

УДК 621.396.945

В.В. Давыдов

ШАХТНАЯ БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ

Рассмотрены основные виды беспроводной связи и передачи информации, применяемые в условиях подземных горных выработок и шахт и рудников. Оценены возможности каждого вида по обеспечению требований Правил безопасности в угольных шахтах. На основании натурных испытаний показана эффективность применения каждого вида беспроводной связи на различных технологических участках и определены ее задачи в зависимости от условий эксплуатации. Сформулированы рекомендации по построению на базе беспроводных устройств участковой и общешахтной системы связи и безопасности.

Ключевые слова: беспроводная связь, подземные испытания.

Семинар 14

В соответствии с Правилами безопасности в угольных шахтах [1] горное предприятие должно быть оснащено средствами связи – проводными телефонными аппаратами.

Повышение требований безопасности производства потребовало расширения функциональных возможностей аппаратуры связи, обеспечения ее мобильности, дополнения ее устройствами, обеспечивающими безопасность шахтеров. Традиционные проводные системы обеспечивают обмен ограниченного объема информации и не могут реализовать требования ПБ, включающие противоаварийные режимы [2].

Кроме того, очевидно, что более эффективно и удобно в подземных выработках шахт использовать средства беспроводной связи.

Анализ развития техники шахтной связи и освоения частотных диапазонов в условиях горных предприятий показывает, что частотный диапазон применяемых систем расширяется. Как видно из таблицы, на сегодня он охватывает область частот от сотен герц до нескольких гигагерц.

Серьезным препятствием для широкого внедрения беспроводной связи является ограничение возможности распространения радиоволн, накладываемое параметрами и конфигурацией горных выработок [3].

Анализ современной беспроводной связи для шахт показывает основные тенденции ее развития: повышение частоты радиоканала и переход на цифровую связь. Такая тенденция позволяет обеспечить надежную связь при минимальном уровне мощности, высоком качестве связи и необходимом объеме передаваемой информации. Основными видами беспроводной связи являются системы с распределенной антенной технологией и точечные антенно-фидерные устройства.

В последние годы осуществлены проекты по оснащению подземных горных предприятий беспроводной связью с распределенной антенной на базе излучающего коаксиального кабеля [4]. Начали внедряться, наряду с ними, информационно-измерительные системы с оптоволоконным каналом, которые предназначены для информационного

Таблица 1

Виды шахтной связи

№ п/п	Вид связи	Диапазон частот, МГц	Дальность связи, км	Условия применения	Область применения
1	Связь сквозь массив	0,001	0,2–0,3	Свойства горных пород	Альтернативная связь
2	Телефонная проводная	0,034	15,0	Проводная сеть	Телефон, ГГО, авария, прослушивание шумов,
3.	Волноводная (индуктивная) связь	1,0	5,0	3–5 м от волновода	Местная связь
4	Излучающий кабель (распределенная антенна)	500	100,0	50 м от волновода	Информационная сеть связи и безопасности
5	Точечная антенна	1800	3,0	1000 м от базы	Оперативная связь
6	Пеленгатор	0,01	30 м	Сигнализатор индивидуальный Аварийный	Поиск пострадавшего в завале

обеспечения систем безопасности шахты и в которых беспроводная связь является лишь вспомогательной функцией и осуществляется в стандарте ДЕСТ [5]. В целом такие системы пока имеют высокую стоимость оборудования, доступны только богатым горным предприятиям, так как не всегда могут конкурировать с традиционными проводными системами связи. Ограничение информационных возможностей беспроводных систем определяется еще и отсутствием средств, обеспечивающих стыковку беспроводного канала с общешахтными сетями связи с и другими традиционными средствами шахтной автоматизации, находящимися в эксплуатации. Сложной задачей является также необходимость организации искробезопасного питания узлов системы и линейных регенераторов, что повышает общую стоимость оборудования по сравнению с проводными системами. Однако такие системы позволяют полностью реализовать требуемые ПБ функции

по информационному обеспечению шахты в технологическом и аварийном режимах эксплуатации.

В институте «Гипроуглеавтоматизация» были проведены работы по созданию шахтных беспроводных систем связи: аппаратуры высокочастотной (1 МГц) индуктивной по волноводу и на базе «антенной» технологии ДЕСТ.

Основное назначение аппаратуры индуктивной связи – организация речевого канала вдоль волновода, проложенного по стенке выработки [6]. Связь с портативной (носимой) радиостанцией обеспечивается на расстоянии до 3–5 м от волновода. В качестве волновода используется свободная пара шахтного телефонного кабеля. В некоторых случаях связь может обеспечиваться по металлоконструкциям, рельсам, трубопроводам и др. оборудованию, размещенному в выработке. Аппаратура была испытана на шахте «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь» и на руднике «Интер» г. Мирный. По ней осуществлялась связь

вдоль конвейера, рельсовой откатки, в лаве, и др. (табл. 1). В состав аппаратуры входили портативные радиостанции, работающие на частоте 1024 кГц. Для обеспечения дальности связи до 5–7 км вдоль выработки через 1–1,5 км устанавливались регенераторы, получающие дистанционное питание по тому же волноводу. Связь осуществлялась с пульта оператора со всеми абонентами одновременно в режиме «слушаю-говорю». Количество абонентов может меняться в зависимости от производственной задачи и количества членов бригады. При

использовании шахтного телефонного кабеля в качестве волновода дальность связи составила до 7 км. При использовании металлоконструкций в качестве волновода связь обеспечивалась на расстоянии до 500–1000 м, при этом при максимальной дальности антенна носимой станции должна практически касаться металлоконструкций, например, рельсы. Существенно, что для индуктивной связи металлоконструкции являются волноводом, позволяющим увеличить дальность распространения радиоволн в подземной выработке.

Таблица 2

Результаты испытаний аппаратуры связи по волноводу на шахте «Комсомольская»

№ пп	Выработка длина, (условный диаметр)	Технология	Дальность связи	Направляющая шумоподаватель (шп) антенна
1	Южный полевой людской уклон, 980 м, (4–5 м)	Перевозка людей	980 м, Пульт-Р.Ст, * Р.Ст-Р.Ст	По существующим кабелям (силовым и телефонным) 2 ТРШПВ 20х2х0,8
2	Южный полевой откаточный штрек, 1000 м, (4–5 м) штрек, 1000 м, (4–5 м)	Откатка	400 м, Р.Ст-Р.Ст 1000 м то же вблизи кабеля	По существующим кабелям, ШП – ВКЛ
3	Центральный конвейерный уклон, 1100 м, (4–5 м)	Конвейер	Р.Ст-Р.Ст 250 м 540 м 1100 м	ШП – ОТКЛ ШП – ВКЛ, антенна прижата к конв. ставу, то же, антенна прижата к силовому кабелю
4	Конвейерный уклон 12-ц, 990 м, (4–5 м)	Конвейер	Р.Ст-Р.Ст 990 м	ШП – ОТКЛ, антенна вблизи кабеля
5	Конвейерный штрек 212-ю, 1500 м, (4–5 м)	Конвейер	Р.Ст-Р.Ст 1500 м	ШП – ОТКЛ, антенна вблизи кабеля
6	Конвейерный штрек 622-с, 1800 м, (4–5 м)	Конвейер	Р.Ст-Р.Ст 1800 м	то же, но связь пропадает за энергопоездом
7	Лава, 168 м, (2–3 м)	Комбайн	Р.Ст-Р.Ст 168 м	По металлоконструкции

Обозначения в таблице: Р.Ст – портативная радиостанция; Р.Ст-Р.Ст – связь между портативными радиостанциями; ШП-ВКЛ, ШП-ОТКЛ – включение и отключение положения кнопки шумоподавателя на портативной радиостанции; Антенна – на портативной радиостанции; ТРШПВ – шахтный телефонный кабель

Возможности применения беспроводной цифровой связи с точечными антеннами можно проанализировать по результатам испытаний аппаратуры цифровой радиосвязи, работающей в диапазоне 1,8–1,9 ГГц.[7]. Главной задачей была оценка зоны покрытия для диапазона 1,8–1,9 ГГц в условиях подземных горных выработок различной конфигурации, и выявление области эффективного применения этой технологии.

Основной особенностью ее применения является экспериментальная пред-

варительная оценка зоны покрытия, которая зависит от множества факторов, определяющих условия распространения радиосигнала в этом диапазоне. Испытания проводились на шахте «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь» в стволе, в капитальных выработках, в лаве, на участке.

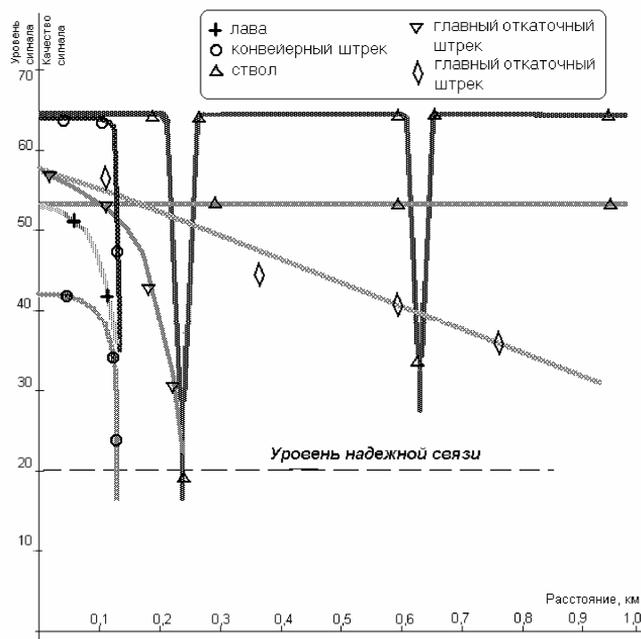
Наиболее представительные результаты были получены в стволе, так как использовался комплект связи в полном объеме и на максимальную дальность связи до 1000 м.

Для обеспечения связи в стволе между машинистом подъема и клетью комплекс связи включал в себя пульт с телефоном, установленный у машиниста подъема и подключенный к радиорозетке ТАРБ, которая по радиоканалу была связана с базовой станцией, расположенной в помещении над стволом. Базовая станция в стандарте DECT имела антенны, направленные в ствол, и обеспечивавшие радиоканал, связывающий абонентов в стволе, в клетки, на клетки, на нулевой отметке, в околоствольном дворе, на горизонтах и др. объектах вблизи ствола, оборудованных радиорозетками с шахтными телефонными аппаратами или с мобильными абонентскими устройствами. В клетки установлен шахтный телефонный аппарат, подключенный к ТАРБ с антенной, установленными на крыше клетки. Питание клетевых аппаратов осуществлялось от автономного аккумуляторного источника питания, рассчитанного на 100 часов работы в режиме 8:1:1 и зарядку от зарядных столов, обслуживающих шахтерские головные светильники. Персонал, inspectирующий ствол или работающий на этажах копра или на горизонтах в зоне покрытия, мог использовать мобильные радиотрубки или другие абонентские устройства, имеющие доступ в радиоканал, например, через базовую станцию.

Условия распространения радиосигнала (уровень сигнала, качество связи) можно оценить по результатам испытаний. Измерения проводились в выработках клетевой ствол, главный откаточный штрек, конвейерный штрек и лава (табл. 3 и рисунок). Полученные данные показали, что наиболее существенное

влияние на условия распространения радиосигнала в диапазоне 1,8–1,9 ГГц оказывают: площадь поперечного сечения выработки (или условный диаметр ее), насыщенность выработки металлоконструкциями, перекрывающими прямую видимость для радиоканала, ориентация и мощность антенн, близость силового электрооборудования (1140 В, мощность 500–600 кВА и более). Главными факторами, определяющими надежность связи, оказались прямая радиовидимость и правильность выбора параметров и ориентации антенн. В табл. 3 приведены обобщенные данные, полученные для антенн 8 дБ, ориентированных по максимуму уровня сигнала. Сравнительные испытания, проведенные на поверхности, обеспечили дальность связи до 1200 м.

Зависимости (1–4) приведены при ориентации антенны по максимальному уровню сигнала. Кривая 3А показывает изменение уровня сигнала при неправильной ориентации антенны – дальность уменьшается в 4–5 раз при неизменных условиях распространения сигнала в одной и той же выработке. Провалы уровня сигнала в стволе (4) определяются проходящим силовым кабелем и корректируются изменением положения антенны. В целом для обеспечения надежной связи при различных источниках помехи, при поворотах выработки и прохождения сигнала по криволинейным участкам выработки с углом поворота до 90° необходимо оснащение аппаратуры более мощными антенно-фидерными устройствами, выполненными в искробезопасном исполнении.



Зависимость уровня сигнала и качества связи от расстояния

Дальность связи в диапазоне 1,8–1,9 ГГц (зона покрытия) в зависимости от площади поперечного сечения выработки можно в приближенном виде оценить как: дальность связи уменьшается с уменьшением площади поперечного сечения выработки при значениях менее 10 м, или соответственно, с уменьшением диаметра выработки при диаметрах менее 3–5 м. Увеличение металлонасыщенности также уменьшает дальность связи, т.е. металлоконструкции оказывают экранирующее действие, ухудшая условия распространения радиоволн этого диапазона частот.

Анализ результатов испытаний индуктивной (1 МГц) и цифровой (1,9 ГГц) связи показывает, что для подземных горных выработок нельзя однозначно сформулировать универсальный принцип по организации беспроводной связи на базе этих видов аппаратуры.

Сравнительный анализ параметров систем беспроводной связи по коаксиальному кабелю и аппаратуры с точечной антенной приведен в табл. 4.

Как видно из приведенной таблицы каждый из рассмотренных вариантов имеет свои области применения для построения на горных предприятиях современной информационной системы. Рациональным решением может стать комбинированный подход.

Для отдельных капитальных выработок (ствол, откаточный штрек и др.), имеющих достаточное поперечное сечение и значительные прямолинейные участки, хорошую эффективность

имеет беспроводная цифровая связь. Она дает большие возможности по организации оперативного канала передачи речи, информации, без создания специальных кабельных сетей.

В условиях стесненных выработок малого сечения, высокой металлонасыщенности и энерговооруженности и при ограниченных функциональных требованиях предпочтительной является индуктивная связь, позволяющая охватить выработки любой конфигурации, не требующая прямой видимости и антенн, сориентированных с высокой точностью. Дополнительным доводом в пользу индуктивной беспроводной связи в них является свойство металлоконструкций улучшать условия распространения радиоволн, ее простота и низкая стоимость.

Таблица 3

Результаты испытаний аппаратуры цифровой связи стандарта ДЕСТ

№ пп	Выработка	Металлонасыщенность, % *)	Условный диаметр, м	Дальность связи, м	Источник помех
1	Лава уч. N10, 212-с., пласт «Тройной»	50	2–3	150	комбайн
2	Конвейерный штрек	30	3–4	125	энергопоезд 1140 В, 630 кВА
3	Южный главный откаточный штрек	15	4–5	700	электровоз
4	Клетевой ствол	10	6–7	840	кабель 6 кВ, (искажение тембра)
5	На поверхности шахты, между стволами	–	–	1200	–

*) Показатель «металлонасыщенности» определяется как отношение площади выработки, перекрытой размещенными в ней металлоконструкциями, к общей площади выработки

Магистральные сети на базе излучающего кабеля, широко применяемые в мировой практике для организации информационных систем в условиях подземных выработок и тоннелей, доказали свою эффективность по передаче значительного объема информации, благодаря гибкости структуры и совместимости с современными цифровыми коммутационными системами. Такие сети могут стать основой общешахтной информационной сети связи и безопасности.

Двухступенчатая (индуктивная или цифровая – участковая и цифровая – магистральная) структура беспроводной связи позволит организовать связь в бригаде, например, обслуживающий уклон, конвейер, решающей локальную производственную задачу и при необходимости получающей выход на пульт

диспетчера или АТС по магистральному излучающему кабелю. Существенным качеством такой структуры является ее совместимость с цифровыми АТС, находящими в настоящее время все большее распространение в диспетчерских комплексах шахт.

Развитие современных технологий беспроводной связи идет по пути расширения функций терминальных устройств, включения в них функций маршрутизации и адресации. Разработанные в настоящее время различными фирмами специализированные микросхемы, реализуют в малых конструктивах весь комплекс задач организации беспроводного канала, существенно упрощают решение вопроса организации беспроводной связи в подземных выработках.

Таблица 4

Параметры систем беспроводной связи

№ пп.	Характеристика (параметр)	Требование ПБ, ПТЭ	Волновод – излучающий кабель	Одиночные антенны
1.	Дальность связи/Размер зоны радиопокрытия	Не менее 10 – 15 км	100 км	0,3 км
2.	Протокол шахтной связи			
2.1.	Реализация стандартного протокола шахтной связи	п.618 ПТЭ п.625 ПТЭ	есть нет	есть нет
2.2.	Аварийный вызов, Вызов диспетчера	п. 622 ПТЭ	есть	есть
2.3.	Технологическая прямая внутренняя связь и сигнализация	п. 627 ПТЭ	есть	нет
2.4.	Режимы конференцсвязи и группового вызова	п. 621 ПТЭ	есть	нет
2.5.	Приоритетный вызов	п. 620 ПТЭ	есть	нет
2.6.	Аварийное оповещение	п.543, 544, 545 ПБ п.625 ПТЭ	есть	нет
2.7.	Прослушивание	п. 625 ПТЭ	нет	нет
3.	Позиционирование абонента (наблюдение, табельный учет)	п. 41, 50 ПБ	есть	нет
4.	Рудничное исполнение	ГОСТР51330	есть	есть
5.	Передача промышленного ТВ	п. 41 (наблюдение)	есть	нет
6.	Альтернативная (дублирующая телефонную) связь с аварийно-спасательной службой	п. 41	есть	есть

Как показали результаты испытаний, важными параметрами, ограничивающими эффективность точечной технологии, является отсутствие антенн с требуемыми для горных выработок свойствами. Задачей развития беспроводных систем является создание специализированных АФУ в искробезопасном исполнении с требуемыми для шахтных задач параметрами.

Создание эффективного комплекса беспроводной связи является сложной научно-технической задачей, связанной с учетом влияния на радиосигнал геометрии горных выработок, их насыщенности оборудованием, электромагнитной обстановки, конфигурации силовых кабельных сетей и размещения электроустановок. На

этапе проектирования должно быть обеспечено комплексное решение задачи с учетом влияния на условия распространения радиоволн многочисленных факторов, характеризующих горное производство.

Выводы

1. Высокочастотная (1МГц) индуктивная аппаратура по волноводу обеспечивает надежную беспроводную связь на локальных производственных участках (лава, транспортный уклон, конвейерная линия и др.) при применении в качестве волновода телефонной пары или металлоконструкций. Расстояние от направляющей до портативной радиостанции составляет до 2,5–3,0 м.

2. Цифровая связь (1,8–1,9 ГГц) эффективна при организации связи в от-

дельных капитальных выработках большого (10 м и более) сечения (в стволах, магистральных транспортных выработках, в которых обеспечивается прямая радиовидимость) на расстоянии между базовой станцией и мобильным абонентским устройством до 1,0–1,2 км.

3. Перспективным направлением развития общешахтной связи является комбинированная беспроводная сеть, объединяющая индуктивную или локальную цифровую аппаратуру для связи на производственных участках и цифровую аппаратуру на базе излучающего кабеля для передачи информации диспетчеру шахты с участков и объектов, рассредоточенных в подземных горных выработках.

4. Для целей оперативной и аварийной связи, требующей немедленного разверты-

вания в условиях аварийной ситуации, может применяться аппаратура, работающая в диапазоне 1,8–1,9 ГГц, оснащенная эффективными антенно-фидерными устройствами. Для развития точечных антенных технологий аварийной связи необходимо внедрение современных терминалов, реализующих функции адресации и маршрутизации при организации каналов связи.

5. Основной задачей развития беспроводных систем связи и передачи информации в условиях подземных выработок шахт является совершенствование антенно-фидерных устройств, которые позволят увеличить зону покрытия и дальность связи, сформировать канал, в том числе в условиях криволинейных участков и поворотов выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила безопасности в угольных шахтах.* ПБ 05-618-03. Серия 05. Выпуск 11. Коллектив авторов., ФГУП НТЦ ПО безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. 2004. – 296 с.

2. *Давыдов В.В.* Анализ информационных требований к общешахтной аппаратуре диспетчерской связи, сигнализации и аварийного оповещения. «Безопасность труда в промышленности», 2008, № 2. – с. 46–50.

3. *Давыдов В.В., Листвинский В.М.* Шахтная искробезопасная беспроводная связь. Сб. науч. тр. ин-та «Гипроуглеавтоматизация» «Автоматизация управления производственными процессами и безопасностью в угольной промышленности». М., 2001, – с. 112–120.

4. *Запорощенко Д.В.* Система подземной радиосвязи МСА 1000. Уголь, 2002. – № 8. – с. 81–83.

5. *Шкундин С.З., Стучилин В.В., Грачев А.Ю.* Современные информационно-измерительные системы обеспечения безопасности в угольных шахтах. Труды научно-го симпозиума «Неделя горняка-2009», ИД ООО «Роликс», М., 2009. – с. 417–428.

6. *Давыдов В.В., Балакшев Д.Ф., Перевозов П.С., Бабкин А.Л.* Внедрение шахтной аппаратуры беспроводной связи. Сб. науч. Тр. Ин-та Гипроуглеавтоматизация «Производственная связь и автоматизация на угольных предприятиях». М., 1998. – с.41–50.

7. *Давыдов В.В.* Шахтная беспроводная связь. Сб. научн. Тр. Ин-та Гипроуглеавтоматизация «Автоматизация, управление, безопасность, связь в угольной промышленности». М., 2003. – с. 213–222. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Давыдов В.В. – кандидат технических наук, зав. лабораторией института Гипроуглеавтоматизация, gipr@mail.ru

