

отриманих виразів аномального магнітного поля над антиклінальними структурами.

3. Розробка методу геологічної інтерпретації аномальних графіків, на наш погляд, має базуватися ви-

ключно на математичних прийомах для розв'язку оберненої задачі магніторозвідки. Такий підхід дозволяє створити автоматизовану інтерпретацію в класі антиклінальних [3].

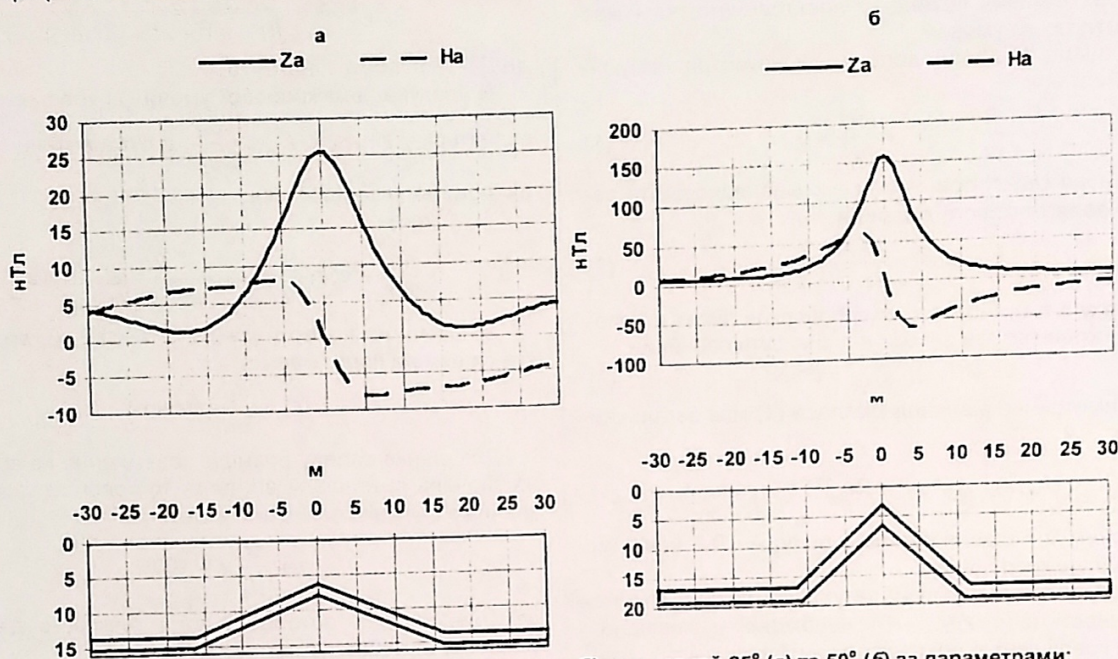


Рис. 2. Антиклінальна модель з кутом нахилу бічних граней 25° (а) та 50° (б) за параметрами: $a/b = 1$, $l/h_c = 0,9$, $b/h_c = 0,3$, $\beta = 90^\circ$, $2b = 6$ м, $2l = 18$ м, $h_c = 10$ м, та $J = 1$ А/м

1. Азімов О.Т. Аналітичний розрахунок аномалій магнітного поля від покладів нафти і газу // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2006. – № 38–39.
2. Гришук П.І. Прямые задачи магнитометрии в классе горизонтальных многогранников // Теоретические и практические проблемы интерпретации потенциальных полей: Сб. статей междунар. конф., Киев, 21–22 окт. 2004 г. – К., 2004. 3. Гура К.О., Гришук П.І. Інтерпретація магнітних аномалій в автоматизованому режимі. Навчальний посібник. – К., 2000.
4. Колюбякин В.В., Лапина М.И. Обзор способов решения прямой и обратной задач магнитной разведки. – М., 1960. 5. Логачов А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. – Л., 1979. 6. Юньков А.А. Интерпретация гравитаци-

онных магнитных аномалий над куполообразными структурами. – М., 1970. 7. Юньков А.А. Интерпретация магнитных и гравитационных аномалий над куполообразными структурами. – М., 1962. 8. Якимчук М.А., Левашов С.П., Корчагин Г.М. Аппроксимация изолированных джерел та шарувато-блокових розрізів в алгоритмах автоматизованого підбору гравітаційних і магнітних полів // Геонформатика – 2002. – № 1. 9. Singh B., Gupthasarma D. New method for fast computation of gravity and magnetic anomalies from arbitrary polyhedra // Geophysics. – 2001. – Vol. 41.

Надійшла до редколегії 05.09.06

УДК 550.837

М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, І. Онищук, канд. геол. наук, В. Онищук, студ.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЗАЗЕМЛЕНЬ ПОЛЬОВОЇ УСТАНОВКИ МІКРОЕЛЕКТРОЗОНДУВАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ ПОТЕНЦІАЛУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Наведено результати розрахунків впливу геометричних параметрів заземлень польової установки мікроелектрозондування та рекомендації із забезпечення їх оптимальних розмірів.

The result of calculations of the geometric parameters influence of the microelectrosonding and recommendations for their optimal sizes.

Вступ. Особливістю верхньої частини геологічного середовища, що зазнає значних техногенних навантажень, є яскраво виражена залежність всіх його характеристик від координат точок спостережень: властивості та стан ґрунтів і гірських порід верхньої частини розрізу (ВЧР) помітно змінюються від точки до точки як по латералі, так і по вертикалі. Різко змінюється у просторі поведінка різних геофізичних полів.

Вирішення поставлених задач вимагає нестандартних підходів до методики польових робіт, застосування нових методів тощо [1–5]. Тому технологія стандартних польових геоелектричних досліджень потребує модифікації та значної адаптації їх до задач вивчення ВЧР, а також врахування цілого ряду факторів, пов'язаних з геометричними характеристиками заземлень мікроустановок. При дослідженні верхньої частини геоелектричного розрізу за допомогою мікроелектрозондування

(МЕЗ) надзвичайно важливе значення має питання впливу поперечних розмірів та глибини заземлень на виміри потенціалів електричного поля на денній поверхні при початкових малих розмірах лінії живлення АВ. Йдеться про відмінність вимірюваного потенціалу від потенціалу точкового джерела, поле якого реально використовується в теорії методів опору. Спробуємо дослідити ці питання детальніше.

Вплив поперечних розмірів заземлень. Для оцінки впливу поперечних розмірів заземлення живлення розглянемо задачу про електричне поле дискового електрода на поверхні однорідного провідного напівпростору. Припустимо, що на поверхні однорідного провідного напівпростору розташоване дискове заземлення радіусом r_0 . З його поверхні в однорідний напівпростір з питомим електричним опором ρ збігає електричний струм сили I . Ставиться задача знайти потенціал елек-

тричного поля в довільній точці нижнього напівпростору, включаючи точки землі.

Розв'язок поставленої задачі виконується в циліндричній системі координат (r, φ, z) з початком у центрі електрода. Шуканий потенціал електричного поля має відповідати таким умовам:

Потенціал $U(r, z)$ задовольняє вісесиметричному рівнянню Лапласа:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

Потенціал $U(r, z)$ при $r \rightarrow \infty, z \rightarrow \infty$ має відповідати потенціалу поля точкового джерела:

$$U(r, z) = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}}. \quad (2)$$

У зв'язку з тим, що контактна поверхня диска є ізопверхнею, потенціал при $z = 0$ і $r < r_0$ має бути постійним:

$$U(r, z)|_{z=0, r < r_0} = \text{const}. \quad (3)$$

Вісесиметричне рівняння Лапласа (1) має загальний розв'язок:

$$U(r, z) = \int_0^\infty (Ae^{-mz} + Be^{-mz}) J_0(mr) dm, \quad (4)$$

де J_0 – функція Бесселя першого роду; A і B – невідомі функціональні коефіцієнти.

Для задоволення умови згасання потенціалу на нескінченності $(U(r, z)|_{z \rightarrow \infty} \rightarrow 0)$ необхідно у співвідношенні (4) коефіцієнт A покласти рівним нулю ($A=0$). Тоді для випадку однорідного напівпростору загальний розв'язок буде:

$$U(r, z) = \int_0^\infty B(m) e^{-mz} J_0(mr) dm, \quad (5)$$

де $B(m)$ – невідомий функціональний коефіцієнт.

Зазначеним умовам (2, 3) відповідає інтеграл Фур'є – Бесселя [6]:

$$B_0 \int_0^\infty \frac{\sin mr_0}{m} e^{-mz} J_0(mr) dm = B_0 \arcsin \frac{2r_0}{\sqrt{(r-r_0)^2 + z^2} + \sqrt{(r+r_0)^2 + z^2}} \quad (6)$$

де B_0 – невідома константа.

З урахуванням крайової умови (2) коефіцієнт B_0 ви-

значиться у вигляді: $B_0 = \frac{I\rho}{2\pi r_0}$, а отже потенціал електричного поля запишеться:

$$U(r, z) = \frac{I\rho}{2\pi r_0} \arcsin \frac{2r_0}{\sqrt{(r-r_0)^2 + z^2} + \sqrt{(r+r_0)^2 + z^2}}. \quad (7)$$

Зокрема, на поверхні землі ($z = 0, r > r_0$), де виконуються виміри поля, маємо:

$$U(r) = \frac{I\rho}{2\pi r_0} \arcsin \frac{r_0}{r}. \quad (8)$$

Для оцінки впливу розмірів заземлення на відхилення значень потенціалу від поля точкового джерела визначимо функцію похибки σ у вигляді:

$$\sigma = \left| \frac{U}{U_0} - 1 \right| \cdot 100\%, \quad (9)$$

де $U_0 = I\rho / 2\pi r$ – потенціал поля точкового джерела. У явному вигляді функція запишеться:

$$\sigma = \left| \frac{r}{r_0} \arcsin \frac{r_0}{r} - 1 \right| \cdot 100\%. \quad (10)$$

У табл. 1 представлені значення похибки, а на рис. 1 – графік залежності похибки σ від відносних розмірів радіуса дискового електрода r_0 / r .

Таблиця 1. Значення похибки σ та відносних розмірів радіуса дискового електрода r_0/r

r_0/r	$\sigma, \%$	r_0/r	$\sigma, \%$	r_0/r	$\sigma, \%$	r_0/r	$\sigma, \%$	r_0/r	$\sigma, \%$	r_0/r	$\sigma, \%$
0	0	0,12	0,242	0,2	0,679	0,28	1,36	0,42	3,2	0,58	6,68
0,01	0,0017	0,14	0,33	0,22	0,825	0,3	1,56	0,46	3,91	0,62	7,86
0,02	0,0067	0,16	0,432	0,24	0,986	0,34	2,034	0,5	4,72	0,66	9,21
0,1	0,167	0,18	0,548	0,26	1,16	0,38	2,58	0,54	5,64	0,7	10,77

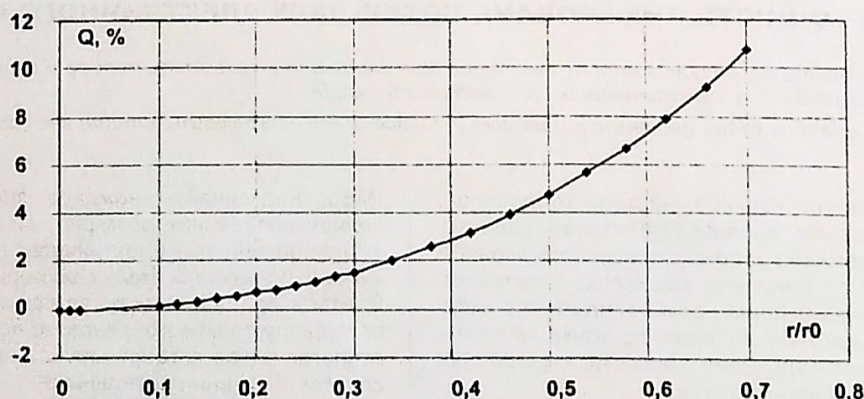


Рис. 1. Графік залежності функції похибки (σ) від відносних розмірів дискового електрода (r_0/r)

Вплив глибини занурення заземлень. Для оцінки впливу глибини заземлень розглянемо задачу про електричне поле стрижневого електрода на поверхні однорідного провідного напівпростору.

Припустимо, що на поверхні однорідного провідного напівпростору з питомим опором ρ забитий стрижневий електрод на глибину h , з якого у напівпростір збігає

струм силою I . Визначимо потенціал електричного поля, що створюється таким джерелом, використовуючи циліндричну систему координат (r, φ, z) з початком у точці, розташованій на денній поверхні ($z = 0$) на осі стрижня. Для цього кожний лінійний елемент електрода живлення dz_0 з координатою z_0 будемо розглядати як точкове джерело інтенсивності $I dz_0 / h$, що створює в

довільній точці $M(r, \varphi, z)$ напівпростору елементарний потенціал dU , який з урахуванням осової симетрії (незалежності від кута φ) виражається рівнянням:

$$dU = \frac{I\rho dz_0}{2\pi h} \times \frac{1}{\sqrt{(z_0 - z)^2 + r^2}}. \quad (11)$$

Потенціал електричного поля всього зануреного електрода живлення визначимо шляхом інтегрування (11) у межах від 0 до h :

$$\begin{aligned} U(r, z) &= \frac{I\rho}{2\pi h} \int_0^h \frac{dz_0}{\sqrt{(z_0 - z)^2 + r^2}} = \\ &= \frac{I\rho}{2\pi h} \ln \left(z_0 - z + \sqrt{(z_0 - z)^2 + r^2} \right) \Big|_0^h = \\ &= \frac{I\rho}{2\pi h} \ln \frac{\sqrt{(h - z)^2 + r^2} + h - z}{\sqrt{z^2 + r^2} - z}. \end{aligned} \quad (12)$$

Вимірюваний потенціал на поверхні землі ($z = 0$) вирається:

$$U(r) = \frac{I\rho}{2\pi h} \ln \left(\frac{\sqrt{h^2 + r^2} + h}{r} \right). \quad (13)$$

Відхилення δ потенціалу поля точкового джерела U_0 від потенціалу поля заземленої шпильки визначимо у вигляді:

$$\delta = (U_0 - U) / U_0 \cdot 100\% = (1 - U / U_0) \cdot 100\%. \quad (14)$$

Зважаючи на те, що $U_0 = I\rho / (2\pi)$, маємо:

$$\delta = \left[1 - \frac{r}{h} \ln \left(\sqrt{1 + \frac{h^2}{r^2}} + \frac{h}{r} \right) \right] \cdot 100\%. \quad (15)$$

Аналіз співвідношення (14) свідчить, що коли $h/r \rightarrow 0$ (глибина занурення електрода мала), то відмінність потенціалу поля стрижневого електрода від потенціалу точкового джерела є досить малою:

$$\delta_{h/r \rightarrow 0} = \frac{1}{6} \frac{h^2}{r^2} \cdot 100\%, \quad (16)$$

а при $h/r \rightarrow \infty$ (занурення стрижневого заземлення відносно відстані r до точки виміру значне) потенціал поля стрижневого заземлення є суттєво меншим потенціалу поля точкового джерела (відхилення δ досягає 100 %):

$$\delta = \left[1 - \frac{r}{h} \ln 2 \frac{h}{r} \right] \cdot 100\% \approx 100\%. \quad (17)$$

У табл. 2 наведено результати розрахунку відхилення δ , а на рис. 2 – відповідний характер залежності відхилення δ від відносної глибини занурення електрода h/r .

Таблиця 2. Залежність відхилення δ від відносної глибини занурення електрода h/r

h/r	δ (%)	h/r	δ (%)	h/r	δ (%)	h/r	δ (%)	h/r	δ (%)	h/r	δ (%)
0,1	0,166	0,25	1,013	0,4	2,491	0,6	5,196	0,8	8,416	1,2	15,34
0,15	0,371	0,275	1,219	0,45	3,1	0,65	5,965	0,9	10,13	1,3	17,04
0,2	0,655	0,3	1,442	0,5	3,758	0,7	6,762	1	11,86	1,4	18,72
0,225	0,825	0,35	1,937	0,55	4,458	0,75	7,58	1,1	13,6	1,5	20,35

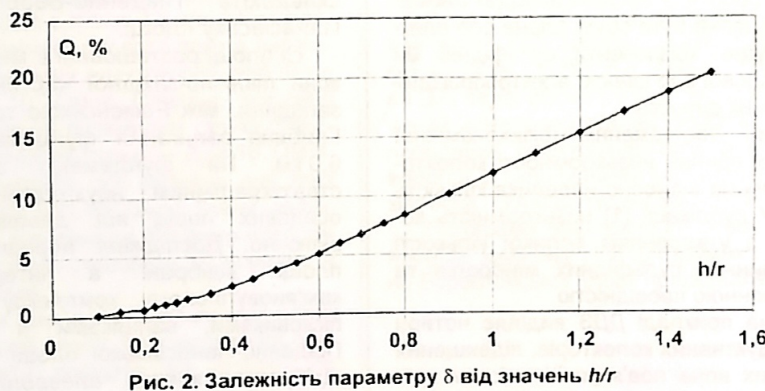


Рис. 2. Залежність параметру δ від значень h/r

Висновки.

1. Аналіз графіка (рис. 1) показує, що відхилення потенціалу поля дискового заземлення від потенціалу точкового джерела на рівні $< 5\%$ досягається при поперечних розмірах електрода $r_0/r = 0,5$, а 1% – при відносних розмірах електрода живлення $r_0/r = 0,24$. Це означає, що при $AB = 0,3$ м, $MN = 0,1$ м відмічені похибки вимірювань досягаються при збудженні електричного поля електродами з радіусами меншими 5,2 і 2,4 см відповідно, що безперечно було реалізовано при виконанні мікроелектрозондувань. На практиці, як правило, застосовуються електроди діаметром 1,5 см, що викликає відхилення вимірюваного потенціалу від потенціалу точкового джерела в межах 0,15 %.

2. Розрахунки свідчать про те, що при співвідношенні глибини занурення електрода (h) до відстані (r) від точки виміру $h/r < 0,58$ відхилення реального поля від потенціалу точкового джерела становить менше 5 %. Отже, поля точкового джерела становить менше 5 %. Отже, при початкових розносах установки МЕЗ $AB = 0,3$ м і $MN = 0,1$ м (ближній приймальний електрод міститься

на відстані 0,1 м від електрода живлення) глибина занурення електрода у ґрунт не має перевищувати 5 см. При глибині занурення $h < 3,5$ см відповідність реального поля полю точкового джерела зростає (відносна похибка зменшується до 1,8 %). Ці особливості необхідно також враховувати при виконанні мікроелектрозондувань, особливо при відпрацюванні малих початкових розносів установки МЕЗ.

1. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. – К., 2004. 2. Вижва С.А., Онищук І.І., Безродний Д.А. Екогеофізичний моніторинг міських агломерацій // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2003. – № 25. 3. Онищук І.І. Геоелектричне вивчення підтоплення центральної частини Національного комплексу "Експоцентр України" // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2002. – № 21. 4. Онищук І.І. Застосування екогеофізичних досліджень при вивченні підтоплених ґрунтів // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2001. – Вип. 20. 5. Онищук І.І., Рева М.В. Принципи геофізичного картування стану земель // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – № 29–30. 6. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.Н. Интегралы и ряды. – М., 1983.

Надійшла до редколегії 27.09.06