

К ВЫБОРУ РАБОЧИХ ЧАСТОТ ПОДЗЕМНОГО РАДИОТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

И. Я. Журавлев

Харьков

Главными факторами, определяющими выбор рабочего диапазона частот в канале связи, являются: затухание в канале, уровень помех, количество передаваемой в единицу времени информации.

Объем передаваемой информации определяется скоростью изменения телеизмеряемой величины. Для инерционных процессов, каковыми являются процессы газовыделения и изменения горного давления, он весьма незначителен. Поэтому для выбора

диапазона частот в системах телеизмерения, использующих в качестве носителя информации электромагнитное поле, распространяющееся по горным породам и выработкам, определяющую роль будут играть первые два фактора.

Причиной затухания электромагнитных полей при их распространении в горных породах и выработках являются потери на вихревые токи, являющиеся следствием высокой проводимости горных пород. Значительная проводимость вмещающих горных пород и углей является причиной относительно небольших дальностей распространения электромагнитного по-

высокая проводимость горных пород приводит к тому, что в выработках почти не наблюдается «волноводного эффекта», так как отражающая способность стенок выработок незначительна. Выбором рабочего диапазона частот в низкочастотной части можно существенно уменьшить затухание электромагнитного поля в горных породах и увеличить дальность передачи.

Известно, что для излучения электромагнитного поля низкой частоты в проводящих горных породах могут быть использованы магнитные [1, 2] и заземленные электрические диполи. Примем в качестве излучателя заземленный электрический диполь, обладающий рядом технологических преимуществ перед магнитным.

Известно [2,3], что заземленный низкочастотный диполь в однород-

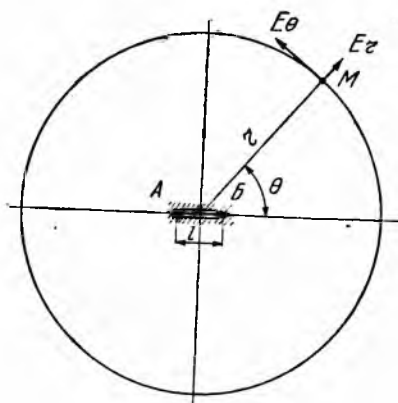


Рис. 1. Поле заземленного электрического диполя в однородной среде.

ной изотропной бесконечной среде, что в первом приближении может соответствовать условиям шахт, создает электромагнитное поле, составляющие которого (рис. 1):

$$E_{\theta} = \frac{I_{\text{дип}} l}{4\pi} \cdot \frac{e^{-ikr}}{r} i\omega\mu \left[1 + \frac{1}{ikr} - \frac{1}{k^2 r^2} \right] \sin \theta;$$

$$H_{\varphi} = \frac{I_{\text{дип}} \cdot l}{4\pi} \cdot \frac{e^{-ikr}}{r} ik \left[1 + \frac{1}{ikr} \right] \sin \theta,$$

где $I_{\text{дип}}$ — ток диполя;

l — длина диполя;

e — основание натурального логарифма;

r — расстояние от диполя до точки приема;

μ — магнитная проницаемость среды;

k — волновое число среды, определяющее поглощение электромагнитного поля

$$k = \sqrt{(\epsilon\omega^2 - i\delta\omega)\mu} = k_1 - ik_2;$$

$$k^2 = (k_1 - ik_2)^2 = \mu(\epsilon\omega^2 - i\delta\omega),$$

где δ — проводимость среды;

ϵ — диэлектрическая постоянная;

k_1 — действительная часть волнового числа, представляющая собой коэффициент затухания электромагнитного поля в проводящей среде.

На достаточно низких частотах, когда токами смещения в среде можно пренебречь, т. е. при $\delta \gg \epsilon\omega$ [3]

$$k_1 = k_2 = \sqrt{\frac{\omega\delta\mu}{2}} = b.$$

После подстановки k и некоторых преобразований получаем выражение для модуля E_{θ}

$$|E_{\theta}| = \frac{I_{\text{дип}} l}{4\pi b} \cdot \frac{e^{-br}}{r^2} \sqrt{(br + 1)^2 + b^2 r^2 (2br + 1)^2}.$$

Для определения рабочего диапазона частот необходимо знать минимальное значение напряженности поля в точке приема, которое может быть реализовано при данном уровне помех. Ввиду того, что помехи в горных породах являются в основном следствием протекания электромагнитных процессов в силовых сетях, которые могут иметь самую разнообразную конфигурацию, нагрузку и удаленность от системы, использующей в качестве канала связи горные породы, их уровни в точке приема могут значительно колебаться.

Для выбора частоты передатчика в каждой конкретной телемеханической системе должны быть определены наиболее вероятные или максимально возможные уровни помех в канале связи, а также задано отношение сигнал-помеха.

Рассмотрим в качестве примера систему телеизмерения метана на исходящей струе участка. Информация в ней должна быть передана от вентиляционного штрека к откаточному.

В этой системе дальность передачи r равна длине лавы, передающий и приемный диполи расположены параллельно (на вентиляционном и откаточном штреках) $\theta = 90^\circ$, $\sin \theta = 1$. Ток в диполе может

быть определен из максимально допустимой по условию искробезопасности мощности, подводимой к диполю. Эта мощность ограничивается величиной 10—15 *вт*. С достаточной степенью точности можно считать, что входное сопротивление заземленного диполя на звуковых частотах является чисто активным и равно сопротивлению заземлений [4].

Эксперименты показали, что при наиболее вероятной проводимости почвы $\sigma = 10^{-2}$ *мо/м* два электрода от участковых заземлителей площадью 0,6 *м*² обеспечивают сопротивление в цепи диполя порядка 10 *ом*. При этом ток диполя $I_{\text{дип}} = 1$ *а* при подводимой мощности 10 *вт*.

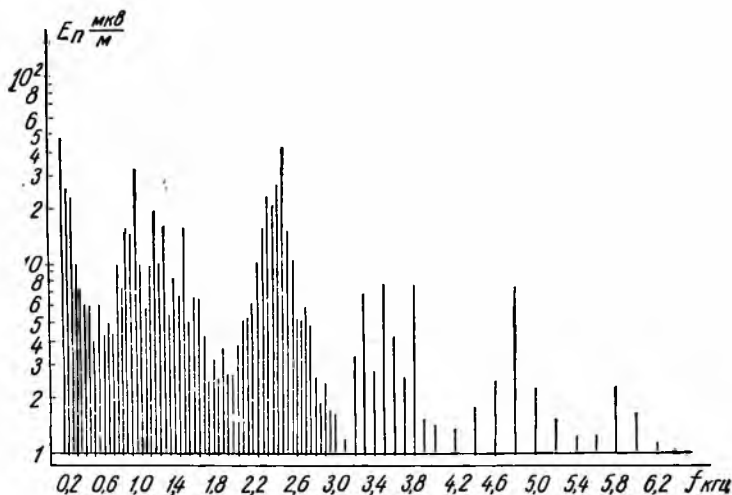


Рис. 2. Спектр гармонических и комбинационных составляющих частоты 50 *гц* в почве откатного штрека при включенном электрооборудовании участка (комбайн «Кировец», два конвейера СКР-20, породопогрузочная машина ППМ-4М).

Помехи в местах установки приемного диполя системы телеизмерения метана изучались экспериментально на нескольких шахтах Донбасса. Получены частотные спектры помех, создаваемых различными источниками, выяснен механизм проникновения помех из силовой сети в горные породы.

Изучение спектров показало, что основным типом помех, возникающих в горных породах при нормальной работе машин являются гармонические и комбинационные составляющие частоты 50 *гц*. Уровни отдельных составляющих имеют различную величину и колеблются с изменением нагрузки машин. Значительные уровни имеют «зубцовые э. д. с», и их высокочастотные продукты, которые резко уменьшаются при увеличении механической нагрузки машин. Наибольшие уровни помех сосредоточены в диапазоне 50 *гц* — 2,5 *кГц*. На частотах выше 3 *кГц* напряженность поля помех составляет в среднем 1—3 *мкВ/м*.

На рис. 2 показан спектр помех в почве откатного штрека при включенном электрооборудовании участка. На рис. 3 приведены частотные зависимости напряженности поля заземленного диполя $|E_0| = \phi(f)$

в точке приема, рассчитанные для дальностей передачи 100, 200 и 300 м при следующих условиях:

ток диполя $I_{\text{дип}} = 1$ а;

длина диполя $l = 30$ м;

средняя проводимость пород $\sigma = 10^{-2}$ мо/м; и огибающая спектра помех от комбайна «УКР-1».

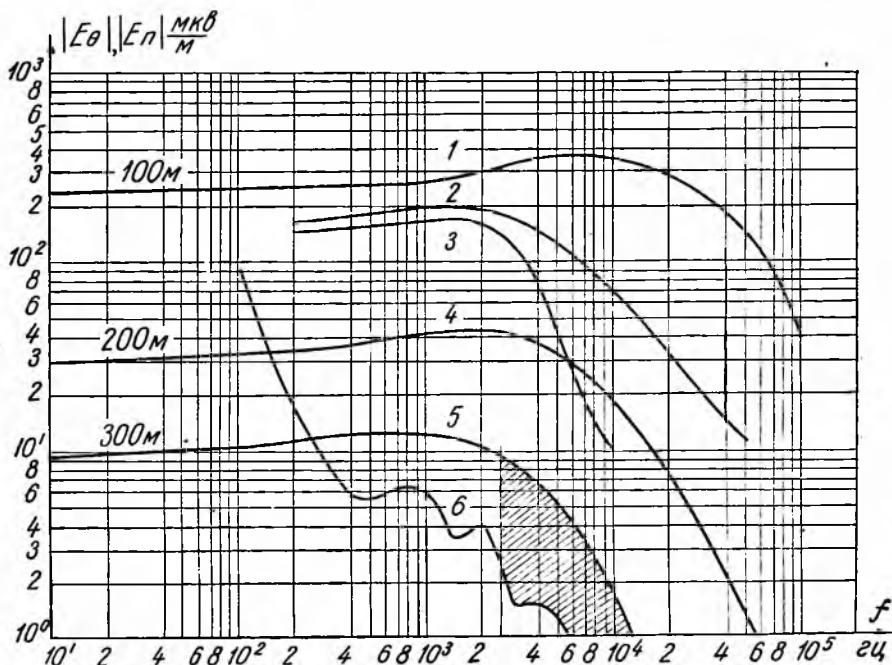


Рис. 3. Частотные характеристики канала связи по горным породам:

1, 4, 5 — расчетные, для дальностей передачи 100, 200, 300 м; 2, 3 — экспериментальные при заземлении диполей по схеме «почва-пласт антрацита» для дальностей передачи 120 и 240 м, $I_{\text{дип}} = 0,15$ а и 1,5 а; 6 — огибающая спектра помех в точке приема при работе комбайна УКР-1.

Из рисунка видно, что для дальности передачи 300 м трехкратное повышение сигнала над помехами выполняется только на частотах $3 \div 10$ кгц и между гармониками сети в пределах 200—600 гц. Для дальности 100 м, которая соответствует средней длине лавы, рабочий диапазон существенно расширяется.

В реальных условиях проводимость горных пород значительно изменяется даже в пределах одного добычного участка главным образом при изменении обводненности пород. Кроме того, имеются различия проводимости пород кровли, почвы и пласта. Проводимости пород кровли и почвы различаются незначительно, различие проводимостей пласта угля и боковых пород, как правило, велико. У антрацитов проводимость на 2—3 порядка выше, а у большинства марок углей — на 1—2 порядка ниже проводимости вмещающих пород [5].

Такое строение среды благоприятно для передачи сигналов по горным породам, так как облегчается устройство заземлений и улучшается распределение полей, особенно потенциальных. Заземлители при этом

располагаются в слоях с большей проводимостью, а прием ведется в слое с малой проводимостью. Располагая заземлители в целиках антрацита, можно уменьшить сопротивление в цепи диполя до десятых долей ома, и таким образом, резко уменьшить подводимую к диполю мощность.

На рис. 3 показаны экспериментальные частотные характеристики при заземлении передающего и приемного диполей по схеме «почва — пласт антрацита». Уровни сигналов при этом на 1 порядок выше, чем в однородной среде при тех же условиях.

Из графиков зависимости напряженности поля от расстояния при использовании слоистости среды видно, что поле в значительной мере концентрируется в слое с малой проводимостью, залегающем между слоями с более высокой проводимостью.

Точный расчет электромагнитного поля в слоистой неоднородной среде — довольно сложная задача. С другой стороны, влияние на распределение поля слоев малой мощности с проводимостью, не очень отличающейся от проводимости вмещающих пород, относительно невелико. Поэтому для ориентировочного выбора диапазона рабочих частот можно воспользоваться формулами, выведенными для диполя в однородной среде, тем более, что использование слоистости, кроме увеличения уровня полезного сигнала, увеличивает также и уровень помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Кауфман. Три способа возбуждения поля в низкочастотной электро-разведке рудных месторождений. «Геология и геофизика», № 5, Сибирское отд. АН СССР, 1961.
 2. А. С. Князев, Г. А. Лавров. Приземные и подземные антенны. Изд-во «Советское радио», 1965.
 3. Ф. Оллендорф. Токи в земле. ГНТИ, 1932.
 4. А. П. Иванов, В. Н. Никитина. О входном сопротивлении заземленного электрического диполя. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1964, № 9.
 5. В. В. Гречухин. Геофизические методы исследования угольных скважин. Изд-во «Недра», 1965.
-