

Обзор технологий построения беспроводных сетей для горнодобывающей промышленности

Н. В. Носкова, О. А. Быстрова

Как и во многих областях, в сетях передачи данных нет единых универсальных решений. Выбор той или иной технологии основывается на требованиях, предъявляемых к сети. Особенно внимательно нужно подходить к выбору способов организации сети в случаях, когда необходимо обеспечивать не только связь, но и безопасность людей. В статье рассмотрены существующие технологии и особенности проектирования беспроводных сетей в горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: шахта, беспроводная сеть, излучающий кабель, DECT, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16.

1. Введение

В последние годы на всех добывающих предприятиях рекомендовано развертывание многофункциональной системы безопасности (МФСБ), которая должна обеспечивать связь, оповещение и определение местоположения персонала и содержать:

- систему определения местоположения персонала в горных выработках шахты;
- систему поиска и обнаружения людей, застигнутых аварией;
- систему оперативной, громкоговорящей и аварийной подземной связи и аварийного оповещения;
- два независимых канала связи с подразделениями военизированной горноспасательной части (ВГСЧ), обслуживающими шахту [1].

Но при выборе конкретной технологии необходимо знать специфику этих объектов, ограничения, накладываемые на выбор, а также требования, предъявляемые к сети.

Подземные выработки характеризуются малым сечением, высоким количеством движущихся людей и механизмов, высоким содержанием пыли в атмосфере. Все это приводит к увеличению интерференционных помех.

Основными требованиями, предъявляемыми заказчиком, являются обеспечение высокой скорости передачи данных, возможности быстрого развертывания сети и легкой смены конфигурации, сохранения работоспособности даже при возникновении чрезвычайных ситуаций. Кроме того, беспроводные сети должны обеспечивать наблюдение за персоналом в подземных выработках и контроль окружающей среды.

На сегодняшний день наиболее популярными технологиями беспроводной связи являются: использование излучающего кабеля, микросотовые сети на базе стандарта DECT, Wi-Fi, IEEE 802.15 и WiMAX.

2. Излучающие радиочастотные кабели

Одна из технологий, обеспечивающих саму возможность распространения радиоволн в подземных условиях – применение излучающего кабеля, представляющего собой коаксиальный радиочастотный кабель, во внешнем проводнике которого имеются отверстия [2]. Такая конструкция кабеля превращает его в антенну, распределенную по подземным выработкам и обеспечивающую среду передачи голоса от портативных радиостанций к базовой станции и обратно. Для компенсации затухания сигнала в кабеле используются усилители. Электропитание линейных усилителей, как правило, осуществляется по излучающему кабелю. В качестве абонентского оборудования применяются взрывозащищенные радиостанции, работающие в стандарте TETRA или MPT1327 [2].

Существуют как широкодиапазонные кабели, так и кабели, специально оптимизированные для работы в определенной полосе частот.

Излучающий кабель характеризуется (в определенном диапазоне частот) двумя основными параметрами: погонное затухание (Longitude Loss, LS) и потери при излучении (Coupling Loss, CL). Последние определяются как потери, измеряемые на расстоянии 2 м от излучающего кабеля, и характеризуют эффективность переноса энергии от излучающего кабеля в пространство внутри тоннеля. При каждом удвоении расстояния от излучающего кабеля с 2 м до точки измерения к потерям при излучении добавляются 6 дБ.

Одним из главных требований при прокладке излучающего кабеля является обеспечение постоянства его волнового сопротивления в любой точке трассы. При изгибе кабеля происходит нарушение рассчитанной геометрии сечения кабеля, что вынуждает производителей указывать минимальный радиус изгиба кабеля при его прокладке [3]

Кроме того, необходимо учитывать расстояние между излучающим кабелем и стеной тоннеля – оно оказывает существенное влияние на потери в кабеле, при монтаже кабеля вплотную к стене потери при излучении (CL) могут значительно возрасти (до 10 дБ в диапазоне частот 400–470 МГц) [4]. Чем выше рабочий диапазон частот, тем это влияние выражено сильнее. На практике в диапазоне стандарта TETRA влияние стены тоннеля ослабевает до пренебрежимо малых величин при расстояниях от кабеля до стены тоннеля более 5–6 см.

Наиболее дешевые и простые излучающие кабели имеют равномерно распределенные излучающие отверстия, что приводит к некоторым ограничениям:

- при большой протяженности излучающего кабеля и равномерном распределении отверстий наиболее удаленные от места подключения источника электромагнитной энергии отверстия излучают недостаточный уровень электромагнитной энергии;
- при прокладке кабеля с определенным шагом излучающих отверстий вдоль прямых участков выработки происходит бесполезная потеря электромагнитной энергии;
- отсутствие адаптивности, позволяющей, не меняя среду передачи, изменить абонентское оборудование, поскольку размеры излучающих отверстий всегда выбираются исходя из заданной разработчиком конкретной частоты, и уменьшить их после выполнения в наружном проводнике уже нельзя;
- низкая излучательная способность одного отверстия приводит к необходимости устанавливать большое количество сложных в изготовлении и настройке согласующих вставок.

Все излучающие кабели выпускаются отрезками фиксированной протяженности, как правило, 600, 700, 800 м и т.д., что влечет за собой еще одно ограничение: отличие практически необходимой длины кабеля при его прокладке от фактически производимого ряда длин излучающих кабелей производителем приводит к неоправданно большим отходам кабеля в процессе монтажа [4].

Кроме того, необходимо отметить, что для излучающих кабелей при тестировании на огнестойкость применяется та же методика, что и для обычных силовых кабелей, для которых при определении устойчивости к высоким температурам измеряется время, в течение которого их жилы и оболочка не дают обрывов и коротких замыканий. В случае излучающего

кабеля между центральным проводником и оболочкой находится вспененный полиэтилен, который быстро расплавляется, центральная жила проседает, что приводит к нарушению заданной геометрии сечения кабеля и его волнового сопротивления. Таким образом, даже если оболочка кабеля под воздействием высоких температур не горит и даже не имеет серьезных повреждений, кабель все равно практически сразу необратимо выходит из строя и в последующем подлежит замене [5].

Несмотря на указанные недостатки и замечания, в России излучающие радиочастотные кабели использует компания «Информационная Индустрия» в интересах ОАО «ГМК «Норильский никель» – это программно-аппаратный комплекс «Талнах» для построения систем радиосвязи и автоматизации различного назначения в подземной части шахт и рудников (в том числе и опасных по пыли и газу) [6].

В состав комплекса «Талнах» входят:

- излучающая кабельная сеть;
- система диагностики излучающей кабельной сети «Талнах-диагностика»;
- система определения местонахождения (позиционирования) персонала и техники под землей «Талнах-координата»;
- система табельного учета персонала «Талнах-табель»;
- система передачи данных;
- система промышленного телевидения (рис. 1).



Рис. 1. Пример организации сети ООО «Золоторудная компания «Майское» [7]

3. Использование стандарта DECT

На смену излучающим кабелям пришли беспроводные системы стандарта DECT. Это объясняется тем, что данное оборудование хорошо зарекомендовало себя при построении систем связи в офисах и на небольших строительных площадках и имеет целый ряд достоинств, в том числе:

- мобильность абонента в пределах сети;
- высокое качество предоставляемого дуплексного канала связи (достигается применением современных цифровых технологий формирования и обработки сигналов);
- высокая скорость развертывания системы.

Рассмотрим особенности технологии DECT для оценки возможности ее применения на предприятиях горнодобывающей промышленности с учетом накладываемых требований.

В стандарте DECT используется диапазон частот 1880–1900 МГц. В качестве топологии применяют топологию «звезда», для связи базовых станций и контроллера используются шахтные телефонные кабели марки ТАШ (рис. 2).

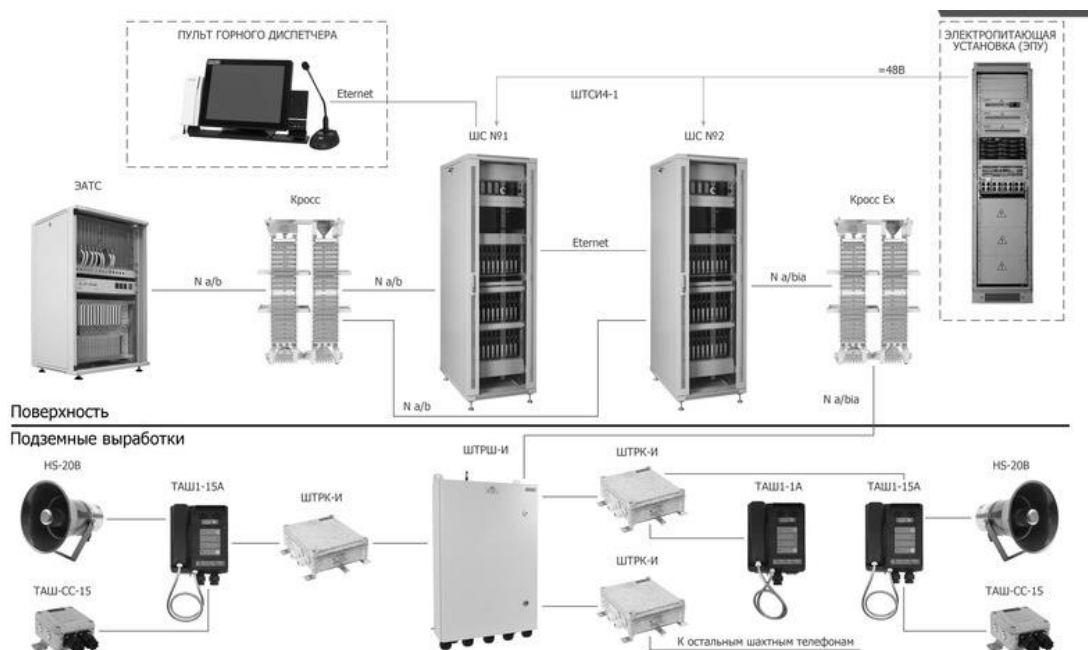


Рис. 2. Комплекс шахтной телефонной связи ШТСИ4-1

Радиоволны данного диапазона имеют ограниченную возможность огибать препятствия и крутые повороты выработок – вентиляционные двери и пересечения выработок, что ведет к необходимости установки в выработке дополнительных базовых станций. Радиосвязь в указанном диапазоне в сильной степени подвержена воздействию помех, возникающих при коммутации мощного (более 500 кВт) силового оборудования, эксплуатируемого в шахте, поэтому оптимально ее использование только на прямолинейных участках.

Размеры зоны радиопокрытия отдельной базовой станции в условиях подземных выработок определяются совокупностью многих факторов, основными являются: гипсометрия пласта, геометрия выработки, параметры антенно-фидерных устройств, но в любом случае не превышают 300–350 м.

Кроме того, уверенная связь обеспечивается, если скорость перемещения абонента в зоне обслуживания системы DECT не превышает 6 км/ч. При превышении указанной скорости велика вероятность разрыва установленного соединения при переходе абонента из зоны обслуживания одной базовой станции в зону обслуживания другой базовой станции.

С целью увеличения зоны обслуживания базовых станций стремятся использовать две направленные антенны с коэффициентом усиления до 7–9 дБ, располагающиеся вне корпуса базовой станции. При монтаже таких антенн необходимо обеспечить пространственный разнос между ними (порядка 1.0–1.6 м) и устанавливать их не ближе 20–30 см от свода выработки [8, 9].

Для вхождения в связь абоненту DECT всегда требуется набрать номер, что неудобно или зачастую недопустимо для шахтной связи, например, при возникновении чрезвычайных ситуаций, при вызове диспетчера, работе абонентов в группе для решения технологической задачи. Возможность голосовой активации режима передачи в стандарте DECT отсутствует.

Также технология DECT не предусматривает реализацию режимов закрепления канала за конкретным абонентом. Для организации вызова группы абонентов используется режим

конференцсвязи, который реализуется не оборудованием системы DECT, а оборудованием АТС, к которой подключена система DECT. Режим общего вызова всех абонентов системы, например, для передачи сообщений горным диспетчером, также не реализован.

Ряд производителей абонентских радиостанций стандарта DECT предусматривает режим связи без базовой станции. В этом режиме связь может обеспечиваться только между двумя абонентами. В настоящее время такое абонентское оборудование для шахт, опасных по газу и пыли, не сертифицировано.

Системы DECT могут предоставлять каналы передачи данных для функционирования автоматизированных систем дистанционного управления (АСДУ). Для этого необходимы источник питания и стационарные терминалы (для шахт, опасных по газу и пыли, – в искробезопасном исполнении), имеющие интерфейсы RS232, RS485, для подключения к шахтным контроллерам технологического оборудования. Для подключения контроллеров может выделяться канал со скоростью 32 кбит/с, который при этом уже не используется в качестве разговорного. Это приводит к необходимости увеличения количества базовых станций. Низкая скорость передачи данных в системах DECT накладывает ограничения на использование канала для работы подсистем АСДУ и не позволяет поддерживать такие сервисы, как передача сигналов промышленного телевидения и высокоскоростная передача данных.

Кроме того, при механическом повреждении телефонного кабеля, которым связаны базовые станции, невозможно будет оперативно восстановить работоспособность сети.

Проведенный анализ особенностей технологии DECT показывает, что при проектировании и эксплуатации этих систем на шахтах и рудниках возникают проблемы, которые отсутствуют для систем стандарта DECT офисного применения. Системы беспроводной связи, базирующиеся на стандарте DECT, можно использовать при развертывании систем связи в наземной административно-хозяйственной инфраструктуре [8].

4. Сети стандарта IEEE 802.1x

В последнее время в лидеры выходят сети на базе стандартов IEEE 802.1x, это сети стандартов IEEE 802.11, IEEE 802.15 и IEEE 802.16 [10].

Приведем сравнительный анализ этих технологий (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ стандартов IEEE 802.x

Стандарт	Диапазон частот	Скорость передачи данных	Радиус действия
IEEE 802.11a	5 ГГц	до 54 Мбит/с	до 300 м
IEEE 802.11b	2.4 ГГц	до 11 Мбит/с	до 300 м
IEEE 802.11g	2.4 ГГц	до 54 Мбит/с	до 300 м
IEEE 802.11n	2.4 ГГц или 5 ГГц	до 450 Мбит/с	до 300 м
IEEE 802.16d	1.5-11 ГГц	до 75 Мбит/с	4-6 км
IEEE 802.16e	2-6 ГГц	до 15 Мбит/с	4-6 км
IEEE 802.15.1	2.4 ГГц	до 1 Мбит/с	до 10 м
IEEE 802.15.4	2.4 ГГц	от 20 кбит/с до 250 кбит/с	до 100 м

4.1. Сети стандарта IEEE 802.11

Сети стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi) изначально разрабатывались для создания беспроводных локальных сетей и поддержки передачи различных мультимедийных данных. Все сети стандарта IEEE 802.11 поддерживают два типа архитектуры сети: Ad-Hoc (каждый-с-каждым) и scatter net (распределенная сеть).

В первом случае связь устанавливается непосредственно между абонентскими устройствами. Во втором – основу сети составляет сотовая архитектура, каждой ячейкой которой управляет базовая станция, называемая точкой доступа (Access Point, AP), к которой и подключаются абонентские устройства. Чем больше абонентских устройств в зоне обслуживания, тем меньше скорость передачи для каждого из них. Точки доступа могут соединяться друг с другом как кабельной сетью, так и беспроводным каналом [11].

В качестве метода доступа к сети используется метод CSMA/CA – метод множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий.

Основным условием качественной работы сетей Wi-Fi является наличие прямой видимости между приёмным и передающим устройствами [12]. При ее отсутствии возникают многократные отражения сигнала и, как следствие, многолучевая передача данных и межсимвольная интерференция.

Борьба с этими явлениями позволяет метод ортогонального частотного мультиплексирования (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). Данный метод предполагает параллельную передачу полезного сигнала по нескольким поднесущим. Параметры поднесущих сигналов подбираются таким образом, чтобы они были по отношению друг к другу ортогональны. Для быстрой реализации данного действия с помощью вычислительных устройств используют алгоритм обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ).

Кроме противостояния интерференции, метод OFDM допускает использование различных схем модуляции для разных поднесущих, что позволяет адаптироваться к условиям распространения сигнала и к различным требованиям к качеству принимаемого сигнала.

Среди достоинств стандартов IEEE 802.11 следует отметить высокую скорость передачи данных, компактность устройств, высокий уровень стандартизации и совместимость оборудования различных производителей, а также разнообразие модулей.

Но необходимо отметить и недостатки: высокое энергопотребление и невозможность долгое время работать от автономных источников энергоснабжения [13].

На рис. 3 представлен вариант построения сети на базе стандарта IEEE 802.11 от НПФ «Гранч»: подземная инфраструктура сети данного стандарта представляет собой распределенную подсистему базовых станций (БС), связанных между собой как кабелем, так и по беспроводной технологии – при пропадании сигнала по проводной линии связи базовая станция включает режим «каждый с каждым» (Ad-Нос) и связывается с ближайшей работоспособной БС по беспроводному каналу [14].

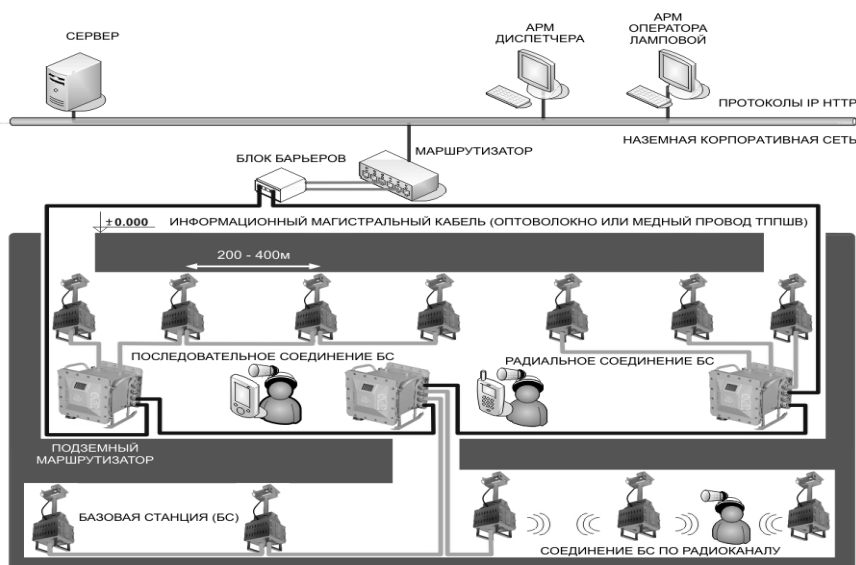


Рис. 3. Структура сети на базе стандарта IEEE 802.11

В качестве антенн базовых станций используют фазированные антенные решетки, встроенные в торцы БС, с их помощью осуществляется связь как с соседней БС, так и подключенные абонентских устройств. Базовые станции крепятся к потолку подземной выработки вдоль одной из стен тоннеля.

Всё перечисленное оборудование выпускается во взрывобезопасных стальных корпусах, чтобы при аварии или повреждении устройств не происходило отключения связи.

Абонентская часть может быть оборудована как стандартными устройствами связи, так и специализированными устройствами оповещения, представляющими собой индивидуальный шахтовый светильник, оборудованный голосовым процессором, датчиком метана и сетевым модулем Wi-Fi, обеспечивающим постоянную связь с инфраструктурой. Для определения положения используется технология определение координат в реальном времени (Real Time Location Service, RTLS).

4.2. Сети стандарта IEEE 802.15

Сети стандарта IEEE 802.15.1 (Bluetooth) разрабатывались как технологии беспроводного соединения маломощных устройств для замены кабельных и инфракрасных соединений офисной и бытовой техники. Данные сети могут создавать соединения при отсутствии прямой видимости [11].

В рабочем диапазоне частот выделяются 79 радиоканалов, на которых возможна передача данных до 1 Мбит/с.

Данный протокол может поддерживать асинхронный канал передачи данных, до трех синхронных голосовых каналов или одновременная асинхронная передача данных и синхронная передача голоса. При этом скорость голосового соединения – 64 кбит/с в каждом направлении, асинхронного канала – 723.2 кбит/с в прямом направлении и 57.6 кбит/с в обратном направлении при асимметричном режиме работы или до 433.9 кбит/с в каждом направлении при симметричном режиме.

К основным достоинствам сетей IEEE 802.15.1 относят возможность быстрого развертывания сети и сравнительно низкое энергопотребление.

Но в то же время этот стандарт не обеспечивает высоких скоростей передачи данных и больших радиусов зон обслуживания [13].

Основной областью применения IEEE 802.15.4 (ZigBee) является передача информации от движущихся и вращающихся частей механизмов (конвейеров, роботов), промышленные системы управления и мониторинга, беспроводные сети датчиков, отслеживание маршрутов движения и местоположения имущества и инвентаря, «интеллектуальное» сельское хозяйство, системы охраны.

В отличие от других беспроводных технологий, где ставится задача обеспечить высокую скорость передачи, большую дальность или высокое качество обслуживания, IEEE 802.15.4 создавался изначально по критериям малой дальности действия, низкой цены, низкой потребляемой мощности, низкой скорости передачи и малых габаритов [15].

Максимальная скорость передачи составляет 250 кбит/с в диапазоне 2.4 ГГц.

В сети ZigBee существует три типа устройств:

- координатор, главное устройство сети, выполняющее функции по формированию сети;
- маршрутизатор, использующийся для расширения радиуса действия сети;
- мобильное устройство, представляющее собой устройство с батарейным питанием, обычно они выполняют роль датчиков или контроллеров каких-либо исполнительных устройств (рис. 4).

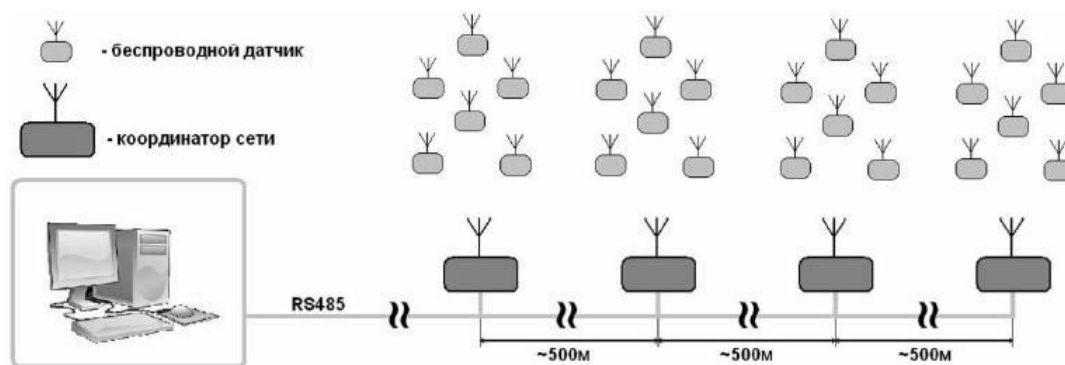


Рис. 4. Структура сети сбора данных и мониторинга персонала

Это позволяет поддерживать сложные беспроводные сети с ячеистой топологией с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений.

Кроме того, сети ZigBee являются самоорганизующимися и самовосстанавливающимися, при выходе из строя отдельных элементов сети они способны искать новые маршруты для передачи данных.

Основная задача данных сетей заключается в контроле перемещения персонала или оборудования в шахте. Для этого передатчики с определенной периодичностью отправляют номер абонента координатору, который, в свою очередь, передает номер и мощность принятого сигнала в диспетчерский пункт, где и определяется расстояние до объекта. Кроме того, возможна отправка адресных сообщений персоналу в случае аварии [15].

Но низкая пропускная способность и малый радиус обслуживания не позволяют применять сети ZigBee для трансляции потокового видео или аудио.

4.3. Сети стандарта IEEE 802.16

Стандарт IEEE 802.16 совмещает технологию уровня оператора связи и технологию «последней мили», что позволяет создавать универсальные решения и повышает надежность системы. В стандарте наряду с передачей данных возможно использование функции Voice over IP (VoIP).

В первой версии стандарта IEEE 802.16a предусматривалось использование диапазона частот 10–66 ГГц, для которого рекомендовался режим передачи на одной несущей – single-carrier (SC). Особенности распространения радиоволн этого диапазона ограничивают возможности работы условиями прямой видимости [12]. Поэтому в процессе работы над стандартом диапазон частот был расширен включением полосы 2–11 ГГц, в которой, помимо SC, предусмотрены еще и режимы ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM) и множественного доступа на основе ортогонального частотного мультиплексирования (Orthogonal Frequency Division Multiply Access, OFDMA).

В режиме OFDM предусмотрена одновременная передача на 256 поднесущих, что позволяет одновременно принимать прямой и отраженные от препятствий сигналы или вообще работать только по отраженным сигналам вне пределов прямой видимости.

Режим OFDMA предусматривает работу на 2048 поднесущих сразу с несколькими абонентскими устройствами.

Одной из особенностей стандарта IEEE 802.16 является его адаптивность к внешним помеховым условиям. Система подстраивается к характеристикам канала в каждый момент времени, применяя разные схемы модуляции и кодирования. В качестве методов модуляции используются QPSK, 16QAM и 64QAM, обязательной для всех устройств является модуляция QPSK [16].

Передача от БС к абонентским устройствам ведется в режиме временного дуплекса в едином потоке для всех абонентов одного сектора. Информация в системе передается фреймами, которые делятся на два субфрейма. Первый используется для передачи БС, второй – АС.

Обратный канал строится на комбинации двух методов – предоставлении ресурсов по запросу (Demand Assigned Multiple Access, DAMA) и множественном доступе с временным разделением (TDMA).

Базовые характеристики стандарта предусматривают дальность действия до 50 км, покрытие с возможностью работы вне прямой видимости, пиковую скорость передачи до 100 Мбит/с и динамически изменяемую полосу пропускания канала от 1.25 МГц до 20 МГц [11].

Сети стандарта IEEE 802.16d (фиксированный WiMAX) позволяют обслуживать стационарных абонентов (например, связывать базовые станции между собой), заменяя кабельные сети, при этом используется диапазон частот от 1.5 до 11 ГГц и поддерживается скорость передачи до 120 Мбит/с в отсутствии прямой видимости.

Для подключения абонентских устройств к базовой станции используют стандарт IEEE 802.16e (мобильный WiMAX). При этом используется диапазон частот от 2 до 6 ГГц. В идеальных условиях скорость передачи данных достигает 75 Мбит/с.

Чтобы свести к минимуму потребление энергии, мобильные WiMAX-устройства имеют два энергосберегающих режима: спящий и холостой (sleep, idle). Энергосбережение достигается за счет того, что часть модуля отключается в тот момент, когда устройство не принимает и не отдает данные. В спящем режиме мобильное устройство отключается на заранее определенные сроки, которые выставляются в настройке базовой станции. Передача данных в таком случае происходит, когда устройство обнаруживает другие базовые станции. В холостом режиме может быть сэкономлено еще больше энергии, чем в режиме сна, благодаря тому, что модуль устройства может быть полностью отключен и не включаться даже при обнаружении другой базовой станции [17].

Построенный на технологии WiMAX алгоритм устанавливает ограничение на число пользователей для одной точки доступа. Когда базовая станция WiMAX приближается к максимуму своего потенциала, она автоматически перенаправляет «избыточных» пользователей на другую базовую станцию [17].

Но поскольку технология WiMAX изначально предназначалась для организации широкополосной связи вне помещений и для организации крупномасштабных сетей, то практически нет обоснования данного стандарта для промышленного применения.

5. Заключение

Рассмотрены наиболее популярные технологии обеспечения беспроводной связи в шахтах и рудниках.

Анализ показал, что наиболее перспективными и универсальными с точки зрения предоставляемых услуг на сегодняшний день являются стандарты IEEE 802.11 и IEEE 802.16.

Но еще не решенными остаются вопросы увеличения зоны обслуживания и скорости передаваемых данных, чему и будут посвящены дальнейшие исследования.

Литература

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Сер. 05. Вып. 40. 5-е изд., испр. и доп. М.: ЗАО «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2017. 198 с.
2. Солонин В. Подземная связь: от проводных телефонов к системам позиционирования [Электронный ресурс]. URL: https://cnews.ru/reviews/free/industry2006/articles/underground_connection.shtml (дата обращения: 13.09.2019).

3. ГОСТ Р 53246-2008 Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы. Общие требования [Электронный ресурс]. URL: <http://izmerls.ru/ost/p29.html> (дата обращения: 20.04.2020).
4. Излучающий кабель. [Электронный ресурс]. URL: <https://findpatent.ru/patent/226/2265923.html> (дата обращения: 13.09.2019).
5. Об использовании излучающих кабелей при строительстве систем профессиональной радиосвязи URL: https://www.integra-pro.com/rus/lib/Notes/radiating_cables (дата обращения: 01.09.2019).
6. *Запорощенко Д. В.* Подземные коммуникации [Электронный ресурс]. URL: [http://www.tek-ua.com/article0\\$t!1\\$pa!32575\\$a!325841.htm](http://www.tek-ua.com/article0$t!1$pa!32575$a!325841.htm) (дата обращения: 09.10.2019).
7. Беспроводная сеть в карьерах и шахтах [Электронный ресурс] // <https://dprom.online/unsolution/besprovodnaya-svyaz-v-karerah-i-shahtah/> (дата обращения: 10.10.2019).
8. *Капаев А. Е., Котова Е. А.* Радиосвязь под землей. Проблемы и решения [Электронный ресурс] // URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/1429-radiosvyaz-pod-zemlej-problemy-i-puti> (дата обращения: 13.09.2019).
9. *Мартынов В. И.* Беспроводная связь под землей: микросотовые системы или кабель? [Электронный ресурс]. URL: <https://mining-media.ru/ru/article/prombez/1149-besprovodnaya-svyaz> (дата обращения: 13.09.2019).
10. *Коптев Д. С., Щитов А. Н., Шевцов А. Н.* Сравнительный анализ наиболее перспективных стандартов беспроводных сетей связи [Электронный ресурс]. URL: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2016/11/Koptev2.pdf> (дата обращения: 13.09.2019).
11. *Федунец Н. И., Кубрин С. С.* Перспективы и проблемы построения автоматизированных радиотелеметрических систем управления технологическими процессами в шахтах и на рудниках [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-problemy-postroeniya-avtomatizirovannyh-radiotelemetricheskikh-sistem-upravleniya-tehnologicheskimi-protsessami-v/viewer> (дата обращения: 20.04.2020).
12. *Пахомов Г. И., Головин С. И., Калашников А. Д., Каширина Е. С., Тонких М. Ю.* Технологии Wi-Fi и WiMAX в горной промышленности [Электронный ресурс]. URL: <https://socionet.ru/d/spz:cyberleninka:31598:14403465/http://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-wi-fi-i-wimax-v-gornoy-promyshlennosti> (дата обращения: 20.04.2020).
13. *Проскочило А. В., Воробьев А. В., Зряхов М. С., Кравчук А. С.* Анализ состояния и перспективы развития самоорганизующихся сетей [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-i-perspektivy-razvitiya-samoorganizuyuschih-setey/viewer> (дата обращения: 20.04.2020).
14. Описание оборудования для шахт [Электронный ресурс]. URL // <http://www.granch.ru/ru/products/gornass-umnaya-shakhta/bazovaya-stantsiya-sbgps-master-06> (дата обращения: 23.04.2017).
15. *Жуков М. О., Иванов А. Е., Меркулов И. В., Нарымский Б. В.* Использование сетей стандарта IEEE 802.15.1/ZigBee в системах шахтной автоматизации [Электронный ресурс]. URL: <http://masters.donntu.org/2012/iii/gaevskaya/library/article9.htm> (дата обращения: 20.04.2020).
16. Стандарт IEEE 802.16 [Электронный ресурс]. URL: <http://masters.donntu.org/2009/kita/kusov/library/article4.htm> (дата обращения: 21.04.2020).
17. *Павлов О. В., Нелюбов В. Н.* Стандарт IEEE 802.16. – шаг на пути к когнитивным телекоммуникационным системам [Электронный ресурс]. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/standart-ieee-802-16-shag-na-puti-k-](https://cyberleninka.ru/article/n/standart-ieee-802-16-shag-na-puti-k-puti-k-)

kognitivnym-telekommunikatsionnym-sistemam/viewer (дата обращения:
21.04.2020).

*Статья поступила в редакцию 07.03.2020;
переработанный вариант – 05.05.2020.*

Носкова Наталья Владимировна

к.т.н., доцент кафедры систем радиосвязи СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. (383) 2-698-254, e-mail: cj@ngs.ru.

Быстрова Ольга Александровна

ст. преподаватель кафедры систем радиосвязи СибГУТИ, тел. (383) 2-698-254, e-mail: alexandredottir@gmail.com.

Overview of technologies for building wireless networks in mining industry

N. Noskova, O. Bystrova

As in many areas, in data transmission networks there is no single universal solutions. The choice of a particular technology is based on the requirements for the network. Particular attention should be paid to the choice of networking methods in cases where it is necessary to ensure not only communication, but also the safety of people.

The article discusses the design features of wireless networks in the mining industry, and existing technologies.

Keywords: mine, wireless network, radiating cable, DECT, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16.