

Н.В. ДОРОФЕЕВ,  
А.А. ОРЕХОВ

**Локация приповерхностных  
неоднородностей при  
геодинамическом мониторинге**

УДК 004.04

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г.Муром

*В работе рассматривается система геодинамического мониторинга, которую предлагается ввести в комплекс мер направленный на обеспечение геозологической безопасности промышленных объектов расположенных в геодинамически активных зонах. Так же рассматривается эквипотенциальный геоэлектрический метод и способ обнаружения и локации приповерхностных неоднородностей.*

*Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации МК-3485.2012.8.*

Основной задачей при защите промышленных объектов от неблагоприятных приповерхностных процессов, протекающих в земле, является разработка и внедрение автоматизированной системы мониторинга и прогнозирования развития приповерхностных неоднородностей, построенной на базе геоэлектрических методов и размещаемой на территории охраняемого объекта. Использование электромагнитных методов при решении основных задач автоматизированного геодинамического контроля в реальном масштабе времени: организации наблюдений за геологическими объектами, оценки состояния и прогноза развития, определяется их высокой технологичностью и эффективностью.

Однако, сложность и разнообразность проявления геодинамики сред, постоянного возрастающая техногенная нагрузка на природную среду приводят к необходимости разработки и внедрения принципиально новых методик получения и обработки информации в ав-

томатизированных системах контроля геодинамических объектов [2].

Предлагается применять системы геодинамического мониторинга построенные на базе многополюсной электролокационной установки и использующие принцип локации аномальных электрических сигналов от созданного электрического поля низкой частоты в контролируемой среде.

Пример системы геодинамического мониторинга организованной на базе многополюсной электролокационной установки изображен на рис. 1.

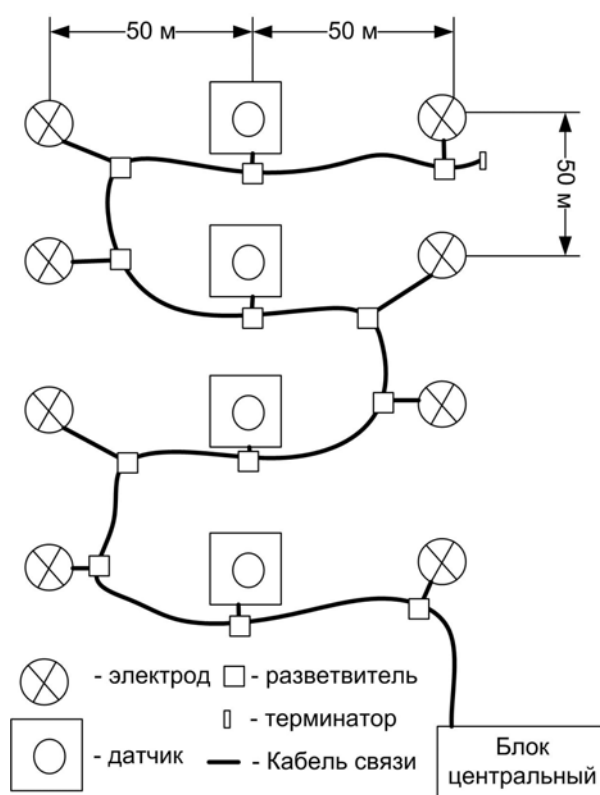


Рис. 1. Пример системы геодинамического мониторинга

Подобного рода системы, как правило, состоят из набора датчиков электрического поля, набора излучающих электродов, электрода «бесконечность» и центрального блока - автоматизированного рабочего места оператора. В качестве датчиков электрического поля в основном используются штыревые приемные электроды из латуни. Однако, для мониторинга вместо них как было показано в работе [3] целесообразно использовать бесконтактные трансформаторные датчики. Схема размещения электродов и датчиков зави-

сит от требуемых задач и применяемых методов и алгоритмов контроля. Объединяются все элементы с помощью линии связи. Среди применяемых электроразведочных методов, где контролируемым параметром выступает кажущееся сопротивление земных слоёв, вычисляемое при протекании через них электрического тока, генерируемого излучающими электродами, наиболее эффективным является эквипотенциальный метод [4].

В качестве базового метода в системах геодинамического мониторинга основанных на электролокационных установках предлагается использовать модификацию эквипотенциального метода, которая при практическом применении показала высокую чувствительность к слабым геодинамическим изменениям и внешним дестабилизирующим факторам.

Предлагаемый вариант эквипотенциального геоэлектрического метода с регистрацией фазовых характеристик эллиптически поляризованного поля заключается в одновременном использовании нескольких источников зондирующего сигнала и нескольких измерительных датчиков электрического поля. Простейший пример с двумя точечными источниками  $A$ ,  $B$  и одним датчиком  $O$  представлен на рис 2а.

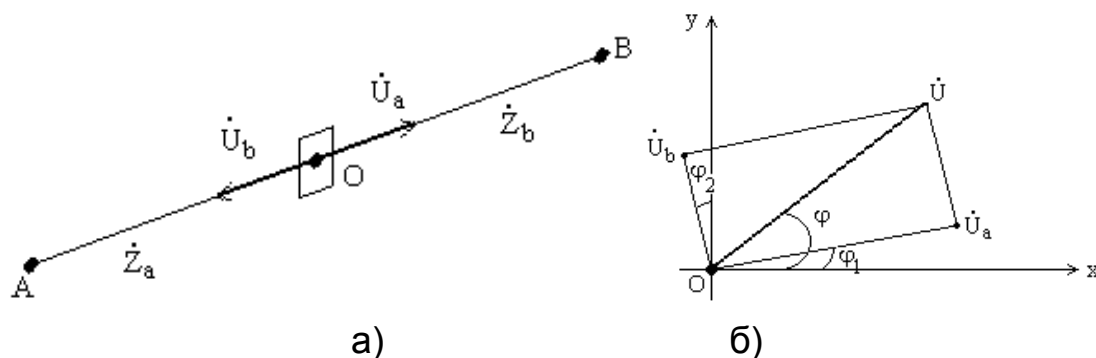


Рис. 2. Пример реализации геоэлектрического метода

Здесь датчик располагается по линии соединяющей точечные источники на равных от них расстояниях. Точечные источники  $A$  и  $B$  генерируют сигналы, сдвинутые по фазе на  $\pi/2$  относительно друг друга. При другом расположении источников или при многополюсном зондировании фазовые сдвиги между сигналами могут быть иными. В результате принципа суперпозиции полей источников  $A$  и  $B$  результирующий сигнал, в соответствии с рис. 2б, имеет вид:

$$\begin{aligned} \operatorname{Im} U &= U_a \sin \varphi_1 + U_b \sin \varphi_2, \\ \operatorname{Re} U &= U_a \cos \varphi_1 - U_b \cos \varphi_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varphi_1, \varphi_2$  – фазовые сдвиги, учитывающие реактивные составляющие коэффициента передачи среды  $U_a = KI_0 / Z_a$ ,  $U_b = KI_0 / Z_b$ .

В данном случае информационным регистрируемым параметром фаза  $\varphi$  результирующего сигнала  $U$  и при условии балансировки тестовых сигналов (что технически легко достигается) определяется следующим соотношением:

$$\varphi = \operatorname{arctg}(U_b / U_a) = \operatorname{arctg}(Z_b / Z_a). \quad (2)$$

Это означает, что в сбалансированной системе при появлении геодинамики в геологической среде фаза результирующего сигнала  $U$  начнет отклоняться от установленного значения. Таким образом, по отклонению фазы результирующего сигнала можно судить и геодинамике наблюдаемой среды.

Для повышения точности локации аномальных составляющих предлагается использовать многополюсную электролокационную установку с несколькими датчиками расположенных по прямоугольной сетке. В этом случае по регистрируемым с каждого датчика данным в ходе мониторинга будет получаться фаза результирующего сигнала. Таким образом получится матрица  $M \times N$  фазовых коэффициентов, где  $M$  и  $N$  – количество датчиков по длине и ширине исследуемой зоны, а с учетом возможности изменения глубины зондирования получится трехмерная матрица размерностью  $M \times N \times L$ , где  $L$  – количество зондируемых глубин. При таком подходе качество получения прогнозных оценок при мониторинге в частности будет зависеть от алгоритма обработки.

Следует отметить, что на изменение фазы результирующего сигнала влияет не только геологическая среда, но и внешние дестабилизирующие факторы (климатические параметры, параметры геологической среды, гидрологические параметры местности). Поэтому следует вводить поправочные коэффициенты учитывающие внешние дестабилизирующие факторы [1, 5, 6]

В предлагаемой системе геодинамического мониторинга в качестве информативного параметра выступает изменение фазы результирующего сигнала (рис. 3), значения которой являются дискретными сигналами, описывающего динамику изменения фазы во време-

ни. В этом случае алгоритм обнаружения динамики может быть описан следующим выражением:

$$s(k) = \sum_i \left( \theta \left( \frac{|s(k-1) - s(i)|}{\Delta_A} - 1 \right) \cdot s(i) \right), \quad (3)$$

где  $s(k)$  – текущее значение дискретного сигнала;  $\theta$  - функция Хэвисайда;

$s(k-1)$  – предыдущее значение дискретного сигнала;

$s(i)$  –  $i$ -я выборка сигнала с шагом  $\Delta$ ;

$\Delta_A$  – допустимое отклонение значения фазы с учётом поправочных коэффициентов.

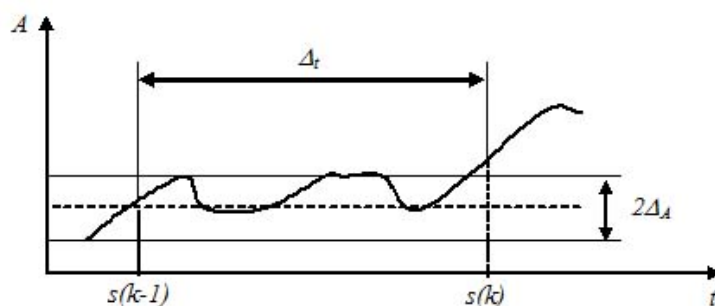


Рис. 3. Обнаружение динамики

В выражении (3) суммирование производится, пока значение функции Хэвисайда  $\theta$  не станет равным единицы. При таком алгоритме обнаружения динамики начало изменения фазы будет найдено, как видно из выражения (3), между двумя соседними отсчетами  $s(k)$ , которые могут быть получены с большим временным интервалом. Это означает, что реакция системы контроля замедляется максимум на время  $\Delta_t$  равное времени получения двух соседних отчетов.

Для локации приповерхностных неоднородностей в исходной трехмерной матрице фазовых коэффициентов  $A\{N;M;L\}$  (рис. 4) проводится линейная и нелинейная обработка для выделения резких перепадов в трехмерной картине распределения фазовых коэффициентов по исследуемой геологической среде. В результате получается трехмерная матрица  $A'\{N;M;L\}$  значение элементов которой отлично от нуля только в областях резких изменений фазы.

После этого проводится пороговая обработка для выделения границ объекта.

В качестве предварительной обработки для подобного класса задач предлагается применить метод выделения перепадов фаз с согласованием, который в отличие от подобных методов выделения перепадов скользящим окном имеет высокую помехоустойчивость. Суть метода заключается в том, что перед применением дифференциального оператора согласовать со значениями фаз в рассматриваемом окне некоторую поверхность первого или второго порядка.

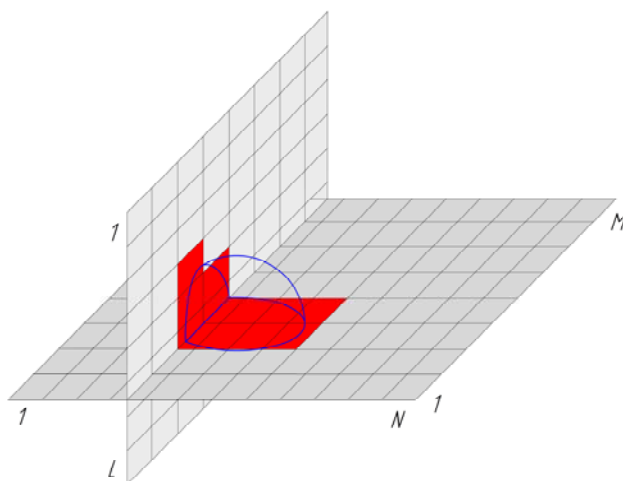


Рис. 4. Локация приповерхностной неоднородности формы шара

Очевидно, что для локации приповерхностных неоднородностей, свободно располагающихся в рассматриваемом пространстве, можно воспользоваться вычислением модуля градиента распределения фаз в матрице  $A$ :

$$|\nabla A\{x_1, x_2, x_3\}| = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}, \quad (3)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – координаты обрабатываемого элемента матрицы  $A$ ;

$a, b, c$  – дискретные разности значений фаз, вычисляемые по выражениям (4-6).

$$a = A\{x_1, x_2, x_3\} - A\{x_1 - 1, x_2, x_3\}; \quad (4)$$

$$b = A\{x_1, x_2, x_3\} - A\{x_1, x_2 - 1, x_3\}; \quad (5)$$

$$c = A\{x_1, x_2, x_3\} - A\{x_1, x_2, x_3 - 1\}. \quad (6)$$

Для повышения надежности системы геодинамического мониторинга путем снижения вероятности ложного обнаружения приповерхностных неоднородностей необходимо проводить дополни-

тельную обработку выявленных аномалий в геологической среде. Так например, можно проводить поиск формы обнаруженной аномалии в базе геоэлектрических моделей.

### Литература

1. Камшилин А.Н., Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Исследование влияния климатических помех в многоканальных устройствах измерения параметров геоэлектрических сигналов // Радиотехника, 2008. – №9. – С. 129-133

2. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с

3. Кузичкин О.Р., Орехов А.А. Проектирование измерительного тракта системы геоэлектрического контроля. //Проектирование и технология электронных средств. 2011. №1. С. 25-30.

4. Кузичкин О.Р., Кулигин М.Н., Калинкина Н.Е. Регистрация геодинамики поверхностных неоднородностей при электроразведке эквипотенциальным методом // Методы и средства передачи и обработки информации. Вып.1. – СПб.: Гидрометеоиздат, -2001.- С.107-109

5. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В. Анализ алгоритмических ошибок и погрешностей при регрессионной обработке геомагнитных измерений / Метрология, 2007. - № 11. – с. 50-56

6. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В. Проблемы мультипликативной неустойчивости дифференциальных измерительных преобразователей электромагнитного поля / «Вопросы радиоэлектроники», сер. ОТ, 2010, вып. 1.- с.117-122