

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 3 / 2023, Vol. 10, Iss. 3 <https://resources.today/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/06INOR323.pdf>

DOI: 10.15862/06INOR323 (<https://doi.org/10.15862/06INOR323>)

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Иорданова, А. В. Анализ особенностей использования промышленного Интернета вещей для обеспечения производственной и экологической безопасности / А. В. Иорданова, Д. Е. Гладилин, Ю. Ю. Курасова, К. А. Персидская // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 3. — URL: <https://resources.today/PDF/06INOR323.pdf> DOI: 10.15862/06INOR323

For citation:

Iordanova A.V., Gladilin D.E., Kurasova Ju.Yu., Persidskaya K.A. Analysis of the features of using the industrial Internet of Things to ensure industrial and environmental safety. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(3): 06INOR323. Available at: <https://resources.today/PDF/06INOR323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/06INOR323

Работа выполнена в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» проекта «Приоритет-2030»

УДК 004.7

Иорданова Анастасия Владимировна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
Доцент кафедры «Охраны труда и окружающей среды»

Кандидат технических наук

E-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7780-497X>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=950648

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAH-7282-2020>

Гладилин Даниил Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

E-mail: danilglados@gmail.com

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1089657

Курасова Юлия Юрьевна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

E-mail: kurasova.ulia@yandex.ru

Персидская Ксения Андреевна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

E-mail: ksenipersi@bk.ru

Анализ особенностей использования промышленного Интернета вещей для обеспечения производственной и экологической безопасности

Аннотация. В статье проведен анализ основных особенностей использования промышленного Интернета вещей с целью улучшения производственной и экологической безопасности на промышленных предприятиях. Авторами проанализированы статистические данные по несчастным случаям на предприятиях России и мира в результате чего выделены определенные отрасли промышленности, в которых число таких случаев значительно

превышает средний показатель. К ним относятся: транспорт, обрабатывающая промышленность и горнодобывающая промышленность. По данным отраслям выделены основные опасные и вредные факторы и представлены возможные варианты снижения их воздействия на организм работника с использованием технологий IoT. В статье проведен обзор обобщенной многоуровневой архитектуры управления безопасностью на основе IoT — сервисно-ориентированной архитектуры. Она состоит из четырех уровней: уровень устройств, оснащенных датчиками; уровень промежуточного устройства; сетевой уровень; интерфейсный уровень. Данный подход представляет собой технологию облачных программных решений, т. к. вся необходимая информация хранится и обрабатывается посредством веб-ресурса. Внедрение подобного рода системы позволяет значительно сократить количество несчастных случаев и других нежелательных инцидентов, возникающих в процессе производственной деятельности. В качестве примера авторами проанализированы и приведены примеры использования технологий IoT и сервисно-ориентированной архитектуры, которые могут использоваться для обеспечения производственной и экологической безопасности технологических процессов в горнодобывающей промышленности: использование систем передачи сигнала, основанной на множественном входе и множественном выходе, для связи в подземных шахтах; использование пассивных, активных меток радиочастотной идентификации, смарт-карт в подземных шахтах для обнаружения взрывчатых веществ, связи на большие расстояния, отслеживания и мониторинга параметров окружающей среды и т. д. Кроме того, представлены дальнейшие перспективы развития описанных технологий.

Ключевые слова: Интернет вещей; производственная безопасность; экологическая безопасность; информационные технологии; сервисно-ориентированная архитектура; автоматизация; система управления безопасностью

Введение

Появление технологии Интернета вещей (IoT) связывают с повсеместным распространением Интернета и подключенных к нему различного рода устройств [1]. Нередко все эти устройства объединяются между собой в единую сеть. Взаимосвязанное оборудование способно обмениваться данными, а также передавать их на центральный сервер посредством сети Интернет. В конечном итоге, все это привело к практическому применению описанных технологий не только в общественной сфере, но и в производственном секторе.

Технологии промышленного Интернета вещей позволяют объединять между собой информационные системы, оборудование и другую производственную инфраструктуру. Помимо этого, IoT обеспечивает интеграцию информационных технологий (ИТ) и операционных технологий (ОТ).

Технологии IoT создают концептуальную основу промышленной среды как обобщенной сети с цифровыми связями между работниками, руководителями, производственным оборудованием. Результатом данной трансформации является более быстрое и упрощенное взаимодействие между всеми звеньями предприятия, что позволяет быстро и качественно принимать те или иные решения в изменяющихся условиях [2].

Одной из наиболее важных целей в промышленности, которая может быть трансформирована с помощью технологий IoT является управление промышленной и экологической безопасностью.

Таким образом, цель исследования заключается в проведении анализа основных особенностей использования промышленного Интернета вещей с целью улучшения производственной и экологической безопасности на промышленных предприятиях.

Материалы и методы

Анализируя статистические данные по несчастным случаям (в том числе со смертельным исходом) на предприятиях России и мира, можно выделить определенные отрасли промышленности, в которых число таких случаев значительно превышает средний показатель (рис. 1) [3].

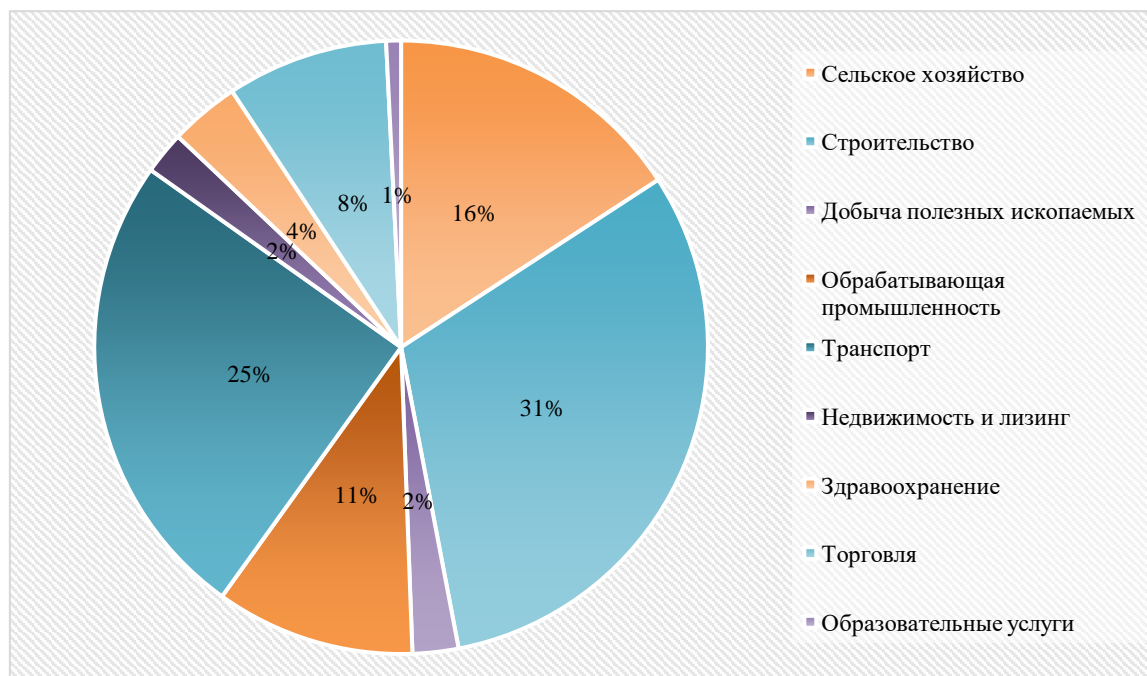


Рисунок 1. Статистика несчастных случаев со смертельным исходом в мире по различным отраслям деятельности (составлено авторами на основании статистических данных)

Рассмотрев представленную диаграмму, мы видим, что в специфических отраслях промышленности процент несчастных случаев со смертельным исходом достаточно велик, например, в обрабатывающей промышленности при несоблюдении стандартных операционных процедур или нарушении требований безопасности выполняемых работ.

Технологии промышленного Интернета вещей позволяют осуществлять мониторинг безопасности в некоторых отраслях промышленности, одновременно повышая уровень автоматизации производственных процессов.

Кроме того, подобного рода системы имеют возможность отслеживать текущие события и сохранять полученную информацию на центральных серверах, что в дальнейшем может использоваться работниками для прогнозирования поломок оборудования и составления планов его технического обслуживания и ремонта. Оперативная информация о состоянии производственного оборудования сокращает вероятность возникновения аварий из-за несвоевременно организованного обслуживания.

С развитием робототехники и других технологий индустрии 4.0 появляются дополнительные возможности для сокращения воздействия на работника опасных и вредных факторов, что приводит к снижению несчастных случаев и профессиональных заболеваний в различных отраслях промышленности. В таблице 1 представлены основные опасные и вредные факторы на производстве, а также возможные варианты снижения их воздействия на организм работника с использованием технологий IoT [4; 5].

Таблица 1

**Вредные и опасные производственные факторы
и варианты минимизации их воздействия с использованием технологий IoT**

№	Вредный или опасный фактор	Возможность автоматического обнаружения опасности	Возможные варианты минимизации воздействия опасного фактора
1	Опасные жидкости	да	Дистанционный мониторинг
2	Опасные газы	да	Газовые детекторы
3	Радиация	да	Радиационные датчики
7	Психофизиологические факторы	нет	—
9	Повышенный уровень шума	да	Датчики уровня шума
10	Пожароопасность	да	Пожарные извещатели
11	Опасность поражения электрическим током	да	Датчики контроля непрерывности линии, датчики электрических разрядов и т. п.
12	Недостаточная освещенность	да	Датчики контроля освещенности
13	Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	да	Датчики контроля качества воздуха
14	Повышенные или пониженные температуры воздуха рабочей зоны	да	Датчики контроля температуры окружающей среды
15	Работа в замкнутом (ограниченном) пространстве	нет	—
16	Работа на высоте	да	Автоматические предохранительные устройства
17	Погрузчики и другие грузоподъемные механизмы	да	Датчики приближения, роботы
19	Опасные машины и механизмы	да	Контроль состояния машин, автоматические ограждения, предохранительные устройства
20	Неисправные ручные рабочие инструменты	частично	Инструментальный контроль с помощью камер видеонаблюдения
21	Чрезвычайные ситуации	нет	—
22	Плохие санитарно-бытовые условия	нет	—
23	Биологические опасности	нет	Биодатчики
24	Обращение с отходами	да	«Умные» мусорные контейнеры

Составлено авторами

Многие исследователи отмечают, что использование современных информационных технологий IoT в совокупности с традиционными производственными процессами обеспечивает значительное повышение эффективности и производительности труда. При возникновении какого-либо несчастного случая происходит остановка деятельности всего подразделения, что влечет за собой приостановку деятельности предприятия в целом. Также оказывается серьезное психологическое воздействие на работников подразделения, где произошел несчастный случай.

Таким образом, возникает необходимость в детальном изучении и анализе описанных рисков и основанных на них методов управления безопасностью производственных процессов, используемых в различных отраслях промышленности.

Результаты исследования

Опираясь на статистические данные, обобщенные в виде диаграммы (рис. 1), выделим три основные отрасли для дальнейшего анализа: транспорт, обрабатывающая промышленность и горнодобывающая промышленность. Данные отрасли выбраны также в виду их высокой заинтересованности во внедрении интеллектуальных решений в области обеспечения

безопасности технологических процессов с целью минимизации воздействия на человека, природную среду и сохранения экономического потенциала развития предприятий.

Для реализации поставленной цели определим основные задачи:

- провести обзор обобщенной многоуровневой архитектуры управления безопасностью на основе IoT;
- предложить направления для дальнейшего развития технологий IoT, на основе которых существующие прототипы, системы и модели могут быть модернизированы для повышения безопасности, эффективности систем и улучшения качества выпускаемой продукции.

Многоуровневые архитектуры являются достаточно распространённым способом структурирования различных систем автоматизации и управления на производстве [6; 7].

Рассматривая специфику применения сервисно-ориентированной архитектуры с целью обеспечения производственной и экологической безопасности, следует выделить основные ее уровни (рис. 2).



Рисунок 2. Многоуровневая архитектура управления безопасностью технологических процессов с использованием IoT (составлено авторами)

Таким образом, структура системы управления безопасностью с использованием технологий IoT представляет собой комбинацию различных уровней:

1. Уровень устройств, оснащенных датчиками. Этот уровень представляет собой совокупность различного рода интерактивных сенсорных датчиков, работающих в режиме реального времени и установленных либо непосредственно на оборудовании (механизме), либо в определенной пространственной точке (например, в особо опасной зоне). Данные датчики воспринимают и передают информацию на уровень промежуточного устройства в зависимости от превышения предельно-допустимых установленных значений. Далее полученная информация автоматически обрабатывается и передаётся соответствующим работникам.

2. Уровень промежуточного устройства. На данном уровне происходит кратковременный сбор и хранение данных, полученных с датчиков. Здесь же происходит обработка критической по времени информации (например, о попадании работника в особо опасную зону). Далее первично обработанные данные передаются на сетевой уровень.

3. Сетевой уровень. На данном уровне происходит комплексная аналитика и более подробная обработка полученных данных для дальнейшего предоставления обработанной информации пользователям системы. Здесь же предусмотрена возможность обратной связи для быстрого реагирования на изменения в состоянии машин и механизмов, работников или окружающей обстановки.

4. Интерфейсный уровень. Данный уровень функционирует как связь между пользователями системы и платформой IoT. На данном уровне происходит выполнение различных запросов пользователей, формирование отчетов и т. п.

Данный подход представляет собой технологию облачных программных решений, т. к. вся необходимая информация (в зависимости от запроса пользователя) хранится и обрабатывается посредством веб-ресурса.

В настоящее время обеспечение безопасности технологических процессов на большинстве предприятий обеспечивается за счет традиционных аппаратных схем. Именно поэтому разработка и интеграция в технологических процесс современных информационных технологий способствуют значительному повышению безопасности в различных отраслях промышленности.

Кроме того, безопасность работников повышается и за счет внедрения культуры безопасности, а также эффективного руководящего звена и квалифицированных специалистов по охране труда и промышленной безопасности, которые следят за соблюдением правил и мотивируют работников к ответственному поведению на рабочем месте.

Все это в совокупности приводит к значительному снижению числа несчастных случаев.

Стоит также отметить, что своевременно поступающая и обрабатываемая информация о произошедших ранее различных инцидентах, связанных с безопасностью, позволяет в дальнейшем принимать оперативные меры по недопущению аналогичных ситуаций.

Именно поэтому в организации целесообразно внедрять инфраструктуру управления безопасностью, основанную на сервисно-ориентированной архитектуре.

Анализируя горнодобывающую промышленность как одну из потенциально опаснейших отраслей хозяйства, выделяют основные риски, с которыми сталкиваются работники шахт: опасность возникновения пожаров и взрывов; вдыхание различных видов пыли, отсутствие связи во время чрезвычайных ситуаций.

Для снижения указанных рисков могут применяться следующие технологии, основанные на использовании IoT: механизмы с нулевым уровнем выбросов, современные системы бесперебойной связи и т. п.

В таблице 2 представлены примеры использования технологий IoT и сервисно-ориентированной архитектуры, которые могут использоваться для обеспечения производственной и экологической безопасности технологических процессов в горнодобывающей промышленности, а также перспективы дальнейшего развития указанных технологий [8–10].

Таблица 2

Технологии IoT для обеспечения безопасности в горнодобывающей промышленности

Наименование технологии	Описание технологии	Перспективы развития
Снижение выбросов дизельного топлива с помощью внедрения электрических автопогрузчиков	Электрические автопогрузчики могут использоваться при подземной добыче твердых пород для снижения эксплуатационных расходов	Улучшение конструкции электрокабелей, а также использование оборудования с автономными источниками питания
Робот для добычи угля	Робот для удаленного выполнения различных операций и оказания помощи рабочим в шахтах с использованием системы дистанционного управления для автоматического управления	Робот может быть модифицирован для автономной работы с минимальным дистанционным вмешательством человека или вообще без него
Системы MIMO (Multiple Input Multiple Output, множественный вход и множественный выход)	Использование системы передачи сигнала, основанной на множественном входе и множественном выходе, для связи в подземных шахтах	Улучшение характеристик системы за счет расчета пропускной способности канала с учетом изменений отношений «сигнал-шум»
Применение RFID-меток (Radio-frequency identification, радиочастотная идентификация)	Использование пассивных, активных RFID-меток, смарт-карт в подземных шахтах для обнаружения взрывчатых веществ, связи на большие расстояния, отслеживания и мониторинга параметров окружающей среды	Разработка недорогих и эффективных RFID-меток, которые могут использоваться в нескольких приложениях и автоматически идентифицировать устройства
Акустическое позиционирование для обеспечения безопасности в шахтах	Акустическая система позиционирования для обеспечения безопасности шахтеров	При различном размещении громкоговорителей точность может быть повышена. Измерительный блок может быть откалиброван
Измерение содержания взрывоопасных веществ	Использование оптического и диэлектрического чувствительного модуля в режиме реального времени для измерения общего негорючего содержимого, основываясь на оптическом отражении. Датчик определяет содержание осевшей пыли	Повышение срока эксплуатации разработанного датчика
Связь в подземных шахтах	Различные системы на основе RFID, состоящие из пассивных, активных и полупассивных меток — низкочастотных (LF) и высокочастотных (HF) меток, используются в шахтах для обнаружения взрывчатых веществ, отслеживания перемещения работников и техники, а также мониторинга параметров окружающей среды. Связь во время чрезвычайных ситуаций в подземных шахтах затруднена из-за завалов, шума, и изменение канала связи	Разработка недорогих и эффективных RFID-меток, которые могут использоваться в различных приложениях и автоматически идентифицировать устройства. Может быть разработана система, работающая в режиме реального времени для прогнозирования риска возникновения несчастного случая путем считывания поступающей с меток информации

Составлено авторами

Описанные технологии также могут найти применение и других отраслях промышленности поскольку являются универсальными и легко трансформирующимися под определённые запросы.

Обсуждение и заключения

Технологии промышленного интернета вещей позволяют интегрировать современные интеллектуально-информационные устройства в существующие промышленные системы. В результате этого различные отрасли промышленности претерпевают существенные изменения, важнейшим из которых является повышение уровня безопасности работников. Любое нарушение протоколов промышленной безопасности может привести не только к потере имущества, но и к получению травмы работником, что в свою очередь негативно сказывается на моральном состоянии всего коллектива, а также на деятельности предприятия. Технологии IoT помогают избежать подобного рода ситуаций.

В настоящее время на крупных предприятиях внедряются различные методы автоматизации, разрабатываются системы на основе сервисно-ориентированной архитектуры, используются промышленные коммуникационные системы для предоставления какой-либо информации работникам в режиме реального времени и повышения их безопасности. Интеграция интеллектуальных устройств, сбор, обработка и передача информации в режиме реального времени в различных отраслях промышленности привели к развитию «промышленных сетей».

Кроме того, предполагается, что цифровая трансформация и инфраструктура 5G/B5G будут играть важную роль в автоматизации промышленности. Можно также отметить, что взаимодействие и коммуникации между подразделениями промышленного предприятия всегда выгодны и продуктивны с точки зрения безопасности, а технологии IoT значительно расширяют эти возможности, тем самым повышая безопасность и способствуя эффективному управлению предприятием.

Однако, существуют некоторые проблемы связанные и использованием технологий IoT: сложности с интеграцией разнородных данных, получаемых с установленных датчиков; конфиденциальность получаемых данных; проблемы с реализацией теоретических и прототипных решений, разработанных для устранения выявленных рисков в технологическом процессе. Также необходима соответствующая подготовка и квалификация работников для успешного функционирования интеллектуальных систем на основе IoT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зосимова М.А. IoT. К вопросу об интернете вещей / Зосимова М.А., Смирнов С.А. // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. — 2023. — № 1(60). — С. 70–76. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50468865> (дата обращения: 01.07.2023).
2. Корнев Н. Технологии IIOT для обеспечения безопасности труда: система «Гудвин-Нева» / Корнев Н. // Control Engineering Россия. — 2020. — № 3(87). — С. 92–96. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44260135> (дата обращения: 01.07.2023).
3. Лукьянчикова Т.Л. Компаративистский анализ производственного травматизма: Россия и мир / Лукьянчикова Т.Л., Ямщикова Т.Н., Клецова Н.В. // Экономика труда. — 2018. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/komparativistskiy-analiz-proizvodstvennogo-travmatizma-rossiya-i-mir> (дата обращения: 10.07.2023).
4. Иорданова А.В. Управление производственной и экологической безопасностью в Российской Федерации с использованием технологий Индустрии 4.0 / Иорданова А.В., Кирильчук И.О., Гладилин Д.Е., Персидская К.А. // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 1. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54081208> (дата обращения: 15.07.2023).
5. Трофимова Н.Н. Ключевые технологии, поддерживающие Индустрию 5.0 (на примере промышленного Интернета вещей) / Трофимова Н.Н. // Экономика и управление: проблемы, решения. — 2023. — Т. 3. — № 5(137). — С. 142–147. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53979291> (дата обращения: 15.07.2023).

6. Зеленский А.А. Концепция построения конкурентоспособных быстродействующих систем управления станков и промышленных роботов в условиях технологических ограничений электронной компонентной базы России / Зеленский А.А. // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2023. — № 1(231). — С. 123–133. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50757129> (дата обращения: 20.07.2023).
7. Аншина М.Л. Структура и взаимодействие SLA CAУС в эталонных моделях технологий цифровой трансформации / Аншина М.Л. // Наука и бизнес: пути развития. — 2022. — № 3(129). — С. 196–204. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48569191> (дата обращения: 20.07.2023).
8. Mishra P.K. RFID in underground-mining service applications / P.K. Mishra, R.F. Stewart, M. Bolic, and M.C.E. Yagoub // IEEE Pervasive Comput. — Vol. 13. — № 1. — P. 72–79. — Jan. 2014. DOI: 10.1109/MPRV.2014.14.
9. Mabrouk I.B. Performance evaluation of a MIMO system in underground mine gallery / I.B. Mabrouk, L. Talbi, and M. Nedil // IEEE Antennas Wireless Propag. Lett. — Vol. 11. — P. 830–833. — 2012. DOI 10.1109/LAWP.2012.2208260.
10. Наговицын О.В. Влияние роботизированных технологий на безопасность ведения открытых горных работ / Наговицын О.В., Возняк М.Г. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2022. — № 12-1. — С. 52–62. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50335263> (дата обращения: 25.07.2023).

Iordanova Anastasia Vladimirovna

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7780-497X>

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=950648

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAH-7282-2020>

Gladilin Daniil Evgen'evich

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: danilglados@gmail.com

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1089657

Kurasova Julia Yur'evna

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: kurasova.ulia@yandex.ru

Persidskaya Kseniya Andreevna

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: ksenipersi@bk.ru

Analysis of the features of using the industrial Internet of Things to ensure industrial and environmental safety

Abstract. The article analyzes the main features of the use of the industrial Internet of Things in order to improve industrial and environmental safety at industrial enterprises. The authors analyzed statistical data on accidents at enterprises in Russia and the world, as a result of which certain industries were identified in which the number of such cases significantly exceeds the average. These include: transportation, manufacturing, and mining. According to these industries, the main dangerous and harmful factors are identified and possible options for reducing their impact on the employee's body using IoT technologies are presented. The article provides an overview of a generalized multi-level security management architecture based on an IoT-service-oriented architecture. It consists of four levels: the level of devices equipped with sensors; the level of an intermediate device; the network level; the interface level. This approach is a technology of cloud software solutions, because all necessary information is stored and processed through a web resource. The introduction of such a system can significantly reduce the number of accidents and other undesirable incidents that occur in the course of production activities. As an example, the authors analyzed and provided examples of the use of IoT technologies and service-oriented architecture that can be used to ensure the production and environmental safety of technological processes in the mining industry: the use of signal transmission systems based on multiple input and multiple output for communication in underground mines; the use of passive, active radio frequency identification tags, smart cards in underground mines for the detection of explosives, long-distance communication, tracking and monitoring of environmental parameters, etc. In addition, further prospects for the development of the described technologies are presented.

Keywords: Internet of Things; industrial safety; environmental safety; information technology; service-oriented architecture; automation; security management system