УДК 550.831

Р. Міненко, магістр,
E-mail: maestozo.1_pavel@mail.ru,
П. Міненко, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
Криворізький національний університет,
пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, 50086, Україна

ОБЕРНЕНІ ЛІНІЙНІ ЗАДАЧІ ГРАВІМЕТРІЇ ТА МАГНІТОМЕТРІЇ З УТОЧНЮЮЧИМИ ІТЕРАЦІЙНИМИ ПОПРАВКАМИ ВИЩОГО ПОРЯДКУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, І.М. Корчагіним)

Ціль роботи полягає в створенні методів рішення обернених задач гравіметрії й магнітометрії з ітераційними поправками вищих порядків для того, щоб одержувати коректні й змістовні геологічні результати інтерпретації фізичних полів.

Відомі ітераційні методи для рішення лінійних обернених задач гравіметрії на основі комбінації декількох типів ітераційних поправок до параметрів. Обернені задачі гравіметрії й магнітометрії сильно некоректні, зокрема, тому що різні критерії оптимізації дають різні рішення, і вони можуть бути істотно різними в деяких областях інтерпретаційної моделі. Деякі методи створені для того, щоб вирішити лінійні обернені задачі гравіметрії й магнітометрії в умовах гаусівського розподілу помилок, і це пов'язано зі структурною проблемою в пошуках й розвідці рудних тіл і покладів вуглеводнів. Відомі методи, які розвинені для того, щоб вирішувати лінійні обернені задачі гравіметрії й магнітометрії, використовуючи ітераційні поправки, і вони використовують весь набір нев'язок між вимірюваними й розрахунковими даними про фізичні поля. Але, негаусівські розподіли погрішностей виміру полів, разом з недоліками існуючих методів рішення обернених задач, дають низький відсоток збіжності ітераційного процесу до істинного рішення оберненої задачі. Окрім того, вони створюють труднощі для доступу до закінченого рішення, і, таким чином, зменшують геологічну змістовність рішення оберненої задачі. У роботі представлені методи, які збільшують геологічну змістовність рішень обернених задач за допомогою ітераційних поправок більш високих порядків до відомих ітераційних формул і до формул критеріїв оптимізації. При цьому поправки розділяються на два напрямки: по напрямку нев'язок поля та по напрямку поправок до щільності блоків моделі геологічного масиву. Кожна поправка по напрямку нев'язок поля формує додаткову уточнюючу поправку на один порядок вище по напрямку поправок до щільності та навпаки. Але кожна із цих поправок може використовуватися як самостійно в будь-якій ітераційній формулі, так і разом з іншими поправками тільки одного напрямку. Найбільш ефективно відновлюють поле ітераційні формули з трьома поправками разом першого, другого та третього порядку одного напрямку та окремо з трьома поправками іншого напрямку разом в одній ітераційній формулі. Кожен критерій оптимізації для такої формули має набір усіх поправок на два порядки вище.

Ключові слова: гравіметрія, магнітометрія, обернена задача, ітераційний метод, ітераційна поправка, критерій оптимізації поправки, порядок поправки

Постановка проблеми в загальному виді і її зв'язок з важливими науковими або практичними задачами. Обернені задачі гравіметрії й магнітометрії є некоректними, зокрема, через те, що з різними критеріями оптимізації одержуються різні рішення, а на окремих ділянках інтерпретаційної моделі вони можуть бути й істотно різними [1].

Аналіз останніх досягнень і публікацій, у яких закладене рішення даної проблеми й на які опирається автор. Для рішення структурних задач із метою пошуків рудної сировини й вуглеводнів розроблені методи рішення обернених лінійних задач гравіметрії й магнітометрії на тлі гауссових похибок ітераційними методами умовної й безумовної оптимізації [2]. Розроблено стійкі ітераційні методи рішення обернених лінійних і нелінійних задач гравіметрії й магнітометрії із застосуванням ітераційних поправок [3], у тому числі й уточнюючих [4], що містять весь масив нев'язок поля попередньої ітерації для коректування рішення на наступній ітерації.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячена дана стаття. При негауссових похибках обернені задачі, що вирішуються з використанням тільки одного ітераційного коефіцієнта для параметрів одного типу всіх геологічних блоків [5], мають обмежену гнучкість методу для досягнення однозначного рішення. Крім того, недоліками існуючих методів є низька швидкість збіжності ітераційного процесу до будь-якого рішення оберненої задачі, і, більше того, труднощі з виходом на кінцеве рішення. Це обумовлено більше швидкою появою еквівалентного рішення для блоків з високою аномальною щільністю. Через такі недоліки знижується геологічна змістовність рішення оберненої задачі. Спроба поліпшити рішення оберненої задачі, за допомогою введення уточненої формули основної ітераційної поправки [4], вихід на більш точне рішення оберненої задачі не забезпечує.

Формулювання цілей статті. Метою цієї роботи є створення ітераційного методу з більш високою швидкістю збіжності за рахунок уточнюючих поправок більш високого порядку до відомих ітераційних поправок і підвищення на цій основі геологічної змістовності рішення оберненої задачі.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Поставлена мета досягається тим, що на кожної наступній ($n+1$-ій) ітерації у відомих ітераційних методах рішення оберненої задачі *в ітераційній формулі*

$$\sigma_{i,n+1} = \sigma_{i,n} - \tau_{n+1} B_{i,p,n}; \tag{1}$$

τ_{n+1}, $B_{i,p,n}$ – ітераційний коефіцієнт і загальна ітераційна поправка, що обчислюються після кожної попередньої (n-ої) ітерації з урахуванням наближеного значення невідомого параметра $\sigma_{i,n} (i = \overline{1,M})$ кожного і-*того* блоку з M блоків сіткової моделі середовища, отриманого на n-ій ітерації, *використовують* апроксимацію другого доданка з (1) лінійними багаточленами першого порядку (хоча можливо його розкладання в ряди й по інших функціях):

$$\tau_{n+1} B_{i,p,n} = (M_{i,m,n}, \tau_{m,n+1}); \; m = \overline{1,h}; \tag{2}$$

де $M_{i,m,n}$ – поправки першого й більш високих порядків $m = \overline{1,p}$, одержувані послідовно з формул, починаючи з (1) при $p=1$; $\tau_{m,n+1}$ – ітераційний коефіцієнт для кожної ітераційної поправки

$$B_{i,1,n} = M_{i,1,n} = (a_{i,j} / \lambda_i, r_{j,n}); \tag{3}$$

– поправка 1-го порядку для щільності

$$\lambda_i = 2\sum_j a_{ij}\lambda_j; \;\; \lambda_j = \sum_i a_{ij}; \forall a_{ij} > 0; \tag{4}$$

$$\lambda_i = 2\sum_j |a_{ij}|\lambda_j; \;\; \lambda_j = \sum_i |a_{ij}|; \forall a_{ij} \in R(i,j); \tag{5}$$

$a_{i,j}$ – елементи матриці рішень прямої задачі гравіметрії (або магнітометрії) для прямокутного паралелепіпеда при одиничній аномальній щільності $\sigma_{i,n}$ (або інтенсивності намагнічування $J_{i,n}$) гірських порід, що представляють собою елементи зв'язку в системі лінійних алгебраїчних рівнянь між кожною j-*тою* точкою з *N* точок карти вимірюваного поля $g_j (j = 1,N)$ й аномальною щільністю (АЩ) кожного i-*того* блоку сіткової моделі середовища при рішенні оберненої лінійної задачі;

$$r_{j,n} = (a_{i,j}, \sigma_{i,n}) - g_j \quad (6)$$

– нев'язка поля на попередній ітерації; Множачи скалярно (1) на $a_{i,j}$ й віднімаючи з лівої й правої частин g_j, з урахуванням (6) одержимо ітераційну формулу для нев'язки поля на наступній ітерації:

$$r_{j,n+1} = r_{j,n} - \tau_{n+1} Z_{j,p,n}; \quad (7)$$

де

$$\tau_{n+1} Z_{j,p,n} = (a_{ij}, \tau_{n+1} B_{i,p,n}) \quad (8)$$

– ітераційна поправка 1-го порядку для нев'язки поля на следуючій ітерації. При *p=1* одержимо

$$r_{j,n+1} = r_{j,n} - \tau_{n+1} Z_{j,1,n}; \; Z_{j,1,n} = (a_{ij}, B_{i,1,n}); \quad (9)$$

Множачи скалярно (9) на $a_{i,j} / \lambda_i$, маємо ітераційну формулу для поправки 1-го порядку до $\sigma_{i,n}$:

$$B_{i,1,n+1} = B_{i,1,n} - \tau_{n+1} C_{i,1,n}; \quad (10)$$

де

$$C_{i,1,n} = (a_{ij}, Z_{j,1,n}) \quad (11)$$

– ітераційна поправка1-го порядку до поправки $B_{i,1,n}$ або 2-го порядку до щільності $\sigma_{i,n}$ на наступній ітерації.

Множачи скалярно (10) на $a_{i,j}$ одержимо ітераційну формулу для поправки 1-го порядку до нев'язки поля на наступній ітерації:

$$Z_{j,1,n+1} = Z_{j,1,n} - \tau_{n+1} D_{j,1,n}; \quad (12)$$

де

$$D_{j,1,n} = (a_{ij}, C_{i,1,n}) \quad (13)$$

– ітераційна поправка1-го порядку до поправки $Z_{j,1,n}$ або 2-го порядку до нев'язки $r_{j,n}$ на наступній ітерації.

Далі, множачи скалярно (12) на $a_{i,j} / \lambda_i$, одержимо ітераційну формулу для поправки 1-го порядку до поправки $B_{i,1,n}$ або для поправки 2-го порядку до $\sigma_{i,n}$:

$$C_{i,1,n+1} = C_{i,1,n} - \tau_{n+1} E_{i,1,n}; \quad (14)$$

де

$$E_{i,1,n} = (a_{ij} / \lambda_i, D_{j,1,n}) \quad (15)$$

– ітераційна поправка1-го порядку до поправки $C_{i,1,n}$ або 3-го порядку до щільності $\sigma_{i,n}$ на наступній ітерації.

Множачи скалярно (14) на $a_{i,j}$, одержимо поправку 1-го порядку до поправки $Z_{j,1,n}$ або 2-го порядку до нев'язки поля на наступній ітерації:

$$D_{j,n+1} = D_{j,n} - \tau_{n+1} F_{j,1,n}; \quad (16)$$

де

$$F_{j,1,n} = (a_{ij}, E_{i,1,n}) \quad (17)$$

– ітераційна поправка1-го порядку до поправки $D_{j,1,n}$ або 3-го порядку до нев'язки $r_{j,n}$ на наступній ітерації.

Далі, множачи скалярно (16) на $a_{i,j} / \lambda_i$, одержимо ітераційну формулу для поправки 1-го порядку до поправки $C_{i,1,n}$ або для поправки 3-го порядки до $\sigma_{i,n}$:

$$E_{i,1,n+1} = E_{i,1,n} - \tau_{n+1} K_{i,1,n}; \quad (18)$$

де

$$K_{i,1,n} = (a_{ij} / \lambda_i, F_{j,1,n}) \quad (19)$$

– ітераційна поправка1-го порядку до поправки $E_{i,1,n}$ або 4-го порядку до щільності $\sigma_{i,n}$ на наступній ітерації.

Набір поправок можна продовжити, утворюючи пари поправок ($P_{j,1,n}$, $S_{i,1,n}$) і т.д.

Критерій безумовної оптимізації виберемо як по нев'язці поля, так і по поправках до параметрів [4]. Утворимо формули нев'язок і поправок до щільності на n+1-ій ітерації для методу (1)-(11):

$$r_{j,n+1} = (a_{i,j}, \sigma_{i,n+1}) - g_j = (a_{i,j}, \sigma_{i,n} - \sum_{m=1}^{m=p} \tau_{m,n+1} M_{m,n,i}) - g_j; \quad (20)$$

$$M_{m,n+1,i} = (r_{j,n+1}, a_{i,j} / \lambda_i) =$$

$$= (a_{i,j} / \lambda_i, (a_{i',j}, \sigma_{i',n} - \sum_{m=1}^{m=p} \tau_{m,n+1} M_{m,n,i'}) - g_j); \quad (21)$$

Складемо критерії оптимізації

$$F_r = \sum_j r_{j,n+1}^2 = \min; \quad F_M = \sum_i M_{i,m,n}^2 = \min; \quad (22)$$

Візьмемо частковы похідні від (22) по кожному ітераційному коефіцієнту, прирівняємо їх нулю й одержимо системи рівнянь у загальному вигляді для обчислення всіх $\tau_{m,n+1}$.

$$(F_r)'_{\tau_{m',n+1}} \Rightarrow \sum_j (a_{i,j}, (\sigma_{i,n} - \sum_{m=1}^{m=p} \tau_{m,n+1} M_{i,m,n}) - g_j)(a_{i,j}, M_{i,m',n}) = 0;$$

$$(F_M)'_{\tau_{m',n+1}} \Rightarrow \sum_i (a_{i,j} / \lambda_i, (a_{i,j}, (\sigma_{i,n} -$$

$$- \sum_{m=1}^{m=p} \tau_{m,n+1} M_{i,m,n}) - g_j)) \; (a_{i,j}, M_{i,m',n}) a_{i,j} / \lambda_i = 0; \quad (23)$$

На практиці зручніше користуватися позначеннями поправок, наведеними в (7)-(19), де літери *B,C,E,K,S* і, аналогічно, *Z,D,F,P,V* відповідають номерам порядку *m* =1,2,3,4,5 у загальному позначенні $M_{i,m,n}$. Приведемо кілька прикладів оптимізації рішення обернених задач, у яких для простоти частину індексів опустимо:

$$(B,B) = (B - \tau_{1,n+1} C - \tau_{2,n+1} E - \tau_{3,n+1} K)^2 = \min; \quad (24)$$

$$(B,B) = (B - \tau_{1,n+1} C - \tau_{2,n+1} E)^2 = \min; \quad (25)$$

$$(C,C) = (C - \tau_{1,n+1} E - \tau_{2,n+1} K - \tau_{3,n+1} S)^2 = \min; \quad (26)$$

$$(C,C) = (C - \tau_{1,n+1} E - \tau_{2,n+1} K)^2 = \min; \quad (27)$$

$$(E,E) = (E - \tau_{2,n+1} K - \tau_{3,n+1} S)^2 = \min; \quad (28)$$

$$(E,E) = (E - \tau_{2,n+1} K)^2 = \min; \text{ і т.д.} \quad (29)$$

Для останнього критерію одержимо ітераційний коефіцієнт

$$\tau_{2,n+1} = (E_{i,n}, K_{i,n}) / (K_{i,n}, K_{i,n}); \quad (30)$$

Для інших формул з (24) ітераційні коефіцієнти отримані рішенням систем двох або трьох лінійних алгебраїчних рівнянь. Програмна реалізація методів (23)-(30) та інших виконана при різних m для магнітного поля $Z_{a,j}$ і гравітаційного поля g_j, вимірюваних у межах УКЩ (рис.1-3).

Рішення ОЗГ, отримане, методом простої ітерації за критерієм оптимізації поправок *(B,B)* з однією поправкою 1-го порядку *B* у ітераційній формулі (1), з ефектом "спливаючої щільності". Це означає, що рішення ОЗГ для карти поля (рис. 1,а), яке близьке до реальних значень аномальної щільністі, після 72 ітерацій отримане тільки для 1-го й 2-го шарів (потужністю по 200-300 м) 6-шарової інтерпретаційної моделі (рис. 1, b, c). Як видно з вертикального розрізу (рис. 1,c) , третій шар має тільки половину заданої аномальної щільності, а інші три шари – майже рівну нулю при середньоквадратичній нев'язці поля 0.1075 мГал. У розрізі присутні тільки магматичні й метаморфізовані магматичні гірські породи з майже вертикальними контактами, і їхнє виклинення на одній і тій же глибині малоймовірно. Крім того, на модельних полях ми маємо той же результат програмної машинної інтерпретації поля. Після рішення ОЗГ методом (24) з додатковими двома поправками 2-го й 3-го порядку (*C* и *E*), рішення ОЗГ отримано у вигляді вертикально-шаруватого розрізу з деякими вигинами ізоліній щільності (рис. 1,d), як це й повинне бути відповідно з геологічною будовою досліджуваного гірського масиву.

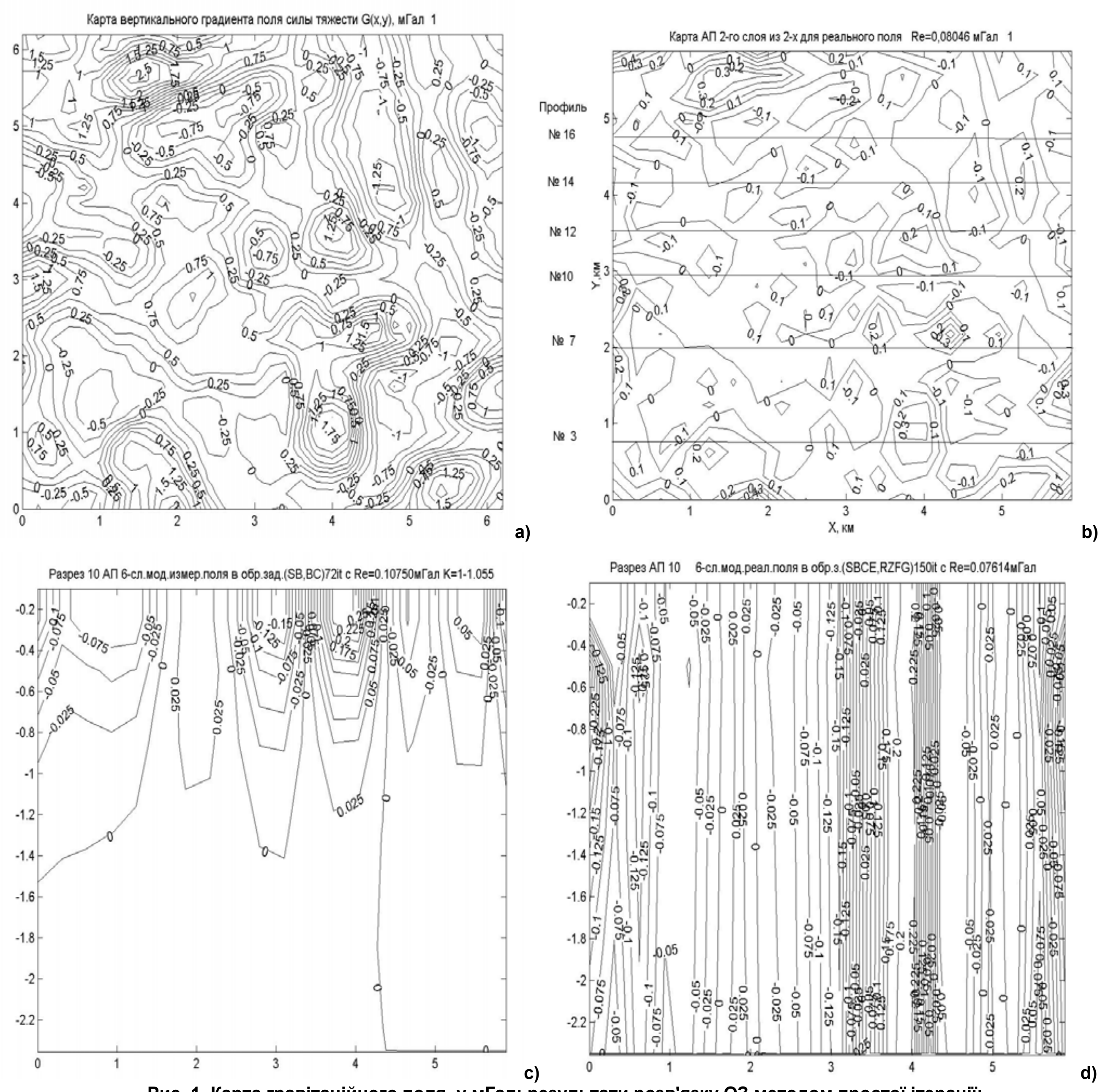

Рис. 1. Карта гравітаційного поля, у мГал; результати розв'язку ОЗ методом простої ітерації:
а) карта аномальної щільності 2-го шару 6-шарової моделі, тут і далі ізолінії – у г/см^3;
с) вертикальний розріз АЩ по профілю 11,5 (див. рис.1, b); d) результати розв'язку ОЗ методом з двома додатковими уточнюючими поправками вищого порядку: вертикальний розріз АЩ по профілю 11,5

По додатковому рішенню з уточнюючими поправками у всіх шарах моделі ми маємо реальний розподіл щільності аномальних тіл (рис. 2), а в інших вертикальних розрізах (рис. 3) ми маємо вертикальну шаруватість гірських порід, ускладнену в багатьох місцях будь-якими вигинами ізоліній і відповідних їм контактів, що відповідає реальній геологічній будові ділянки даних досліджень.

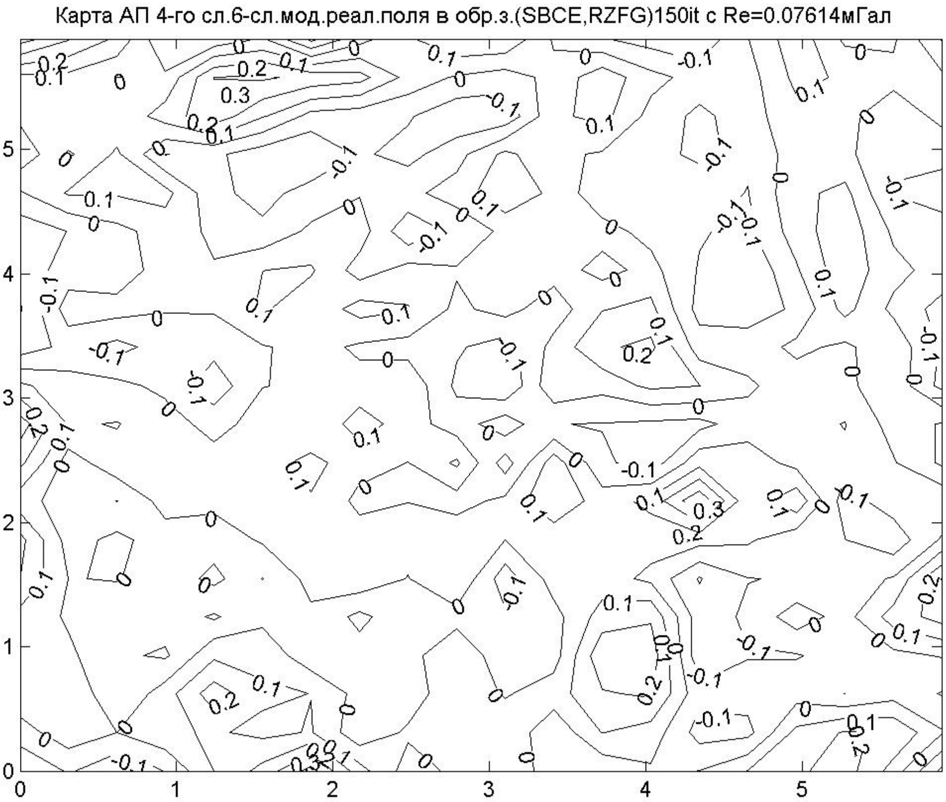

Рис. 2. Результати розв'язку ОЗ методом з двома додатковими уточнюючими поправками вищого порядку: карта АЩ 4-го шару

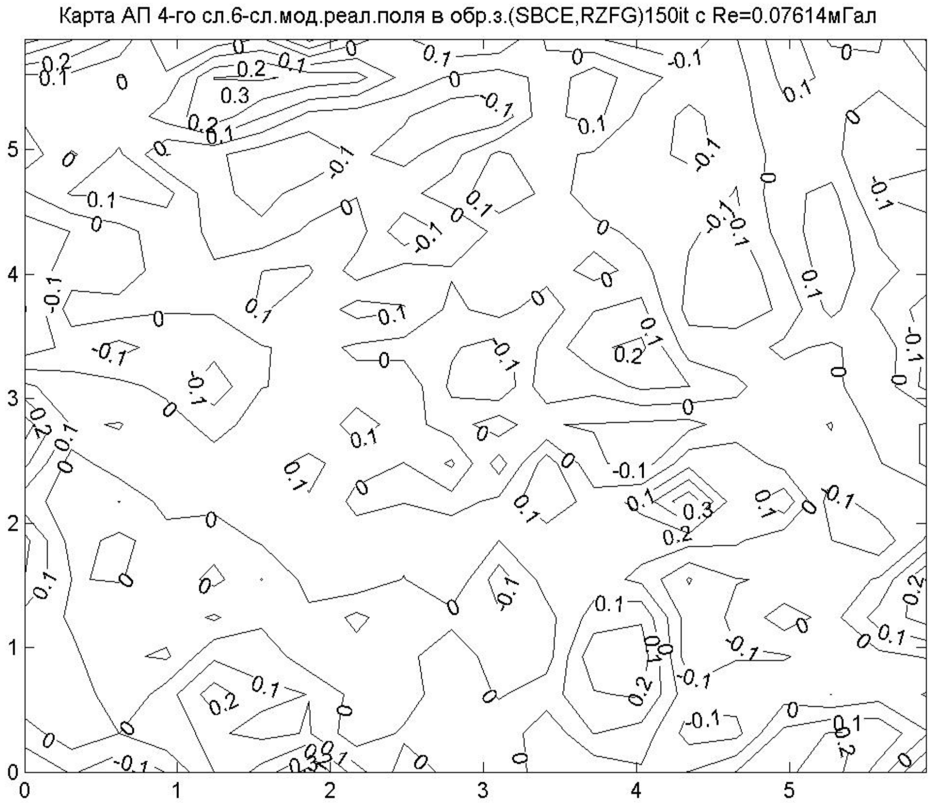

Рис. 3. Результати розв'язку ОЗ методом з двома додатковими уточнюючими поправками вищого порядку: вертикальний розріз АЩ по профілю 6.5

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших пошуків у даному напрямку. Запропоновані ітераційні лінійні методи рішення обернених задач із використанням додаткових уточнюючих ітераційних поправок вищого порядку дозволяють одержувати більш достовірні результати інтерпретації даних гравіметрії й магнітометрії.

Необхідно розробляти методи з іншими наборами умов оптимізації для порівняння їхньої ефективності із запропонованими й більш ранніми методами.

Список використаних джерел:

1. Миненко П.А., (2006). Исследование кристаллического фундамента линейно-нелинейными методами магнитометрии и гравиметрии. Геоінформатика, 4, 41- 45.

Minenko P.A., (2006). The research of the crystal base by with linearly - nonlinear methods of a magnetic survey and a gravity. [Isledovanie kristalicheskogo fundamenta lineyno-nelineynymi metodami magnitometrii i gravimetrii]. *Geoinformatika – Geoinformatika*, 4, 41-45.

2. Миненко П.А., (2006). Фильтрация интенсивных помех в обратной линейной задаче гравиметрии при исследованиях на кристаллических щитах. Науковий вісник НГУ, 6, 38-43.

Minenko P.A., (2006). Filtration of intensive hindrances in the return linear problem of a gravity at researches on crystal base. [Filtratsiya intensivnykh pomekh v obratnoy zadache gravimetrii pri isledovaniyakh na kristalicheskikh shchytakh]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Girnychogo Universytetu – Scientific Bulletin of National Mining University*, 6, 38-43.

3. Миненко П.А., (2007). Экстремальные итерационные методы решения обратной задачи магнитометрии при исследованиях на кристаллическом фундаменте. Доповіді НАН України, 4, 137-141.

Minenko P.A., (2007). Extreme iterative methods of the solution of the return problem of a magnetic survey at researches on the crystal base. [Ekstremalnye iteratsionnye metody resheniya obratnoy zadachi magnitometrii pri isledovaniyakh na kristalicheskom fundamente]. *Dopovidi Natsionalnoi Akademii Nauk – Reports of National Academy of Sience of Ukraine*, 4, 137-141.

4. Міненко П.О., (2013). Методи оптимізації стійких розв'язків обернених задач гравіметрії та магнітометрії з уточненням ітераційних поправок. Вісник КНУ. Геологія, 1(60), 73-75.

Minenko P.A., (2013). Methods of optimization of stable solutions of inverse tasks of gravity and of magnetic researches with the refinement of iterative amendments. [Metody optimizatsii stiykikh rozvyazkiv obernenykh zadach gravimetrii ta magnitometrii z utochnenyam iteratsionnikh popravok]. –*Visnik KNU. Geologiya*, 1(60), 73 - 75.

5. Миненко П.А., (2008). Метод однокритериальной условной оптимизации в обратных задачах гравиметрии с несколькими интерпретационными моделями. Геоінформатика, 4, 39-44.

Minenko P.A., (2008). Method of one-criteria conditional optimization in the inverse tasks of a gravimetriya with several interpretative models. [Metod odnokriterialnoy uslovnoy optimizatsii v obratnykh zadachakh gravimetrii s neskokimi interpretatsionnymi modelyami]. *Geoinformatika*, 4, 39-44.

Надійшла до редколегії 09.10.13

R. Minenko, Master of Science,
E-mail: maestozo.1_pavel@mail.ru
P. Minenko, Dr. Sci., Prof.,
Krivorozhsky National University,
54, Gagarina Avenue, Krivoy Rog, 50086 Ukraine

INVERSE PROBLEMS WITH ITERATIVE HIGH-ORDER CORRECTIONS IN GRAVITY MEASUREMENTS AND MAGNETOMETRY

The purpose of the paper is to develop iterative methods of solving inverse problems concerning gravity and magnetic fields with high-order corrections to obtain an accurate geological data interpretation of physical fields.

The iterative method has been previously used to solve linear inverse problems for gravity and magnetic fields on the basis of combining several types of parameter corrections. However, gravity and magnetometry inverse problems give inaccurate geological data, with different optimization criteria yielding various solutions. Quite often they show essential differences in some of the areas of the geometrical model. There have been developed methods for solving gravity and magnetometry linear inverse problems under Gaussian error distribution, which is connected with structural problems of detecting ore and hydrocarbon deposits. Other methods have been developed for obtaining the solution of gravity and magnetometry linear inverse problems, using iterative corrections which contain a complete set of divergences between the measured physical data and the theoretical calculations. However, the non-Gaussian errors, together with the shortcomings of the existing methods, show a low level of convergence of the iterative process and the true solution of the inverse problem. Moreover, they cause difficulties in reaching an ultimate solution, thus reducing the geological value of the inverse problem solution. New methods are suggested to raise the geological value of the inverse problem solutions with the help of high-order corrections to enhance the well-known iterative formulae and the formulae of optimization criteria. We differentiate between two types of corrections: field misfit ones and those concerning the geological medium density models. Each correction to a field misfit generates a one order higher clarifying correction as to the density correction, and vice versa. Either of these corrections, though, can be used either independently in any iterative formula or together with other corrections of the same type. The most accurate field modeling is ensured by using an iterative formula with three corrections (of the same type) of the first, second and third order and a formula with three separate corrections of the other type. Each optimization criterion for such a formula has a complete set of two orders higher corrections.

Keywords: gravity, magnetic field, inverse problem, iterative method, iterative correction, optimization criterion, high-order correction

Р. Миненко, магистр, maestozo.1_pavel @ mail.ru,
П. Миненко, д-р. физ.-мат. наук, проф.,
Криворожский национальный университет,
пр. Гагарина, 54, г. Кривой Рог, 50086, Украина

ОБРАТНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ ГРАВИМЕТРИИ И МАГНИТОМЕТРИИ С ИТЕРАЦИОННЫМИ ПОПРАВКАМИ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

Цель работы состоит в создании методов решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии с итерационными поправками более высоких порядков для того, чтобы получать корректные и содержательные геологические результаты интерпретации физических полей.

Известны итерационные методы для решения линейных обратных задач гравиметрии на основе комбинации нескольких типов поправок к параметрам. Обратная задача гравиметрии и магнитометрии некорректна, в частности, потому что различные критерии оптимизации дают различные решения, и они могут быть существенно различными в некоторых областях интерпретационной модели. Известны методы, которые созданы для того, чтобы решить линейную обратную задачу гравиметрии и магнитометрии в условиях гауссовского распределения ошибок, и это связано со структурной проблемой в поиске и разведке рудных тел и залежей углеводородов. Другие методы развиты для того, чтобы решать линейные обратные задачи гравиметрии и магнитометрии, используя итерационные поправки, и они содержат весь набор невязок между измеренными и расчетными данными о физических полях. Но, негауссовские распределения ошибок измерения поля, вместе с недостатками существующих методов решения обратных задач, дают низкий процент сходимости итерационного процесса к истинному решению обратной задачи. И, кроме того, они создают трудности для доступа к окончательному решению, и, таким образом, они уменьшают геологическую содержательность решения обратной задачи. В работе представлены методы, которые увеличивают геологическую содержательность решений обратных задач с помощью итерационных поправок более высоких порядков к известным итерационным формулам и к формулам критериев оптимизации.

При этом поправки разделяются на два направления: по направлению невязок поля и по направлению поправок к плотности блоков модели геологического массива. Каждая поправка по направлению невязок поля формирует дополнительную уточняющую поправку на один порядок выше по направлению поправок к плотности и наоборот. Но каждая из этих поправок может использоваться как самостоятельно в любой итерационной формуле, так и вместе с другими поправками только одного направления. Наиболее эффективно восстанавливают поле итерационные формулы с тремя поправками вместе первого, второго и третьего порядка одного направления и отдельно с тремя поправками другого направления вместе в одной итерационной формуле. Каждый критерий оптимизации для такой формулы имеет набор всех поправок на два порядка выше.

Ключевые слова: гравиметрия, магнитометрия, обратная задача, итерационный метод, итерационная поправка, критерий оптимизации поправки, порядок поправки.