

В существующих системах контроля метана передача сигналов от датчиков ведется по кабельным линиям связи. Однако такие системы в большинстве случаев в тупиковых выработках не применяются из-за

того, что датчики необходимо смещать вслед за фронтом работ и из-за трудностей, связанных с защитой кабеля во время взрывных работ.

Для передачи информации в таких случаях наиболее целесообразно применять системы передачи, работающие без специально проложенных кабелей. Это возможно, если использовать для этой цели радиоканалы.

К системе передачи информации в тупиковых подготовительных выработках предъявляются следующие требования:

— передача информации от датчика метана к исполнительному сигнальному устройству должна быть непрерывной;

— связь не обязательно прямая — в случае необходимости допускается ретрансляция сигналов;

— общее расстояние между датчиком и исполнительным устройством должно быть не менее 350 м;

— электропитание радиопередающей и приемной аппаратуры должно быть автономным, обеспечивающим непрерывную работу в течение 10 часов;

— исполнение аппаратуры РВИ-2,5;

— аппаратура должна быть безотказной при условиях, характерных для угольных шахт: при температуре от $+5^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$ при влажности до 98 % и запыленности до 1000 мг/м^2 .

Выбор рабочей частоты передачи и расстояния между передатчиком и приемником, на котором обеспечивается надежная связь, определяется на основании анализа материалов о распространении радиоволн в подземных горных выработках. Экспериментально установлено, что рабочую частоту передачи в СВЧ диапазоне можно применять только на прямолинейных участках выработок, при строго направленном излучении. В случае поворотов выработок, загромождения их вагонетками или другим оборудованием передача сигналов в этом диапазоне частот будет неустойчивой или совсем невозможной. При выборе рабочей частоты в высокочастотном диапазоне следует учитывать такие факторы: для высоких частот — сильное затухание и резко выраженная зависимость его от электрических характеристик, окружающих выработку пород (проводимости и диэлектрической проницаемости); размеры выработок и расстояние антенных проводов до стенок штрека, для низких частот — сравнительно высокий уровень помех.

Оптимальный частотный диапазон можно определить следующим образом.

Из общих положений теории распространения радиоволн следует, что при $\lambda \gg r_0$ (λ — длина волны; r_0 — радиус выработки), влияние выработанного пространства вообще неощутимо, т. е. распространение волн происходит так, как если бы выработки не было.

Согласно теории электромагнитного поля, одним из частных решений волнового уравнения для однородной изотропной проводящей среды (идеальный случай) является плоская монохроматическая волна [1]. Напряженность электрического поля в этом случае

$$E = E_0 e^{j\omega t + \gamma(x-x_0)}, \quad (1)$$

где E и E_0 — напряженность электрического поля в точках x и x_0 соответственно;

x — расстояние в направлении распространения радиоволн;

γ — постоянная распространения — комплексная величина

$$\gamma(j\omega) = j\omega \sqrt{\left(\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega}\right)\mu} = \beta(\omega) + \alpha(\omega), \quad (2)$$

где $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ — диэлектрическая проницаемость;
 σ — удельная проводимость;
 β — коэффициент затухания в неп/м ;
 α — фазовая постоянная.

Тогда

$$E = E_0 e^{-\beta(x-x_0)} e^{-j\omega t - \alpha(x-x_0)}. \quad (3)$$

Уменьшение амплитуды с расстоянием характеризуется множителем $e^{-\beta(x-x_0)}$, а изменение фазы распространяющейся волны в зависимости от расстояния и времени — $e^{-j\omega t - \alpha(x-x_0)}$,

$$\beta(\omega) = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon \mu}{2} \left(1 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \omega^2} - 1 \right) \mu}; \quad (4)$$

$$\alpha(\omega) = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \omega^2} + 1} \right) \mu}. \quad (5)$$

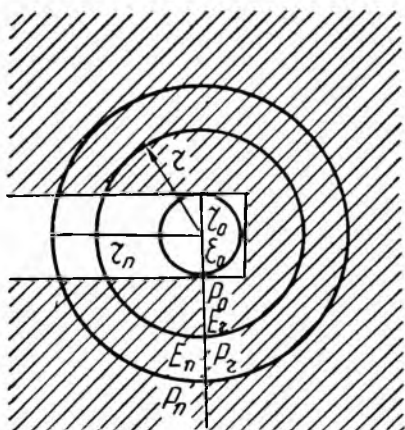


Рис. 2. Идеализированная геометрическая модель для изотропного излучателя, помещенная в подготовительную выработку угольных шахт

Из (4) и (5) видно, что коэффициент затухания и фазовая постоянная имеют ярко выраженный частотный характер. Для выбранной частоты они определяются по (4) и (5) при заданных удельной проводимости и диэлектрической проницаемости.

Для ориентировочного определения дальнего действия передатчика и его зависимости от коэффициента затухания среды следует рассмотреть идеализированную геометрическую модель (рис. 2). Предполагается, что передатчик (изотропный излучатель) расположен по оси цилиндрической полости. Среда, окружающая эту полость, имеет удельную проводимость — σ и диэлектрическую проницаемость — ε (магнитная проницаемость $\mu = \mu_0$).

Как отмечалось выше, при $\lambda \gg r_0$ на характер распространения волн выработанное пространство не влияет. Следовательно, можно считать, что от передатчика излучение происходит сферическими волнами. Эффективное значение напряженности электрического поля на расстоянии r от передатчика

$$E(r) = \frac{K}{r} e^{-\beta r}. \quad (6)$$

Среднее значение вектора Пойтинга, представляющего поверхностную плотность энергии в единицу времени,

$$P(r) = \cos \arg \left| \frac{z}{r} \right| \cdot E^2(r), \quad (7)$$

где z — полное сопротивление среды.

На границе цилиндрической полости, где отсутствуют потери энергии,

$$P_0 = \frac{W}{4\pi r_0^2}, \quad (8)$$

где W — мощность передатчика.

Уравнение для поверхностной плотности потока энергии на расстоянии r

$$P(r) = \frac{W}{4\pi r_0^2} e^{-2\beta(r-r_0)}. \quad (9)$$

Если на расстоянии r_n от передатчика поместить антенну (рамочную с эффективной площадью A_{ef} , то принятая мощность

$$W_n(r_n) = A_{ef} P(r_n). \quad (10)$$

Логарифм отношения мощности, излученной к принятой на антенну с эффективной площадью, представляет полное затухание на пути между передатчиком и приемником (предполагая $r_n \gg r_0$)

$$b(\beta, r_n)_{\text{неп}} = \ln \frac{WA}{W_n}; \quad (11)$$

$$\frac{WA_{ef}}{W_n} = 4\pi r_n^2 e^{2\beta r_n}. \quad (12)$$

Можно графически представить зависимость r_n от β для выбранных значений b ; тогда для величины b , представляющей отношение (в децибеллах) мощности передатчика к чувствительности приемника по мощности, из графика получим зависимость дальности действия передатчика от коэффициента затухания среды.

При анализе расчетных данных (это подтверждается экспериментальными данными) можно установить, что для каждого расстояния между передатчиком и приемником существует какая-то оптимальная рабочая частота, при которой потери системы минимальны.

Если считать, что практический предел мощности передатчика равен 4 в (ограничивается требованиями искробезопасности выходных цепей) и принимая во внимание, что при окружающих шумах минимальная мощность принимаемого сигнала равна 10—12 в, докажем, что даже на оптимальной частоте (а она для выработок с окружающими горными породами — известняк, песчаник — находится в пределах 200—300 кГц) передавать сигналы устойчиво можно только на 150—200 м.

Чтобы обеспечить передачу информации на расстояние 350 м и более, целесообразно применить комбинированный способ передачи сигналов: от метан-датчика сигнал об опасной концентрации метана передавать по радиоканалу на расстояние 50—80 м, т. е. установки пускателя, коммутирующего электропитание породопогрузочной машины, электросверл и др., а далее по каналу, образованному по силовой сети напряжением 380 в

Оптимальная частота передачи по силовой сети 380 в (по системе «фаза—фаза») находится в диапазоне 20—50 кГц, — уровень помех помех в этом диапазоне сравнительно невелик $P_n = 6$ неп), а затухание при передаче небольшое (0,6 неп/км на частоте 50 кГц для бронированных кабелей сечением 50 мм²)

Один из вариантов построения комбинированной системы передачи информации представлен на блок-схеме рис. 3.

Наиболее простую схему радиопередатчика и приемника получаем в том случае, когда требуется передать на исполнительное устройство только информацию о предельно допустимом содержании метана в атмосфере выработки.

Сравнительно простая система радиопередачи информации от метан-датчика к исполнительному сигнальному устройству разработана Луганским филиалом института «Гипроуглеавтоматизация» совместно с МакНИИ.

Разработанная система передачи информации состоит из отдельных блоков, особенности которых следующие.

Радиопередатчик системы работает на частоте 230 кГц, выходная мощность его 0,5 Вт. Радиопередатчик состоит из задающего генератора, буферного и оконечного усилителей. Оконечный усилитель-каскад, выполненный по двухтактной схеме, нагружен на рамочную антенну полное сопротивление которой со стороны витков связи, примерно 1000 Ом.

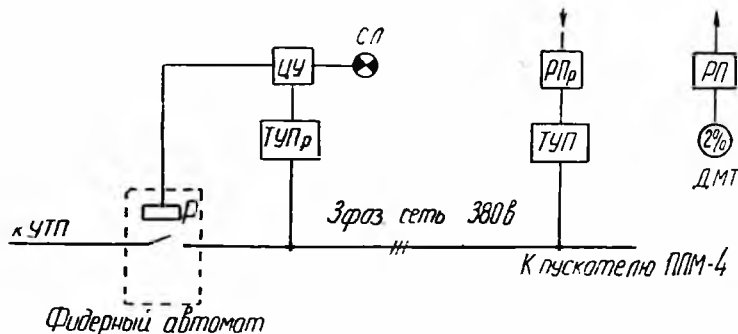


Рис. 3. Блок-схема комбинированной системы передачи информации от метан-датчика к исполнительному сигнальному устройству

Антенна намотана на жестком каркасе из текстолита диаметром 450 мм; контурная катушка имеет 30 витков связи с отводом посредине. Питание радиопередатчика автономное — от аккумуляторной батареи ЦНК-0,45 напряжением 12 В. Потребляемый ток 50 мА. Цепь питания проходит нормально закрытый контакт реле датчика метана. Эта цепь прерывается, когда в атмосфере выработки концентрация метана достигает 2%. В этом случае передатчик прекращает излучение. При неисправностях в схеме передатчика излучение также прекращается; этим и обеспечивается контроль состояния передатчика.

Радиоприемное устройство рассчитано на прием немодулированных колебаний частотой 230 кГц. Антенна приемника намотана на два ферритовых стержня диаметром 8 мм, длиной 145 мм.

Приемник собран по супергетеродинной схеме и содержит трехкаскадный селективный усилитель высокой частоты, гетеродин с частотой колебаний 198 кГц, смеситель, усилитель промежуточной частоты 32 кГц и детектор. Детектированный сигнал используется для управления работой схемы передатчика транслирующего устройства.

Частотомодулирующий передатчик транслирующего устройства состоит из задающего генератора частотой 20 кГц, генератора низкой частоты 750 Гц, частотного модулятора и оконечного усилительного каскада. Выходная мощность его 100 мВт на нагрузке 30 Ом. Нагрузкой является силовая сеть напряжением 380 В. Питание передатчика осуществляется от аккумуляторной батареи ЦНК-0,45 напряжением 15 В. Ток, потребляемый от источника питания, 30 мА.

Приемник транслирующего устройства рассчитан на прием передаваемого по силовой сети частотомодулированного сигнала. Приемник состоит из усилителя высокой частоты, дискриминатора, усилителя низких и избирателя частоты на 750 Гц. На входе избирателя включено реле, контакты которого используются для управления схемой отключающего сигнального устройства. Питание приемника осуществляется от сети переменного тока напряжением 380 В через выпрямитель с выходным напряжением 24 В.

Отключающее сигнальное устройство имеет исполнительные реле, которые при опасной концентрации метана отключают электроэнергию на участке и обеспечивают аварийную сигнализацию.

Разработанный МакНИИ и Луганским филиалом ГУА лабораторный макет комбинированной системы передачи информации прошел промышленные испытания в тупиковых выработках на шахтах «Бутовская Глубокая» треста Макеевуголь, «Октябрьская» треста «Куйбышевуголь» и «Красный партизан» треста «Свердловуголь». Во время испытаний аппаратура работала устойчиво. Промышленные испытания проводились в соответствии с разработанной методикой. Результаты испытаний положительные.

Разработанная система передачи информации может найти применение на шахтах, опасных по газу; для контроля и предупреждения вызовов от электрооборудования в подготовительных выработках при опасной концентрации метана.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Савкин. Распространение радиоволн в подземных горных выработках. Сб. «Радиосвязь и высокочастотная телемеханика в горной промышленности». Изд. СО АН СССР, 1965.
 2. S. Dokoupil. The Attenuation of Electromagnetic Waves in Rocks, *Studia geophysica et geodetica*, v. 6, № 12, 1962.
 3. D. J. Vermulen et al, Underground Radio Communication and Application for Use in Mine Emergencies, *The Transactions of the Santa African Institute Electrical Engineers*, v. 52, № 4, 1961.
-