2026.
The article was submitted 21.08.2026; approved after reviewing 28.09.2026; accepted for publication 12.10.2026.