

А.А. ОРЕХОВ,
Н.В. ДОРОФЕЕВ
**Автоматизированная обработка
данных магнитотеллурического
зондирования для выявления
параметров геоэлектрического
разреза**

УДК 004.4

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

В данной статье построена структура автоматизированной обработки информации в системах магнитотеллурического геодинамического мониторинга, в результате которой строится зависимость электропроводности контролируемой геологической среды от глубины и регистрируется геодинамика объекта. В соответствии с разработанной структурой может быть построена архитектура программного обеспечения для системы магнитотеллурического геодинамического мониторинга.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ «12-08-31177-мол_а».

В настоящее время при контроле геодинамически активных зон широко используются системы автоматизированного круглосуточного мониторинга. Наиболее удобными в применении являются такие системы, где в качестве зондирующих сигналов используются естественные пульсации электромагнитного поля Земли, а не искусственно формируемые специальными генераторными установками [3]. Одним из типов таких систем является система магнитотеллурического геодинамического мониторинга. В этой системе на поверхности контролируемой геологической среды располагается сеть датчиков, регистрирующих геоэлектромагнитное поле. При появлении естественных пульсаций запускается процесс обработки зарегистрированных с датчиков данных, в результате которого выявляется

зависимость электромагнитных параметров геологической среды от глубины в точке мониторинга [1]. Однако, структуры автоматизированной обработки данных при магнитотеллурическом геодинимическом мониторинге до сих пор не разработано.

Целью данной статьи является построение структуры автоматизированной обработки информации в системах магнитотеллурического геодинимического мониторинга, в результате которой строится зависимость электропроводности контролируемой геологической среды от глубины и регистрируется геодинимика объекта. Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть принципы обработки информации при магнитотеллурическом зондировании, разделить обработку на этапы и в соответствии с этими этапами построить структуру.

Как известно, метод магнитотеллурического зондирования – один из основных методов электроразведки. Основой этого метода является получение сведений о строении верхних слоёв Земли по результатам обработки зарегистрированных данных переменного геоэлектромагнитного поля магнитосферной и ионосферной природы. Метод предложен академиком А.Н. Тихоновым в 1950 г [2]. Основные же положения метода сформулировал французский геофизик Л.Каньяр в 1953 г. [2].

Задача Тихонова-Каньяра формулируется следующим образом.

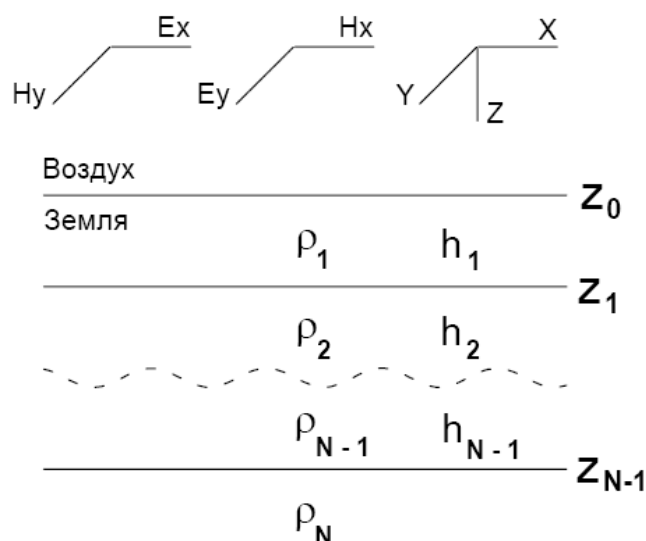


Рис. 1. Горизонтально-слоистая модель геологической среды

В системе координат оси x и y расположены на плоскости, разделяющей воздух и поверхность Земли. Ось z направлена вниз. Геологическая среда разбита на N горизонтальных изотропных слоёв с удельными электрическими сопротивлениями $\rho_1, \rho_2 \dots \rho_N$, соответственно. Мощности слоёв – $h_1, h_2 \dots h_N$. Представленная модель зондируется монохромным гармоническим геоэлектромагнитным полем, вертикально падающей волной. В [2] показано, что импеданс Z , т.е. отношение ортогональных горизонтальных электрических и магнитных компонент магнитотеллурического поля, зависит от частоты и свойств среды. Таким образом, импеданс вычисляется по формулам:

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x}$$

где E_x, E_y, H_x, H_y – комплексные амплитуды соответствующих компонент геоэлектромагнитного поля.

В общем случае, при исследовании районов с горизонтально-неоднородным строением геологической среды, применяется не скалярный импеданс, а тензор импеданса:

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}$$

Определив импеданс Z на некоторой частоте ω над некоторой однородной средой можно найти электрическое сопротивление ρ этой среды:

$$\rho = \frac{|Z|^2}{\omega \cdot \mu_0}$$

Если геологическая среда состоит из нескольких слоёв – указанное соотношение определяет средневзвешенное сопротивление слоёв, в которое проникает поле на данной частоте. Такое сопротивление называют кажущимся.

Чем ниже частота зондирования – тем больше глубина проникновения поля и тем о более глубоких слоях начинает нести информацию кажущееся сопротивление. Зависимость кажущегося сопротивления от частоты называют кривой кажущегося сопротивления, и

по ней можно определить зависимость изменения сопротивления от глубины, т.е. параметры геоэлектрического разреза.

При использовании в качестве зондирующих сигналов зарегистрированных пульсаций естественного геоэлектромагнитного поля, имеют дело с широким частотным диапазоном. Т.е. по результатам обработки этих данных можно строить довольно подробные и глубокие геоэлектрические разрезы [4]. А в системах магнитотеллурического геодинамического мониторинга это особенно удобно, т.к. не требует создания специальных устройств генерации зондирующих сигналов.

Процесс автоматизированной обработки данных магнитотеллурического зондирования для выявления параметров геоэлектрического разреза состоит из нескольких этапов. Ортогонально расположенные датчики регистрируют компоненты естественного геоэлектромагнитного поля [5]. На первом этапе обработки в зарегистрированных данных в реальном времени обнаруживаются требуемые пульсации. Наиболее подходящими для магнитотеллурического геодинамического мониторинга являются пульсации типа Pi-2 периодом 40-150 секунд. Обнаружение может производиться различными методами обработки, наиболее перспективным среди которых является вейвлет-анализ, подробно описанный в [6].

Если заданные пульсации обнаружены – запускается второй этап, целью которого является разделение спектра пульсаций геоэлектромагнитного поля на гармонические составляющие, по которым находятся компоненты импеданса для набора соответствующих частот. Выделение гармонической составляющей фактически представляет собой узкополосную фильтрацию и в частотной области представляется как умножение спектра на частотную характеристику фильтра.

Третий этап обработки предполагает построение гладкой зависимости по точечным значениям результата предыдущего этапа. Через облако полевых данных требуется провести некоторую кривую, которая должна проходить как можно ближе к средним значениям для каждого периода и должна быть максимально гладкой. Для решения поставленной задачи может использоваться сглаживающий кубический сплайн – гладкая функция, на каждом отрезке представляющая собой многочлен третьей степени. Таким образом,

в результате обработки данных на этом этапе имеется гладкая зависимость значений импеданса от периода зондирующего сигнала.

На четвёртом этапе обработки выявляются наименее искажённые кривые магнитотеллурического зондирования. Искажения связаны с горизонтальной неоднородностью разреза и бывают двух типов – гальванические и индукционные. Наиболее частым проявлением гальванического искажения является эффект статического смещения кривых по уровню, что может привести к существенным ошибкам при построении геоэлектрического разреза. Если после нормализации кривые не искажены влиянием приповерхностных неоднородностей – их правые части (самая низкая частота) должны совпадать.

На пятом этапе производится пересчёт исходной кривой кажущегося удельного сопротивления геологической среды $\rho_T(\sqrt{T})$ в кривую зависимости суммарной электропроводности от глубины $S(z)$ геоэлектрического разреза. Для решения поставленной задачи может применяться метод контролируемой трансформации. Для получения геоэлектрического разреза, дающего по форме кривую близкую к исходной, применяется итерационная процедура. Сопротивление ρ_i для каждого из слоёв полученного разреза корректируется следующим образом: увеличивается, если расчётная кривая на соответствующем этой глубине периоде проходит ниже исходной и уменьшается в противном случае. Полученная кривая $\rho(z)$ пересчитывается в кривую $S(z)$ при помощи следующего соотношения:

$$S(z) = \int_0^z \frac{1}{\rho(\xi)} d\xi$$

На последнем шестом этапе производится определение мощностей и сопротивлений каждого из слоёв контролируемого геоэлектрического разреза. Для этого применяется s-интерпретация кривых $S(z)$, полученных на предыдущем этапе обработки данных магнитотеллурического геодинамического зондирования. На кривой $S(z)$ определяются перегибы, идентифицирующие границы геоэлектрических горизонтов. После выявления мощности слоя Δz_i и прираще-

ния ΔS_i в пределах каждого слоя, по следующему соотношению вычисляется удельное сопротивление i -го слоя:

$$\rho_i = \frac{\Delta z_i}{\Delta S_i}$$

Таким образом, после проведения шести этапов обработки исходных данных магнитотеллурического зондирования, можно иметь представление о геоэлектрическом разрезе в точке зондирования – а именно, распределение удельных электрических сопротивлений в однородных геологических слоях [7].

В соответствии с описанными этапами, можно построить структуру автоматизированной обработки данных магнитотеллурического зондирования для выявления параметров геоэлектрического разреза в системах геодинамического мониторинга.

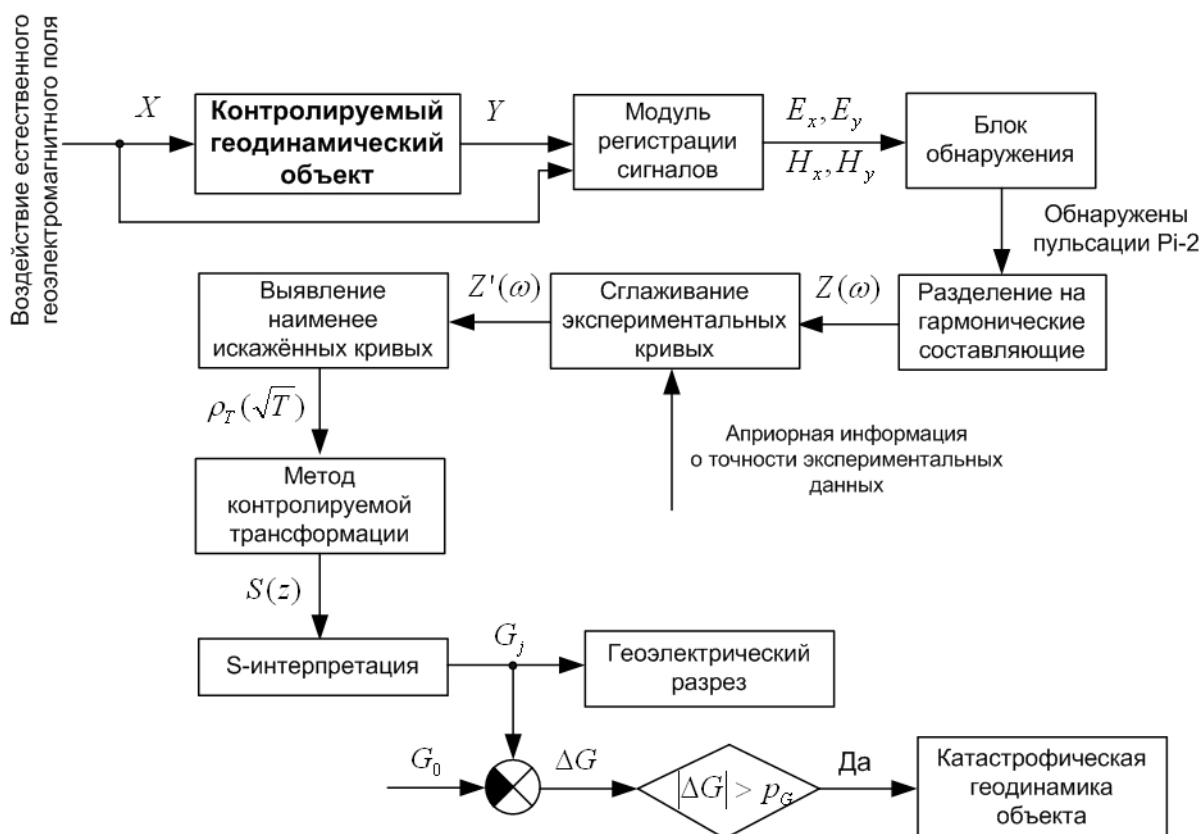


Рис. 2. Структура обработки информации при магнитотеллурическом геодинамическом мониторинге

На контролируемый геодинамический объект оказывает воздействие вертикально падающая плоская волна пульсаций естественного геоэлектромагнитного поля X . Модулем регистрации сигналов фиксируются ортогональные компоненты результата суперпозиции внешнего влияния электромагнитного поля X и отклика геологических слоёв Y на это влияние в точке контроля. Зарегистрированные сигналы E_x, E_y, H_x, H_y поступают в блок обнаружения, который при появлении требуемых пульсаций (Pi-2) выдаёт сигнал на дальнейшую обработку [8]. Далее происходит разделение полученного сигнала на гармонические составляющие, в результате чего формируется экспериментальная зависимость импеданса от соответствующих гармоник $Z(\omega)$. После этого, с привлечением некоторой априорной информации о точности экспериментальных данных, производится сглаживание кривых с использованием кубических сплайнов. После отбрасывания искажённых кривых магнитотеллурического зондирования получаем кривую зависимость кажущегося сопротивления от периодов зондирующих сигналов $\rho_T(\sqrt{T})$. Далее, при помощи метода контролируемой трансформации вычисляется суммарная электропроводность от глубины $S(z)$. S-интерпретация даёт распределение удельных сопротивлений и мощностей слоёв геоэлектрического разреза для текущего зондирования j :

$G_j = \{H, P\}$, где $H = \{h_1, h_2 \dots h_N\}$ – мощности слоёв, $P = \{\rho_1, \rho_2 \dots \rho_N\}$ – удельные сопротивления слоёв, N – количество слоёв.

Геодинамика объекта ΔG вычисляется как разность значений множества мощностей и сопротивлений геоэлектрического разреза в момент текущего зондирования G_j и геоэлектрического разреза в момент начальной установки G_0 . Если модуль этой разности превышает некоторый заданный порог P_G , то фиксируется катастрофическая геодинамика контролируемого объекта [9].

Таким образом, в данной работе построена структура автоматизированной обработки информации в системах магнитотеллурического геодинамического мониторинга, в результате которой строится зависимость электропроводности контролируемой геологической среды от глубины и регистрируется геодинамика объекта. Рассмотр-

рены принципы обработки информации при магнитотеллурическом зондировании, выделены этапы обработки и в соответствии с этими этапами построена структура. В соответствии с разработанной структурой может быть построена архитектура программного обеспечения для системы магнитотеллурического геодинамического мониторинга.

Литература

1. Анфимов В.Н., Орехов А.А. Проектирование аппаратуры для проведения магнитотеллурического геодинамического мониторинга //Методы и устройства передачи и обработки информации, №14, 2012, – С. 34-36.
2. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для Вузов. – М.: Недра. 1986.- 316 с.
3. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.
4. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В., Орехов А.А. Первичная обработка сигналов в распределенных сетях регистрации геомагнитного поля. //Информационные системы и технологии. 2010. № 4. С. 119-122.
5. Кузичкин О.Р., Кулигин М.Н., Орехов А.А. Измерительный канал системы регистрации геомагнитных сигналов. //Вопросы радиоэлектроники, серия Общетеchnическая, 2010, вып. 1, С. 122-128.
6. Кузичкин О.Р., Ромашов В.В., Дорофеев Н.В., Орехов А.А. Алгоритм обработки парциальных сигналов в системе мониторинга импульсных геомагнитных источников. //Приборы и системы. Управление, контроль и диагностика, 2008. - № 7. – С. 55-59.
7. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Организационная структура геоэкологического мониторинга геодинамических объектов //Технологии техносферной безопасности, 2012, №4 (44), С. 4-8.
8. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Структура обработки информации в системах электромагнитного геоэкологического мониторинга геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. Вып. 2 (20). – Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012 – С. 69-76.
9. Трелина Е.В., Орехов А.А. Информационная обработка сигналов в системе магнитотеллурического геодинамического мониторинга. //Методы и устройства передачи и обработки информации, №14, 2012, – С. 74-76.

E-MAIL: ALEXOREMS@YANDEX.RU