

Выбор технологии передачи данных для построения цифрового рудника

Т.В. Насибуллина ✉

ООО Научно-производственная фирма «Гранч», г. Новосибирск, Российская Федерация

✉ goffart@granch.ru

Резюме: Основной целью систематической работы горнодобывающих предприятий в области обеспечения безопасности ведения горных работ является не абстрактное снижение показателя производственного травматизма, а предотвращение опасных инцидентов конкретными мерами. Такие меры на современном уровне техники могут надежно обеспечиваться за счет построения единой цифровой среды опасного производственного объекта. Реализация проектов по цифровизации рудников требует применения мультисервисных сетей в качестве единой среды передачи данных. В статье рассмотрены требования к таким сетям, проблемы выбора базовой технологии, преимущества и недостатки существующих решений. На примере отечественного технического решения показано, почему оптимальной технологией с точки зрения эффективности и стоимости являются промышленные Wi-Fi сети для построения надежных высоконагруженных многофункциональных систем безопасности и связи на горнодобывающих предприятиях. Современные модификации стандарта Wi-Fi позволяют охватывать все больше технологических возможностей: определение местоположения, мониторинг объектов за стеной, захват и распознавание движений и жестов. Растет и пропускная способность каналов. Каждые 2–3 года выходят новые модификации стандартов и соответственно оборудование с их поддержкой. В 2024 г. планируется к выходу новый стандарт Wi-Fi 7 (IEEE802.11be), позволяющий обеспечить скорость передачи данных до 46 Гбит/с, а также возможности параллельного использования нескольких точек доступа, что увеличивает гибкость сети, ее нагрузочную способность и стабильность радиосигнала для подключаемых клиентских устройств.

Ключевые слова: цифровой рудник, мультисервисные сети, Wi-Fi, pLTE, беспроводная сеть

Для цитирования: Насибуллина Т.В. Выбор технологии передачи данных для построения цифрового рудника. *Горная промышленность*. 2023;(6):00–00. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-00-00>

Selection of data transmission technology for digital mine design

T.V. Nasibullina ✉

LLC Scientific and Production Firm "Granch", Novosibirsk, Russian Federation

✉ goffart@granch.ru

Abstract: The main objective of systematic efforts of mining enterprises in securing the safety of mining operations is not an abstract reduction in the workplace injury rates, but prevention of dangerous incidents through specific measures. At the current technological state, such measures can be reliably ensured through building a unified digital environment of a hazardous production facility. Implementation of the mine digitalization projects requires application of multi-service networks as a unified data transmission environment. The article discusses the requirements for such networks, the challenges of selecting the core technology, as well as advantages and disadvantages of existing solutions. Using the case of a Russian technical solution, it is shown why in terms of efficiency and cost the optimal technology to create reliable high-load multi-functional security and communication systems at mining enterprises is the industrial Wi-Fi networks. Modern modifications of the Wi-Fi standard make it possible to cover more and more technological possibilities, e.g. location detection, monitoring of objects behind walls, motion and gesture capture and recognition. The channel bandwidth is also growing. Every 2-3 years, new modifications of standards and, accordingly, equipment with their support are released. In 2024, a new Wi-Fi 7 standard (IEEE802.11be) is planned to be released, which allows to provide data transmission speeds of up to 46 Gbps, as well as the ability to use several access points in parallel, which increases the flexibility of the network, its load capacity and stability of the radio signal for connected client devices.

Keywords: smart mine, multi-service networks, Wi-Fi, pLTE, wireless network

For citation: Nasibullina T.V. Selection of data transmission technology for digital mine design. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):00–00. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-00-00>tion systems in coal mines. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):00–00. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-00-00>

Введение

За последнее десятилетие отечественные горнодобывающие предприятия и рудники в ближайшем зарубежье (СНГ) в большинстве своем накопили немалый опыт в построении стратегий цифрового развития, а также в эксплуатации ряда программных и аппаратных платформ, на которых данные стратегии были как минимум апробированы. К сегодняшнему дню все они подошли с разным «багажом», часто устаревшим и представляющим собой тот самый «чемодан без ручки». И если про объекты наземной инфраструктуры (карьеры, обогатительные фабрики) можно сказать, что технический уровень решений достаточно высокий, то с объектами подземными (собственно рудниками) вопрос решен не так хорошо. Как ни сложно признавать порой, что те или иные технические решения показали себя не оптимальными или не дали ожидаемых результатов в долгосрочной перспективе, перед производителями по-прежнему стоит вопрос выбора базовой технологии для построения единой цифровой среды предприятия. Нельзя при этом снимать со счетов имеющиеся на производственных объектах технические системы, которые требуют модернизации, расширения и поддержания по меньшей мере на период срока окупаемости.

На практике задачу построения цифровой среды «умного рудника» поручают IT-руководителям, а кому как не им знать, что сбор данных для построения, мониторинга и управления цифровым двойником предприятия невозможен без сети передачи данных. Развертывание высоконагруженных систем требует предварительного проектирования и осознанного выбора базовой технологии связи. От ее надежности зависит своевременная доставка данных, которые могут позволить предотвратить аварию. Для отечественных предприятий в текущей экономической ситуации выбор технических решений ограничен рынком систем, разработанных и изготовленных в России. Однако это ограничение можно рассматривать и с положительной стороны: мало иностранных производителей при поставке систем автоматизации, безопасности и связи готовы взять на себя ответственность за надежность комплексного решения, а не отдельных узлов или подсистем. Далее по тексту статьи приводится обзор доступных технологий и пример оптимального с точки зрения автора технического решения на базе оборудования российского производства.

Задачи, которые должна решать сеть, и требования к ней

Технологическая сеть на производственных площадках в современных реалиях обеспечивает возможность развертывания (на поверхности и в подземных горных выработках) не только систем голосовой связи (телефонной, мобильной, РТТ), но также и систем высокоточного позиционирования персонала и транспорта, мониторинга состояния сотрудников, телеметрии технических средств в АСУТП, систем газоанализа, геоинформационных систем, систем интеллектуальной видеоаналитики для горных работ. Отсюда вытекают требования к проектированию таких мультисервисных сетей. Следует отметить, что на горнодобывающих предприятиях существует трафик, который нетолерантен к задержкам, джиттеру и интерференции. В частности, для систем определения местоположения определены требования «реального времени» (данные должны обновляться не реже, чем раз в 5 с), что обеспечивает не только оперативную работу персонала, но и безопасность ведения работ (работает на предотвраще-

ние инцидентов), а также существенно облегчает поиск пострадавших при авариях. К примеру, беспроводную сеть даже используют для взрывных работ – здесь крайне важна стабильность сигнала. Соответственно формулируются определенные требования к пропускной способности и надежности или, с практической точки зрения, к «живучести» сети. Подробно анализ требований к мультисервисным сетям добывающего предприятия на примере угольных шахт выполнен в [1], к настоящему моменту их актуальность сохраняется. Поскольку оперативные работы и требования к обеспечению безопасности в горных выработках рудников с подземным способом разработки очень похожи, то и требования в значительной мере остаются теми же. Среди особенностей рудников стоит отметить среднюю распространения радиосигнала в горных выработках с высокой степенью переотражения, специфическую конфигурацию подземного пространства, отсутствие на большинстве рудников метановыделения, допускающее применение в подземных условиях оборудования нормального исполнения (без взрывозащиты), требования по стойкости аппаратуры к агрессивным средам, а также большее разнообразие видов транспортных средств, для организации движения которых требуются антиколлизийные меры.

Преимущества и недостатки различных технологий

Понятно, что чуть ли не самой распространённой проблемой в условиях рудника является обрыв кабеля, да и там, где на поверхности физическое соединение обеспечить проблематично – применяют беспроводные решения. В статьях [1; 2] приведен подробный обзор стандартов связи групп WPAN (IEEE 802.15), WLAN (IEEE 802.11), WMAN (IEEE 802.16), применяемых для построения мультисервисных сетей предприятия или для реализации отдельных решений в рамках проектов цифровой трансформации рудников. Показана их применимость относительно их назначения и технических возможностей оборудования, поддерживающего данные стандарты.

Несмотря на техническую составляющую, на рынке все еще продвигаются системы с неоптимальной структурой с точки зрения технико-экономических показателей, например, построенные с применением RFID-считывателей и меток или на сетях группы стандартов IEEE 802.15 (ZigBee, UWB, Bluetooth), которые часто подаются как модный «интернет вещей». На рис. 1 представлена сводная информация по областям применения вышеперечисленных беспроводных стандартов связи. В данной статье применение WPAN рассматривать не будем, поскольку изначально такие решения не предназначены для высоконагруженных промышленных систем, имеют низкую скорость передачи данных (до 2 Мбит/с) и требуют размещения узлов на расстоянии не более 75 м друг от друга (на практике в подземных горных выработках даже существенно ближе). Это делает возможным их применение только для отдельных подсистем и увеличивает стоимость интеграции в общую сеть. Встречаются также предложения по интеграции систем связи WLAN и WMAN с системами подземной связи, построенными на применении излучающего кабеля¹. Технологию излучающего кабеля также в данной статье рассматривать не будем, поскольку параметры линии связи не позволяют использовать его в качестве интегрирующей технологии, а значит его включение в мультисервисную сеть удорожает комплекс. В последние три-пять лет мно-

¹ Официальный сайт АО «ИТ-Индустрия». Режим доступа: <https://www.it-ind.ru/>

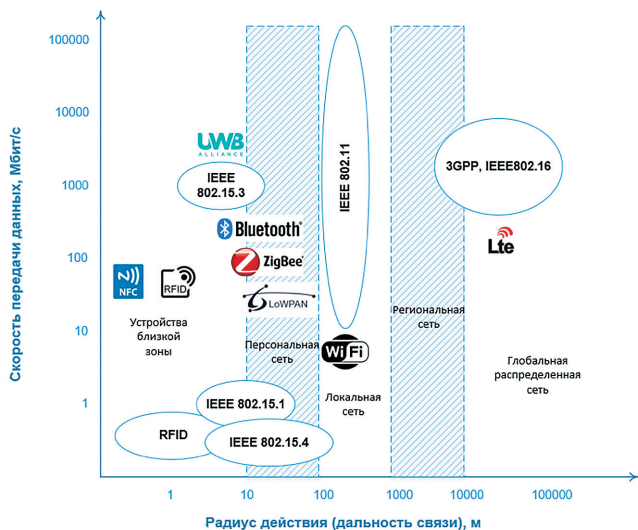


Рис. 1
Области применимости
беспроводных стандартов
связи

Fig. 1
Application areas of wireless
communication standards

го говорится о сетях private LTE (pLTE) для промышленных предприятий: кто-то проводит пилотные тестирования определенных сегментов сети, кто-то разворачивает такие сети на промышленных объектах на поверхности земли. Однако достаточного опыта по их длительной эксплуатации, обслуживанию и развитию на горнорудных месторождениях с добычей подземным способом в нашей стране не накоплено. Далее будет показано, что оптимальным с технико-экономической точки зрения является применение промышленных Wi-Fi сетей в качестве надежной беспроводной технологии для цифровизации рудников.

При оценке параметров связи (дальность, пропускная способность, возможность использовать смартфоны и т.д.) становится понятным, что для построения единой беспроводной сети для цифровизации предприятия можно использовать технологии промышленного Wi-Fi и pLTE. Сразу возникает идея создания корпоративной сотовой сети, которая к тому же будет обеспечивать безопасность любой попавшей в сеть информации, содержащей коммерческую, производственную или даже государственную тайну, гарантированную недоступностью сети для внешних связей и заданной самим владельцем политикой безопасности. При сравнении этих технологий можно заметить, что преимущества pLTE для подземных горных выработок часто оборачиваются их же недостатками и предприятие попадает в заложники: сим-карты выдает оператор связи, он же выделяет разрешенный частотный диапазон (полосу) в аренду (в нашей стране покупка пока не практикуется), а дальше – при развитии горных выработок или изменении конфигурации подземного пространства – горнодобывающему предприятию нельзя передвинуть базовую станцию (БС) самостоятельно – перемещение БС может вызвать частотный конфликт или помехи, поэтому нужно сообщать оператору, а он уже пересчитает спектр для соседей. При этом конечного оборудования с поддержкой pLTE (датчики, исполнительные устройства) для сложных сред сейчас существенно меньше, а вот Wi-Fi устройств для горнорудной промышленности довольно много, даже с защитой от искры. Стоит отметить и экономическую составляющую: оборудование с поддержкой Wi-Fi часто существенно дешевле LTE-оборудования. Номенклатура применяемых оконечных устройств систем телеметрии (датчики) на

горнодобывающих предприятиях часто не имеет каналов беспроводной связи, что вызывает необходимость интегрировать данные с проводных датчиков, переданные на промышленный контроллер. К примеру, на отечественном рынке присутствуют промышленные контроллеры и сетевые узлы (маршрутизаторы, коммутаторы и др.) с поддержкой Wi-Fi и проводной связи разнообразных стандартов (от RS485, SBNI до 1000BASE-T), что позволяет гибко конфигурировать сеть и интегрировать в нее всё имеющееся на предприятии оборудование без дополнительных затрат.

Считается, что проблема промышленного Wi-Fi – то, что он может работать только в условиях прямой видимости, а к примеру, технология LTE позволяет работать на отражённой волне и предоставлять связь достаточного уровня качества. Однако современные модификации стандарта Wi-Fi позволяют охватывать все больше технологических возможностей: определение местоположения (IEEE 802.11az), мониторинг объектов за стеной, захват и распознавание движений и жестов (IEEE 802.11bf). Растет и пропускная способность каналов. Как можно заметить из таблицы на рис. 2, каждые 2–3 года выходят новые модификации стандартов и соответственно оборудование с их поддержкой. В 2024 г. планируется к выходу стандарт Wi-Fi 7 (IEEE802.11be)², позволяющий обеспечить скорость передачи данных до 46 Гбит/с, а также возможности параллельного использования нескольких точек доступа, что увеличивает гибкость сети, ее нагрузочную способность и стабильность радиосигнала для подключаемых клиентских устройств. Поняв, что производители устройств бытового назначения переходят на новые стандарты быстрее, чем производители промышленного оборудования и специализированных средств. Но можно предположить, что стандарт Wi-Fi 7 на территории РФ найдет широкое применение как раз не в массовом сегменте из-за сложной ситуации с выделением частотного диапазона – на земной поверхности полоса 6 ГГц занята под стандарт 5G. В подземном пространстве рудников и шахт работа сетевого оборудования в данном радиодиапазоне не окажет никакого отрицательного влияния на ранее эксплуатируемые системы. На сегодняшний день опыт эксплуатации подземного Wi-Fi-оборудования в горных выработках показывает, что в комплексных системах типа «Умная шахта»[®] применяются самые современные стандарты связи, влияние переотражения волн сведено к минимуму или не имеет влияния на технические параметры системы. Устойчивая работа беспроводной сети в различных условиях распространения радиоволн и различных условиях окружающей среды обеспечивается производителем оборудования за счет оригинальных схем адаптивной модуляции, кодирования, синхронизации.

Еще одной особенностью построения промышленной беспроводной сети в руднике является необходимость резервирования каналов связи. Как правило, базовые станции LTE не имеют встроенного аккумулятора и «живучесть» такой сети на промышленном объекте резко снижается все по той же причине – обрыв кабеля, а резервирование оказывается весьма затратным с экономической точки зрения. Кроме того, конструктивное исполнение сетевых узлов должно обеспечивать их надежную эксплуатацию в сложных условиях, и, соответственно, фидер (линия передач) для выносных антенн также попадает в зону риска.

² IEEE Standards Association. Режим доступа: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11bf/10365/>

Поколение стандартов Wi-Fi	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 6E	Wi-Fi 7
Год выпуска	2007	2013	2019	2021	2024
Стандарт IEEE	802.11 n	802.11 ac	802.11 ax		802.11 be
Макс. пропускная способность, Гбит/с	1,2	3,5	9,6		46
Чистотный диапазон, ГГц	2,4 5	5	2,4 5	6	1-7,25 (в т.ч. 2,4; 5; 6)
Безопасность	WPA 2	WPA 2	WPA 3		WPA 3
Ширина канала, МГц	20 40	20, 40, 80 80+80, 160	20, 40, 80 80+80, 160		до 320
Модуляция	64-QAM OFDM	256-QAM OFDM	1024-QAM OFDMA		4096-QAM OFDMA (расширен.)
MIMO	4x4 MIMO	4x4 MIMO, DL MU-MIMO	8x8 UL/DL MU-MIMO		16x16 MU-MIMO



Рис. 2
Развитие технологии Wi-Fi
(семейство стандартов IEEE802.11)

Fig. 2
Development of the Wi-Fi technology
(IEEE802.11 family of standards)

Рис. 4
На манекене
горноспасателя головной
шахтерский светильник
с видеокамерой,
функциями определения
местоположения
с поддержкой Wi-Fi
(производитель –
ООО НПФ «Гранч»,
Российская Федерация)

Fig. 4
Dummy of a mining
rescue worker
wearing a headlamp
with a video camera,
location detection
functions with Wi-Fi
support
(manufactured by
'NPF Granch' Ltd.,
Russian Federation)



Рис. 3
Базовая станция Wi-Fi
рудничная со встроенными
антеннами и аккумуляторной
поддержкой (производитель –
ООО НПФ «Гранч», Российская
Федерация)

Fig. 3
A mine Wi-Fi base station
with built-in antennas
and battery support (manufactured
by 'NPF Granch' Ltd., Russian
Federation)

Если говорить об интеграции систем определения местоположения с рLTE-сетью, то здесь тоже пока встает вопрос о том, что существующие на рынке системы имеют оконечное оборудование с поддержкой Wi-Fi или даже основаны непосредственно на измерении уровня сигнала в Wi-Fi сети. На рис. 3 и 4 приведено фото оборудования Wi-Fi (базовая станция, головной светильник с видеокамерой) отечественного производства, применяемого в рудниках для обеспечения кабельной и/или беспроводной связью многофункциональных систем связи, определения местоположения, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией; систем сбора и передачи информации и им аналогичных.

Пример технического решения

Как было показано выше, в рудниках для минимизации затрат и повышения надежности имеет смысл применять подход по построению единой сети передачи данных, обеспечивающей не только голосовую связь, телеметрию и видеонаблюдение. Необходимо интегрировать в эту сеть систему определения местоположения горнорабочих под землей, систему передачи данных с индивидуальных носимых устройств, систему аварийного оповещения, вывода людей при аварии и поиска пострадавших. Современное оборудование позволяет оптимизировать такое комплексное решение по построению мультисервисной системы связи и безопасности с использованием технологии Wi-Fi.

Отечественные решения позволяют развернуть в подземных горных выработках беспроводную сеть по стандарту IEEE802.11 для работы в ней большого числа клиентских устройств (для подземного персонала, транспорта и технологического оборудования), обеспечить передачу трафика различных типов данных на магистральную линию, построенную по стандарту 1000BASE-T, и учесть требования к надежности сети передачи данных.

«Цифровой рудник» сегодня – это аппаратно-программный комплекс на базе единой мультисервисной сети передачи данных, в котором:

- индивидуальные светильники горнорабочих уже имеют на борту все необходимые модули, в частности, модули Wi-Fi, модули определения местоположения, датчики газов (CH₄, O₂, CO₂, CO и др.), модуль оповещения, видеокамера и другие;
- базовые станции Wi-Fi имеют встроенную аккумуляторную поддержку и встроенные антенны (увеличивают «живучесть»), а также обеспечивают автоматическое резервирование проводных каналов связи беспроводными;
- подземная сеть обеспечивает непрерывное радиопокрытие, поддерживает смартфоны с VoIP, интегрируется с системами АСУ ТП без дополнительных затрат, позволяет развернуть подземную систему видеонаблюдения;
- обеспечивается высокая скорость работы алгоритма определения местоположения персонала и транспорта;
- реализуется интеграция с системой предотвращения столкновений (коллизии транспорт-транспорт, транспорт-персонал);
- подземная сеть интегрируется с системами связи на объектах промышленного предприятия, находящихся на поверхности (карьер, обогащительный комбинат, административно-бытовые помещения и др.);
- обеспечивается защита данных внутри сети многофункциональной системы безопасности (планы горных работ, данные телеметрии, персональные данные и др.).

Отдельные подсистемы для цифровизации рудника на рынке представлены широко, однако вышеописанный ком-

плексный подход предлагает только ООО НПФ «Гранч» (г. Новосибирск)³. Кроме того, все решения от данного производителя построены с применением как оборудования, так и программного обеспечения (ПО) собственной разработки. Цифровизация рудника на такой технической базе хорошо согласуется с курсом на импортозамещение, в связи с тем, что с начала 2025 г. объекты критической информационной инфраструктуры (а к ним относятся и горнодобывающие предприятия) не смогут использовать иностранное ПО, – значит должны будут перейти на отечественное⁴.

Заключение

К цифровизации промышленники стремятся ввиду огромного темпа развития технологий, а также глобального движения в сторону «Индустрии 4.0» с организацией процесса автономной добычи сырья. Для роста темпов добычи компании инвестируют в оборудование, которое непосредственно участвует в технологических процессах: комбайны, буровые станки, погрузочно-доставочную спецтехнику, системы автоматизированного управления. Автоматизация призвана снизить риски возникновения аварийных инцидентов, тем не менее периодически мы наблюдаем ситуацию, когда на горнодобывающих предприятиях происходят пожары, взрывы и другие аварии, уносящие жизни людей. Важен подход к обеспечению безопасности работ. Систематическая работа горнодобывающих предприятий в области обеспечения безопасности ведения горных работ должна преследовать своей целью не просто абстрактное снижение показателя производственного травматизма, а предотвращение опасных инцидентов конкретными мерами. Такие меры на современном уровне техники могут надежно обеспечиваться за счет построения единой циф-

ровой среды опасного производственного объекта. Залогом успешного построения «цифрового рудника» является правильно спроектированная мультисервисная сеть.

Промышленные Wi-Fi сети по-прежнему остаются оптимальным стандартом связи для построения высоконагруженных многофункциональных систем на горнодобывающих предприятиях и имеют ряд преимуществ перед сетями рLTE и другими решениями. Сети стандарта IEEE 802.11 имеют высокую пропускную способность, позволяют строить гибкие пространственные конфигурации радиосети, обеспечивают корректную интеграцию данных различных подсистем без дополнительных затрат. Администрирование, масштабирование, обновление, текущая эксплуатация таких сетей будут находиться в зоне ответственности сотрудников владельца сети. Это значительно снижает время реакции на запросы пользователей и позволяет адаптировать ресурсы сети под текущие нужды каждой из категорий пользователей. При рассмотрении финансовой составляющей можно также увидеть ряд преимуществ: средства на связь не уходят стороннему оператору, а остаются в бюджете компании. Рост объема трафика, количества пользователей, расширение перечня услуг/сервисов и распределение уровней доступа среди внутренних абонентов полностью находится в руках владельца частной сети. Вместо платы за услуги стороннему поставщику владелец несет затраты ниже и только на текущую эксплуатацию.

На рынке представлены отечественные решения промышленных Wi-Fi сетей, зарекомендовавшие себя в горнодобывающей отрасли, позволяющие реализовать проекты по цифровизации рудников. Наиболее подходящим для целей развертывания мультисервисной беспроводной Wi-Fi сети «цифрового рудника» с точки зрения функционала и надежности является оборудование производства ООО НПФ «Гранч». Гибкая адаптация к нуждам конкретного добывающего предприятия позволяет максимально эффективно работать над повышением управляемости технологическими процессами и снижением производственного травматизма и числа аварийных инцидентов.

3 Официальный сайт ООО НПФ «Гранч». Режим доступа: <https://www.granch.ru/>

4 Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 № 187-ФЗ; Указ Президента РФ № 166 от 30.03.2022 г.; Законопроект № 293499-8 О внесении изменения в статью 12-1 Федерального закона «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» (в части уточнения государственного регулирования в сфере использования российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных). Режим доступа: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/293499-8>

Список литературы

1. Ваганов В.С., Гоффарт Т.В., Дубков И.С. Мультисервисные компьютерные сети в угольных шахтах. Особенности реализации и развития. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2018;(2):56–69. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/xqwqdb>
2. Ваганов В.С., Урусов Л.В. Анализ способов организации сетей передачи данных для построения современных МФСБ в угольных шахтах. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2016;(3):72–81. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/wlsket>

References

1. Vaganov V.S., Goffart T.V., Dubkov I.S. Multiservice computer networks in coal mines. features of implementation and development. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2018;(2):56–69. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/xqwqdb>
2. Vaganov V.S., Urusov L.V. Analysis of methods of organization data networks for building modern MFSB in coal mines. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2016;(3):72–81. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/wlsket>

Информация об авторе

Насибуллина Татьяна Владимировна – директор по научной работе, ООО Научно-производственная фирма «Гранч», г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: goffart@granch.ru

Information about the author

Tatiana V. Nasibullina – Director for Research, LLC Scientific and Production Firm “Granch”, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: goffart@granch.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.10.2023
Поступила после рецензирования: 27.11.2023
Принята к публикации: 04.12.2023

Article info

Received: 19.10.2023
Revised: 27.11.2023
Accepted: 04.12.2023