

Васильев Г.С., Суржик Д.И., Кузичкин О.Р., Курилов И.А., Харчук С.М.  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования «Белгородский государственный  
 национальный исследовательский университет»  
 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85,  
 E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

### Способ аппроксимации электромагнитного поля неоднородности для математического и натурального моделирования систем геомониторинга

Повышение надежности функционирования автоматизированного электромагнитного контроля геодинимических объектов требует разработки эффективных методов математического моделирования и натуральных испытаний этих систем. Единая система норм и критериев качества систем мониторинга, необходимая для эффективного проектирования таких систем и диагностики их состояния при натуральных испытаниях, в настоящее время отсутствует.

Способы натурального моделирования неоднородностей сложной формы на объемных или плоскостных моделях сред, необходимые для испытаний систем геомониторинга на этапе проектирования или диагностики, обладают низкой технологичностью или точностью; кроме того, внесение изменений в готовые натурные модели представляется крайне затруднительным [1].

Новый способ аппроксимации аномального поля, обусловленного влиянием неоднородности сложной формы, на основе системы приповерхностных и заглублённых электродов, повышает эффективность математического и натурального моделирования различных геоэлектрических разрезов методом мнимых источников (изображений).

Для повышения чувствительности измерительной установки представляется перспективным в первую очередь использовать информацию о фазовой составляющей поля, пренебрегая амплитудной составляющей. Данная идея лежит в основе фазового метода регистрации изотропных и анизотропных приповерхностных слоев [2]. Метод обладает лучшей помехоустойчивостью по сравнению с амплитудным методом, наиболее широко используемым в задачах электромагнитного зондирования и профилирования.

Для эффективной реализации фазового метода необходимо прецизионное и независимое управление амплитудами и фазами отдельных электродов многополюсной установки, которое может быть достигнуто с использованием цифровых вычислительных синтезаторов частот [3]. Значения амплитуд  $I$  и фаз  $\varphi$  токов отдельных излучателей для представления поля конкретной неоднородности необходимо получить из решения многокритериальной задачи минимизации среднеквадратической погрешности

$$\delta(I, \varphi) = \sum_{m=1}^M \left| \dot{U}_m - \tilde{U}_m \right|^2 \rightarrow \min ,$$

где  $I$  и  $\varphi$  – вектора амплитуд и фаз токов излучающих электродов размерностью  $N$ ,  $N$  – число излучающих электродов;  $m$ ,  $M$  – номер и число приемных электродов,  $\dot{U}_m$  – точное значение потенциала в точке  $m$ , полученное на основе решения прямой задачи или в результате натуральных измерений,  $\tilde{U}_m = \frac{\dot{\rho}}{2\pi} \sum_{n=1}^N \frac{\dot{I}_n}{r_{mn}}$  – приближенное значение потенциала, аппроксимированное

системой электродов  $(I, \varphi)$ ,  $\dot{\rho}$  – удельное сопротивление среды натурной модели,  $\dot{I}_n = I_n \exp(j\varphi_n)$  – комплексная амплитуда  $n$ -го излучателя,  $r_{mn} = |\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_n|$  – расстояние между электродами  $m$  и  $n$ ,  $r_m$ ,  $r_n$  – радиус-векторы электродов.

Данный способ является привлекательным инструментом натурального моделирования разрезов, необходимого для испытаний систем геомониторинга на этапе проектирования или диагностики. В отличие от известных способов создания объемных или плоскостных физических моделей сред, новый подход обладает гораздо более высокой технологичностью, а готовая модель разреза может быть легко изменена перемещением электродов, что в испытанных методах недостижимо.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках гранта по конкурсу «УМНИК-Нефтегаз» №133ГУЦЭС8-D3/56254.

### Литература

1. Матвеев Б.К. Электроразведка: Учеб. Для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – С. 276-279.
2. Vasilyev G.S., Kuzichkin O.R., Baknin M.D., Dorofeev N.V., Grecheneva A.V. Results of the modeling of the phase-metric method of the control of the development of suffosion processes // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). – Iss. 5.2. – P. 827-834.
3. Кочемасов В., Голубков А., Егоров Н., Черкашин А., Чугуй А. Цифровые вычислительные синтезаторы – применение в системах синтеза частот и сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. № 8, 2014. – С. 171-179.