

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВИДЕОИМПУЛЬСНОЙ ЛОКАЦИИ ДЛЯ ГЛУБИННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Ступников А.И.

Научный руководитель – д-р. техн. наук, профессор Шайдуров Г.Я.

Сибирский федеральный университет

В геофизической разведке нефтяных месторождений наибольшее распространение получила сейсмическая разведка, но в сложных геолого-физических условиях Восточной Сибири её эффективность сильно уменьшается за счет наличия в верхних слоях георазреза неоднородных включений. Повысить эффективность разведки можно, применяя в комплексе методы сейсмической и электрической разведки.

Классический метод становления электромагнитного поля, применяющийся в электрической разведке, заключается в возбуждении геологического разреза прямоугольными импульсами тока длительностью 10-30 секунд и регистрацией переходной характеристики полупространства в виде затухающего во времени волнового процесса, возникающего за счет переотражения поля на границах слоев Земли с отличающимися параметрами электропроводности (рисунок 1).

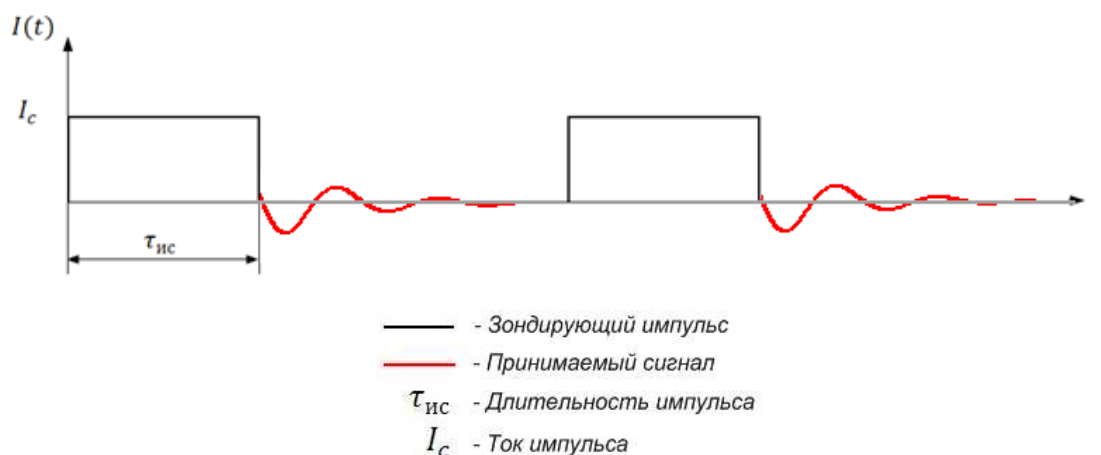


Рисунок 1 – Зондирующий импульс и принимаемый сигнал в методе становления поля

При этом мощность используемых генераторов импульсов может достигать до 30 кВт и более, при глубинах зондирования до 5 км. Использование данного метода в труднодоступных отдаленных районах ограничено транспортными и экономическими проблемами.

Высокий уровень тепловых потерь электромагнитного излучения в проводящей среде ограничивает дальность действия поисковых систем обычно квазистационарной зоной $c/kr \ll 1$ или глубиной слоя скин-эффекта для электромагнитной волны

$$\delta_c = \sqrt{\frac{2}{m\omega\sigma_1}}, \quad (1)$$

где k - волновое число среды;
 r - расстояние до объекта поиска, м;
 m - магнитная проницаемость среды, Гн/м;
 s - электропроводность среды, См/м;
 ω - рабочая частота, рад/с.

Как показал Габиллард амплитуда электрического поля на расстоянии $2r$ от излучающего диполя, помещенного в бесконечную однородную среду с потерями, почти не зависит от частоты в диапазоне от нулевой частоты среза, определяемой выражением:

$$f_m = \frac{3,76}{(2\Phi)^2 \Psi_1} \quad (2)$$

где f_m - частота, Гц;
 s_1 - электропроводность среды, См/м;
 r - расстояние, м.

На этой частоте глубина проникновения электромагнитного поля (с поглощением амплитуды его в e раз) в 3,85 раза больше глубины проникновения плоской волны. Таким образом, использование широкополосного излучения в пределах низкочастотного окна Габилларда позволяет получить предельно возможную дальность действия системы при одновременном уменьшении разноса (базы) между излучателем и приемником. Для получения наилучшего разрешения слабых полезных сигналов от мощных сигналов первичного поля нужно расширить в несколько раз спектр зондирующего сигнала относительно граничной частоты низкочастотного окна f_m и возбуждать поля сравнительно узкими импульсами колокольной формы.

По принципу разрешения вторичного поля относительно первичного метод видеоимпульсной локации схож с методами переходных процессов (МПП) и становления поля (СП), используемыми в практике электроразведки. Как известно, разрешение вторичных полей в методе МПП обеспечивается за счет преимущественного затягивания во времени индуктивно наведенных вихревых токов в объекте поиска по сравнению с окружающей средой, для чего требуется достаточно большое время после отключения первичного поля. Это время находится в пределах от единиц до нескольких десятков мс, поэтому период повторения сигналов должен быть выбран по крайней мере не меньше этого времени. В методе СП затягивание процесса происходит за счет электродинамических явлений в многослойной среде. В том и другом случае используются достаточно низкие частоты повторения сигналов, например, в методе СП до нескольких десятков секунд. В связи с тем, что на низких частотах спектральная плотность внешних и внутренних шумов имеет закон изменения с частотой, как ω^{-n} , то использование малых частот повторения зондирующего сигнала приводит к снижению отношения сигнал/шум и, следовательно, к дополнительной трате мощности источника питания. Принципиальным отличием метода видеоимпульсной локации является затягивание временного процесса вторичного поля за счет запаздывания сигнала при распространении его в среде на время:

$$t_3 = \frac{2\Phi}{V_r}, \quad (3)$$

где V_r - групповая скорость электромагнитного возбуждения.

Если в качестве оценки групповой скорости принять фазовую скорость волны на верхней частоте окна Габилларда, м/с:

$$V_r = \sqrt{10^7 \frac{\Psi_m^f}{s_1}} \quad (4)$$

то время запаздывания на участке излучатель-объект-приемник, с, будет равно:

$$t_3 = 0,65 \cdot 10^{-6} \Psi_1 \Psi^2 \quad (5)$$

Таким образом в методе видеоимпульсной локации предлагается возбуждать геологическое полупространство электромагнитными импульсами сложной формы, причем длительность основного импульса излучения выбирается сопоставимой с временем группового запаздывания t_3 электромагнитного сигнала на трассе излучатель-объект-приемник, т.е. $t_u \gg t_3$.

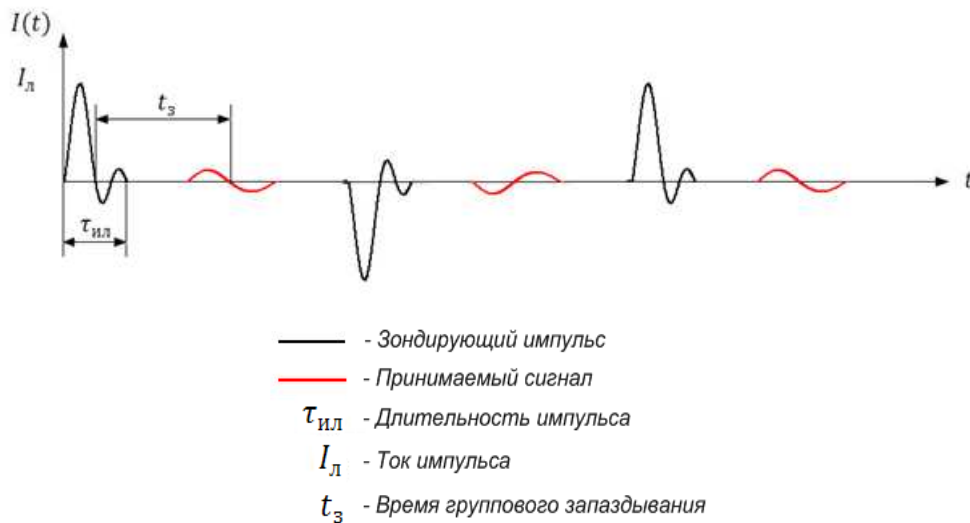


Рисунок 2 - Зондирующий импульс и принимаемый сигнал в методе видеоимпульсной локации

В качестве зондирующего сигнала может использоваться функция вида $\frac{\sin \omega_0 t}{\omega_0 t} e^{-at}, t \in [0, t_u]$.

Оптимальной временной функцией сигнала является сфероидальная функция двойной ортогональности, являющаяся решением однородного интегрального уравнения Фредгольма (рис 3)

$$y(t) = \int_0^{t_u} y(t) K_0(t-t) dt \quad (6)$$

где $K_0(t-t)$ - импульсная характеристика зондируемой среды.

Эти функции обладают минимальной длительностью в заданном диапазоне частот. Такой сигнал минимально искажается средой и наиболее рационально использует энергию генератора. Максимальная часть энергии данного зондирующего сигнала сосредоточена в эффективной полосе частот ω_3 , что дает наилучшее соотношение сигнал/СП+Ш:

$$w_3 = w_g - w_n = \frac{\int_0^{\Gamma} q(w)dw}{0,5\psi_{\max}} \quad (7)$$

где $q(w)$ - отношение энергетического спектра полезного сигнала к энергетическому спектру синхронных помех и шумов;

q_{\max} - максимальное значение энергетического соотношения в пределах диапазона частот w_3 .

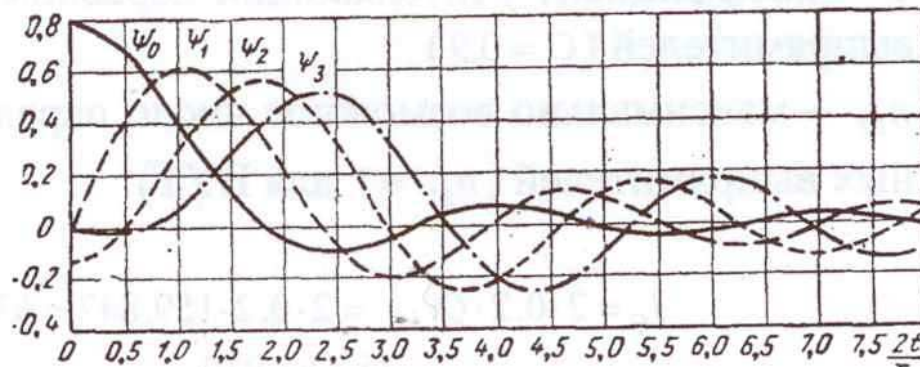


Рисунок 3 – Функция двойной ортогональности

Наличие дополнительных импульсов после окончания основного зондирующего сигнала позволяет, путем подбора их амплитуды и длительности, компенсировать электродинамические процессы среды.

Из приблизительных расчетов видно, что при использовании метода электромагнитной видеоимпульсной локации ожидается существенный энергетический выигрыш. Для задачи геокартирования требуется в зависимости от глубины исследования изменять и длительность зондирующего сигнала, т.е. реализовать метод видеоимпульсной локации (ВИЛ), как модификацию частотного зондирования. По принципу реализации метод ВИЛ соответствует известной технологии радиолокационного зондирования слоистых земных покровов, в котором используются волновые явления с учетом токов смещения в среде, работающей на сравнительно высоких частотах, порядка десятков МГц. Однако работами научного руководителя автора настоящей статьи в области морской электроразведки была доказана возможность реализации глубинного зондирования в ближней зоне излучателя без учета влияния диэлектрической проницаемости среды.

Заключение: одним из направлений совершенствования технологии электроразведки для геокартирования на большие глубины может являться описанный в статье метод видеоимпульсной локации, позволяющий существенно снизить энергетические затраты по сравнению с методом становления поля.

Поскольку эти выводы носят концептуальный характер, то для реальной проверки метода ВИЛ, безусловно, необходима его экспериментальная проверка в реальных полевых условиях с более корректным теоретическим обоснованием.