

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Российский государственный геологоразведочный университет**  
**имени Серго Орджоникидзе**  
**(МГРИ)**



## **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**XIV Международной  
научно-практической конференции  
"Новые идеи в науках о Земле"**

---

*XIV International Scientific and Practical Conference  
«New Ideas in Earth Sciences»*

### **Том IV**

*«Инновационные и цифровые технологии геологической  
разведки, горного дела, бурения скважин»*

**2-5 апреля 2019 г. | April, 2-5, 2019**

**Москва | Moscow**

УДК 082+[550.8+553](082)  
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

**Новые идеи в науках о Земле : в 7 т. Материалы XIV Международной научно-практической конференции "Новые идеи в науках о Земле" – М. : Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2019.**

ISBN 978-5-6040812-0-4

**Т. 4 : Инновационные и цифровые технологии геологической разведки, горного дела, бурения скважин / ред. коллегия: В.А. Косьянов, В.Ю. Керимов, В.В. Куликов. - М. : Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2019. – 508 с.**

ISBN 978-5-6040812-4-2

УДК 082+[550.8+553](082)  
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

*Мероприятие проведено (проводится) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-05-20025*

ISBN 978-5-6040812-4-2 (т. 4)

ISBN 978-5-6040812-0-4

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2019

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЯ НАКЛОННОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО ПЛАСТА

Гоголева Л.П.\* (Северо-Восточный федеральный университет им.  
М.К. Аммосова, lu.romanova95@mail.ru)

Илларионова М.Г.\* (Северо-Восточный федеральный университет им.  
М.К. Аммосова, millariono@mail.ru)

Ним Ю.А. (Северо-Восточный федеральный университет им.  
М.К. Аммосова, gnrirnpri@mail.ru)

### Аннотация

Приводятся математические модели неустановившегося электромагнитного поля горизонтального электрического диполя в присутствии наклонного электропроводного пласта, аппроксимированного известной полуплоскостью  $S$ . Методом динамического зеркального изображения конструируется инженерно-аналитическая модель становления электромагнитного поля наклонной пластовой геологической структуры.

**Ключевые слова:** математическая модель, становление поля, неустановившееся электромагнитное поле, наклонный пласт, динамическое зеркальное изображение, электрический диполь.

При решении задач зондирования и электропрофилирования становлением электромагнитного поля одним из проблемных вопросов является оценка влияния горизонтально-неоднородных геологических структур [1-6]. Но вследствие существенных сложностей строгого математического решения подобных задач технологические решения базируются в основном на результатах физического моделирования и приближенных оценках. В этой связи в качестве примера целесообразно рассмотреть инженерно-аналитические модели становления поля наклонных пластовых структур. В качестве физико-геометрической модели наклонного пласта рассмотрим известную модель полуплоскости  $S$ , полученную методом зеркальных изображений на базе моделей электродинамических полей вертикального и горизонтального электрических диполей [1,2,4,5].

Приводим одну из компонент математических моделей неустановившегося электромагнитного поля и ее интегральную характеристику наклонного электропроводного пласта применительно к технологии совмещенного варианта метода переходных процессов, по которым рассчитаны искомые значения ЭДС поля (1) и построены графические изображения (рис.1).

$$E_x = \left( \frac{Jdz}{2\pi S} \frac{\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)r^2 - 6\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} + \frac{Jdx}{\mu\pi S^2} \frac{r^2 - \left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} \right) \cos \alpha +$$

$$+ \left( \frac{6Jdz}{\pi S} \frac{\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} - \frac{Jdx}{\mu\pi S^2} \frac{r^2 - \left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} \right) \sin \alpha$$
(1)

где  $\mu$  - магнитная проницаемость,  $Jdz$  - момент вертикального электрического диполя при электропрофилировании наклонного пласта,  $Jdx$  - момент горизонтального электрического диполя при электропрофилировании наклонного пласта,  $S$  - продольная проводимость пласта,  $r$ ,  $\varphi$ ,  $z$  - цилиндрические координаты,

совмещенные с декартовой  $x, y, z$ ,  $t$  – время,  $h$  – расстояние от плоскости  $S$  до источника поля.

Таблица 1. Расчетные значения ЭДС аномального поля в совмещенном варианте над наклонной полуплоскостью  $S$  при углах наклона  $90^\circ, 60^\circ, 30^\circ$

$x$	$t$	$\kappa$	$\mu$	$S$	$90^\circ$	$60^\circ$	$30^\circ$
-10	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-3,7E-07	-3,2E-07	-1,5E-07
-9	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-1,1E-06	-9,1E-07	-4,2E-07
-8	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-3,3E-06	-2,9E-06	-1,3E-06
-7	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-1,2E-05	-1,1E-05	-4,9E-06
-6	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-5,5E-05	-4,8E-05	-2,2E-05
-5	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00031	-0,00027	-0,00013
-4	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00252	-0,00218	-0,00101
-3	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,03239	-0,02805	-0,01295
-2	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,67759	-0,58679	-0,27104
-1	0,0001	3,14	1,26E-06	100	190,9697	165,3798	76,38789
0	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0	0	0
1	0,0001	3,14	1,26E-06	100	190,9697	95,48486	38,19395
2	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,67759	-0,33879	-0,13552
3	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,03239	-0,01619	-0,00648
4	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00252	-0,00126	-0,0005
5	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00031	-0,00016	-6,3E-05
6	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-5,5E-05	-2,7E-05	-1,1E-05
7	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-1,2E-05	-6,2E-06	-2,5E-06
8	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-3,3E-06	-1,7E-06	-6,7E-07
9	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-1,1E-06	-5,3E-07	-2,1E-07
10	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-3,7E-07	-1,9E-07	-7,5E-08

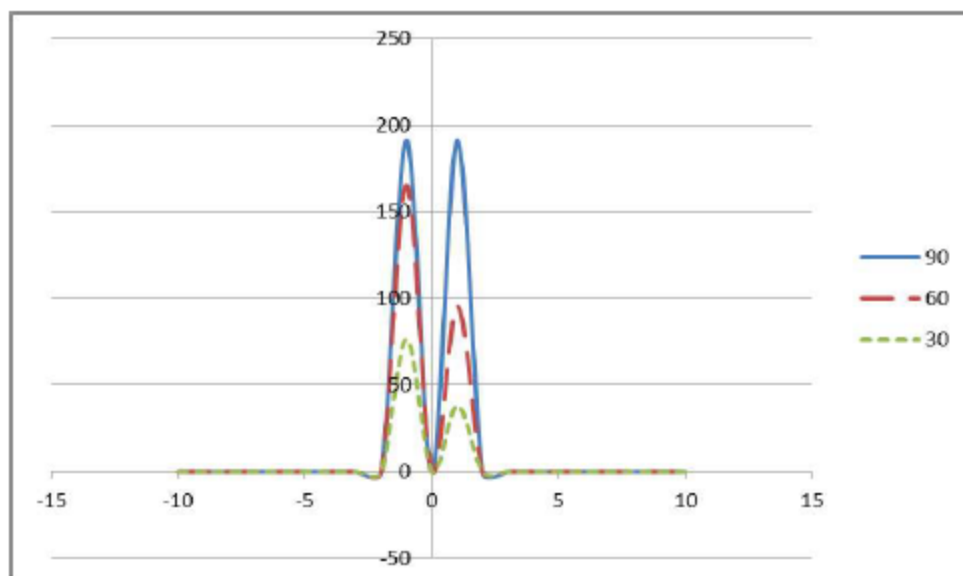


Рисунок 1. Графики ЭДС аномального поля в совмещенном варианте над наклонной полуплоскостью  $S$  при углах наклона  $90^\circ, 60^\circ, 30^\circ$ .

Сформируем математическую модель импульсного потока магнитной индукции наклонного электропроводного пласта в совмещенном варианте. Для этого необходимо развернуть на угол наклона ( $\alpha$ ) воображаемую земную поверхность на этот угол так,

чтобы плоскость S была перпендикулярна и параллельна, соответственно, вертикальному и горизонтальному электрическим диполям. Тогда в новых координатах  $(x_1, y_1, z_1)$  находим импульсное электромагнитное поле вертикального и горизонтального электрических диполей. Определив магнитные потоки, возбуждаемые вертикальным и горизонтальным возбудителями плоскости S в новых координатах, преобразуем их для наклонного положения пласта, возвращаясь к исходным координатам, согласно правил сложения векторов. На рис. 2 приведены графики горизонтальной компоненты импульсного потока магнитной индукции  $\Phi_x$ , рассчитанные по формуле (2).

$$\Phi_x = \left( \frac{JdzR}{2} \frac{r^2 - 2\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} + \frac{JdxR}{S} \frac{\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} \right) \cos \alpha + \left( -\frac{\mu Jdz}{2} \frac{1}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2 + r^2\right]^{3/2}} - \frac{Jdx}{2\pi S} \frac{\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2 + r^2\right]^{3/2}} \right) \sin \alpha \quad (2)$$

где  $\mu$  - магнитная проницаемость,  $Jdz$  - момент вертикального электрического диполя при электропрофилеировании наклонного пласта,  $Jdx$  - момент горизонтального электрического диполя при электропрофилеировании наклонного пласта, S - продольная проводимость пласта, r,  $\varphi$ , z - цилиндрические координаты, совмещенные с декартовой x, y, z, t - время, h - расстояние от плоскости S до источника поля,  $\Phi_x$  - горизонтальная компонента потока магнитной индукции, R - контур, пронизываемый магнитным потоком.

Таблица 2. Расчетные значения импульсного потока магнитной индукции  $\Phi_x$  при профилировании электропроводного пласта S в совмещенном варианте.

x	t	$\pi$	$\mu$	S	90°	60°	30°
-10	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,000222	0,000193	8,9E-05
-9	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-8,3E-05	-7,2E-05	-3,3E-05
-8	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00022	-0,00019	-8,7E-05
-7	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00017	-0,00015	-6,9E-05
-6	0,0001	3,14	1,26E-06	100	6,78E-05	5,87E-05	2,71E-05
-5	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,000525	0,000455	0,00021
-4	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,001236	0,001071	0,000495
-3	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,002259	0,001956	0,000904
-2	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,003684	0,00319	0,001473
-1	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,005657	0,004899	0,002263
0	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0	0	0
1	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,005657	0,002828	0,001131
2	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,003684	0,001842	0,000737
3	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,002259	0,001129	0,000452
4	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,001236	0,000618	0,000247
5	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,000525	0,000263	0,000105
6	0,0001	3,14	1,26E-06	100	6,78E-05	3,39E-05	1,36E-05
7	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00017	-8,6E-05	-3,4E-05
8	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00022	-0,00011	-4,3E-05
9	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-8,3E-05	-4,1E-05	-1,7E-05
10	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,000222	0,000111	4,45E-05

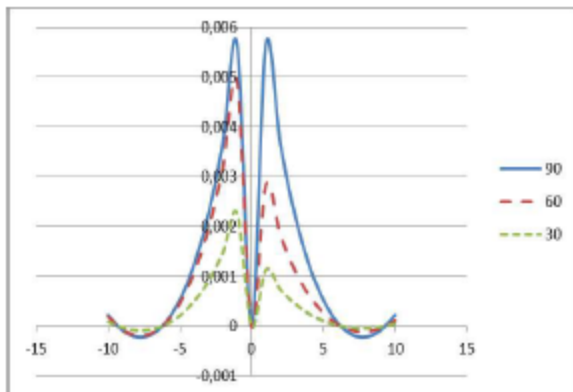


Рисунок 2. Графики импульсного потока магнитной индукции  $\Phi$ , при профилировании электропроводного пласта  $S$  в совмещенном варианте, залегающего под углом  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $30^\circ$ .

Анализ полученных результатов не противоречит подобным «родственным» технологиям совмещенного электромагнитного профилирования [1].

#### Литература

1. Давыдов В.Н. Электромагнитное поле наклонного электрического диполя // В кн.: Электромагнитное поле в геофизических методах исследования. – М.: Наука, 1970. – С. 52-61
2. Зондирование становлением поля в ближней зоне. М.: Недра. 1976. – 102 с.
3. Ивочкин В.Г., Нахабцев А.С. Учет влияния рельефа в виде наклонной плоскости при электромагнитном профилировании. Л.: Вопросы геофизики. Вып. 17. 1967. №333. – С. 57-87
4. Ним Ю.А., Романова Л.П., Илларионова М.Г. Экспериментально-численное формирование математических моделей неустановившегося электромагнитного поля крутопадающего тонкого проводящего пласта // Разведка и охрана недр. 2015. №11. С. 22-27.
5. Ним Ю.А., Илларионова М.Г., Гоголева Л.П. Математическое моделирование импульсного электромагнитного поля вертикального электропроводного пласта и ее интегральной характеристики при его измерении совмещенными электрическими диполями. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», Том II. Якутск, ИМЗ СО РАН. 2018. – С. 131-134.
6. Электроразведка методами ЗСБ и МПП при поисках нефтегазовых и глубокозалегающих рудных месторождений Сибири. Сб. науч. тр. – Новосибирск, СНИИГГиМС. 1989. – 143 с.