

УДК 622: 621.396

В. И. БЕРЕЖИНСКИЙ, *д.т.н., зав. отд.*

С. В. БАБКОВ, *к.т.н., зав. лаб.*

В. А. КАЗАКОВ, *к.т.н., ст. науч. сотрудник*

А. С. ЛЕВИЦКИЙ, *к.т.н., ст. науч. сотрудник*

В. А. СТЕЛЬМАХ, *мл. науч. сотрудник, МакНИИ, г. Макеевка*

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ РАДИОСТАНЦИЙ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА VHF В ШАХТНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛАХ

Обоснована возможность применения радиостанций частотного диапазона VHF для организации ремонтной радиосвязи и связи «клеть – машинист» в шахтных вертикальных стволах. Приведены методика оценки достижимой дальности связи в условиях шахтных подъемных установок, результаты шахтных исследований и рекомендации по применению таких радиостанций.

Ключевые слова: ствол, радиосвязь, подъем, сигнал, радиостанция.

В соответствии с требованиями п. 5.9.8 «Правил безопасности в угольных шахтах» [1] клетки подъемных установок, предназначенные для спуска – подъема людей, должны быть оснащены связью с машинистом подъема. Кроме того, согласно п. 4.11.1 этих же «Правил...» подъемные установки должны быть оборудованы сигнализацией и радиосвязью, используемыми при осмотрах и ремонтах шахтных стволов, подъемных сосудов и элементов копрового станка.

В настоящее время для ремонтной радиосвязи и связи «клеть – машинист» на вертикальных подъемных установках шахт Украины применяются системы СШСС.1 (производитель – завод «Красный металлист», г. Конотоп) и аппаратура «Весна СРС» (производитель ЗАО «Весна – комплект», г. Днепропетровск). Указанные изделия работают на частотах 130-300 кГц и являются системами индуктивной радиосвязи, в которых направляющим проводником для передачи радиосигнала служат подъемные канаты. Аналогичные средства имеются и в зарубежной горной практике [2].

Такие системы связи подвержены влиянию промышленных радиопомех, уровень которых возрастает в связи повышением мощности

электродвигателей и внедрением систем тиристорного электропривода.

В этой связи в отечественной и зарубежной горной практике проявляется интерес к возможности использования для этой цели серийного радиооборудования частотного диапазона VHF (130-170 МГц), широко применяемого и зарекомендовавшего себя надёжным средством наземной эфирной радиосвязи.

Условия радиосвязи в шахтных стволах в значительной мере отличаются от условий наземной связи. Поэтому актуальной является задача оценки достижимой дальности связи в условиях шахтных подъёмных установок. Цель статьи – освещение проблемы организации радиосвязи в вертикальных шахтных стволах с использованием радиостанций частотного диапазона VHF, в частности – определение гарантированной дальности связи в стволах между радиостанциями этого диапазона.

Исследования экспериментального комплекта стволовой радиосвязи на базе оборудования «Motorola» проводились с представителями фирмы ООО «Кронтекс» (г. Донецк).

Для этого в стволах разной глубины, с разным креплением и насыщением металлом поперечного сечения ствола замерялся уровень сигнала, приходящего с перемещающейся по шахтному стволу клетки, и субъективно оценивалось качество связи.

Из теоретических предпосылок и имеющегося опыта по внедрению систем радиосвязи в шахтных стволах к числу факторов, влияющих на распространение радиоволн в такой специфической среде, как шахтный ствол, можно отнести:

параметры подъёмной установки (количество подъёмов в шахтном стволе, количество подъёмных сосудов, этажность клетки, положение ляд и др.);

диаметр ствола;

глубина ствола;

тип крепления;

тип проводников для направленного движения подъёмных сосудов.

Исследования были проведены в пяти стволах. В таблице приведены характеристики отобранных стволов.

В экспериментах использовалось радиооборудование фирмы «Motorola», а именно: носимые радиостанции P 040 и GP 320 с выходной мощностью 5 Вт, стационарная антенна АТ-78. Рабочая частота аппаратуры $f = 158$ МГц.

Таблица

Характеристики стволов для проведения исследований

Наименование показателя	Стволы				
	1	2	3	4	5
Глубина ствола, м	317	704	1190	1240	1294
Диаметр ствола, м	3,5	6,0	8,0	6,0	8,5
Количество подъёмов	1	2	2	2	2
Количество сосудов	1 клеть	2 клетки и клеть с противовесом	2 клетки и клеть с противовесом	2 клетки и клеть с противовесом	2 клетки с противовесами
Этажность клетки	1	2	3	2	2
Тип проводников	канатные 4 x 30,0	рельсовые P50	рельсовые P50	коробчатые	коробчатые
Вид крепления	стальные тубинги	бетон	бетон	бетон	бетон
Диаметр подъёмных канатов, мм	22	33	42,5	42	42
Тип подъёмной машины	2Ц6 x 2	МК3,25	МК4 x 4	МК4 x 4	МК4 x 4

При проведении исследований на каждой из выбранных подъёмных установок на дневной поверхности в пределах копрового станка в районе «нулевой» отметки устанавливалась базовая антенна АТ-78 и антенна носимой радиостанции, подключаемые поочередно к селективному микровольтметру STW - 401.

Один экспериментатор с одной носимой радиостанцией располагался на смотровой площадке клетки, второй – в клетки. Работник

шахты, находящийся на смотровой площадке клетки рядом с первым экспериментатором, с помощью ремонтной сигнализации подавал машинисту подъёма сигнал на начало движения, и машинист начинал опускать клеть в ствол со скоростью $\approx 1,0$ м/с. Предварительно машинист уведомлялся о необходимости остановок клетки через каждые 25-50 м пройденного пути. Во время остановок экспериментаторы на смотровой площадке и в клетке включали поочередно свои радиостанции в режим «Передача», а экспериментатор на дневной поверхности квитирует полученное сообщение, производит контроль показаний индикатора селективного микровольтметра и записывал их. О завершении этой операции он уведомлял экспериментатора на сосуде посредством своей носимой радиостанции. Работник шахты, находящийся на клетке, подавал сигнал на продолжение движения.

В зонах с ослабленным уровнем сигнала производилась оценка фразовой разборчивости речи (с использованием методики по ГОСТ 16600-72) [3].

После проезда по всему стволу эксперименты продолжались при нахождении экспериментатора с носимой радиостанцией в этажах клетки.

На рис. 1 и 2 приведены результаты измерений уровня сигнала, наводимого в стационарной антенне типа АТ-78 и штатной антенне радиостанции Р 040, от радиостанции экспериментатора, находившегося на смотровой площадке клетки, в клетке, в разных стволах.

Как видим из графиков, наблюдается общая тенденция снижения уровня сигнала при приближении клетки к нижней отметке ствола, которая сопровождается периодическими (по пути) колебаниями в пределах $\pm (3 - 3,5)$ дБ.

Уровень сигнала, наводимого в стационарной антенне АТ-78, как правило, превышает уровень сигнала в штатной антенне носимой радиостанции в среднем на 12 дБ.

В случае расположения носимой радиостанции со штатной антенной внутри клетки уровень сигнала в антенне АТ-78 уменьшается в среднем на 14 дБ по сравнению с вариантом расположения носимой радиостанции на смотровой площадке клетки.

Перемещение экспериментатора с носимой радиостанцией внутри клетки сопровождается дополнительными колебаниями сигнала, наводимого в стационарной антенне, в пределах $\pm (1-2)$ дБ.

На двухэтажных клетях перемещение носимой радиостанции с верхнего этажа клетки в нижний сопровождается снижением уровня сигнала в стационарной антенне на 2-17 дБ.

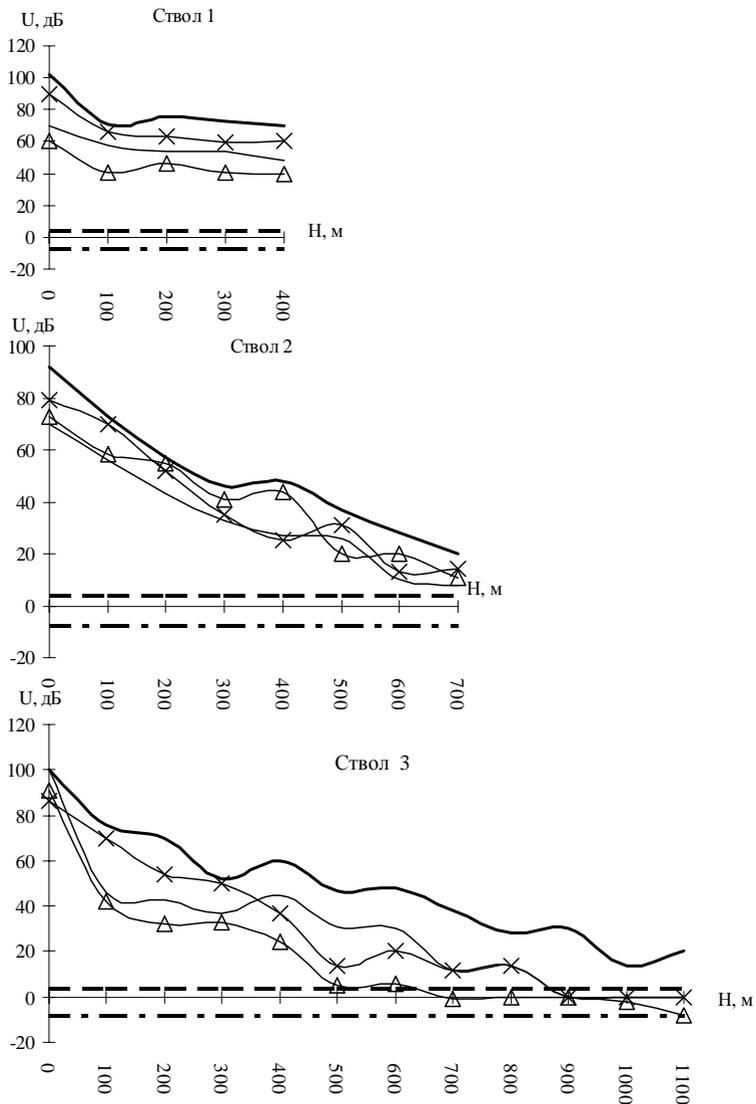


Рис. 1. Зависимость уровня наведенного в стационарной и штатной антенне сигнала от глубины ствола

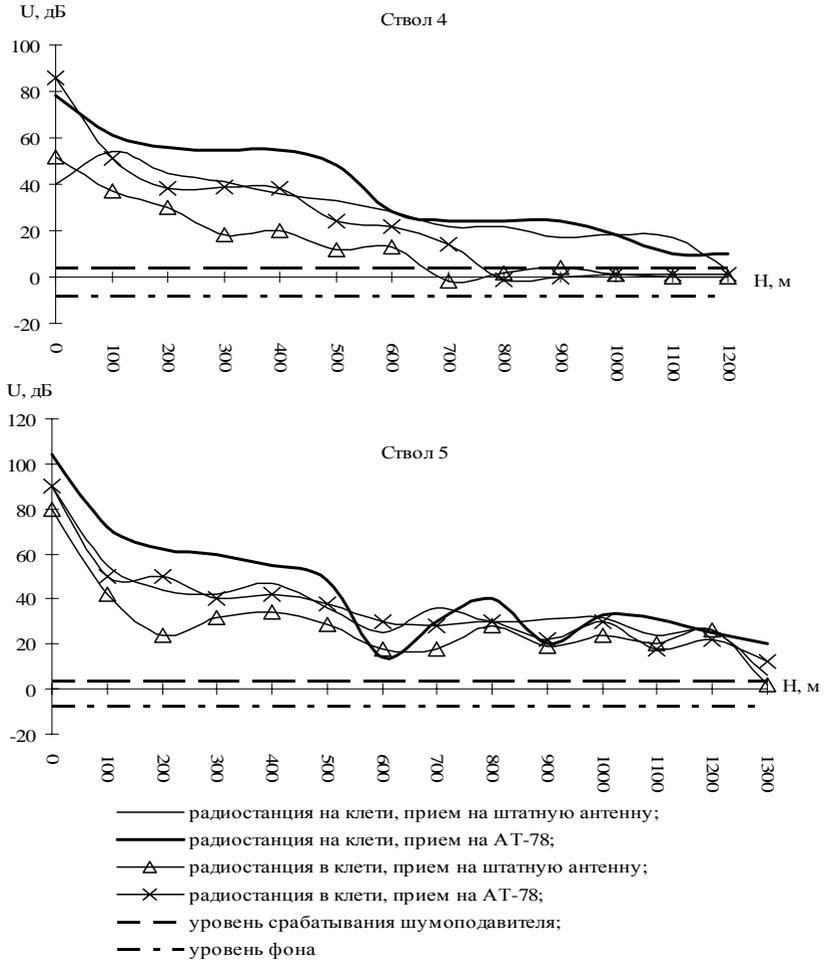


Рис. 2. Зависимость уровня наведенного в стационарной и штатной антенне сигнала от глубины ствола

Отмечено дополнительное местное ослабление сигнала в стационарной антенне на 20 – 25 дБ при встрече подъёмных сосудов двухконцевого подъёма в средней части ствола.

Примерно такое же дополнительное ослабление сигнала вызывают закрытые ляды на «нулевой» отметке. Это приводит к прекращению связи «клеть» – «нулевая отметка» при опускании клетки на глубину более 300 м.

Для обеспечения устойчивой связи на больших глубинах ствола рекомендуется размещать стационарную антенну радиостанции машиниста не на копровом станке, а опускать ее в ствол на некоторое удаление от «нулевой» площадки.

Отмечено также пропадание связи «нулевая отметка» - «клеть» при работе на «нулевой» отметке других носимых радиостанций на соседних частотах (разнос $\pm 12,5$ кГц). При разноте рабочих частот радиостанций разных комплектов более, чем на 50 кГц, пропадания связи не наблюдалось.

Определим условия обеспечения гарантированной дальности связи с радиостанциями диапазона VHF.

На рис. 3 приведены в виде точек 7 результаты измерений уровня сигнала, наводимого в стационарной антенне типа АТ-78, от радиостанции экспериментатора, находившегося на смотровой площадке клетки, в разных стволах. На этом же рисунке приведена регрессионная зависимость для уровней наведенного в стационарной антенне радиостанции машиниста подъема сигнала (линия 1), которой отвечает уравнение полиномиальной регрессии:

$$U(H) = -4,083 \cdot 10^{-8} \cdot H^3 + 1,216 \cdot 10^{-4} \cdot H^2 - 0,15 \cdot H + 91,032, \quad (1)$$

где $U(H)$ – уровень сигнала в стационарной антенне, в дБ (0 дБ = 1 мкВ);

H – удаление клетки в ствол от «нулевой» отметки, м.

В этом случае значение коэффициента корреляции (корреляционного отношения) $r = 0,95$.

Из графика видно, что рассматриваемый массив данных можно разбить на два участка: первый (начальный), которому отвечает нелинейная регрессионная зависимость, и второй, которому соответствует линейная регрессия. Примем в качестве границы участков глубину ствола 500 м.

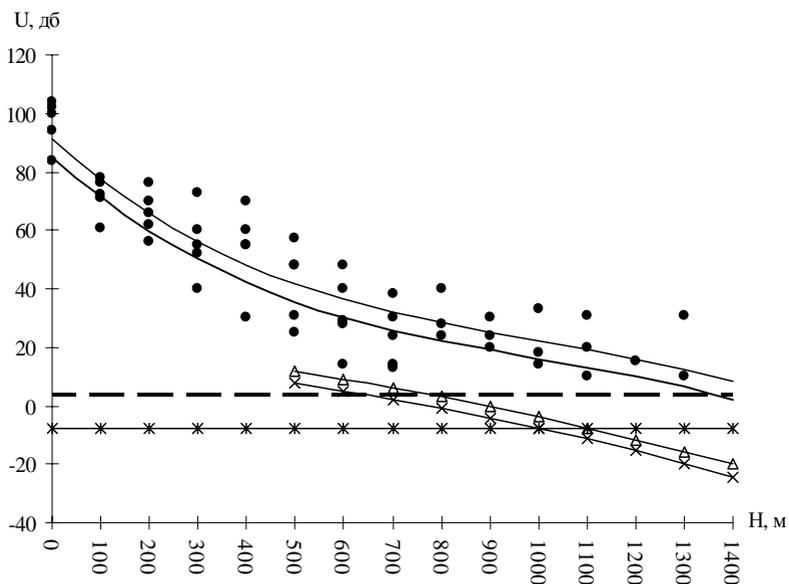


Рис. 3. Зависимость доверительных интервалов уровней наведенных в стационарной антенне сигналов от глубины ствола

- - линия регрессии для уровня сигнала в стационарной антенне (линия 1);
- - линия регрессии для уровня сигнала на входе приемника радиостанции машиниста подъема (линия 2);
- △— - 5% нижняя граница доверительного интервала (линия 3);
- ×— - 1% нижняя граница доверительного интервала (линия 4);
- *— - уровень фона (линия 5);
- — - уровень срабатывания шумоподавителя приемника радиостанции (линия 6);
- - уровень сигнала в стационарной антенне (точки 7).

В этом случае второму участку (как наиболее важному при оценке дальности радиосвязи) отвечает линейное уравнение регрессии:

$$U(H) = 48,46 - 0,034 \cdot H . \quad (2)$$

Этому уравнению соответствует коэффициент корреляции $r = 0,98$.

Уровень сигнала, поступивший на вход приемника радиостанции машиниста подъема, будет меньше получаемого по уравнению (1) на 6 дБ (вследствие потерь на частоте 158 МГц в линии связи с копро- вой антенной $L=150$ м $\alpha = 6$ дБ).

Для рассматриваемых глубин $H > 500$ м согласно [4] вычислены 5% и 1% доверительные границы для индивидуальных значений уровня сигнала, поступившего на вход приемника радиостанции машиниста подъема – соответственно линии 3 и 4 на рис. 3.

С учётом отмеченного в экспериментах уровня фонового сигнала в стационарной антенне (линия 5, уровень – минус 8 дБ) и некоторого необходимого превышения уровня полезного сигнала над уровнем фона (6÷15 дБ, линия 6), гарантированная устойчивая связь на основе данных исследований может оцениваться глубиной 650 – 750 м, предельная – 1350 м (при «открытых» шумоподавителях приемников радиостанций).

ВЫВОДЫ

1. Частотный диапазон VHF (130- 170 МГц) может быть использован на вертикальных подъёмных установках угольных шахт для радиосвязи «клеть – машинист» и при ведении ремонтных и осмотровых работ в шахтных стволах.

2. С вероятностью $P = 0,99$ дальность связи по глубине ствола в частотном диапазоне VHF составляет 650 м, а с вероятностью $P = 0,95$ – 750 м.

3. При включенном шумоподавителе каждое второе речевое сообщение, переданное из клетки на глубине 1300-1350 м, машинистом подъема услышано не будет. При отключенном шумоподавителе все речевые сообщения с такой клетки поступят машинисту подъема на уровне шума.

4. Для применения радиооборудования данного частотного диапазона рекомендуется антенну станции машиниста устанавливать в верхней части шахтного ствола (опускать в ствол на некоторое удаление от «нулевой» площадки).

5. При применении радиооборудования данного частотного диапазона, работающего на шахте на нескольких частотах, разнос рабочих частот радиостанций разных комплектов должен быть не менее 50 кГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОП-10.0-1.01-05. – К.: Відлуння, 2005. – 398 с. – (Нормативно-правовий акт по охороне труда).
2. Воеводин В. Н. Высокочастотная связь в подземных выработках с использованием направляющих / Воеводин В. Н. – М.: ЦНИЭИ уголь, 1994. – 32 с.
3. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных изменений: ГОСТ 16600-72. – [Введен 1972 – 09.27] – М. – Изд-во стандартов, 1973 – (ГОСТ СССР).
4. Закс. Л. Статистическое оценивание. Зарубежные статистические исследования / Закс Л. – М.: Статистика, 1976. – 600 с.

Получено: 08.04.09

Обґрунтовано можливість застосування радіостанцій частотного діапазону VHF для організації ремонтного радіозв'язку і зв'язку «кліть – машиніст» у шахтних вертикальних стволах. Наведено методику оцінки досяжної дальності зв'язку в умовах шахтних підземних установок, результати шахтних досліджень і рекомендації щодо застосування таких радіостанцій.

A possibility is substantiated to use VHF radio stations for repair radio communication and “cage – operator” communication in mine vertical shafts. The paper presents methods of estimating attainable communication range in case of mine hoist units, results of mine investigations, and recommendations to use such radio stations.