

ся від 0-0,02 до 0,4-0,46 км/с (включення – іллїт, каолініт); а для газонасиченого дещо значення менші – від 0 до 0,26 км/с. Даний параметр характеризує інтенсивність явища розщеплення поперечних хвиль вздовж заданого напрямку хвильової нормалі та, таким чином, анізотропність породи.

Один з найважливіших параметрів – диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії, що характеризує наскільки анізотропія середовища відрізняється від найближчого до нього ізотропного середовища, змінюється для моделей вапняк тріщинуватий водонасичений від 0-1 % до 14 – 15,5 % (включення – каолініт), для цієї ж моделі, але газонасиченої – від 0 % до 11,5 %. Для моделей кавернозного водонасиченого вапняка діапазон зміни значень коефіцієнта пружної анізотропії становить від 0-1% до 13,5 % (включення – каолініт), а для газонасиченого – від 0 до 9,5 %.

Останній параметр пружної анізотропії – кут відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі на стереопроекціях моледей тріщинуватого водонасиченого вапняка змінюється від 0 до 10, для газонасиченого – від 0 до 8-11, а для моделей вапняка кавернозного водонасиченого і газонасиченого цей параметр коливається від 0 до 9,5.

Важливою характеристикою стереопроекцій ізоліній вказівних поверхонь є кількість та напрям (характер) розташування мінімумів та максимумів, що вказує на ступінь складності структури породи. Таким чином, можна сказати, що представлені моделі вапняка гранулярно-тріщинуватого і доломітизованого гранулярно-тріщинно-кавернозного досить добре відрізняються одна від одної. Доведено, що у зв'язку з більшим впливом тріщин в моделі 1, параметри пружної та акустичної анізотропії відрізняються більше у порівнянні з моделлю 2. На стереопроекціях спостерігаються осі симетрії мінімумів та максимумів (їх симетричне розташування). Визначено, що більш складну будову мають моделі "вапняка гранулярно-тріщинуватого газонасиченого", також певно виражені осі симетрії для моделей з включенням монтморилоніту обох видів флюїдонасичення.

УДК 550.831+550.838

Висновки. Таким чином, в роботі розроблено математичну модель складно-побудованого кавернозного колектора, яка характеризує карбонатні колектори Волино-Подільського регіону.

За результатами математичного моделювання встановлено:

- о за акустичними даними можливо кількісно і якісно встановити зміни в структурі пустотного простору, флюїдонасиченні, типи та концентрації глин в породи;

- о густина породи при водо- чи газонасиченості змінюється в залежності від типу та густини глин, що входять до її складу;

- о параметри акустичної та пружної анізотропії є індикаторами при подібних дослідженнях.

В результаті проведеного моделювання були досліджені акустичні та пружні характеристики запропонованих моделей в залежності від типу та концентрації включень, які були представлені глинистими мінералами (іллїт, каолініт, монтморилоніт) та пустотами різних форматів і флюїдонасичення.

Математичне моделювання є важливим етапом при обґрунтуванні математичних моделей, що використовуються при інтерпретації геофізичних даних для пошуків і розвідки нафто-, газо- та водонасичених порід-колекторів та будуть в подальшому використані для складання банку даних математичних моделей складно-побудованих карбонатних порід Волино-Поділля.

1. Клубова Т.Г. Глинистые коллекторы нефти и газа. -М., 1988.
2. Семенов М.Г. Введение в математическое моделирование,
3. Александров К.С., Продайвода Г.Т. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород. – Новосибирск, 2000.
4. Петрофізичні і літолого-петрографічні дослідження зразків керну порід девону і силуру Волино-Поділля // Вижва С.А., Безродна І.М. та ін. / Звіт, К., 2006.
5. Вижва С.А., Продайвода Г.Т., Безродна І.М. Петрофізичні дослідження як основа для розробки моделі структури пустотного простору складнопобудованих карбонатних порід-колекторів // Перспективи нарощування та збереження енергетичних ресурсів України: Зб. наук. пр. – Івано-Франківськ, – 2006. С.110-121.
6. Дахнов В.Н., Вендельштейн Б.Ю. Методическое руководство по изучению коллекторов со сложной структурой порового пространства методами промысловой геофизики. – М., 1981.

Надійшла до редколегії 02.12.09

А. Якимчик, канд. фіз.-мат. наук, О. Чорна, канд. фіз.-мат. наук

ПРО ПОБУДОВУ АНАЛІТИЧНИХ АПРОКСИМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ АНОМАЛЬНИХ ГРАВІТАЦІЙНИХ ПОЛІВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. М.А. Якимчуком)

Коротко викладається метод побудови лінійних аналітичних апроксимацій в гравіметрії і магнітометрії. Обґрунтовується необхідність співробітництва з організаціями, що володіють потужною обчислювальною технікою, для розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь великої розмірності.

The method of linear analytical approximations construction in gravimetry and magnetometry is shortly set out. The necessity of collaboration with organizations which are owned computers of powerful facilities for solution of the systems of the linear algebraic equations of the big dimension is offered.

Вступ. З підвищенням точності інструментальних спостережень, а також різким збільшенням потужності комп'ютерів необхідна радикальна зміна інформаційних базисів – в гравіметрії, магнітометрії та геодезії. Ці базиси повинні складатися з трьох частин:

- а) банків первинних інструментальних даних;
- б) аналітичних апроксимацій первинних (оброблених введенням відповідних поправок) даних різного типу;
- в) картографічного зображення відповідних функцій – отриманого на основі попередньої побудови аналітичних апроксимацій [1].

Лінійні інтегральні апроксимації. Найбільш важливими являються лінійні інтегральні апроксимації

елементів аномальних потенціальних полів. Саме вони разом з даними первинних спостережень повинні складати основу нового інформаційного базису гравіметрії. Суть методу лінійних інтегральних зображень полягає в наступному. Нехай задано N величин $f_{i,\delta}$, $i = 1, 2, \dots, N$, при цьому

$$f_{i,\delta} = f_i + \delta f_i,$$

де f_i – значення корисного сигналу, а δf_i – значення похибки, і нехай величини f_i мають наступні інтегральні зображення

$$f_i = \sum_{r=1}^R \int_{M_r} \rho_r(\xi) K_r(\xi, x) d\mu_r(\xi),$$

де M_r – задані точкові многов'язності (в загальному випадку в евклідовому просторі $R^{(n)}$, $n \geq 1$, але в геофізиці найчастіше $n = 2$ або $n = 3$), $\mu_r(\xi)$ і $K_r(\xi, x)$ – задані міри і функції на M_r , $\rho_r(\xi)$ – шукані функції, що задовольняють умовам

$$\int_{M_r} \rho_r(\xi) (K_r(\xi, x))^2 d\mu_r(\xi) < +\infty, 1 \leq r \leq R.$$

В гравіметрії та магнітометрії метод лінійних інтегральних зображень використовується в основному в двох варіантах: а) коли будується апроксимація заданих величин $f_{i,\delta}$ (елементів поля) на невеликій території і сферичністю Землі можна знехтувати; в цьому випадку всі M_r співпадають і представляють собою горизонтальну площину, що розташована нижче всіх точок $x^{(i)}$, в яких задані значення $f_{i,\delta}$; б) коли будується апроксимація елементів поля на досить великих територіях і сферичність Землі треба враховувати; в цьому випадку всі M_r співпадають і представляють собою поверхню нормальної Землі (сфери чи еліпсоїда), що розташована нижче всіх точок $x^{(i)}$, в яких задані значення $f_{i,\delta}$.

Метод побудови лінійних аналітичних апроксимацій в гравіметрії. В роботі [6] В.М. Страхов запропонував більш простий підхід до побудови лінійних аналітичних апроксимацій функцій, визначених на фізичній поверхні Землі, в тому числі поля $\Delta g(x, y, z)$, в слабкому регіональному варіанті (коли сферичністю Землі вже знехтувати не можна, але територія, для якої потрібно побудувати апроксимації тих чи інших функцій ще достатньо мала і можливо використати переріз Землі деякою площиною з достатньо малою висотою поверхні Землі над цією площиною).

Зауважимо, що $\Delta g = \Delta g(x, y, z)$, розглядувана як функція

$$\Delta g(x, y, z) = - \frac{\partial V_a(x, y, z)}{\partial r},$$

де $(x, y, z) = (r, \varphi, \theta)$, тобто r – одна з сферичних координат, а $V_a(x, y, z)$ – потенціал аномального поля, не являється гармонічною функцією зовні поверхні Землі ∂G , а функція

$$\Delta W(x, y, z) = r \Delta g(x, y, z) = -r \frac{\partial V_a(x, y, z)}{\partial r}$$

є гармонічною зовні ∂G .

На підставі сказаного проблема побудови лінійної аналітичної апроксимації функції $\Delta W(x, y, z)$ по заданій сукупності наближених значень

$$\Delta W_{i,\delta} \approx \Delta W_i = r^{(i)} \Delta g(x^{(i)}, y^{(i)}, z^{(i)}),$$

$$\Delta W_{i,\delta} = \Delta W_i + \delta \Delta W_i, 1 \leq i \leq N,$$

де

$$r^{(i)} = \left[(x^{(i)})^2 + (y^{(i)})^2 + (z^{(i)})^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

у випадку слабкого регіонального варіанту розв'язується досить просто (рис. 1).

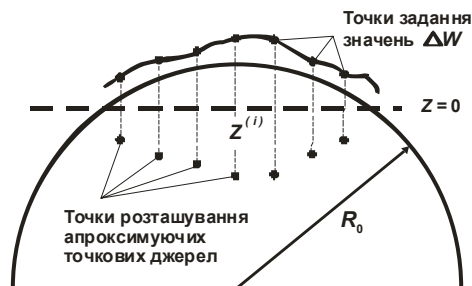


Рис. 1. Пояснення до конструкції лінійної аналітичної апроксимації поля в слабкому регіональному варіанті

А саме, приймається

$$\Delta W(x, y, z) \approx \Delta W_{\text{апр}}(x, y, z) =$$

$$= \sum_{j=1}^N \frac{c_j}{[(x - x^{(i)})^2 + (y - y^{(i)})^2 + (z - z^{(i)})^2]^{1/2}},$$

де c_j – коефіцієнти, які потрібно знайти по заданим значенням $\Delta W_{i,\delta}$, $i = 1, 2, \dots, N$.

Коефіцієнти c_j , $1 \leq j \leq N$, що є компонентами N – вектора c , знаходяться наближено на основі знаходження стійкого наближеного розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$A c = \Delta W_{\delta}, A = A^T > 0,$$

де $A = (N \times N)$ – матриця з елементами

$$a_{ij} = a_{ji} = \frac{1}{[(x - x^{(i)})^2 + (y - y^{(i)})^2 + (z - z^{(i)})^2]^{1/2}},$$

$$1 \leq i, j \leq N,$$

а $\Delta W_{\delta} = N$ – вектор з компонентами $\Delta W_{i,\delta}$.

Далі здійснюється перехід до нормованої системи лінійних алгебраїчних рівнянь, пропонується відповідний метод знаходження послідовних наближень і т.д.

Поняття складової апроксимації і вихідні дані.

Якщо йдеться про побудову метрологічних лінійних апроксимацій на великих територіях, то слід використовувати ієрархію, що містить три рівні: вищий, середній і низький [1]. Далі будемо розглядати апроксимацію виключно на низькому рівні, котра будується в масштабі 1:200000, в формі сукупності складових апроксимацій – по листах масштабу 1:200000. Суть складової апроксимації полягає в тому, що для кожного листа будується своя власна апроксимація, причому тільки за даними для даного листа і суміжних з ним. При цьому у разі листів масштабу 1:200000 беруться дані з двадцяти чотирьох найближчих листів (рис. 2).

Відзначимо, що реалізація апроксимаційного підходу до вирішення, зокрема, задач гравіметрії вимагає принципово нового підходу до даних експериментальних досліджень [2, с. 105–111; 3, с. 154]. Простіше кажучи, для інтерпретації аномалій сили тяжіння потрібно користуватися не картами аномалії Буге, а значеннями аномалії Буге в пунктах спостереження.

На цей час вся територія України повністю знята гравіметричною зйомкою масштабу 1:200000 з перетином ізонамал 1,0 – 2,0 мГал. В фондах різних підприємств накопичена величезна кількість гравіметричних матеріалів, які були отримані в різний час і представлені, як правило, на паперових носіях. Не викликає сумні-

вів, що вирішення проблем збереження інформації та ефективного використання її потрібно здійснювати за допомогою сучасних інформаційних технологій і створення банків даних. Тому, починаючи з 2001 року, в ДГЕ "Дніпрогеофізика" і ДГП "Укргеофізика" були розпочаті роботи зі створення бази даних та побудови цифрової електронної карти гравітаційного поля України [4]. Цей проект практично завершений.

Припустимо, що ми маємо в своєму розпорядженні базу гравіметричних даних по всіх двадцяти п'яти листах (рис. 2). Оцінимо кількість даних спостережень (маються на увазі аномальні значення прискорення сили тяжіння, координати і висоти точок), необхідних для побудови аналітичної апроксимації гравітаційного поля в масштабі 1:200000 для конкретного листа, наприклад, М-37-XXXI (рис. 2). Відомо, що на лист L-37-III гравіметричної карти СРСР нанесено 81 опорний пункт, 1057 рядових точок зйомок масштабу 1:200000 і 498 точок детальних зйомок [5], тобто всього 1636. Цілком логічно і обґрунтовано припустити, що кількість точок нанесених на кожний з 24 листів, що залишилися, приблизно така ж. Перемножуючи число точок спостереження на кількість листів, отримуємо 40900 точок.

М-36-XXIII	М-36-XXIV	М-37-XIX	М-37-XX	М-37-XXI
М-36-XXIX	М-36-XXX	М-37-XXV	М-37-XXVI	М-37-XXVII
М-36-XXXV	М-36-XXXVI	М-37-XXXI	М-37-XXXII	М-37-XXXIII
L-36-V	L-36-VI	L-37-I	L-37-II	L-37-III
L-36-XI	L-36-XII	L-37-VII	L-37-VIII	L-37-IX

Рис. 2. До питання побудови аналітичних апроксимацій елементів гравітаційного поля в масштабі 1:200 000

Обчислювальні ресурси. Для даного розгляду важливо, насамперед, що побудова аналітичної апроксимації аномального поля сили тяжіння зводиться до наближеного розв'язку відповідної системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Тому ми досить коротко розглядаємо теоретичні основи методу, тим паче, що читач може звернутися при потребі до першоджерел. Для нас є важливим наступний момент. Матриця, що обчислюється в процесі розв'язку задачі має велику розмірність, а саме $P = N \cdot N \approx 1,67 \cdot 10^9$. Природно, що ця задача вимагає значних обчислювальних ресурсів. Автори не вважають цю обставину значною проблемою, оскільки досвід розв'язування подібних задач існує. Зокрема, в публікації [7] приводиться приклад розв'язування на персональному комп'ютері недовизначеної системи лінійних алгебраїчних рівнянь з числом рівнянь $N = 13000$ і числом шуканих невідомих $M = 1039961$, тобто $P = N \cdot M \approx 1,35 \cdot 10^{10}$. Для розв'язування такого

типу задач, а тим більше задач більшої розмірності, безперечно ефективніше використовувати багатопроцесорні обчислювальні системи, ніж персональні комп'ютери. Тут є, принаймні, три можливості. Перша полягає у використанні технічної бази Центру суперкомп'ютерних обчислень Національного технічного університету України "КПІ" [8]. Друга – це співпраця з державним науково-виробничим підприємством "Електронмаш". Третя – співробітництво з Інститутом кібернетики НАН України, в якому з 2005 року експлуатується в режимі цілодобової роботи суперкомп'ютерний комплекс кластерного типу для реалізації інформаційних технологій (СКІТ) [9]. З введенням в дію цього комплексу Україна увійшла до кола країн, що володіють потужною обчислювальною технікою.

Висновки. За великим рахунком все готово для того, щоб почати побудову аналітичних апроксимацій поля аномалій сили тяжіння та рельєфу поверхні Землі для досить великих територій (мається на увазі теорія, методологія, обчислювальні ресурси). Але на цей час говорити всерйоз про розрахунки на практичному матеріалі не приходиться. Для реалізації задачі, якій присвячена дана робота, чи подібної до неї, як мінімум, потрібен:

- а) необхідний об'єм фінансування;
- б) зняття грифу секретності з гравіметричних даних.

Можна скільки завгодно говорити про зміну парадигми [10], руйнування пануючого стереотипу мислення [11], але без вирішення насамперед цих питань справа не зрушить, по суті, з мертвої точки.

1. Страхов В.Н., Степанова И.Э. Новый информационный базис гравиметрии, магнитометрии и геодезии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Мат. 30-й сессии Междунар. семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 27–31 января 2003 г. В 2-х частях. Ч. 1. – М., 2003.
2. Алексидзе М.А. Решение некоторых основных задач гравиметрии. – Тбилиси, 1985.
3. Страхов В.Н. Геофизика и математика. Методологические основы математической геофизики // Геофизика и математика: Мат. 1-й Всероссийской конференции, Москва, 22–26 ноября 1999 г. – М., 1999.
4. Толкунов А.П., Слободянюк С.О., Мительман В.Б., Шемет В.Г., Малиновский О.К. До проблем побудови цифрової електронної карти гравітаційного поля на території України // Геоінформатика. – 2002. – № 1. – С. 105-107.
5. Гравиметрическая карта СССР масштаба 1:200000, лист L-37-III. Объяснительная записка. Сост. В.В. Курашова. Редактор А.И. Дюков. – М., 1971.
6. Страхов В.Н. Об эффективных по быстродействию и точности методах построения линейных аналитических аппроксимаций в геодезии, геоинформатике и гравиметрии // Геофиз. журн. – 2007. – 29, № 1. С. 56–84.
7. Страхов В.Н., Страхов А.В. Компьютерные технологии нахождения устойчивых приближенных решений систем линейных алгебраических уравнений с приближенно заданной правой частью // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Мат. 29-й сессии междунар. семинара им. Д.Г. Успенского, Екатеринбург, 28 января – 2 февраля 2002 г. В 2-х частях. Ч. 2. – М., 2002.
8. <http://www.hpcc.org.ua>
9. Сергієнко І., Коваль В. СКІТ – український суперкомп'ютерний проект // Вісн. НАНУ. – 2005. – № 5. – С. 3-13.
10. Страхов В.Н. Смена парадигмы в теории линейных некорректных задач. – М., 2000.
11. Страхов В.Н. Разрушение господствующего стереотипа мышления – главная задача в развитии теории и практики интерпретации потенциальных полей (гравитационных и магнитных аномалий) в начале XXI века. – М., 2000.