

А.А. ОРЕХОВ, Н.В. ДОРОФЕЕВ

**Геоэлектрическое моделирование
приповерхностных
геодинамических объектов с
учётом воздействия эндогенных
факторов**

УДК 550.8.05

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

В данной статье построены элементарные геоэлектрические модели основных встречающихся приповерхностных неоднородностей, построены эквивалентные схемы их замещения, рассчитаны их передаточные функции и построены частотные характеристики. Выявлены параметры геоэлектрических моделей, испытывающих влияние эндогенных факторов, а так же характер этого влияния. Предложен способ построения частотных характеристик реальных геодинамических объектов, по форме которых становится возможным выбирать эквивалентную схему замещения для применяемой модели и центральную частоту для регулярного электромагнитного зондирования.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ «14-08-31570-мол_а».

В процессе эксплуатации народно-хозяйственных и промышленных объектов, располагающихся на неустойчивых геологических структурах, возникает проблема непрерывного автоматизированного геодинамического контроля. Аппаратура для подобных систем долговременного геодинамического мониторинга подробно описана в работах [2,4,8]. Однако, до сих пор не создано надёжных алгоритмов обработки информации, полученной при помощи данной аппаратуры. В частности, недостаточно изучена область математическо-

го и геоэлектрического моделирования приповерхностных неоднородностей. В работе [10] исследовано влияние внешних помехообразующих факторов для процесса геодинамического контроля. Однако, влияние эндогенных факторов на геоэлектрические модели, применяемые при обработке данных геодинамического контроля, не определено.

Целью данной работы является построение геоэлектрических моделей основных встречающихся приповерхностных неоднородностей, выявление параметров геоэлектрических моделей, испытывающих влияние эндогенных факторов, а так же характер этого влияния.

Как показано в [3], при использовании электромагнитных методов геодинамического контроля основными параметрами моделей являются параметры передаточных функций $H(j\omega)$, определяемые электромагнитными свойствами среды: удельное электрическое сопротивление, диэлектрическая и магнитная проницаемости. При этом, практически для всех геологических сред величина магнитной проницаемости мало отличается от магнитной проницаемости вакуума [3]. Моделирование геодинамических объектов является определяющим фактором при организации системы мониторинга, так как разработка алгоритмов обработки данных и, соответственно, оценка геодинамических вариаций проводится на основе выбранного класса геоэлектрических моделей.

Вести обработку информации при геодинамическом контроле в рамках трехмерных моделей довольно трудно и для конкретных ситуаций не всегда применимо. Кроме того, в большинстве случаев в этом и нет необходимости, т.к. приповерхностная неоднородность вполне удовлетворительно аппроксимируется простыми одномерными либо двумерными моделями [5].

При рассмотрении геоэлектрического разреза контролируемого геодинамического объекта, периодически подвергающегося электромагнитным зондированиям в заранее определённых координатах, можно перейти к рассмотрению четырёхполюсника, с параметрами, изменяющимися под воздействием экзогенных и эндогенных помехообразующих факторов, а также при геодинамических вариациях (рисунок 1).

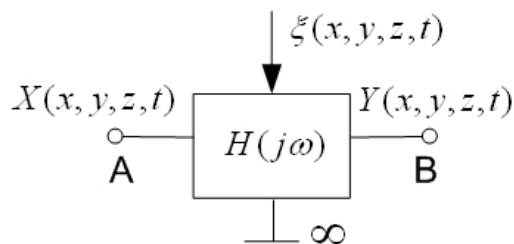


Рис. 1. Четырёхполюсник, замещающий геологическую среду

Излучающий электрод А генерирует сигнал определённой частоты $X(x, y, z, t)$, пропускаемый через геологическую среду с электромагнитными параметрами, характеризующими передаточную функцию $H(j\omega)$. Приёмный электрод В регистрирует сигнал $Y(x, y, z, t)$, являющийся смесью полезного сигнала, содержащего информацию о состоянии геодинамического объекта, и помехи $\xi(x, y, z, t)$. В качестве общего проводника выступает электрод «бесконечность», расположенный на расстоянии, во много раз превышающем расстояние между электродами А и В. Таким образом, регистрируемый электромагнитный отклик функционально связан со свойствами и структурой исследуемого геологического разреза и зависит от зондирующего сигнала с электромагнитных параметров среды:

$$Y(x, y, z, t) = F[X(x, y, z, t), \xi(x, y, z, t)] \quad (1)$$

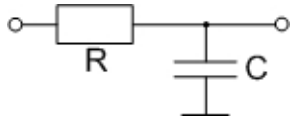
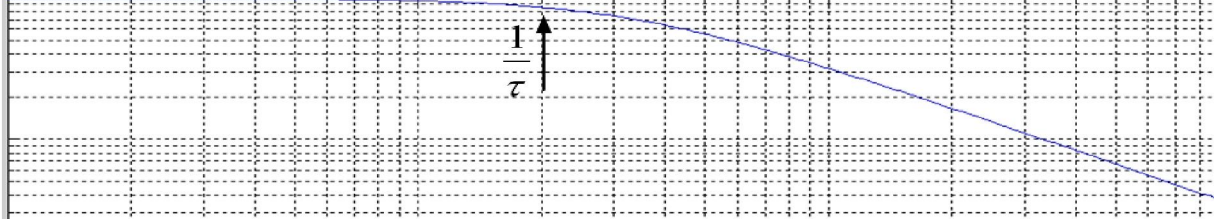
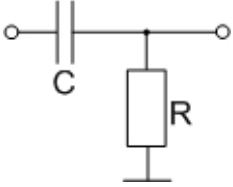
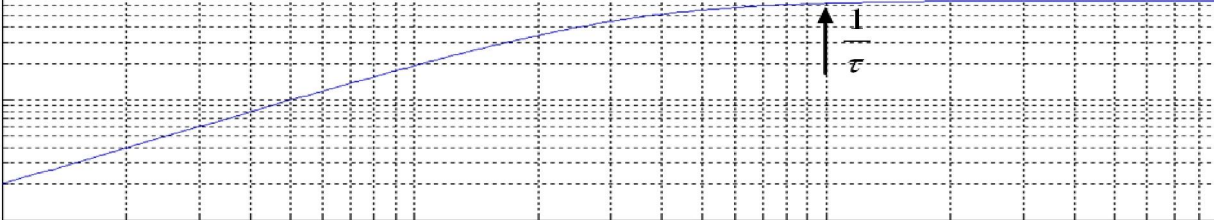
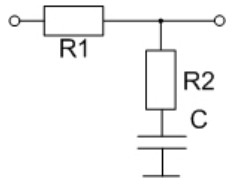
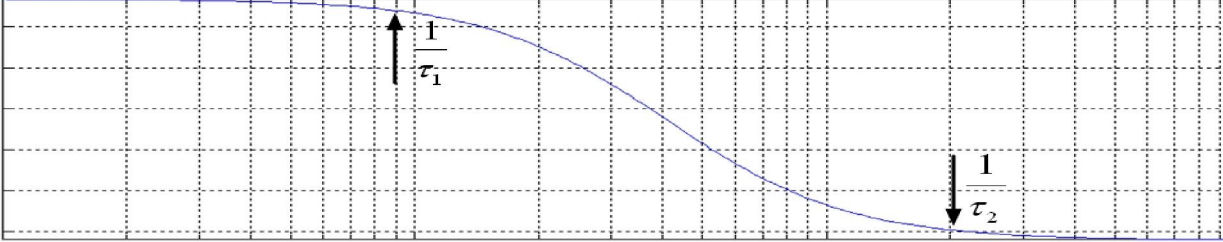
где x, y, z - пространственные координаты; F - функциональный оператор, характеризующий передаточную функцию $H(j\omega)$ геоэлектрического разреза.

Рассматриваемый четырёхполюсник, в свою очередь, можно представить в виде многих параллельно-последовательных четырёхполюсников, называемых элементарными геоэлектрическими моделями [3]. Количество применяемых элементарных геоэлектрических моделей определяется морфологическими особенностями контролируемого объекта.

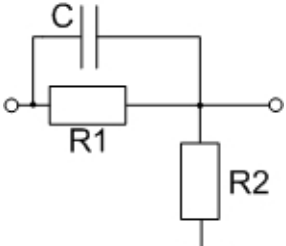

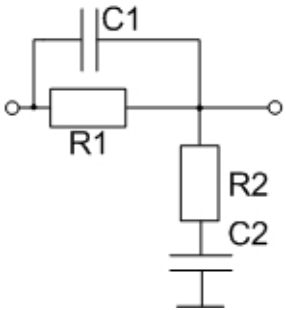
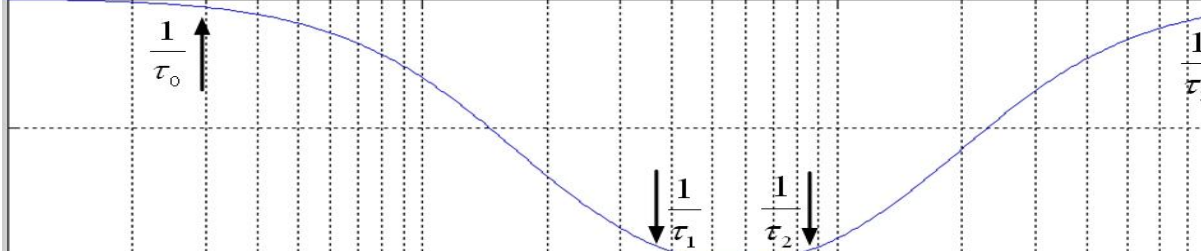
Таким образом, электрической моделью контролируемой геологической среды может служить эквивалентная схема в виде параллельно или последовательно соединённых сопротивлений R и ёмкостей C [5]. В таблице 1 приведены эквивалентные схемы замещения основных встречающихся типов приповерхностных неоднород-

ностей. В результате расчета эквивалентных схем получаются базовые соотношения для передаточных функций и частотные характеристики объектов. Также, в таблице 1 представлены формы амплитудно-частотных характеристик. Стрелочками обозначены начала (окончания) полос пропускания (задерживания).

Таблица 1
Эквивалентные схемы замещения, передаточные функции и амплитудно-частотные характеристики некоторых элементарных геоэлектрических моделей

Эквивалентная схема	Передаточная функция
	$H(s) = \frac{1}{\tau \cdot s + 1}, \quad \tau = R \cdot C$
	
	$H(s) = \frac{\tau \cdot s}{\tau \cdot s + 1}, \quad \tau = R \cdot C$
	
	$H(s) = \frac{\tau_2 \cdot s + 1}{\tau_1 \cdot s + 1}, \quad \tau_2 = R_2 \cdot C$ $\tau_1 = (R_1 + R_2) \cdot C$
	

Продолжение таблицы 1

Эквивалентная схема	Передаточная функция
	$H(s) = \frac{k(\tau_1 \cdot s + 1)}{\tau_2 \cdot s + 1}, \quad \tau_1 = R1 \cdot C$ $\tau_2 = \frac{R1 \cdot R2 \cdot C}{R1 + R2}, \quad k = \frac{R2}{R1 + R2}$
	
	$H(s) = \frac{(\tau_1 \cdot s + 1) \cdot (\tau_2 \cdot s + 1)}{(\tau_0 \cdot s + 1) \cdot (\tau_3 \cdot s + 1)}$ $\tau_1 = R1 \cdot C, \quad \tau_2 = R2 \cdot C$ $\tau_0 = \frac{2 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2}{\tau - \sqrt{\tau^2 - 4 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2}}, \quad \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ $\tau_3 = \frac{\tau - \sqrt{\tau^2 - 4 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2}}{2}$
	

По форме АЧХ и по значения частот среза становится возможным определить центральную частоту электромагнитного зондирования при геодинамическом контроле. Кроме этого, по частотным характеристикам можно судить о типах применяемых элементарных геоэлектрических моделей, соответствующих реальному геодинамическому объекту. Частотные характеристики, в свою очередь, можно определить по переходной характеристике $h(t)$, являющейся реакцией системы на единичное ступенчатое воздействие [1]:

$$H(s) = s \cdot L\{h(t)\} = s \cdot \int_0^{\infty} h(t) e^{-s \cdot t} dt \quad (2)$$

где $h(t)$ – переходная характеристика; $L\{ \}$ – преобразование Лапласа; $s = j \cdot \omega$ – переменная преобразования Лапласа.

Единичное ступенчатое воздействие производится при наладочных на объекте и при периодической диагностике. Качество его генерации и снятия переходной функции определяется возможностями применяемой аппаратуры. По изменению формы частотных характеристик можно судить и о динамике геологической среды.

Следует отметить, что реальный геологический разрез может аппроксимироваться некоторым набором элементарных геоэлектрических моделей. В этом случае к результирующей функции применимы все способы преобразования структурных схем, широко применяемых в теории автоматического управления [1].

Учитывая долговременный характер проведения геодинамического контроля, очевидно, что контролируемый объект испытывает влияние экзогенных и эндогенных факторов, которые необходимо учитывать при обработке поступающей информации. Действие экзогенных факторов весьма разнообразно и подробно рассмотрено в [10]. В тесной взаимосвязи с ними находятся и эндогенные факторы, из которых преимущественно следует выделять гидродинамические и гидрохимические факторы, оказывающие влияние на значения R и C в применяемых моделях. В [9] обоснован циклический характер эндогенных гидрологических воздействий. Т.е. фактически регистрируемыми являются передаточные функции со значениями $\tau'(t) = \tau(t) \times \tau_G(t)$, изменяющимися во времени и являющимися мультипликативными функциями параметров среды $\tau(t)$ и гидрологических влияний $\tau_G(t)$. Влияние эндогенных гидрологических факторов следует компенсировать с использованием специализированных алгоритмов, представленных, например, в [6].

Таким образом, в данной работе построены элементарные геоэлектрические модели основных встречающихся приповерхностных неоднородностей, построены эквивалентные схемы их замещения, рассчитаны их передаточные функции и построены частотные характеристики. Выявлены параметры геоэлектрических моделей, испытывающих влияние эндогенных факторов, а так же характер этого влияния. Предложен способ построения частотных характеристик

реальных геодинамических объектов, по форме которых становится возможным выбирать эквивалентную схему замещения для применяемой модели и центральную частоту для регулярного электромагнитного зондирования.

Литература

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. – ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
2. Кузичкин О.Р., Камшилин А.Н., Калинин Н.Е. Организация системы геоэлектрического мониторинга карста на основе эквипотенциальных электро-разведочных методов // Приборы и системы. Управление, контроль и диагностика, 2007. – №12. – С.48-53.
3. Кузичкин О.Р. Выделение элементарных геоэлектрических неоднородностей спектральным методом // Радиотехника, электроника, информатика. – Вып.3. – Муром: Изд-во МИ ВлГУ, 2004. – С. 18-20.
4. Кузичкин О.Р. Программно-аппаратная организация электролокационных систем при геомониторинге карста // Проектирование и технология электронных средств, 2006. – №4. – С.54-58.
5. Кузичкин О.Р., Кулигин М.Н., Финогенов С.А. Спектральное описание элементарных геоэлектрических моделей карстовых неоднородностей // Методы и средства передачи и обработки информации. – Вып.4. – СПб: Изд-во Гидрометеиздат, 2004.– С. 137-141.
6. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Алгоритм коррекции влияния гидрологической помехи на контроль геодинамических объектов //Алгоритмы, методы и системы обработки данных. Вып. 4 (22). – Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012 – С. 74-78.
7. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Геоэлектрическое моделирование подземных водных объектов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №4 (14), 2012 – С. 16-19.
8. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Информационно-измерительная система для проведения геоэлектрического контроля геодинамических объектов. //Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №2, 2012 – С. 60-62.
9. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Исследование влияния режима подземных вод на контроль геодинамических объектов //Алгоритмы, методы и системы обработки данных. Вып. 3 (21). – Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012 – С. 47-53.
10. Орехов А.А., Кузичкин О.Р. Влияние природных помехообразующих факторов на проведение электромагнитного контроля геодинамических объектов // Радиопромышленность, №2, 2012 – С. 138-147.