

Обзорная статья

УДК 622.831;351.823

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-119-126

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ «СИГМА» ДЛЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Соболев Виктор Васильевич¹, Широков Андрей Владимирович², Фомин Анатолий Иосифович^{1,3},
Ли Хи Ун¹, Трубицын Анатолий Александрович³, Трубицына Нэля Вадимовна³

¹ Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли

² ООО «НПП Сенсорные технологии»

³ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: sobolev567@gmail.com



Информация о статье

Поступила:

13 декабря 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

10 июня 2025 г.

Принята к публикации:

20 июня 2025 г.

Опубликована:

26 июня 2025 г.

Ключевые слова:

Многофункциональная система безопасности, мультисредная сеть, шахтная связь, позиционирование персонала, аэрогазовый контроль, промышленная безопасность, СИГМА, угледобывающее предприятие.

Аннотация.

Предприятия, осуществляющие добычу полезных ископаемых, в том числе угля, подземным способом, относятся к опасным производственным объектам и представляют собой сложные системы, в которых происходят взаимосвязанные горно-геологические, физико-химические, аэрологические, технологические, производственные и другие процессы, которые могут приводить к авариям, в том числе с тяжелыми катастрофическими последствиями. Зачастую человеческий фактор является главной основной причиной создания аварийных ситуаций: несанкционированное вмешательство в работу приборов контроля, нарушение паспортов ведения горных работ, нарушение аэрологической безопасности. В связи с этим необходимы методы контроля и оценки опасных и вредных факторов горного производства, прогнозирование параметров состояния производственной среды и опасных ситуаций. Основными целями политики горных предприятий в области охраны труда и промышленной безопасности является сохранение жизни и здоровья работников, предотвращение воздействия вредных и опасных производственных факторов, аварийных ситуаций.

В данной статье представлен анализ разработки, внедрения и функционирования инновационной многофункциональной системы безопасности (МФСБ) СИГМА, созданной в соответствии с требованиями законодательных, нормативно-правовых актов Российской Федерации в области промышленной безопасности. Система СИГМА представляет собой комплекс аппаратного и программного обеспечения, формирующий мультисредную сеть для передачи всех типов данных в условиях действующих шахт (исполнение РО) и рудников (исполнение РН). Архитектура сети основана на использовании шлюзов и маршрутизаторов, выступающих в роли базовых станций для организации радиопокрытия. В статье рассматриваются технические характеристики, функциональные возможности и преимущества системы СИГМА в контексте обеспечения безопасности ведения горных работ.

Для цитирования: Соболев В.В., Широков А.В., Фомин А.И., Ли Хи Ун, Трубицын А.А., Трубицына Н.В. Разработка и внедрение многофункциональной системы безопасности «Сигма» для угледобывающих предприятий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 3 (169). С. 119-126. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-119-126, EDN: BVZDRA

Введение

Обеспечение безопасности труда в угледобывающей промышленности является приоритетной задачей, требующей применения современных технологических решений. Несмотря на общую тенденцию снижения аварийности и травматизма на угледобывающих предприятиях, крупные аварии, особенно на предприятиях, ведущих добычу угля подземным способом, нарушают эту статистику. Эта важнейшая проблема решается путем применения организационно-технических мероприятий, многофакторного комплексного контроля параметров горного производства, основанного на использовании многофункциональных систем безопасности (МФСБ), позволяющих прогнозировать и предупреждать аварии и несчастные случаи на всех этапах ведения горных работ, а также минимизировать их последствия. Все это подкрепляется многочисленными научными исследованиями и отражено в многочисленных публикациях [1-20]. Многофункциональная система безопасности (МФСБ) СИГМА была разработана с целью создания комплексного подхода к мониторингу и управлению безопасностью на угледобывающих предприятиях. Инновационная многофункциональная система безопасности СИГМА создана на основании требований п. 22 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» и других нормативно-правовых актов и на основании научных исследований ведущих ученых по этой проблеме [2-8, 17-20].

Актуальность разработки обусловлена необходимостью повышения уровня безопасности горных работ и соответствия требованиям современных нормативных документов. Система СИГМА призвана обеспечить непрерывный контроль за состоянием горных выработок, местоположением персонала и техники, а также оперативное реагирование на нештатные ситуации [15, 17, 20].

Методология разработки

Разработка системы СИГМА основывалась на следующих принципах:

- 2.1. Создание универсальной мультисредной сети для передачи различных типов данных [20];
- 2.2. Обеспечение надежности и отказоустойчивости в условиях подземных выработок;
- 2.3. Модульность и масштабируемость системы;
- 2.4. Интеграция с существующими системами и оборудованием;

2.5. Минимизация энергопотребления и упрощение монтажа оборудования;

2.6. Использование открытых интерфейсов для подключения стороннего оборудования и программного обеспечения.

Архитектура системы:

Система СИГМА состоит из следующих основных компонентов:

3.1. Базовые станции (шлюзы и маршрутизаторы);

3.2. Коммутаторы и конвертеры интерфейсов СИГМА;

3.3. Абонентские устройства с метками СИГМА;

3.4. Программное обеспечение на базе протокола Signet;

Базовые станции формируют «облако покрытия», обеспечивая непрерывную связь и позиционирование персонала и оборудования. Коммутаторы СИГМА организуют высокоскоростную магистраль передачи данных на поверхность со скоростью до 1 Гбит/с [20].

Функциональные возможности:

4.1. Позиционирование персонала и техники в режиме реального времени с точностью ± 10 метров [17];

4.2. Система цифровой дуплексной голосовой связи с возможностью записи переговоров, выдачи тревожных сигналов и с позиционированием радиостанции;

4.3. Аэрогазовый контроль с использованием персональных и стационарных газоанализаторов [15];

4.4. Автоматизированное управление конвейерами на основе данных позиционирования;

4.5. Предупреждение об опасном сближении персонала и техники;

4.6. Сбор телеметрической информации с подвижной техники и стационарных объектов;

4.7. Интеграция с системами видеонаблюдения.

5. Технические особенности:

5.1. Использование симметричного радиоканала для связи;

5.2. Применение протокола Signet для гарантированной доставки пакетов и «хендовера»;

5.3. Интервал передачи данных от абонентских устройств – 5 секунд (программно настраиваемый);

5.4. Наличие акселерометра в метках СИГМА для оценки подвижности объектов;

5.5. Возможность подключения устройств по интерфейсам RS-485 и Ethernet.

Результаты и обсуждение:

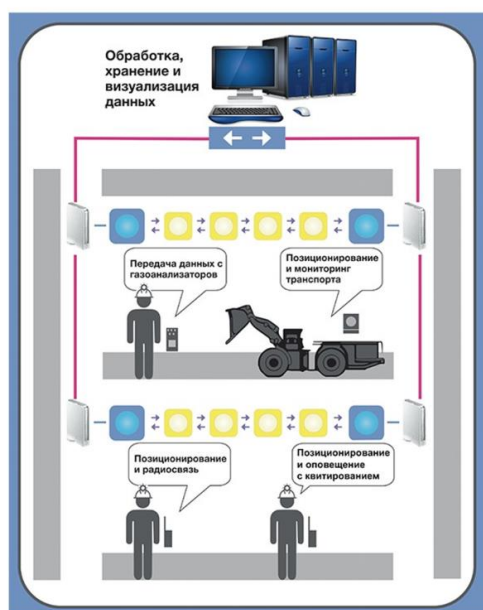
Внедрение системы СИГМА позволяет значительно повысить уровень безопасности горных работ за счет:

- оперативного реагирования на нештатные ситуации;
- предотвращения аварийных ситуаций путем раннего выявления опасных факторов;
- повышения эффективности управления персоналом и оборудованием;
- автоматизации процессов контроля и управления горнодобывающим оборудованием.

Создание сети на основе оборудования СИГМА

Сеть создается на базе оборудования СИГМА, которое включает в себя так называемые шлюзы и маршрутизаторы, используемые в качестве базовых станций для организации радиопокрытия. Основное отличие между шлюзами и маршрутизаторами заключается в наличии у первых порта Ethernet

СИГМА является протокол Signet, который реализует задачи гарантированной доставки пакетов, «хендвера» (переключения абонентов между базовыми станциями без разрыва связи) и приоритизации трафика. Важной характеристикой радиопокрытия системы СИГМА является то, что диаграммы радиопокрытия соседних базовых станций (БС) должны пересекаться, формируя так называемое «облако покрытия». В пределах этого облака все устройства, оснащенные метками СИГМА, становятся активными абонентами системы. К таким устройствам относятся светильники, газоанализаторы, радиостанции, радиоудлинители и другие подвижные или стационарные абоненты. Размер и энергопотребление метки позволяют встроить ее



Пример организации связи в шахте (руднике)



Рис.1. Пример организации связи в шахте (руднике)
Fig.1. An example of communication organization in a mine

10/100/1000. С использованием этих устройств формируется последовательность базовых станций, обеспечивающих покрытие. Все сервисы и функции, описанные в данной статье, функционируют в пределах зоны покрытия этих базовых станций. Шлейфы базовых станций подключаются к Ethernet-коммутаторам СИГМА и далее с использованием оптического кабеля передают данные на поверхность. При необходимости Ethernet-коммутаторы нашего производства могут быть использованы для создания подземной высокоскоростной магистрали. В настоящее время Ethernet-коммутаторы СИГМА поддерживают магистральные скорости до 1 Гбит/с. Таким образом, система СИГМА представляет собой мультисредную сеть, использующую симметричный радиоканал, сеть на основе RS 422 и Ethernet. Программной основой сети

практически в любое устройство, подлежащее взаимодействию с сетью СИГМА.

Каждое устройство, оснащенное меткой СИГМА, генерирует поток данных, который передается на поверхность для дальнейшей обработки. Например, светильник с меткой СИГМА передает свои относительные координаты, время и уникальный идентификационный номер с программно установленным интервалом в 5 секунд. Персональный газоанализатор, помимо аналоговичных данных, передает показания концентраций газов. Все данные поступают на поверхность и интерпретируются в зависимости от типа устройства. Для целей позиционирования данные отображаются в виде символов на карте (например, для работников или техники), а данные газоанализаторов могут отображаться в виде таблиц или специальных символов на карте

выработок. Каждый газоанализатор, оснащенный меткой СИГМА, позиционируется независимо от светильников и отображается на карте специальными символами. Для управления радиостанциями предусмотрено специальное программное обеспечение. Голосовая система представляет собой 12-канальную цифровую дуплексную связь, использующую радиостанции СИГМА собственной разработки. Эта система обеспечивает запись разговоров, позиционирование радиостанций и, при необходимости, передачу сигнала тревоги на поверхность с указанием координат, что отображается на карте выработок особым образом.

Таким образом, система СИГМА обеспечивает комплексное радиопокрытие и интеграцию различных устройств, обеспечивая надежную связь, позиционирование и мониторинг состояния оборудования и персонала в условиях угледобывающих предприятий.

Создание сети СИГМА в выработках и на поверхности: функциональные возможности

Строительство сети СИГМА в выработках и/или на поверхности создает «облако покрытия», в пределах которого становятся доступны такие функции, как позиционирование персонала и техники, тревожное оповещение с кнопкой квитирования, голосовая связь, а также сбор телеметрии с подвижных и стационарных машин с возможностью их позиционирования. В текущей версии меток СИГМА установлен акселерометр, позволяющий оценивать подвижность работников и транспортных средств. Если работник или транспортное средство остаются неподвижными в течение определенного времени (например, 10 минут), система отправляет сигнал персонального вызова с требованием подтвердить его получение посредством нажатия кнопки квитирования. В случае отсутствия ответа в заданный промежуток времени рассылается сигнал тревоги ближайшим к нему работникам.

Эти функциональные возможности обеспечивают высокую степень безопасности и оперативный контроль за состоянием и местоположением как персонала, так и техники, что особенно важно в условиях угледобывающих предприятий.

Автоматизация и безопасность в системе СИГМА

Программными средствами системы СИГМА реализуется автоматическая остановка конвейеров при превышении максимальной скорости передвижения работников (например, свыше 8 км/ч) или при пересечении запрещенных зон. В качестве исполнительного устройства может использоваться ближайшая базовая станция СИГМА (с четырьмя портами RS 422) или беспроводная метка, подключенная

непосредственно к контроллеру конвейера через интерфейс UART или с использованием «сухих контактов».

Еще одной программной функцией системы СИГМА является система предупреждения об опасном сближении персонала и техники. Благодаря программной реализации данной функции возможны различные сценарии ее работы, основанные на точности определения координат (± 10 метров). Например, обслуживающий данный транспортный средство персонал распознается системой как «свой», и система не реагирует на их сближения с техникой. В случае появления «чужих» в опасной зоне система генерирует сигнал тревоги для приближающегося персонала и при необходимости останавливает транспортное средство либо оповещает водителя светозвуковым сигналом об опасной дистанции. Остановка осуществляется посредством разрыва управляющих кабелей с использованием «сухих контактов», установленных в соответствующих абонентских устройствах СИГМА.

Эти функции существенно повышают уровень автоматизации и безопасности на угледобывающих предприятиях, обеспечивая своевременное реагирование на потенциально опасные ситуации и предотвращая аварии.

Расширенные функциональные возможности системы СИГМА с использованием устройства РУ-485

Система СИГМА позволяет не только осуществлять позиционирование и мониторинг простоя подвижной техники, но и собирать телеметрическую информацию (например, пробег, остаток топлива, давление в шинах и т. д.) с помощью устройства РУ-485, устанавливаемого на порт контроллера транспортного средства, что описано в руководстве по эксплуатации РУ-485. Устройство РУ-485 контролирует перемещение транспортного средства и может интегрироваться со специализированными бортовыми контроллерами, такими как GalileoSky. Это же устройство позволяет собирать данные с удаленных стационарных объектов, таких как стационарные газоанализаторы и блоки питания.

Новое устройство РУ-485 значительно расширяет область применения системы СИГМА на подземных объектах, позволяя подключать различные агрегаты и приборы с интерфейсом RS485 к сети СИГМА и передавать эти данные на поверхность. С помощью РУ-485 возможна разработка специализированных диспетчерских программ для мониторинга шахтного транспорта, систем стационарного азрогазового контроля, систем контроля электродвигателей и других подсистем, используя сеть СИГМА в качестве транспортной среды для передачи данных.

Таким образом, устройство РУ-485 расширяет функциональные возможности системы СИГМА, позволяя интегрировать широкий спектр оборудования и обеспечивая комплексный мониторинг и управление подземными и наземными объектами.

Интеграция и расширенные возможности системы СИГМА

Система СИГМА предоставляет возможность подключения видеокамер сторонних производителей напрямую к портам коммутатора. Аналогичным образом можно подключить точки доступа Wi-Fi, что позволяет значительно расширить функциональность и сферу применения системы. Кроме того, СИГМА обладает возможностью аппаратной интеграции с существующими сетями. На текущий момент проведены испытания с подземными коммутаторами Ethernet основных производителей, представленных на нашем рынке. Результаты испытаний показали, что система СИГМА успешно функционирует в составе транспортной сети Ethernet других производителей.

Эти возможности делают систему СИГМА универсальным решением для создания комплексных информационно-коммуникационных систем, обеспечивая гибкость и совместимость с широким спектром оборудования и сетевых инфраструктур.

Совместимость и сертификация программного обеспечения и оборудования СИГМА

Согласно руководству по эксплуатации программного обеспечения СИГМА, она обладает возможностями для экспорта и импорта данных из таких систем, как 1С, БОСС-кадровик, Genesys и других аналогичных систем. Разработанное с открытыми интерфейсами, ПО СИГМА позволяет использовать функциональность сторонних разработчиков и интегрироваться с разнообразным программным обеспечением других производителей.

Система СИГМА сертифицирована в соответствии с требованиями Таможенного Союза в системах РН и РО (Сертификаты ЕАЭС: RU-C-RU.МЮ 62.B.01104/19, RU-C-RU.HA67.B.00006/22, RU-C-RU.AЖ58.B.04516/23, RU-C-RU.AЖ58.B.05256/24), что обеспечивает возможность ее применения на объектах любого уровня опасности, сложности и условий эксплуатации. Все оборудование произведено в Российской Федерации, степень локализации производства максимальна: разработки ПО и оборудования, опытное производство и серийная сборка осуществляются на территории РФ.

Эти характеристики делают систему СИГМА надежным и гибким решением для различных отраслей, обеспечивая высокую совместимость и

соответствие строгим стандартам безопасности и качества.

Заключение

Полномасштабное внедрение на шахтах информационно-аналитических подсистем МФСБ позволяет обеспечивать текущее количественное оценивание риска деятельности работников при эксплуатации угольных шахт, снижать производственный риск при минимальных затратах.

Многофункциональная система безопасности СИГМА представляет собой инновационное решение, отвечающее современным требованиям обеспечения безопасности ведения горных работ в угледобывающей промышленности. Система обладает высокой степенью гибкости и масштабируемости, что позволяет адаптировать ее под конкретные условия эксплуатации. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение функциональных возможностей системы и оптимизацию алгоритмов обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айруни А. Т., Клебанов Ф. С., Смирнов О. В. Взрывоопасность угольных шахт. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 264 с.
2. Азбель М. Д., Кобылкин С. С. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт // Горная техника. 2013. № 1. С. 52–55.
3. Артемьев В. Б. [и др.] Концепция опережающего контроля как средства существенного снижения травматизма // Уголь. 2013. № 2. С. 82–85.
4. Бабенко А. Г. Анализ основ построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт // Безопасность труда в промышленности. 2013. № 3. С. 40–47.
5. Бабенко А. Г., Лапин С. Э. Новое поколение шахтных информационно-управляющих систем и средств обеспечения безопасности на угольных шахтах // Изв. вузов. Горный журнал. 2010. № 1. С. 73–84.
6. Бабенко А. Г., Ютяев Е. П. Риск-ориентированное управление угольной шахтой с использованием многофункциональных систем безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 4 (специальный выпуск 6). С. 9–20.
7. Бабенко А. Г., Малыгин П. А. О требованиях к функциональной безопасности систем автоматической газовой защиты угольных шахт // Изв. вузов. Горный журнал. 2011. № 1. С. 100–110.
8. Бабенко А. Г. [и др.] Принципы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт, опыт и перспективы их использования в Кузбассе //

Безопасность труда в промышленности. 2011. № 1. С. 16–22.

9. Артемьев В. Б., Галкин В. А. Организационный аспект обеспечения безопасности угольдобычи // Уголь. 2009. № 7. С. 20–22.

10. Фомин А. И., Волгина Е. А. Человеческий фактор в обеспечении промышленной безопасности на предприятиях угольной промышленности // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2024. № 1. С. 49–55.

11. Ушаков В. К., Баловцев С. В. Методы оценки аэрологического риска на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. С. 173–178.

12. Семин В. Г. Обобщенный алгоритм управления рисками автоматизированных систем // Динамика сложных систем. 2012. Т. 6. № 4. С. 90–96.

13. Шлимович Ю. Б. Разработка научно-методического обеспечения производственного контроля промышленной безопасности на предприятиях угольдобывающей отрасли: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Шлимович Юрий Борисович. Челябинск, 2001. 118 с.

14. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Серия 05. Вып. 23. М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований

проблем промышленной безопасности», 2013. 110 с.

15. Емелин П. В., Сатарова Г. С., Когай Г. Д. [и др.] Методика оценки уровня опасности предприятий горнодобывающей отрасли // Уголь. 2012. № 6. С. 68–69.

16. Покатаев Д. Обзор способов точного позиционирования персонала на основе современных методов определения координат // «Вестник Электроники». 2019. №.1 (65). С. 58–63.

17. Мясников С. [и др.] Многофункциональные системы безопасности в угольной промышленности. МФСБ и дистанционный контроль с позиции Ростехнадзора: прямая речь // «Промышленная безопасность» 2024. № 5.

18. Новиков А. В., Паневников К. В., Писарев И. В. Рудник и многофункциональная система безопасности // Горная Промышленность. 2019. № 5(205). С. 4–9.

19. Давыдов В. В. Шахтная беспроводная связь. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. С. 221–229.

20. Ваганов В. С. Правила безопасности в угольных шахтах – развитие многофункциональных систем безопасности // Горная промышленность. 2017. № 2 (132). С. 77–83.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Соболев Виктор Васильевич – д.т.н., главный научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ» (650002, Россия, г. Кемерово, ул. Институтская, 3, помещение 1), e-mail: sobolev567@gmail.com

Широков Андрей Владимирович – генеральный директор ООО «НПП Сенсорные технологии» (108811, г. Москва, ш. Киевское, д. 4, стр. 2, офис 842Г) e-mail: info@sens-tech.ru

Фомин Анатолий Иосифович – д.т.н., проф., Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ» (650002, Россия, г. Кемерово, ул. Институтская, 3, помещение 1), e-mail: fominai@kuzstu.ru

Ли Хи Ун – д.т.н., проф., ученый секретарь АО «НЦ ВостНИИ», (650002, Россия, г. Кемерово, ул. Институтская, 3, помещение 1), e-mail: leeanatoly@mail.ru

Трубицын Анатолий Александрович – д.т.н., проф., Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: atrubitsyn@rambler.ru

Трубицына Нэля Вадимовна – д.т.н., доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: ntrubitsyna@rambler.ru

Заявленный вклад авторов:

Соболев Виктор Васильевич – постановка задач исследования, основные принципы и архитектура МФСБ СИГМА, участие в написании текста и обсуждении результатов.

Широков Андрей Владимирович – разработка сети на базе оборудования СИГМА, автоматизации и расширения функциональных возможностей системы СИГМА.

Фомин Анатолий Иосифович – подготовка аннотации, анализ нормативной базы и литературных источников, научный менеджмент, подготовка заключения, участие в обсуждении результатов.

Ли Хи Ун – анализ аварийности на угольных шахтах, научный менеджмент, участие в обсуждении результатов.

GEOMECHANICS, DESTRUCTION OF ROCKS BY EXPLOSION,
MINE AEROGASDYNAMICS AND MINING THERMOPHYSICS

Трубицын Анатолий Александрович – анализ причин аварийности на угольных шахтах.
Трубицына Нэля Вадимовна – участие в написании текста и обсуждении результатов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Review article

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE MULTI-FUNCTIONAL SECURITY SYSTEM «SIGMA» FOR COAL MINING ENTERPRISES

Victor V. Sobolev ¹, Andrey V. Shirokov ², Anatoly I. Fomin ^{1,3}, Lee Hee Woon ¹, Anatoly A. Trubitsyn ³,
Nela V. Trubitsyna ³

¹ VostNII Scientific Centre for Industrial and Environmental Safety in the Mining Industry

² LLC «NPP Sensor Technologies»

³ Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev

* for correspondence: sobolev567@gmail.com



Article info

Received:

13 December 2024

Accepted for publication:

10 June 2025

Accepted:

20 June 2025

Published:

26 June 2025

Keywords: Multifunctional security system, multimedum network, mine communications, personnel positioning, aerogas control, industrial safety, SIGMA, coal mining enterprise.

Abstract.

Enterprises engaged in the extraction of minerals, including coal, by the underground method belong to hazardous production facilities and represent complex systems in which interrelated mining, geological, physico-chemical, aerological, technological, industrial and other processes occur that can lead to accidents, including with severe catastrophic consequences. Often, the human factor is the main reason for the creation of emergency situations: unauthorized interference with the operation of control devices, violation of mining passports, violation of aerological safety. In this regard, methods for monitoring and evaluating hazardous and harmful factors of mining production, forecasting the parameters of the state of the production environment and dangerous situations are necessary. The main objectives of the policy of mining enterprises in the field of occupational safety and industrial safety are to preserve the life and health of workers, prevent the effects of harmful and dangerous industrial factors, and emergency situations.

This article presents an analysis of the development, implementation and functioning of an innovative multifunctional security system (IFSB) SIGMA, created in accordance with the requirements of legislative and regulatory acts of the Russian Federation in the field of industrial safety. The SIGMA system is a complex of hardware and software that forms a multi-medium network for transmitting all types of data in operating mines (RO version) and mines (PH version). The network architecture is based on the use of gateways and routers acting as base stations for the organization of radio coverage. The article discusses the technical characteristics, functionality and advantages of the SIGMA system in the context of ensuring the safety of mining operations.

For citation: Sobolev V.V., Shirokov A.V., Fomin A.I., Lee Hee Woon, Trubitsyn A.A., Trubitsyna N.V. Development and implementation of the multi-functional security system «Sigma» for coal mining enterprises. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 3(169):119-126. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-119-126, EDN: BVZDRA

REFERENCES

1. Airuni A.T., Klebanov F.S., Smimov O.V. Explosiveness of coal mines. M.: Publishing house "Mining" LLC "Kimmeriysky center"; 2011. 264 p.

2. Azbel M.D., Kobylkin S.S. Multifunctional safety systems of coal mines. *Mining equipment*. 2013; 1:52–55.

3. Artemyev V.B. [et al.] The concept of advanced control as a means of significantly reducing injuries. *Ugol*. 2013; 2:82–85.

4. Babenko A.G. Analysis of the basics of building multifunctional safety systems for coal mines. *Occupational safety in industry*. 2013; 3:40–47.

5. Babenko A.G., Lapin S.E. A new generation of mine information and control systems and safety equipment at coal mines. *Izv. vuzov. Mining Journal*. 2010; 1:73–84.
6. Babenko A.G., Yutyaev E.P. Risk-oriented management of a coal mine using a multiphase. *Mining information and analytical bulletin*. 2019; 4 (special issue 6):9–20.
7. Babenko A.G., Malygin P.A. On the requirements for the functional safety of automatic gas protection systems for coal mines. *Izv. vuzov. Mining journal*. 2011; 1:100–110.
8. Babenko A.G. [et al.] Principles of building multifunctional safety systems of coal mines, experience and prospects of their use in Kuzbass. *Labour safety in industry*. 2011; 1:16–22.
9. Artemyev V.B., Galkin V.A. Organisational aspect of coal mining safety provision. *Ugol*. 2009; 7:20–22.
10. Fomin A.I., Volgina E.A. Human factor in ensuring industrial safety at the enterprises of the coal industry. *Bulletin of the VostNII Scientific Centre for Industrial and Environmental Safety*. 2024; 1:49–55.
11. Ushakov V.K., Balovtsev S.V. Methods of aerological risk assessment at coal mines. *Mining information-analytical bulletin*. 2006. Pp. 173–178.
12. Semin V.G. Generalised algorithm of the automated systems risk management. *Dynamics of complex systems*. 2012; 6(4):90–96.
13. Shlimovich Yu.B. Development of the scientific and methodological support of the industrial safety production control at the enterprises of the coal-mining industry: Cand. Candidate of Technical Sciences: 05.26.03 / Shlimovich Yuri Borisovich. Chelyabinsk, 2001. 118 c.
14. Regulations on aerogas control in coal mines Series 05. Vyp. 23. M.: CJSC "Scientific and Technical Centre for Research of Industrial Safety Problems"; 2013. 110 c.
15. Emelin P.V., Satarova G.S., Kogai G.D. [et al.] Methodology for assessing the level of danger of mining enterprises. *Coal*. 2012; 6:68–69.
16. Pokataev D. Overview of methods of accurate positioning of personnel based on modern methods of determining coordinates. *Bulletin of Electronics*. 2019; 1(65):58–63.
17. Myasnikov S. [et al.] Multifunctional safety systems in the coal industry. IFSB and remote control from the perspective of Rostekhnadzor: direct speech. *Industrial safety*. 2024. № 5.
18. Novikov A.V. [et al.] The mine and the multifunctional security system. *Mining Industry*. 2019; 5(205):4–9.
19. Davydov V.V. Mine wireless communication. *Mining information and analytical bulletin*. 2010. Pp. 221–229.
20. Vaganov V.S. Safety rules in coal mines – the development of multifunctional safety systems. *Mining industry*. 2017; 2(132):77–83.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Viktor V. Sobolev – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher JSC "NC VostNII" (650002, Russia, Kemerovo, Institutskaya, str. 3, room 1), e-mail: sobolev567@gmail.com

Andrey V. Shirokov – General Director of NPP Sensor Technologies LLC (108811, Moscow, Kievskoe shosse, 4, building 2, office 842G) e-mail: info@sens-tech.ru

Anatoly I. Fomin – Doctor of Technical Sciences, Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Leading Researcher of JSC NC "VostNII" (650002, Russia, Kemerovo, Institutskaya, str. 3, room 1), e-mail: fominai@kuzstu.ru

Lee Hee-un – Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Secretary of JSC NC "VostNII" (650002, Kemerovo, Russia, Institutskaya, str. 3, room 1), e-mail: leeanatoly@mail.ru

Anatoly A. Trubitsyn – Doctor of Technical Sciences, Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, 28 Vesenyaya str., Kemerovo, Russia), e-mail: atrubitsyn@rambler.ru

Nela V. Trubitsyna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (650000, 28 Vesenyaya str., Kemerovo, Russia), e-mail: ntrubitsyna@rambler.ru

Contribution of the authors:

Viktor V. Sobolev – formulation of research objectives, basic principles and architecture of IFSB SIGMA, participation in writing the text and discussing the results.

Andrey V. Shirokov – development of a network based on SIGMA equipment, automation and expansion of the functionality of the SIGMA system.

Anatoly I. Fomin – preparation of the abstract, analysis of the regulatory framework and literary sources, scientific management, preparation of the conclusion, participation in the discussion of the results.

Lee Hee-Un – accident analysis at coal mines, scientific management, participation in the discussion of the results.

Anatoly A. Trubitsyn – analysis of the causes of accidents in coal mines.

Nela V. Trubitsyna – participation in writing the text and discussing the results.

All authors have read and approved the final manuscript.

