

МГУ им. М.В. Ломоносова
Геологический Факультет
Кафедра геофизики

Аппаратурно-методический практикум по курсу
электроразведки

Лабораторная работа на тему :
МЕТОД ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ (ВП)
2002 г.

Основы метода

Метод вызванной поляризации (метод ВП) основан на изучении вторичных электрических полей в земле. Появление метода ВП, так же как и метода сопротивлений, связано с именем К. Шлюмберже, взявшего соответствующий патент еще в 1912 г. Было обнаружено, что при протекании электрического тока в горных породах вследствие электрохимических и электрокинетических процессов возникают вторичные электрические заряды. Это явление наблюдается в постоянном или низкочастотном электрическом поле (0-100 Гц) только в гетерогенных средах, состоящих из твердой и жидкой фаз. В горных породах на границе твердой и жидкой фаз самопроизвольно образуется двойной электрический слой. В пределах некоторого объема суммарный заряд такого слоя равен нулю, и он не создает электрическое поле во внешней среде. После включения внешнего источника электрического поля на одних участках двойного электрического слоя начинают накапливаться заряды положительного, а на других - отрицательного знака. Таким образом в среде образуются электрические диполи, которые и являются источниками поля ВП.

подавляющее число породообразующих минералов является диэлектриками. В этом случае горная порода проводит электрический ток за счет ионов солей, растворенных в воде, наполняющей поры горной породы. В *ионопроводящих горных породах* ток течет только в жидкой фазе, и, следовательно-

но, вектор напряженности электрического поля направлен параллельно двойному электрическому слою. При сужении пор на движение зарядов разного знака начинает сказываться двойной электрический слой. В результате в областях изменения диаметра пор накапливаются электрические заряды. Явление вызванной поляризации в ионопроводящих горных породах проявляется достаточно слабо - поле вторичных зарядов, возникших при протекании электрического тока в земле, не превышает первых процентов от первичного поля. В случае наличия в горных породах *минералов с электронным типом проводимости* (сульфиды, графит, магнетит и некоторые другие) или *металлических техногенных объектов* твердая фаза уже не является диэлектриком и ток течет поперек двойного электрического слоя. При этом, по сравнению с ионопроводящими породами, идут гораздо более интенсивные электрохимические и электрокинетические процессы, и поле вторичных источников, возникающих на границе твердой и жидкой фазы, может составлять десятки процентов от первичного поля.

Для ионопроводящих пород или в случае вкрапленных руд с электропроводящими минералами имеет место *объемная поляризация* вещества. Для массивных руд или в случае техногенных металлических объектов источники поля ВП возникают на границе тела, обладающего электронной проводимостью, и тогда речь идет о *поверхностной поляризации*.

Основные *области применения* метода ВП - поиски рудных залежей, решение гидрогеологических задач. Имеется также информация, что химические процессы, связанные с наличием углеводородов в горных породах, могут в определенных условиях приводить к образованию минералов с электронной проводимостью. Это явление открывает перспективы использования метода ВП как для поиска месторождений углеводородов, так и для решения экологических задач при нефтяных загрязнениях. Очевидно, что большой интерес представляет использование электроразведки методом вызванной поляризации при изучении техногенных объектов (трубопроводов, металлических резервуаров и др.).

Методика измерений вызванной поляризации

Для измерения вызванной поляризации чаще всего применяются те же четырехэлектродные установки AMNB, что и в методе сопротивлений. Через питающие электроды АВ в течение некоторого времени пропускается электрический ток (рис. 1-а,б). На приемных электродах MN разность потенциалов при пропускании тока является суммой первичного поля токов, стекающих с АВ, и поля токов вызванной поляризации (рис. 1-в). После включения тока среда начинает заряжаться, и поле вызванной поляризации нарастает. Затем процесс вызванной поляризации выходит на насыщение, и разность потенциалов в приемной линии MN перестает меняться. После выключения тока поле ВП спадает по тому же временному закону, по которому оно нарастало при включении. Измерение поля вызванной поляризации проводится на

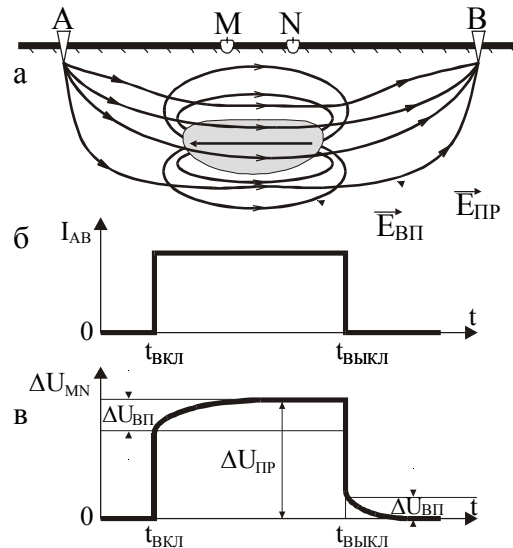


Рис. 1. Методика измерения ВП

на одном или нескольких временах задержки после выключения тока в линии АВ. В принципе возможна регистрация явления вызванной поляризации и во время пропускания тока, однако такие наблюдения недостаточно точны, поскольку мы наблюдаем поле ВП на фоне первичного поля, которое, как правило, существенно больше его по величине.

В качестве меры интенсивности процесса ВП обычно используется

поляризуемость η , то есть отношение напряженности поля вызванной поляризации к напряженности поля во время пропускания тока $\eta = \frac{\Delta U_{ВП}}{\Delta U_{ПП}} \cdot 100\%$.

Очевидно, что поляризуемость зависит от времени задержки момента измерения поля ВП с момента выключения тока, а также от времени пропускания тока (в случае, если процесс ВП не вышел на насыщение). Для ионопроводящих горных пород время зарядки, а, соответственно, и разрядки составляет первые секунды. В случае присутствия электропроводящих включений это время может увеличиваться до нескольких минут, и даже иногда до часа. Время пропускания тока стараются выбирать из условия полной зарядки среды, и в то же время оно не должно быть слишком большим, чтобы не снижать производительность работ. Обычно оно составляет от 10 секунд до нескольких минут. Время задержки стандартно выбирается равным 0.5 сек, однако современная аппаратура позволяет проводить измерения поля ВП на многих временах.

Среда, над которой находится установка AMNB, на практике неоднородна, поэтому результаты измерений дают не истинную, а **кажущуюся поляризуемость** η_K . Одновременно с кажущейся поляризуемостью по результатам измерений можно определить и кажущееся сопротивление $\rho_K = k \cdot \Delta U_{ПП} / I_{AB}$, где k - геометрический коэффициент установки.

Особенность метода вызванной поляризации по отношению к методу сопротивлений заключается в том, что поле ВП примерно на два порядка меньше величины первичного поля, т.е. приходится регистрировать сравнительно слабые сигналы. Для повышения соотношения сигнал-помеха:

- 1) в линию АВ пропускается ток большей силы, чем в методе сопротивлений;
- 2) используются установки с достаточно длинными линиями MN;
- 3) в измерительной линии используются специальные неполяризуемые электроды.

При выполнении профилирования методом ВП часто применяется установка срединного градиента (СГ). Эта установка существенно снижает трудозатраты, позволяя с одного положения питающих электродов проводить наблюдение по одному или нескольким профилям, находящимся в средней трети линии АВ. При выполнении зондирований методом ВП используется установка Венера, линия MN в которой составляет 1/3 от линии АВ. Весьма эффективно выполнять зондирования методом ВП с помощью экспресс-установки, которая была разработана во

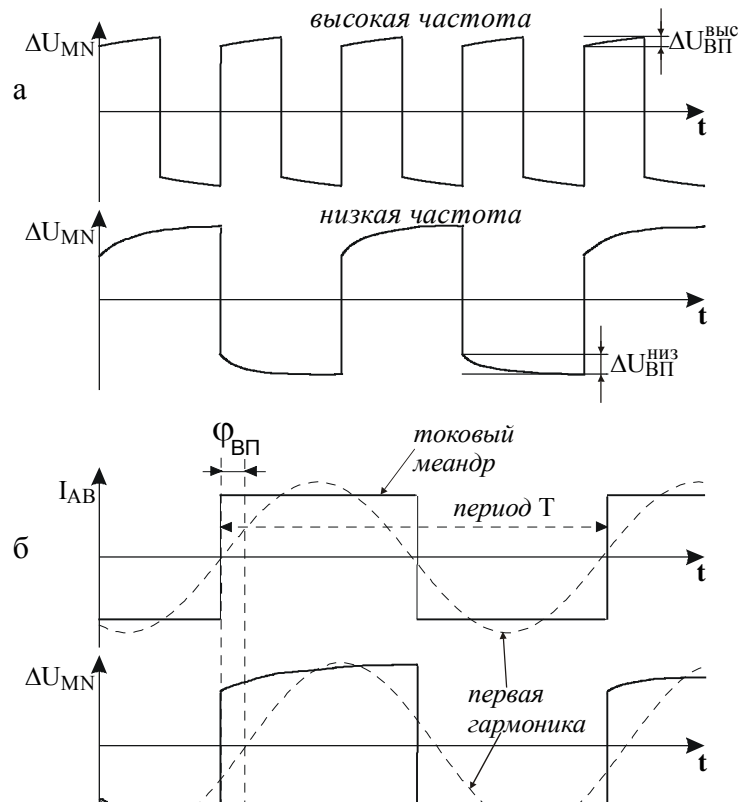


Рис. 2. Вызванная поляризация в частотной области.
а – амплитудно-частотный способ измерения ВП
б – фазово-частотный способ измерения ВП

ВСЕГИНГЕО. В этой установке линия АВ фиксирована, а прием-

ные электроды расставляются от питающего электрода А с геометрическим шагом к центру установки. Для повышения производительности работ часто используется многоканальная измерительная аппаратура, позволяющая одновременно регистрировать сигнал на нескольких линиях MN.

Мы рассмотрели методику измерений вызванной поляризации во временной области (или в **импульсном режиме**). Кроме этого, существуют два способа измерений вызванной поляризации и в частотной области.

Амплитудно-частотные измерения. По результатам измерений напряжённости поля на двух частотах можно рассчитать процентный частотный эффект:

$$PFE = \frac{\Delta U(\omega_{\text{низкая}}) - \Delta U(\omega_{\text{высокая}})}{\Delta U(\omega_{\text{низкая}})} \cdot 100\%,$$

где низкая частота обычно выбирается в интервале от 0.5 до 2 Гц, а высокая - от 4 до 20 Гц. Параметр PFE пропорционален поляризуемости, поскольку в сигнале на низкой частоте явление ВП развито сильнее, чем на высокой частоте (рис 2-а).

Фазово-частотные измерения. Разность фаз сигнала в измерительной и токовой линии дает фазу вызванной поляризации $\varphi_{ВП}$ (рис. 2-б). Если генератор вырабатывает ток в форме меандра, содержащего кроме основной и все нечетные гармоники, то по результатам обработки измерений ΔU_{MN} можно вычислить дифференциальный фазовый параметр (ДФП):

$$\Delta\varphi = \frac{\omega_{\text{высокая}} \varphi(\omega_{\text{низкая}}) - \omega_{\text{низкая}} \varphi(\omega_{\text{высокая}})}{\omega_{\text{высокая}} - \omega_{\text{низкая}}}.$$

ДФП в первом приближении равен фазе $\varphi_{ВП}$, и при этом не требует синхронизации измерительного и генераторного устройства. Кроме того, он исключает фазовые углы, связанные с явлением электромагнитной индукции.

Экспериментально выявлено, что для большинства пород фаза ВП линейно связана с кажущейся поляризуемостью:

$$\eta_K (\%) = -2.5\varphi_{ВП} (\text{градусы}).$$

Аппаратура для метода ВП.

При проведении исследований в частотной модификации метода ВП с малыми разносами можно применять портативную аппаратуру, например, генератор АНЧ-3 и измеритель МЭРИ.

Генератор из комплекта аппаратуры низкой частоты АНЧ-3 (завод «Виброприбор», г. Кишинёв) предназначен для создания в заземленной питающей линии прямоугольного сигнала вида «меандр». Такой сигнал можно разложить в ряд Фурье:

$$f(t) = a \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{T} \cdot (2n-1) \cdot t \right],$$

где a – амплитуда сигнала, t – время, T – период, n – номер гармоники.

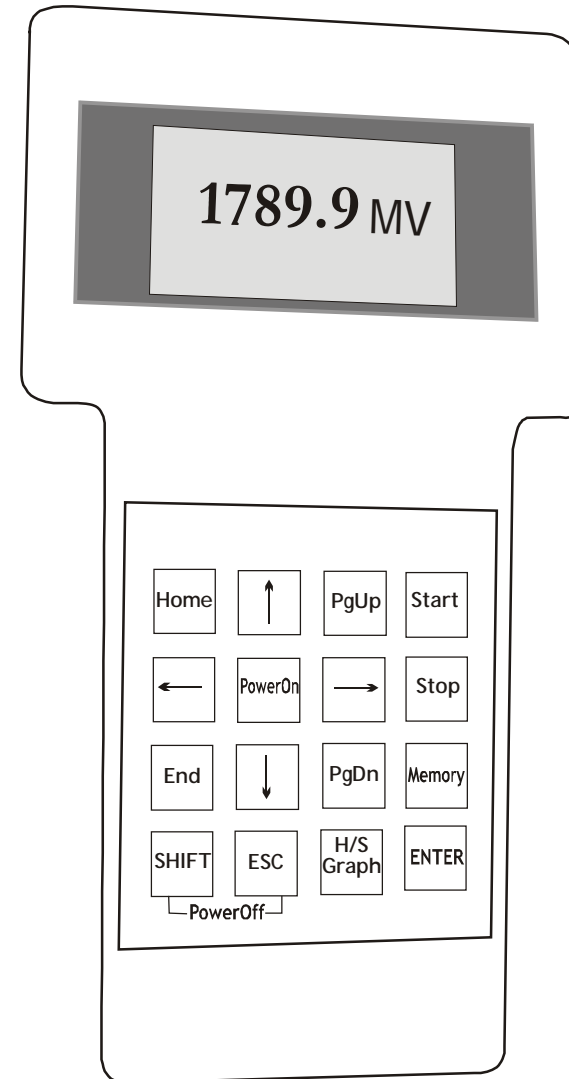
Как видно из последней формулы, в спектре токового сигнала существуют только нечетные гармоники. Амплитуда гармоник убывает обратно пропорционально номеру гармоники, фазы у всех гармоник одинаковы.

Частота выходного тока составляет 4.88 Гц, однако в модифицированном варианте генератор способен работать в диапазоне частот, меняющихся от 0.019 до 312 Гц с геометрическим шагом, равным 2. Ток стабилизирован и может принимать значения 1, 3.16, 10, 31.3 и 100 мА.

На внешней панели генератора имеется три ручки управления: левая - переключение частот, средняя - включение и выключение генератора, правая – переключение значений силы тока.

Многофункциональный электроразведочный МЭРИ (ООО «Северо-Запад») позволяет регистрировать амплитуды гармоник создаваемого генератором сигнала вида «меандр» и дифференциальные фазовые параметры, определяющие сдвиг между фазами первой, третьей и пятой гармоник. Входной сигнал после усиления, компенсации постоянной составляющей и фильтрации, подавляющей высокочастотные и промышленные помехи, оцифровывается и далее обрабатывается встроенным процессором под управлением программы, записанной в ПЗУ.

Рис. 3. Вид внешней панели измерителя МЭРИ.



В процессе обработки осуществляется статистическое подавление помех и расчет амплитуд гармоник и дифференциальных фазовых параметров через преобразование Фурье. Результаты обработки оперативно записываются в ОЗУ и выводятся на цифровой индикатор. Диапазон измеряемых сигналов - от 1 мкВ до 3 В, входное сопротивление прибора превышает 10 МОм.

Необходимо отметить, что при проведении работ методом ВП приемная линия должна быть заземлена с помощью **неполяризующихся электродов**. Обычно используются керамические электроды, состоящие из сосуда с пластиковой крышкой, в которой закреплен медный стержень. Сосуд заполнен насыщенным раствором медного купороса, медленного фильтрующегося через пористые стенки в грунт. Наличие раствора медного купороса обеспечивает электрический контакт между электродом и грунтом и в то же время исключает окислительно-восстановительные реакции на поверхности металла.

Описание лабораторной работы

Задачей лабораторной работы является ознакомление с методом ВП, а также с аппаратурой АНЧ-3 и МЭРИ.

Необходимо определить положение погруженного в бак с водой металлического цилиндра, имитирующего рудное тело или техногенный объект (трубу), а также изучить характер возникающей над цилиндром аномалии. Для решения задачи требуется по профилю, пересекающему цилиндр, провести измерение амплитуд A_1 и A_3 первой и третьей гармоник сигнала в линии MN, а также дифференциального фазового параметра $\Delta\varphi_{1-3}$, определяющего фазовый сдвиг между этими гармониками ($\Delta\varphi_{1-3} = (3\varphi_1 - \varphi_3) / 2$). Затем нужно пересчитать измеренные параметры в кажущиеся сопротивления на первой и третьей гармониках ρ_K^1 и ρ_K^3 , процентно-частотный эффект PFE , фазу ВП $\varphi_{ВП}$ и кажущуюся поляризуемость η_K .

В данной лабораторной работе используется установка срединного градиента. При этом применяются металлические питающие электроды и неполяризующиеся приемные электроды. Приемные электроды представляют собой маленькие стеклянные колбы, заполненные медным купоросом, в который погружается медный стержень. Дно сосудов состоит из деревянных пробок, через которые купорос медленно фильтруется во вмещающую среду (воду).

Последовательность операций при выполнении работы:

1. Заранее подготовить журнал для записи наблюдений.
2. Подсоединить приборы: генератор к АВ, измеритель к MN. Проверить уровень купороса в неполяризующихся измерительных электродах и долить в случае необходимости.
3. Включить измеритель (PowerOn). На индикаторе должно появиться главное меню. Выбрать режим измерений – ЧЗ-ВП.
4. Установить на генераторе и измерителе рабочую частоту (1.22 Гц или выше – по усмотрению преподавателя). Для этого на генераторе переключить тумблер частоты на соответствующее положение. На измерителе:

Пункт **Пр**: определяет номер профиля (1-99).

Пункт **П-т**: определяет номер пикета (1-99).

Пункт **Изм**: определяет номер измерения (диапазон изменения: 1-99). При записи в память результатов измерения значение пункта автоматически увеличивается на 1. При изменении значения пункта **Пр**: или значения пункта **П-т**: значение пункта **Изм**: устанавливается равным единице.

Пункт **Гген**: устанавливает используемую частоту генератора.

Пункт **Настройка**: может принимать два значения: **default**

12:00:00	ЧЗ-ВП
Пр: <input type="text"/>	П-т: <input type="text"/>
Изм: <input type="text"/>	Изм: <input type="text"/>
Гген: <input type="text"/>	
Настройка: <input type="text"/>	

и **user**. При установке значения **default** параметры настройки прибора принимают значения, стандартному режиму. При смене значения на **user** параметрам настройки прибора присваиваются установленные пользователем значения.

5. Подключить на вход измерителя сигнал с шунта генератора. Включить генератор. Провести измерения на шунте. Для этого нажать «START». Если было установлено требование калибровки (устанавливается вручную в меню **HardWare** или автоматически каждый раз после смены частоты генератора), происходит калибровка, о чем свидетельствует сообщение **C**. Затем проводится измерение, которое проходит в два этапа. Вначале происходит автоматическая настройка прибора (сообщение **G** в верхнем углу экрана), затем происходит собственно регистрация и обработка сигнала (сообщение **S**). На экране измерителя появятся значения 1,3,5 гармоник и дифференциального фазового параметра $\Delta\varphi_{1-3}$. Далее следует убедиться в стабильности показаний, нажать «STOP», записать значение A_1 , A_3 , $\Delta\varphi_{1-3}$, нажать «СБРОС».
6. Подключить на вход измерителя сигнал с приемных электродов. Провести измерения на первой точке профиля аналогично измерениям на шунте. Перейти к следующей точке профиля.
7. Выполнив измерения на последней точке профиля, вновь подключить измеритель к шунту. Повторить измерения на шунте и убедиться в стабильности тока в линии АВ.
8. Выключить питание генератора и измерителя.
9. Ввести измеренные значения A_1 , A_3 и $\Delta\varphi_{1-3}$ в компьютер (в электронную таблицу). Рассчитать значения ρ_K^1 , ρ_K^3 , PFE ,

$$\varphi_{ВП} \text{ и } \eta_K \text{ по формулам } \rho_K^1 = k \frac{A_1}{A_1^{ш}}, \quad \rho_K^3 = k \frac{A_3}{A_3^{ш}},$$

$$PFE = \frac{\rho_K^1 - \rho_K^3}{\rho_K^1} \cdot 100\%, \quad \varphi_{ВП} = \Delta\varphi_{1-3} - \varphi_{ш}, \quad \eta_K = -2.5\varphi_{ВП},$$

где k - геометрический коэффициент установки, $A_1^{ш}$, $A_3^{ш}$,

$\varphi_{ш}$ - средние значения амплитуд 1-ой и 3-ей гармоник и дифференциального фазового параметра на шунте 1 Ом. Для расчета ρ_K следует использовать коэффициент установки $k = 0.7$ для всех точек наблюдения. Затем нужно построить графики **всех рассчитанных параметров** по профилю.

10. Оценить глубину до центра цилиндра (см. рис. 4).

После выполнения лабораторной работы (в другой день, согласованный с преподавателем) требуется сдать задачу, т.е. объяснить полученные графики. Кроме того, непосредственно перед выполнением работы, а также при ее сдаче, нужно пройти собеседование по данной разработке.

Вопросы к задаче.

1. Природа вызванных потенциалов.
2. Примеры поляризующихся объектов.
3. Области применения метода ВП
4. Импульсные измерения ВП.
5. Амплитудно-частотные измерения ВП.
6. Фазово-частотные измерения ВП.
7. Установки, используемые в методе ВП.
8. Устройство питающих и приемных электродов в методе ВП.
9. Генератор АНЧ-3. Спектральный состав меандра.
10. Измеритель МЭРИ.
11. Анализ полученных результатов.

Литература

1. В.К. Хмелевской. Основной курс электроразведки. Часть 1. Изд-во Московского университета, 1970.
2. М.С. Жданов. Электроразведка. М., "Недра", 1986.
3. В.А. Комаров. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л., "Недра", 1980.
4. А.В. Куликов, Е.А. Шемякин. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации. М., "Недра", 1978.
5. Электроразведка. Справочник геофизика. Книга вторая. М., "Недра", 1989.

Форма журнала для записи полевых наблюдений

Пикет	A_1	A_3	$\Delta\varphi_{1-3}$
Шунт			
00			
02			
...			
...			
42			
44			
Шунт			

Рис. 4. Оценка глубины поляризованного цилиндра.

